

УДК 549.211.02: 552.323.6. 553.1(470.320)  
DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3006>  
Поступила в редакцию: 13.07.2020  
Принята к публикации: 02.09.2020  
Опубликована онлайн: 30.09.2020

ISSN 1609-0691

## **Изучение базальных горизонтов осадочного чехла Воронежской антеклизы – путь к прогнозу её коренной алмазоносности**

©2020 А. В. Черешинский✉, Л. Т. Шевырев, А. Д. Савко

*Воронежский государственный университет,  
Университетская пл. 1, 394018, Воронеж, Российская федерация*

### **Аннотация**

*Введение:* В прогнозных построениях на алмазоносность древних кратонов доминируют представления о тяготении кимберлитовых диатрем к участкам развития наиболее мощной архейской (древнее 2.5 млрд лет) коры. Коренные источники воронежских алмазов, по аналогии с другими алмазоносными провинциями, должны быть локализованы в пределах данных областей. Мелкие алмазы в пределах Воронежской антеклизы обнаружены только в породах базальных горизонтов осадочного чехла, залегающих на разных глубинах. Алмазы сопровождаются минералами-индикаторами кимберлитов (МИК), основные из них пироп, пикроильменит, хромшпинелиды и хромдиопсид. Для выхода на коренные источники алмазов помимо исследования аксессуаров необходимо проведение фациального анализа базальных горизонтов.

*Методика:* В 2004–2006 гг. в различных частях антеклизы были отобраны 50 опорных проб объемом 0.25–10 м<sup>3</sup> из алевропесчаных пород палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Они были обработаны в НПП «Недра», г. Симферополь, где из них выделены минералы-индикаторы кимберлитов. Типоморфные и химические особенности выделенных МИК изучены под биноклем, на электронном микроскопе с рентгеновским микрозондовым анализатором Camebax 50-SX (МГУ). При проведении геолого-съёмочных работ (ГДП-200) в 2003–2017 гг. изучено 250 шлиховых проб из девонских, каменноугольных, юрских, меловых, палеогеновых и неогеновых отложений. Начальный объем шлиховой пробы составил 20 литров (0.02 м<sup>3</sup>). Промывка проб проводилась на лотке сибирского типа в три стадии: отмучивание проб, смыв легких частиц и доводка шлиха. Перед проведением минералогического анализа была проведена расситовка на классы крупности +1.0 мм, –1.0+0.25 мм, –0.25+0.1 мм и –0.1 мм, деление материала в тяжелой жидкости (бромформе) с плотностью 2.9 г/см<sup>3</sup>, разделение тяжелой фракции проб на магнитную, электромагнитную и немагнитную составляющие. Химический состав минералов был изучен на электронном микроскопе Jeol 6380 LV с энергодисперсионной системой количественного анализа Inca-250 (ВГУ) и электронном микроскопе JSM 5300 со спектрометром Link:ISIS (ЦНИГРИ), проведено 1000 анализов. Составлены геологические, фациальные и палеогеографические карты. На основе их анализа выявлены связи распределения МИК с фациальными особенностями отложений базальных горизонтов.

*Результаты и обсуждение:* В изученных пробах обнаружено 683 мелких алмаза и большое количество их минералов-спутников. Среди последних количественно доминируют пиропы, особенно умеренно хромистые разновидности, характерные для лерцолитов. Встречены зерна, составы которых идентичны гранату из алмазоносных гарцбургит-дунитов, а также те, которые характерны для включений в алмазах. В изученных пробах обильно представлены ильмениты с широкими вариациями хи-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Черешинский Алексей Васильевич, e-mail: vsu31022@mail.ru

мического состава, в том числе пикроильмениты. По сравнению с гранатом и ильменитом, хромшпинелиды более редкие, но и среди них встречены различия с составом, отвечающим потенциально алмазонасущей коэситовой субфации глубинности. Алмазы и их минералы спутники в промежуточных коллекторах ВА, судя по типоморфным признакам и составу, происходят из коренных алмазосодержащих пород, что должно рассматриваться как прямой поисковый признак при прогнозных построениях.

**Заключение:** Анализ палеогеографических карт нового поколения (масштабы 1:200 000 – 1:500 000), данные опробования (50 проб массой 0.5–20 т каждая) свидетельствуют в пользу гипотезы о местном происхождении алмазов и локализации их материнских пород в осадочном чехле Воронежской антеклизы. Палеогеографические исследования, неперемный компонент поисковой активности, и данные по МИК позволили оконтурить две площади, где предполагаются продуктивные диатремы. **Ключевые слова:** Воронежская антеклиза, алмазы, минералы спутников алмазов, базальные горизонты, промежуточные коллекторы.

**Для цитирования:** Черешинский А. В., Шевырев Л. Т., Савко А. Д. Изучение базальных горизонтов осадочного чехла Воронежской антеклизы – путь к прогнозу её коренной алмазонасущности // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2020. №3. С. 4–29. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3006>

### Введение

Воронежская антеклиза (ВА), одна из крупных (около 220 тыс. км<sup>2</sup>) тектонических форм Восточно-Европейской платформы, имеет выраженные естественные границы – глубинные разломы, отделившие ее от соседних авлакогенов – Пачелмского, Оршанского (апофиза Вольно-Полесского), Доно-Медведицкого, Большого Донбасса. Осадочные отложения, залегающие на кристаллическом фундаменте, представлены породами девонской, каменноугольной, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем общей мощностью от первых десятков метров до 1 км.

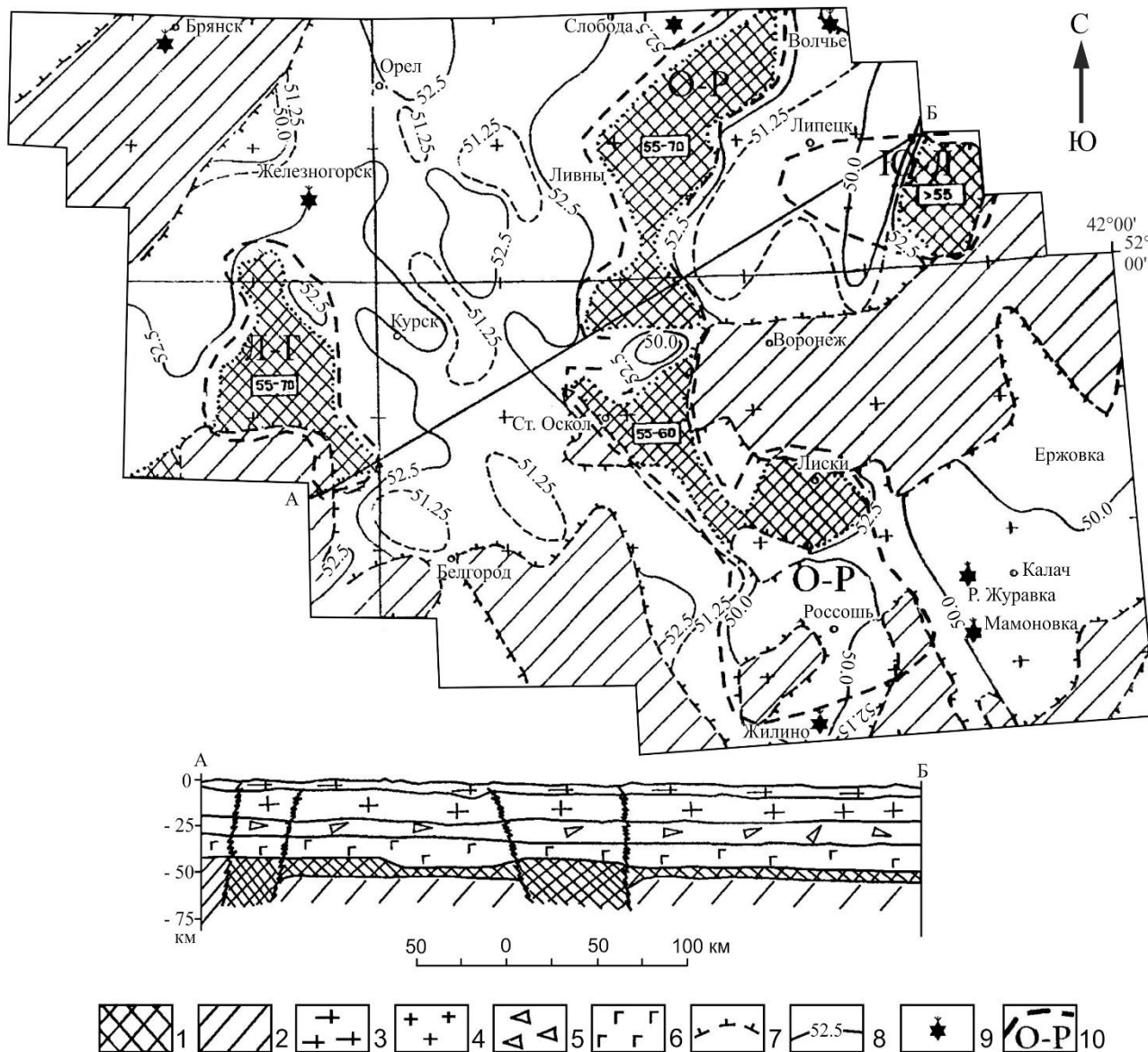
В периоды осадконакопления в фанерозое ВА испытывала погружение, примерно такое же, как и соседние отрицательные структуры, о чём свидетельствуют близкие мощности коррелятных отложений. Однако во временные интервалы, отвечающие перерывам осадочного процесса, поднятия и размыв здесь были намного значительней [1]. Частое активное «всплывание» свода антеклизы обусловлено особенностями её глубинного строения. В разрезе Воронежского кристаллического массива (ВКМ), по площади отвечающего антеклизе, «гранитный» слой имеет мощность 30–32 км, самую значительную на Восточно-Европейской платформе. Для Украинского щита, например, этот показатель только 20–25 км, Белорусской антеклизы – 18–19 км, Волго-Уральской антеклизы – 10–15 км и меньше [2].

В фундаменте антеклизы традиционно различают мегаблоки: Брянский, Курской магнитной аномалии (КМА) и Хоперский. В структуре фундамента ВКМ с давних пор выделялись гипотетические архейские массивы – жесткие древние структуры. Природу этих крупных объектов (тыс. км<sup>2</sup>) раскрыл Н. М. Афанасьев, исследовавший материалы по 13 профилям ГСЗ, пересекающим антеклизу [3]. Вновь созданная глубинная сейсмоплотностная модель в ее объемном варианте (авторы модели Н. С. Афанасьев и И. И. Кривцов) позволила для площадей массивов выделить на рубеже коры и мантии «промежуточный слой» – сложно построенную мощную коромантийную переходную зону.

За ее счет происходит возрастание мощности коры до 60–70 км (рис. 1). Площади её развития, сложенные породами обоянской серии (AR<sub>1ob</sub>) нижнего архея, отличаются слабым проявлением процессов тектономагматической активизации, выраженной тенденцией к высокому стоянию в этапы осадконакопления. Все это позволяет использовать в прогнозных построениях доминирующие представления о тяготении алмазонасущих магматитов к участкам развития наиболее мощной архейской (древнее 2.5 млрд лет) коры. Возможно, именно в их пределах локализованы коренные источники воронежских алмазов. При их прогнозировании необходимо исследование в базальных горизонтах осадочного чехла минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), основными из которых являются алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелиды и хромдиопсид [4, 5].

В истории изучения алмазонасущности ВА отмечается три этапа. *Первый* относится к середине шестидесятых годов, когда сотрудниками ИМРа (г. Симферополь) И. Ф. Кашкаровым и Ю. А. Полкановым из отобранной ими пробы песков Волчинской титан-циркониевой россыпи (север Липецкой области) массой 900 кг с использованием пенной сепарации выделено 241 зерно мелких алмазов размером 0.4–1 мм.

Тогда же обследовались и сеноманские псаммиты Центрального титан-циркониевого россыпного месторождения Тамбовской области. Последнее, как и Волчинская россыпь, расположено на северо-восточном склоне ВА. Общее количество выделенных алмазов из рудоносных псаммитов Центрального составило несколько десятков. В 1971 г. при опробовании Новозыбковской россыпи титан-циркониевых песков на западе Брянской области, связанной с полтавскими отложениями (P<sub>3</sub>-N<sub>1pl</sub>), Ю. А. Полкановым было встречено 21 зерно алмаза размерностью 0.1–0.25 мм. Отдельные залежи этой россыпи (Александрия) содержат до 350 кг/т тяжелых минералов в интервалах разреза мощностью до 2.5 м. Во всех упомянутых россыпях минералы-спутники алмазов (МСА) не встречены.



**Рис. 1.** Глубинное строение ВКМ, по Н. С. Афанасьеву, из работы [3]: 1 – участки с максимальной мощностью «переходного» слоя (ПС); 2 – участки, где нет ПС; 3 – «гранитный» слой-I; 4 – «гранитный» слой-II; 5 – «диоритовый» слой; 6 – «метабазитовый» слой; 7 – граница зон отсутствия ПС; 8 – изолинии подошвы ПС, км; 9 – некоторые важные находки алмаза, высокобарических минералов, признаки в осадочном чехле эксплозий фанерозоя; 10 – прогнозные площади: перспективная – Олымско-Россошанская (О-Р), проблематичные – Южно-Липецкая (ЮЛ), Льговская (Л-Г).

**[Fig. 1.** The deep structure of VKM, according to N.S. Afanasyev, from [3]: 1 – sections with the maximum power of the «transition» layer (TL); 2 – areas where there is no TL; 3 – «granite» layer-I; 4 – «granite» layer-II; 5 – «diorite» layer; 6 – «metabasite» layer; 7 – the border of the zones of absence of TL; 8 – contours of the bottom of the TL, km; 9 – some important finds of diamond, high-pressure minerals, signs in the sedimentary cover of Phanerozoic explosions; 10 – forecast areas: prospective – Olymsko-Rossoshanskaya (O-R), problematic areas – Yuzhno-Lipetsk (YL), Lgovskaya (L-G).]

Во второй этап (окончание 1990-х начало двухтысячных годов) литологической группой Воронежского госуниверситета началось изучение ассоциаций высокобарических минералов в осадочном чехле ВА. Открыты новые проявления собственно алмаза и ряд местонахождений минералов-спутников алмаза – пиропов, хромшпинелидов, пикроильменитов, хромдипсидов.

Проба из Волчинской россыпи объемом 10 м<sup>3</sup> вновь изучалась в НПП «Недра», г. Симферополь. Кроме того, Ю. А. Полкановым для повторного исследования Воронежскому университету была предоставлена его

волчинская коллекция 1960-х гг. Из новой волчинской пробы 2001 г. выделено 91 зерно алмаза. Их размерность 0.1–0.42 мм, в среднем – 0.23 мм. По габитусным формам среди них 25% составляют октаэдры (часто во все неизношенные); 18% – кубы, кубоиды, додекаэдровиды; комбинационные формы (куб-ромбододекаэдр, куб-октаэдр, октаэдр-ромбододекаэдр, прочие полигабитусные) – 7%; обломки, осколки – 27%. Преобладают бесцветные разновидности, но есть желтоватые и зеленоватые. Одно зерно имеет интенсивный красный

цвет. Известный исследователь алмазов В. И. Коптиль (устное сообщение) пришел к выводу, что они полигенны: кимберлитовые (лампроитовые), метаморфогенные (серые, темно-серые и зеленые кубы), «импактные» (сланцеватые). Метаморфогенные очень близки таковым месторождения Кумдыколь Восточного Казахстана. Подобные же есть и в ксенолитах дистеновых эклогитов трубки Удачная (Якутия). К импактным кристаллам, по классификации Ю. Л. Орлова, относятся поликристаллы с размерами кристаллитов менее 1 мкм и включениями лонсдейлита.

Общим итогом работ второго этапа является: 1 – обнаружены новые россыпные проявления мелких алмазов и их минералов-спутников, в том числе пиропы, пикроильмениты, хромдиопсиды. В различных сочетаниях эти МСА формируют минеральные ассоциации, обуславливают концентрическую минеральную зональность вокруг гипотетических коренных источников, выраженную в изменении содержания алмазов и МСА; 2 – выделены связанные с существенными тектоническими перестройками региона возможные эпохи кимберлитового магматизма – среднепалеозойская, поздне триасовая-раннеюрская, поздне меловая-раннепалеогеновая; 3 – впервые показана экзотичность (ненаследуемость) минерального состава коллектора четвертичных отложений, сформированных преимущественно за счет перемыва принесенных с Балтики моренных образований донского ледника и содержащих нехарактерные для ВА МСА. Описанию, прогнозным построениям на основе минералогических данных по результатам работ второго этапа посвящены публикации [6–8, а также ряд других работ].

*Третий этап (2003–2019 гг.)* характеризуется детализацией исследований при проведении геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000, сгущением сети опробования и использованием прецизионных анализов при изучении МИК. В это время была опубликована работа [9], в которой по полученным ранее данным проведено сопоставление алмазоносности ВА с таковой для других районов Мира.

#### **Фактический материал и методы исследований**

Воронежская антеклиза, об алмазоносности которой так давно говорят, никогда не знала массивных поисков. Одно из заданных здесь природой условий – мелкозернистость псаммитов даже базальных горизонтов крупных осадочных ритмов, требующая сложных приёмов обогащения и экстракции высокобарических минералов. Второе условие – необходимость искать *погребенный* источник, находящийся на неизвестном стратиграфическом уровне, чего в мировой практике поисков в новых районах ещё не бывало (погребенные трубки в алмазоносных провинциях Мира обнаруживали, нарабатывая приемы и опыт на *местных обнаженных* объектах).

В 2004–2006 гг. в различных частях антеклизы были отобраны 50 проб объемом 0.25–10 м<sup>3</sup> из алевропесчаных пород палеозоя, мезозоя и кайнозоя (рис. 2, табл. 1). Они были обработаны в НПП «Недра», г. Сим-

ферополь, где из них выделены минералы-индикаторы кимберлитов (МИК). Обогащение проб осуществлялось на непрерывно действующей укрупненной обогатительной установке. Технология обработки проб включала оттирку исходного материала в бутаре, обеспыливание по классу 0.1 мм, классификацию на рабочие классы +4 мм, –4+2 мм, –2+0.5 мм и –0.5 мм. Материал крупнее 0.5 мм обогащался на отсадочных машинах МОД-02, а меньше 0.5 мм – на концентрационном столе. Хвосты стола направлялись на пенную сепарацию для доизвлечения алмаза.

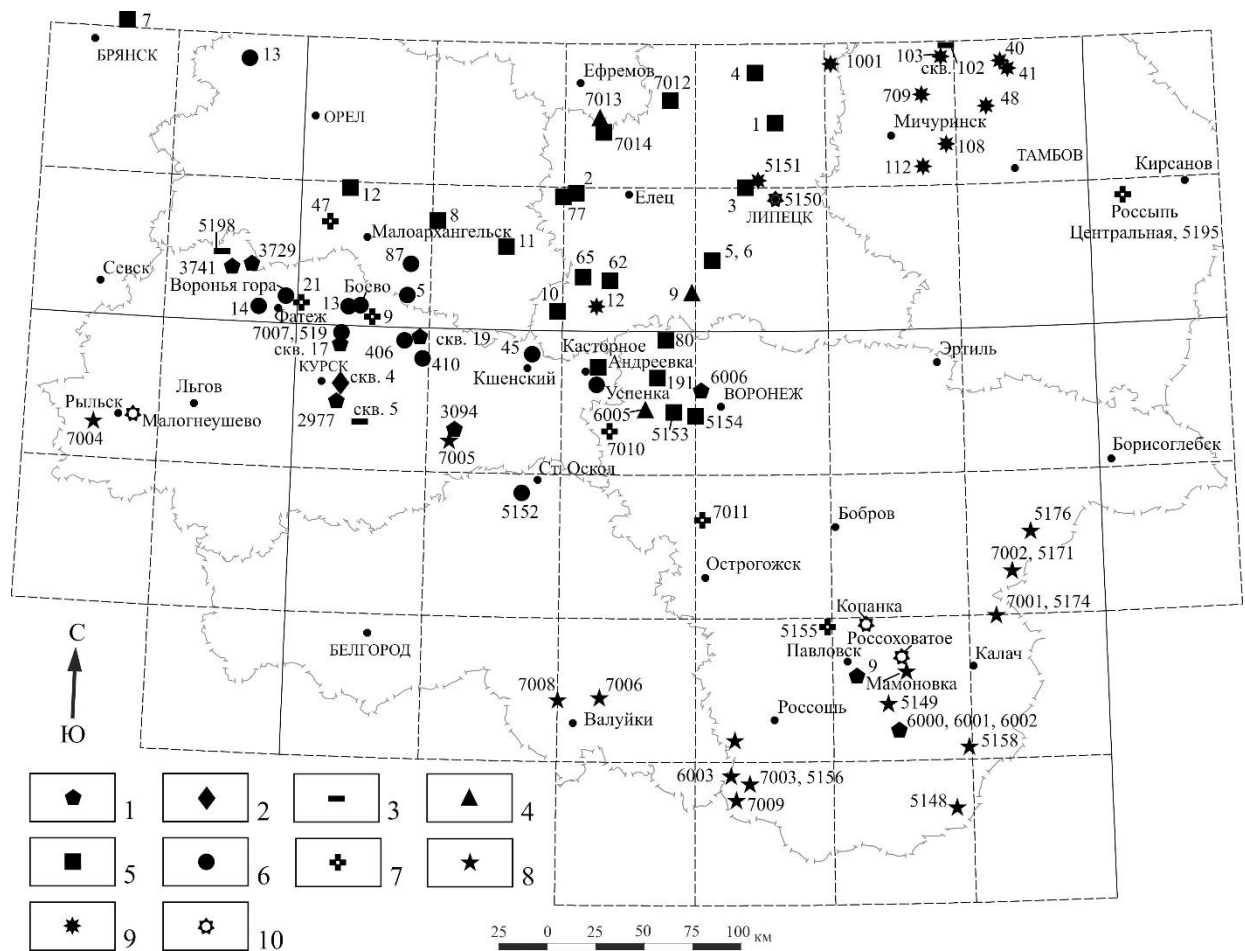
Черновые концентраты отсадков и концентрационного стола доводились в периодическом режиме на отсадочной машине и концентрационном столе меньших типоразмеров. Концентраты доводки направлялись на магнитную сепарацию, а продукты сепарации – на полный минералогический анализ.

Типоморфные и химические особенности выделенных МИК были изучены под биноклем, на электронном микроскопе и с использованием рентгеновского микронзондового анализатора Camebax 50-SX (МГУ).

При проведении геолого-съёмочных работ (ГДП-200) в 2003–2017 годах изучено 250 шлиховых проб, отобранных из девонских, каменноугольных, юрских, меловых, палеогеновых и неогеновых отложений. Начальный объем шлиховой пробы составил 20 литров (0.02 м<sup>3</sup>). Промывка проб проводилась на лотке сибирского типа в три стадии: отмучивание проб, смыв легких частиц и доводка шлиха. Перед проведением минералогического анализа была проведена расстановка на классы крупности +1.0 мм, –1.0+0.25 мм, –0.25+0.1 мм и –0.1 мм, деление материала в тяжелой жидкости (бромформе) с плотностью 2.9 г/см<sup>3</sup>, разделение тяжелой фракции проб на магнитную, электромагнитную и немагнитную составляющие.

Химический состав минералов был изучен на электронном микроскопе Jeol 6380 LV с энергодисперсионной системой количественного анализа Inca-250 (ВГУ) и электронном микроскопе JSM 5300 со спектрометром Link:ISIS (ЦНИГРИ), проведено 1000 анализов.

Составлены геологические, фациальные и палеогеографические карты. На основе их анализа выявлены связи распределения МИК с фациальными особенностями отложений базальных горизонтов. Опробование проводилось с использованием составленных карт. Результаты изучения ассоциаций МИК осадочного чехла региона хорошо иллюстрируют тезис о доминирующей роли фациального подхода при определении интервалов наиболее эффективного пробоотбора. Для мелкозернистых толщ, формировавшихся в условиях спокойного гидродинамического режима, единственно приемлемым оказывается изучение базальных горизонтов. Таковы девонские, юрские и неокомские разрезы антеклизы. Во многом иначе выглядит морской апт региона. Разнообразие и переменчивость гидродинамических условий аптского осадконакопления, присутствие мощных вдольбереговых течений вели к активному прибрежному и подводному перемыву ранее



**Рис. 2.** 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.  
**[Fig. 2.** Map of the actual material, MIK finds: 1 – devonian sections; 2 – coal; 3 – jurassic; 4 – hauterivian-barremian, 5 – aptian, 6 – albanian, 7 – cenomanian; 8 – paleogene; 9 – neogene, 10 – quaternary.]

**Табл. 1.** Общие сведения об опорных пробах объемом 0.25–10 м<sup>3</sup>, отобранных из пород осадочного чехла Воронежской антеклизы для изучения минеральных высокобарических ассоциаций  
**[Table 1.** General information on support samples 0.25–10 m<sup>3</sup> in volume taken from sedimentary cover rocks of the Voronezh anticline to study high-pressure mineral associations]

№ п.п. [№ in order]	№ пробы [№ Sample]	Привязка [Location]	Возраст [Age]	№ обн. [№ watch-point]	Объем или вес пробы [Sample volume or weight]
1	2	3	4	5	6
1	1	с. Волчье, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	255	10 м <sup>3</sup>
2	2	д. Кудияровка-2-я, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	–	1 м <sup>3</sup>
3	3	с. Сенцово, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	257	1 м <sup>3</sup>
4	4	г. Лев Толстой, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	141	1 м <sup>3</sup>
5	5	с. Гнилуша, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	251	1 м <sup>3</sup>
6	6	с. Гнилуша, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	–	1 м <sup>3</sup>
7	7	Г-ый Батаговский уч. Полпинского м-я, Брянск. обл.	K <sub>1a</sub>	159	1 м <sup>3</sup>
8	8	с. Дросково, Орлов. обл.	K <sub>1a</sub>	259	1 м <sup>3</sup>
9	9	с. Ниж. Колыбелка, Липецк. обл.	K <sub>1g-br</sub>	260	1 м <sup>3</sup>
10	10	д. Захаровка, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	184	1 м <sup>3</sup>
11	11	с. Барково, Орловск. обл.	K <sub>1a</sub>	169	1 м <sup>3</sup>
12	12	с. Сорочьи Кусты, Орловск. обл.	K <sub>1a</sub>	261	1 м <sup>3</sup>
13	13	с. Гнездилово, Орловск. обл.	K <sub>1-2al</sub>	262	1 м <sup>3</sup>
14	14	с. Солдатское, Курская. обл.	K <sub>1-2al-s</sub>	263	1 м <sup>3</sup>
15	5148	балка Петровский Яр, Воронеж. обл.	Р <sub>1s</sub>	240	660 кг

Продолжение Табл. 1  
[Continued Table 1]

1	2	3	4	5	6
16	5149	с. Лозовое, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	244	550 кг
17	5150	Липецкое городище, центр г. Липецка	aQ <sub>1</sub> il	98	0.6 т
18	5151	с. Кузьминские Отвершки, Липецк. обл.	N <sub>1-2</sub> us	92	550 кг
19	5152	Лебединский карьер, Бел. обл.	K <sub>1al</sub>	250	500 кг
20	5153	Хохольский, Воронеж. обл.	K <sub>1a</sub>	–	0.25 м <sup>3</sup>
21	5154	Стрелица-Ближняя, Воронеж. обл.	K <sub>1a</sub>	–	0.25 м <sup>3</sup>
22	5155	д. Котовка, Воронеж. обл.	K <sub>2s</sub>	246	0.6 т
23	5156	с. Поддубное, Воронеж. обл.	P <sub>2</sub> <sup>2b</sup>	–	0.6 т
24	5158	с. Новобородицкое, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	247	630 кг
25	5171	с Михайловка, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	–	550 кг
26	5174	с. Нижний Бык, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	–	550 кг
27	5176	с. Пыховка, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	30	500 кг
28	5196	Центральное м-е, с. Никольское, Тамбов. обл.	K <sub>2s</sub>	150	550 кг
29	5198	Михайловский ГОК, Курск. обл.	J <sub>2bj-b</sub>	249	500 кг
30	6000	с. Осетровка, Воронеж. обл.	D <sub>3mm</sub>	12	1400 кг
31	6001	с. Осетровка, Воронеж. обл.	K <sub>2s</sub>	–	1400 кг
32	6002	с. Осетровка, Воронеж. обл.	fQ <sub>1</sub> ds	–	350 кг
33	6003	с. Кривоносово, Воронеж. обл.	P <sub>2b</sub>	267	1000 кг
34	6004	с. Екатериновка, Воронеж. обл.	P <sub>2b</sub>	268	1000 кг
35	6005	с. Верхне-Турово, Воронеж. обл.	K <sub>1a-al</sub>	–	0.25 м <sup>3</sup>
36	6006	г. Семилуки, Воронеж. обл.	D <sub>3pt</sub>	–	0.25 м <sup>3</sup>
37	7001	с. Нижний Бык, Воронеж. обл.	P <sub>2b</sub>	28	1.0 м <sup>3</sup>
38	7002	с Михайловка, Воронеж. обл.	P <sub>1s</sub>	29	1.0 м <sup>3</sup>
39	7003	с. Поддубное, Воронеж. обл.	P <sub>2</sub> <sup>2b</sup>	42	1.0 м <sup>3</sup>
40	7004	с. Дурово, Курск. обл.	P <sub>1s</sub>	70	1.0 м <sup>3</sup>
41	7005	с. Пузачи, Курск. обл.	eK <sub>2</sub> -P <sub>2kv</sub>	301	1.0 м <sup>3</sup>
42	7006	с. Ватутино и Вороновка, Белгород. обл.	P <sub>2b</sub>	83	1.0 м <sup>3</sup>
43	7007	с. Свобода, Курск. обл.	K <sub>1-2al-s</sub>	303	1.0 м <sup>3</sup>
44	7008	с. Солоти, Белгород. обл.	P <sub>2kv</sub>	81	1.0 м <sup>3</sup>
45	7009	с. Новобелое, Воронеж. обл.	P <sub>2b</sub>	43	1.0 м <sup>3</sup>
46	7010	с. Нижнедевицк, Воронеж. обл.	K <sub>1-2al-s</sub>	306	1.0 м <sup>3</sup>
47	7011	с. Болдыревка, Воронеж. обл.	K <sub>1-2al-s</sub>	307	1.0 м <sup>3</sup>
48	7012	с. Медведево, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	308	1.0 м <sup>3</sup>
49	7013	с. Реневка, Липецк. обл.	K <sub>1g-b</sub>	309	1.0 м <sup>3</sup>
50	7014	х. Челкино, Липецк. обл.	K <sub>1a</sub>	310	1.0 м <sup>3</sup>

накопившихся отложений, появлению частных высоких концентраций тяжелой фракции, наиболее желанных объектов для пробоотбора. Другими словами, опробование даже не базальных «висячих» частей разрезов морского апта с признаками естественного шлихования может оказаться весьма эффективным для наработки первичного материала по ареалам и составу ассоциаций ВБМ.

Информативность опорных проб, отобранных из разрезов морских альба и сеномана, напрямую зависит от положения опробованных интервалов в разрезе, при том, что фоновые содержания МИК (в единичных зернах) обнаруживаются повсеместно. Наиболее эффективен, как это и можно было предположить заранее, отбор проб из базальных горизонтов. Недоступность основания альба для опробования на многих площадях антеклизы (по причинам глубокого залегания, либо отсутствия в разрезе, как это имеет место, например, на Россошанском срединном массиве) заставляет обратить внимание на промежуточный стратиграфический раздел – рубеж между альбом и сеноманом. Он не всегда хорошо выражен, но там,

где доступен, может привести к наработке валидного материала о характере и минеральном составе ассоциаций ВБМ.

Условия морского осадконакопления в альбе-сеномане отличались от тех, что существовали в неокомском и аптском морях, где на формирование минерального состава оказала влияние субмаринная гидродинамическая активность и связанное с ней россыпеобразование, т.е. локальное многократное концентрирование тяжелой фракции в самых разных, не обязательно базальных, частях разрезов. Нехарактерность такого концентрирования для большей части региона (кроме тамбовского сектора с его сеноманскими Центральным и Кирсановским титан-циркониевыми месторождениями) не способствует получению материала об ассоциациях ВБМ альбских-сеноманских псаммитов из внебазальных песков K<sub>1-2al-s</sub> даже при резком увеличении объема проб и благоприятных горнотехнических условиях.

Наиболее «удачно» для прогнозных построений продвигался на северо-восток фронт палеогеновых трансгрессий. Чрезвычайно активные морские воды в

начале их вступления на исследованную территорию «взрыхлили», промыли, обогатили накопившийся ранее осадочного происхождения материал на протяжении 600 км от ростовской станицы Вешинской до г. Новозыбкова в Брянской области. По этой причине базальный горизонт палеогена оказался хранителем наиболее достоверной, средневзвешенной, сбалансированной информации о распределении МСА (прежде всего, кимберлитового происхождения) в осадочном чехле.

### Результаты исследований

Палеогеографические реконструкции нами всегда рассматривались как важнейший элемент при поисковых работах на алмазы. Определенный колорит в них вносила частая переменчивость областей сноса и осадконакопления, характерная для истории региона в фанерозое. В статье демонстрируются выкопировки из палеогеографических схем, построенных на основе обширных данных бурения, накопленных в фондах геологоразведочных экспедиций на территории ВА. Ниже, в соответствии с принятым историко-минералогическим принципом изложения материала, рассмотрим распространение алмаза и их минералов-спутников по разрезу осадочного чехла.

**МИК палеозойских промежуточных коллекторов.** Палеозой ВА представлен девонскими и каменноугольными отложениями. Девон развит на всей территории рассматриваемой структуры, за исключением её юго-западной части. Выходы терригенного девона в пределах ВА единичны, но значение верхнедевонскому коллектору придают большое. Многие специалисты, в т. ч. С. И. Митюхин [10], М. В. Михайлов [11], убеждены: на Воронежской антеклизе если и есть кимберлиты, то только среднепалеозойской продуктивной эпохи, к которой относятся также диатремы субпровинций Кольско-Архангельской и Вилуйской ЯАП. Поэтому так важна характеристика опробованных девонских разрезов. Неглубоко залегающие терригенные образования нижнего карбона известны в опущенном Курско-Бесединской блоке размером 3х4 км. На юго-западе, в Белгородской области, они залегают на глубинах более 400 м и пока не-

доступны для изучения.

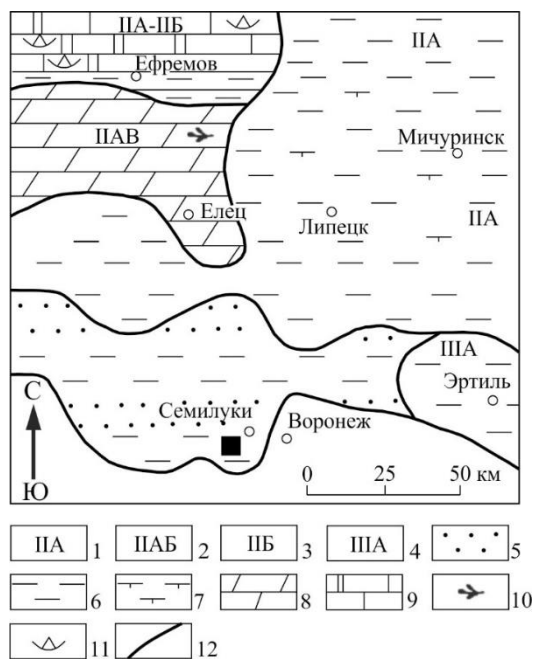
*Разрез отложений среднего девона (D<sub>2e</sub>)* в центральной части антеклизы под Курском (скв. 3741) изучен рядом авторов [12]. В тяжелой фракции конгломератов и гравелитов, залегающих в основании осадочного чехла, минералы-спутники собственно кимберлитовой минеральной ассоциации в конгломератах и гравелитах не обнаружены. Ранее некоторыми исследователями среди высобарических минералов в среднем девоне отмечались редкие зерна шпинели. Значение этих находок на данном этапе оценить нельзя.

*Разрез Семилуки (D<sub>3pt</sub>, проба 6006, массой 0.5 т).* На правом берегу Дона в черте г. Семилуки Воронежской области (овраг Больничный) расчисткой вскрыт контакт известняков семилукской свиты D<sub>3st</sub> и светло-серых разномерных песков петинской свиты D<sub>3pt</sub>. Последние имеют разнонаправленную коосу слоистость и образовались в прибрежно-морских условиях и содержат естественный шлик. Базальный горизонт песков (0.15 м) более грубозернистый, чем основная часть терригенной толщи и обогащен гравием кремня, до 3–5 мм в поперечнике. Из пробы 6006 массой 0.5 т в НПП Недр выделена тяжелая фракция – 20.3 г. Её 63.5% по массе представлено ильменитом, 13.8% магнетитом, 17.2% минеральными агрегатами. В пробе практически нет гранатов (единичные зерна только в самом тонком классе). Рентгеноспектральным анализом доказано присутствие в тяжелой фракции пикроильменита, хромовой шпинели, хромдиопсида (табл. 2).

Палеогеографические данные явно указывают на поступление сносимого материала с поднятия, расположенного южнее, на территории архейского Россошанского срединного массива (рис. 3). Псаммиты петинской свиты, формировавшиеся в гидродинамически активной среде, отвечают начальной стадии крупного петинско-ливненского тектоно-седиментационного этапа. По времени своего накопления они максимально приближены к наиболее вероятному [10] временному интервалу становления потенциально алмазоносных диатрем, которые этот исследователь предлагал искать на стратиграфическом разделе D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>.

**Табл. 2.** Химические составы МИК пробы 6006 из базальных песков петинской свиты, г. Семилуки Воронежской области. Анализы выполнены Н. Н. Кононовой, МГУ, Camebax 50-SX  
**[Table 2.** Chemical compositions of MIK samples 6006 from the basal sands of the petinsky series, Semiluki, Voronezh region. Analyzes performed by N. N. Kononova, Moscow State University, Camebax 50-SX]

№ п.п. [№ in order]	Проба [Samples]	Зерно [Grains]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего [Total]
Пикроильмениты [Picroilmenites]												
1	6006	6006/19	–	9.861	0.378	0.006	–	52.02	38.305	0.263	0.054	100.88
Хромшпинелиды [Chrome spinelids]												
2	6006	6006-24	–	11.01	9.462	–	–	5.219	37.828	0.156	34.981	98.64
Хромдиопсиды [Chromdiopsides]												
3	6006	6006-8	0.856	16.302	1.956	50.981	21.652	0.395	5.39	0.118	0.631	99.282



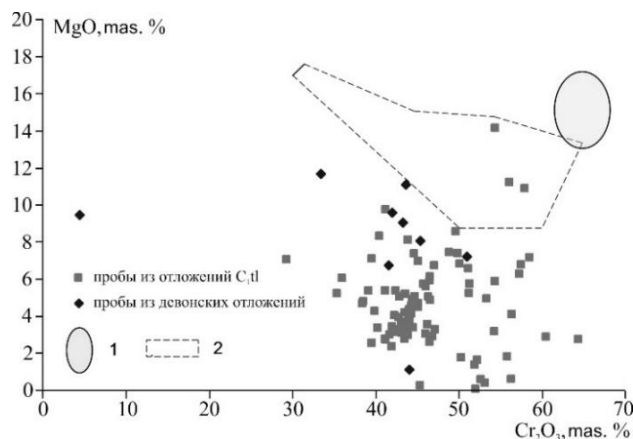
**Рис. 3.** Палеогеографическая схема для петинского времени среднего франа Воронежской антеклизы и местонахождение высокобарических минералов (указано квадратом): 1 – мелководно-морская, нормальной солёности, со слабой активностью гидродинамического режима; 2 – то же, средней и слабой, с преобладанием слабой; 3 – средней; 4 – прибрежно-морская, нормальной солёности, со слабой активностью гидродинамического режима; породы: 5 – пески крупно- и грубозернистые; 6 – глины, в т.ч. аргиллитоподобные; 7 – глины карбонатные; 8 – доломиты; 9 – известняки доломитизированные; 10 – растительные остатки; 11 – находки брахиопод; 12 – границы районов с различными палеогеографическими условиями.

[Fig. 3. Paleogeographic scheme for the petinsky time of the middle Fran of the Voronezh antecline and the location of high-baric minerals (indicated by a square): 1 – shallow marine, normal salinity, with weak activity in the hydrodynamic regime; 2 – the same, average and weak, with a predominance of low; 3 – medium; 4 – coastal-marine, normal salinity, with a weak active hydrodynamic mode; rocks: 5 – coarse and coarse-grained sands; 6 – clays, including mud-like clays; 7 – carbonate clays; 8 – dolomites; 9 – dolomitized limestones; 10 – plant remains; 11 – brachiopod finds; 12 – borders of areas with different paleogeographic conditions.]

В разрезе с. Осетровка на юго-востоке антеклизы, вскрывшим континентальную песчано-каолиновую мамонскую толщу ( $D_3fr_2-fm$ , проба 6001, 1.3 т), результаты выделения ВБМ еще скромнее. Обильный шлик (232.2 г) здесь содержал единственное угловатое зерно хромдиоксида (0.27 мм). Обращает на себя внимание весьма крупные размеры найденных пикроильменитов, в т.ч. обломков кристаллов 1.2x1.0x0.8, 1.1x0.8x0.6, 0.5x0.4x0.4 мм. То же можно сказать и о хромшпинелидах, количество знаков которых более 33. В это число попали их октаэдры размером 0.5x0.4x0.3, 0.6x0.4x0.4, 0.4x0.4x0.4 мм. К хромдиоксидам отнесены окатанное зерно 0.3x0.2x0.2 мм и обломки по 0.2x0.15x0.15 мм.

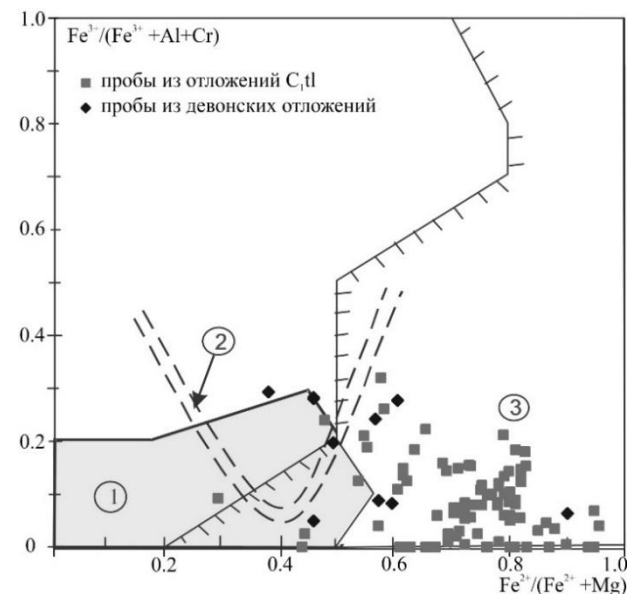
В разрезе тульского горизонта  $C_1tl$  (скв. 4) Бесединской (Курской) структуры из песков и гравелитов среди других аксессуаров проанализированы зерна

хромшпинелидов (до 64.3 мас.%  $Cr_2O_3$ ). Два анализа хромшпинелидов на диаграмме Н. В. Соболева ( $TiO_2-Cr_2O_3$  и  $Al_2O_3-Cr_2O_3$ ) попали в поле составов алмазной ассоциации. На диаграмме Фипке ( $MgO-Cr_2O_3$ ), результаты одного анализа разместились в поле алмазных кимберлитов (рис. 4). Это первая и потому особенно ценная находка из столь древней осадочной толщи региона. На диаграмме В. И. Ваганова ( $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$ ) одна точка (проба 4/198) оказалась на пересечении поля алмазных и неалмазных кимберлитов (рис. 5).



**Рис. 4.** Составы хромшпинелидов из палеозойских отложений Курской области на диаграмме Фипке: 1 – поле составов хромшпинелидов алмазной ассоциации; 2 – то же, алмазных кимберлитов [8].

[Fig. 4. The compositions of chrome spinel from the paleozoic deposits of the Kursk region in the diagram Fipke: 1 – the field of compositions of chromspinelides of the diamond association; 2 – the same, diamond-bearing kimberlites [8].]



**Рис. 5.** Составы хромшпинелидов из палеозойских отложений Курской области на диаграмме В. И. Ваганова ( $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$ ): 1 – поле составов хромшпинелидов алмазной ассоциации; 2 – тренд, неалмазных кимберлитов и лампроитов; 3 – поле неалмазных пород некимберлитовой природы [8].



[Fig. 5. Compositions of chrome spinels from Paleozoic sediments of the Kursk region on the diagram of V. I. Vaganov ( $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$ ): 1 – field composition of chrome spinels of the diamond association; 2 – trend, non-diamond-bearing kimberlites and lamproites; 3 – field of non-diamond-bearing rocks of non-kimberlite nature [8].]

Всего с помощью рентгеновского микроанализатора проанализировано 103 зерна хромшпинелидов. В результате установлено: 1 – хромшпинелиды девонских толщ имеют содержания  $Cr_2O_3$  4.5–51 мас. %. В них до 38.3% FeO, до 22.3%  $TiO_2$ ; 2 – хромшпинелиды из отложений карбона содержат 29.3–64.3 мас. %  $Cr_2O_3$ , 0.01–5%  $TiO_2$ , 7.74–29.7%  $Al_2O_3$ .

Выше мы привели материалы исследования трех важных разрезов девонских толщ, из которых только в одном (Семилуки, проба 6006 из основания отложений  $D_3pt$ ) была встречена ассоциация ВБМ – пикроильмениты, хромшпинелиды, хромдиопсиды. Псаммиты петинской свиты Семилук – это морские отложения начальной стадии крупного петинско-ливненского тектоно-седиментационного этапа, формировавшиеся в гидродинамически активной среде. По времени своего накопления они максимально приближены к наиболее вероятному временному интервалу становления потенциально алмазоносных диатрем Якутской и Архангельской провинций. Можно было бы ожидать, что ассоциация ВБМ петинской свиты Семилук будет полнее, более схожей с той, что обнаружилась, например, в альбских песках разреза Верхне-Турово, недалеко от Семилук (в пробе 6005), т.е. содержать, если не алмазы, то хотя бы пиропы. Но – их нет ни в девонских псаммитах Семилук, ни в девоне Осетровки, ни в детально исследованных другими исполнителями вулканогенно-осадочных толщах ястребовского горизонта ( $D_3js$ ) [13, 14]. Следовательно, перспективы открытия кимберлитовых (лампроитовых) диатрем в палеозое в рассматриваемом регионе крайне проблематичны.

**Алмазы и МСА мезозойских промежуточных коллекторов.** Мезозойские промежуточные коллекторы в пределах Воронежской антеклизы (ВА) наиболее хорошо опробованы. Это объясняется хорошей доступностью отложений, а также широким распространением терригенных пород, благоприятных для концентрации МИК [15]. Нами на территории ВА выявлено десятки пунктов, содержащих алмазы, пиропы, хромшпинелиды, пикроильмениты и хромдиопсиды.

**Юрские разрезы.** В тридцатикилометровой зоне в центральной части антеклизы, разделившей области распространения девонских и каменноугольных отложений разных склонов, отложения юры выполняют долины, вытянутые на северо-запад. На территории КМА породы юры могут залегать на докембрийском основании, тем самым, оказываясь *первичным* коллектором для МИК. В Липецкой области, где юрские толщи перекрывают фаменские известняки, они считаются наиболее информативным промежуточным коллектором. Проблема, однако, в том, что их выходы, доступные для изучения и подходящие по гранулометрии, единичны.

В северо-восточной стенке Михайловского карьера

под г. Железногорском Курской области вскрыто основание байосских-нижнебатских прибрежно-морских тонких песков с редкой галькой кремня. Мощность базальных псаммитов в углублениях кровли железистых кварцитов доходит до 0.3 м. Из разнозернистых песков батского яруса были выделены микрокристаллы алмаза [15]. Они обнаружены в 5 образцах отобранных по керну скважин и из одной пробы из уступа восточного борта карьера. Количество мелких алмазов в изученных образцах составляет от 1 до 29 знаков, всего выделено 39 зерен. В пробе 5198 встречен один обломок фиолетового пироба  $0.5 \times 0.2 \times 0.1$  мм, редкие зерна пикроильменита (?). Поступили они в морской бассейн из области суши, занимавшей в байосе и раннем бате всю центральную часть антеклизы.

В районе г. Курска МИК найдены в песчаных отложениях келловя (скв. 5). Из пробы весом 8 кг было получено одно зерно хромшпинелида, размером 0.25 мм. Оно представлено гладкогранным комбинационным кристаллом, для которого характерна гипергенно-механогенная поверхность. Содержания основных оксидов составляет (мас. %):  $Cr_2O_3$  – 57.29,  $Al_2O_3$  – 6.26,  $TiO_2$  – 0.06.

На северо-востоке антеклизы (Тамбовская область) в юрских отложениях келловя из пробы 102/91 (скв. 102) выделено 27 знаков хромшпинелидов. Они характеризуются близкой степенью окатанности (2–3 класс) и однотипной поверхностью с признаками гипергенного преобразования. Содержание  $Cr_2O_3$  варьирует от 46.5 до 56.66,  $Al_2O_3$  от 7.31 до 10.03,  $TiO_2$  от 0.28 до 0.61 мас. %.

**Разрезы неокома.** Меловые терригенные толщи доступны для опробования преимущественно центральной и северной частях ВА. Поэтому большинство «меловых» опорных проб оказалось в Липецкой, Курской, Тамбовской и северной половине Воронежской областей. Лишь по одному меловому разрезу удалось обнаружить на юге Воронежской области (сеноман Осетровки) и в Белгородском секторе (альб Лебединского карьера).

Подходящие по петрографическому составу разрезы неокома обнаружены в Липецкой области у сел Ренёвка (Становлянский) и Нижняя Колыбелька (Хлевенский районы). Оба оказались с характерным комплексом МСА.

В небольшом карьере на окраине села Ренёвка (обнажение 309,  $K_{1g-b}$ , проба 7013, 1 м<sup>3</sup>) вскрыт контакт фаменских известняков с глинами и песками мезозоя. Из неокотской части разреза извлечены пиропы – 9 зерен, хромшпинелиды – 30 зерен, хромдиопсид (1 зерно размером до 0.25 мм). Преобладающей окраской пиропов является фиолетовая, таких зерен 7, по одному зерну красновато-оранжевого и красновато-розового цвета. Фиолетовые зерна окатаны в различной степени, в основном незначительно (1 класс окатанности). Одно фиолетовое зерно представлено кубоидом растворения, размером 0.1–0.15 мм. Красно-оранжевый и красно-розовый пиропы имеют размер до 0.7 мм, для них характерна неправильная угловатая форма. Количество  $Cr_2O_3$  в изученных пиробах колеблется от 1.63 до 7.49 мас. %, MgO – 18.38–20.67 %, CaO – 4.46–6.66 %. Химические составы некоторых гранатов Реневки приведены в табл. 3.

**Табл. 3.** Химические составы гранатов из неокома с. Реневка, Становлянский район Липецкой области (проба 7013). Анализы выполнены в МГУ, Camebax SX-50, исполнитель Н. Н. Кононова  
**[Table 3.** Chemical compositions of garnet from neocom Renevka, Stanovlyansky district of the Lipetsk region (sample 7013). Analyzes performed at Moscow State University, Camebax SX-50, analyst N. N. Kononova]

№ п.п. [№ in order]	Проба [Samples]	Зерно [Grains]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего [Total]
Пиропы [Pyrope]												
1	7013	41	–	20.67	22.9	41.87	4.46	–	7.9	0.42	2.21	99.85
2	7013	40	0.03	19.34	22.62	41.2	4.85	0.04	8.82	0.4	1.63	98.94
Пироп-альмандины [Pyrope-almandine]												
3	7013	39	0.01	18.38	17.33	40.4	6.66	0.11	8.03	0.37	7.49	98.78
4	7013	42	–	10.27	22.28	38.31	1.46	0.04	26.68	0.3	0.07	99.41

Хромшпинелиды представлены октаэдрами средней степени окатанности (2–3 класса) со сглаженными ребрами и вершинами, 4 знака имеют размер – 0.5–0.65 мм, 11 – 0.3–0.45 мм, 15 – 0.15–0.25 мм. Встречены два зерна с хорошо выраженными гранями и заостренными ребрами.

В разрезе Нижняя Колыбелька пески, как и в Реневке, прибрежно-морские, но в точке опробования они накапливались существенно ближе к южной области размыва. Это сказалось на результатах. Вещество пробы 9 (объем 1 м<sup>3</sup>, 2100 кг) содержало рекордное количество тяжелой фракции – 4.95%, в два с половиной раза больше чем в опробованной ранее верхней залежи аптской титан-циркониевой россыпи Волчинской. Из пробы 9 извлечены три зерна алмаза. Один представлен сложной искаженной комбинацией форм (0.196 x 0.182 мм), второе – неправильно-угловатый осколок с серым нацветом (0.28 x 0.18 мм), третье – неправильно-угловатый бесцветный осколок кристалла (0.236 x 0.308 мм). Здесь же встречаются по зерну пикроильменита (?) и хромдиоксида.

*Аптские разрезы.* Старые находки алмаза Липецкой области происходили из единственной точки – мелководно-морской титан-циркониевой россыпи у с. Волжье Добринского района (см. рис. 2, №1). Они были повторены научной группой ВГУ, получившей из россыпи «новую волчинскую коллекцию» – 79 зерен (рис. 6). Обращает на себя внимание то, что часть алмазов крупнее доминирующей размерности вмещающих песков (98% в классе –0.25+0.1 мм и 1.57% в классе –0.1 мм). Спутники обнаружены не были, как и при первом изучении алмазоносности разреза И. Ф. Кашкаровым и Ю. А. Полкановым в 1969 г. Все находки из Волчинской россыпи подробно описаны в работе [7], здесь лишь отметим присутствие красного алмаза, особо ценной разновидности, известной для лампроитов Аргайл (Argyle). В последних доля их относится к прочим разновидностям алмаза как один к миллиону [16].

Аптский век на северном склоне антеклизы (рис. 7) отличался переменчивым гидродинамическим режимом мелководно-морской зоны. Мощные придонные течения вели к перемию накопившихся осадков, появлению частных высоких концентраций тяжелой фракции, наиболее перспективных для отбора проб. Эффективным оказалось изучение не только базальных, но и

более доступных внутриформационных частей разрезов с признаками естественного шлихования.

Опробование прослоя с темноцветными минералами в балластном карьере г. Лев Толстой (см. рис. 2, точка 4) привело к обнаружению в тяжелой фракции 7 зерен алмаза, аналогичных по морфологии и размерности Волчинской россыпи. Отсюда был извлечено и наиболее крупное зерно из найденных на антеклизе в аптском коллекторе. Это неправильный клиновидный обломок размером 0.42 x 0.2 мм, бесцветный и прозрачный, с поверхностью от гладкой до неровной.

Уменьшение содержаний полезного компонента от с. Волчьего в северном направлении, редкость в шлихах МСА, потребовало для приближения к коренному источнику смещения опробования от зоны мелководно-морской в прибрежно-морскую. Обнаружение алмазов в псаммитах последней рассматривалось как важное промежуточное достижение и движение в правильном направлении.

Из пробы 2 (Кудияровка-2) в НПП «Недра» выделены зерна пироба (1), пикроильменита (15), хромшпинели (4), хромдиоксида (2) и зерно алмаза – бесцветное, полупрозрачная сложная комбинация куба и ромбоэдра размером 0.21x0.21 мм. Рентгеноспектральные анализы гранатов из этой пробы приведены в табл. 4.

Пиропы, притом алмазной субфации, были обнаружены при изучении другого разреза аптских псаммитов прибрежно-морской зоны – Медведино (см. рис. 2). В пробе 7012 (2 т) содержалось 0.01% тяжелой фракции в классе –0.5+0.1 мм, т.е. около 200 г. Отсюда извлекли, помимо пикроильменита, три зерна пиропов, в т. ч. фиолетовое (0.3x0.2 мм), фиолетово-розовое (0.25x0.2 мм), красновато-оранжевое (0.7x0.3 мм). Два первых угловато-окатанные, со сглаженными ребрами и углами. Фиолетовое зерно кубовидное, с выпуклыми мелкошагреневыми поверхностями. Фиолетово-розовое выделялось ямчатой скульптурной поверхностью с одной стороны и бороздчатой с другой. Красновато-оранжевый знак размером 0.7x0.3 мм был удлинненным, угловато-окатанным, с мелкошагреневой поверхностью. Одно из них отвечало пиропу не только по показателю преломления 1.753, но и очень высоким содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13.25%, с повышенным значением для MgO – 18.87%.



Дросково (8), Сорочьи Кусты (9), Барково (10), Гнездилово (11), Солдатское (К<sub>1-2</sub>al-s, 12), Хохольский (13), Стрелица-Ближняя (14), Медведево, Ренёвка (15), Чёлкино (16). 1 – мелководно-морская, нормальной солёности, со слабой активностью гидродинамического режима; 2 – то же, средней и слабой, с преобладанием слабой; 3 – средней и слабой, с преобладанием средней; 4 – средней; 5 – прибрежно-морская, нормальной солёности, со слабой активностью гидродинамического режима; 6 – то же, средней; 7 – то же, высокой; 8 – озёрно-болотная; 9 – аллювиальная (нерасчлененная); 10 – аллювиальная русловая; 11 – аллювиальная пойменная и старичная; породы: 12 – пески крупно- и грубозернистые; 13 – пески разнозернистые, от мелко- до крупнозернистых; 14 – пески от тонко- до среднезернистых; 15 – глины, в т.ч. аргиллитоподобные; 16 – слюды; 17 – растительные остатки; 18 – границы районов с различными палеогеографическими условиями.

[Fig. 7. Paleogeographic diagram of the Aptian age showing the finds of high-baric minerals (square) and diamonds (triangle) in the lower Cretaceous strata. Numbers indicate the locations of high-baric minerals in the lower Cretaceous strata: Volchinskoe (1), kudiyarovka-2 (2), Sentsovo (3), Lev Tolstoy (4), Nizhnyaya Cradle (K<sub>1g-b</sub>, 5), Zakharovka (6), Gnilusha (7), Droskovo (8), Sorochy Bushes (9), Barkovo (10), Gnezdilovo (11), Soldatskoe (K<sub>1-2</sub>al-s, 12), Khokholsky (13), Strelitsa-Blizhnyaya (14), Medvedevo, renevka (15), Chelkino (16). 1 – shallow marine, normal salinity, with weak activity in the hydrodynamic regime; 2 – the same, average and weak, with a predominance of low; 3 – medium; and weak, with a predominance of medium; 4 – medium; 5 – coastal-marine, normal salinity, with a weak active hydrodynamic mode; 6 – the same, medium; 7 – the same, high; 8 – lake-marsh; 9 – alluvial (undivided); 10 – alluvial riverbed; 11 – alluvial floodplain and old age; rocks: 12 – coarse and coarse-grained sands; 13 – multi-grained sands, from fine to coarse-grained; 14 – fine-to medium-grained sands; 15 – clays, including mud-like clays; 16 – micas; 17 – plant remains; 18 – borders of areas with different paleogeographic conditions.]

**Табл. 4.** Химические составы гранатов из аптского разреза Кудияровка-2, Измалковский район Липецкой области (проба 2). Рентгеноспектральные анализы выполнены в МГУ, Camebax 50-SX, исполнитель Н.Н. Кононова

[Table 4. Chemical compositions of pomegranates from the Aptian section Kudiyarovka-2, Izmailkovsky district of the Lipetsk region (sample 2). X-ray spectral analyzes were performed at Moscow State University, Camebax 50-SX, analyst N. N. Kononova]

№ п.п. [№ in order]	Зерно [Grains]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего [Total]
Альмандин-пиропы [Almandin-Pyrope]											
1	46	–	3.161	20.67	36.735	5.187	0.03	31.507	0.485	0.011	97.786
2	47	0.054	2.76	20.886	36.88	7.338	0.064	30.12	1.091	0.016	99.317

В разрезе Андреевка (Касторненский район Курской области) в песках аптского яруса было обнаружено 42 знака алмазов. Для них характерен небольшой размер 0.05–0.25 мм, преобладающий цвет зеленовато-серый и серовато-зеленый. В пробе преобладают октаэдр и кубы, характерны поликристаллические сростки.

Южнее Нижней Колыбелки аптские толщи были уже только континентальными, накопившимися в пределах аллювиальной равнины. Среди них выделяются интервалы, сложенные песками русловыми крупнозернистыми, иногда гравийными (разрезы Латненского месторождения огнеупорных глин и Белгородской области). В п. Хохольский действует цех ОАО «Воронежжудоуправление», получающий мокрым ситованием аптских грубых псаммитов гравий-наполнителей для бетона. Хвосты сепарации обогащены тяжелой фракцией, темноцветный шлик скапливается в ложбинках на пути сбрасываемых вод. В нем немало циркона, минералов титана, обнаружены знаки золота, но – из высокобарической группы присутствуют только единичные знаки предполагаемого пикроильменита. То же характерно и для основания континентального апта карьеров Стрелицы. Бедность ассоциации высокобарических минералов могла быть объяснена ограниченностью области сноса, вообще характерной для аллювиальных толщ, но также и своеобразием минерального состава коренного источника. Известно, лампроиты Западной Австралии, содержащие красные алмазы, имеют иной набор аксессуарных минералов нежели классические кимберлиты якутские или южноафри-

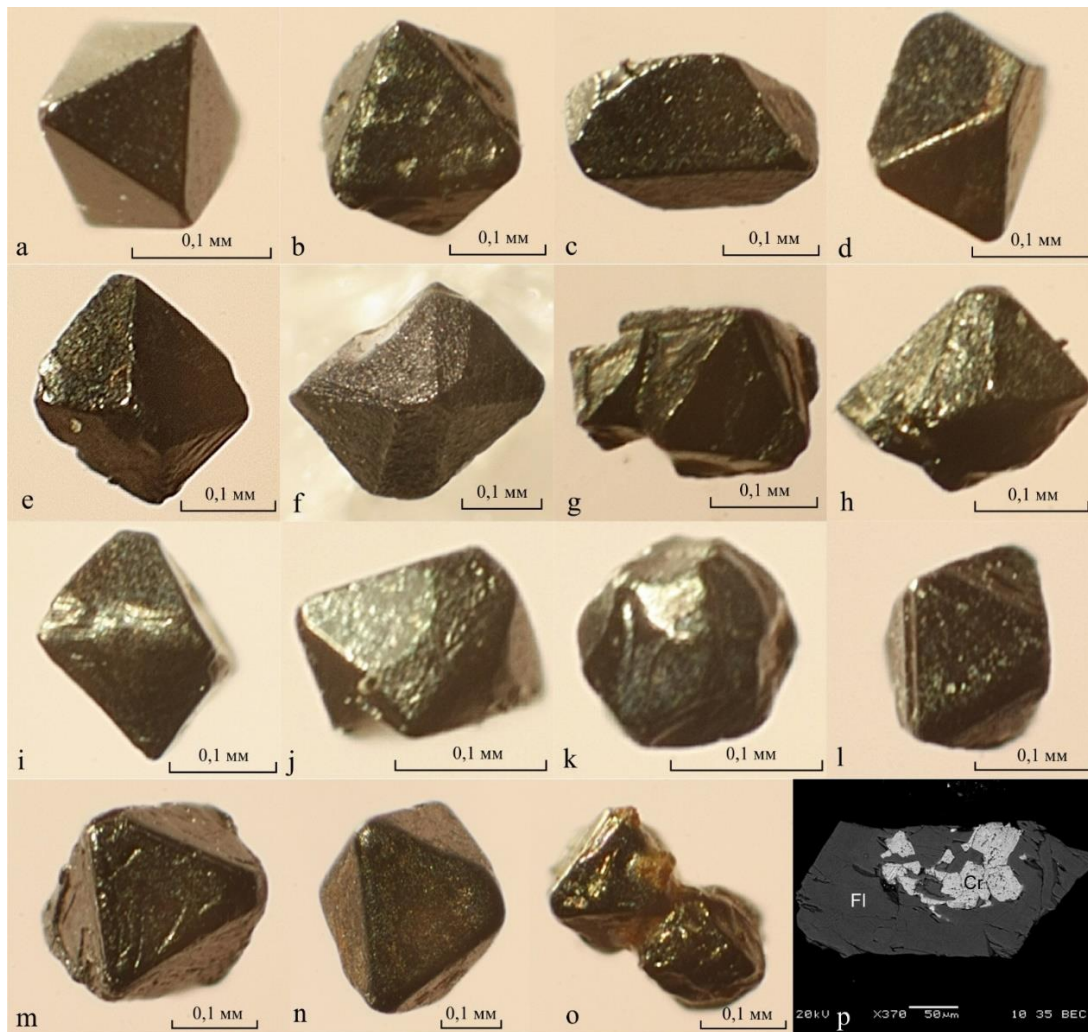
канские. В породах диатремы Аргайл (Argyle) пиропы очень редки, а спутниками алмазов являются сфен, анатаз, рутил, прайдерит и прочие титанаты, манганильменит, сульфиды никеля, меди, железа. Ксеногенными считают магнезиохромит, альмандин, хромдиопсид, ортопироксен. Пикроильменита нет совершенно [17, с. 30, 31].

В ряде разрезов (см. рис. 2, т.н. 62, 65, 77 и 80, Липецкая и Воронежская области) количество хромшпинелидов достигает нескольких тысяч знаков на пробу объемом 20 литров. Хромшпинелиды представлены кристаллами октаэдрического облика, характерны искаженные кристаллы (рис. 8).

В разрезе выделены хромшпинелиды «мантийного» типа, представленные мироэдрическими кристаллами и октаэдрами с винициальными гранями. По своему химическому составу часть зерен (от 8 до 32%) на диаграмме Н. В. Соболева попадает в поле составов алмазной ассоциации (рис. 9). Помимо хромшпинелидов в данных разрезах обнаружен флогопит в количестве от 1 до 4 знаков на пробу. По своему химическому составу флогопит характеризуется высоким содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (преобладает истонитовый минал). В одном зерне встречены многочисленные включения зерен хромшпинелидов.

Ассоциации высокобарических минералов липецкого апта характеризуют коренной источник северо-востока Воронежской, скорее, не лампроитовый, а относящимся к типу «кимберлитов-лампроитов» в понимании [18]. Они бедны традиционными МСА и аналогичны продуктивным образованиям Зимнего Берега и





**Рис. 8.** Морфологические особенности МИК (т.н. 80): *a-k* – кристаллы хромшпинелидов, т.н. 80; *l-o* – хромшпинелиды, т.н. 65; *p* – флогопит с включениями хромшпинелидов, т.н. 77.

**[Fig. 8.** Morphological features of MCK (watchpoint 80): *a-k* – crystals of chrome spinels, watchpoint 80; *l-o* – chrome spinels, watchpoint 65; *p* – phlogopite with inclusions of chrome spinels, watchpoint 77.]

североиндийского поля Панна (Panna) в штате Мадхья-Прадеш.

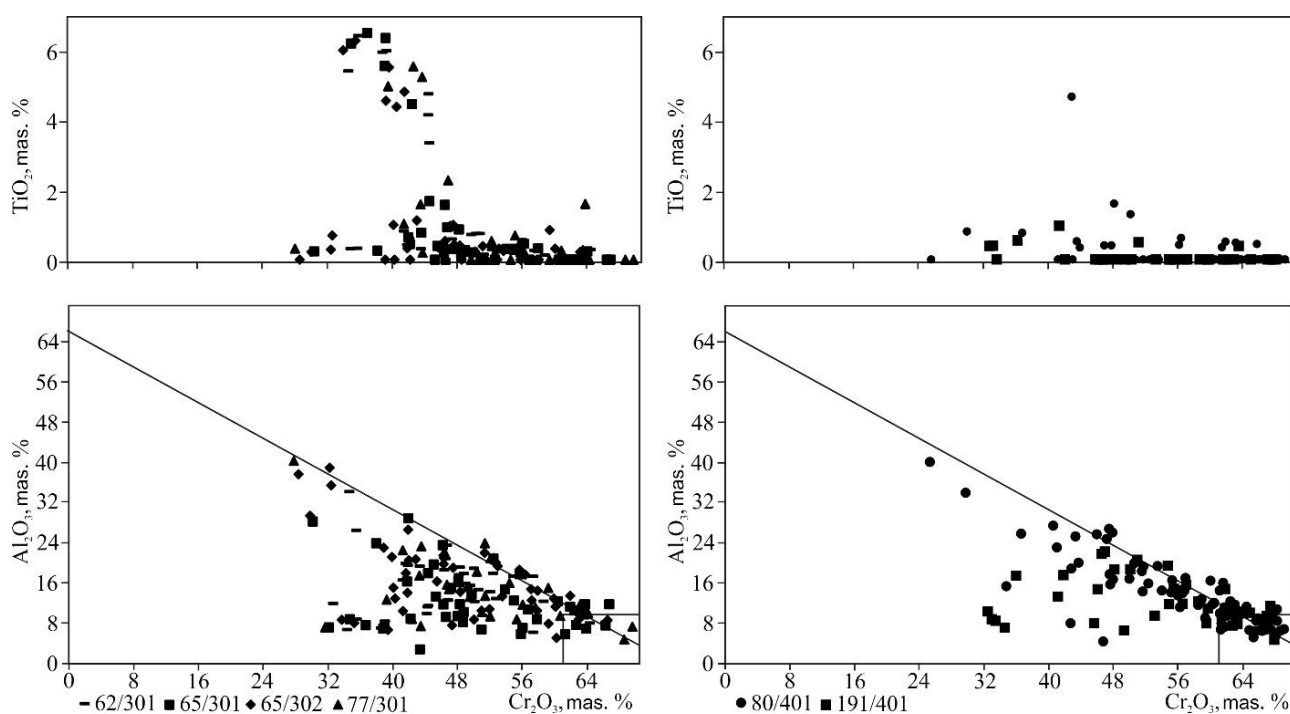
*Альбские разрезы.* Отложения альбского яруса (рис. 10) широко представлены по периферии Россшанского поднятия (Воронежская область) и на Олымском массиве (Орловская, Курская, Липецкая области). Альбский коллектор является продуктивным на обнаружение МИК [15]. Мелкие алмазы в нем извлечены из карьеров Успенка, Боево и Воронья Гора. Первый находится в Касторненском, второй – Золотухинском, третий – Фатежском районах Курской области. В первом выделено 7, во втором 3, в третьем 102 мелких алмазов (от 0.02 до 32 мм), представленных октаэдрами, кубами и их комбинациями, реже встречаются ромбодоэдра. В карьере Воронья Гора преобладают поликристаллические сростки. Кристаллы серовато-зеленоватого, реже желтоватого, серовато-голубоватого цветов и бесцветные.

На северо-западе региона в песках альба выявлено большое количество МИК [15]. Так в т.н. 406 – 158 пиропов, т.н. 410 их 14, в т.н. 519 – 5. Средний размер

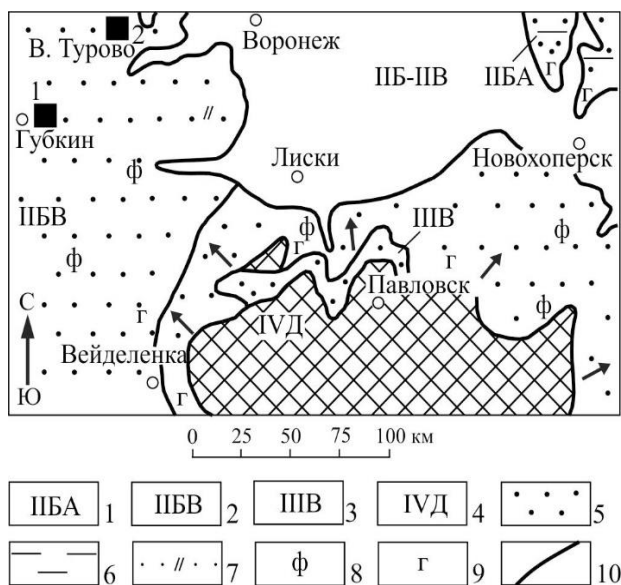
зерен 0.25–0.5 мм, они угловатые, угловато-окатанные и окатанные, окрашены фиолетовый и малиновый, реже оранжево-красный цвет (рис. 11). По степени сохранности пиропы представлены угловатыми, угловато-окатанными и окатанными обломками, целые зерна и осколки редки. В них  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  от 1.14 до 11.62,  $\text{CaO}$  от 1.7 до 8.38 мас. %. Характерна пониженная же лезистость пиропов, не более 12.76 мас. %, у некоторых из них повышены содержания  $\text{NaO}$  до 0.07 мас. %, что типично для гранатов из алмазоносных эклогитов [19, 20].

Кроме пиропов отмечаются хромшпинелиды, в пробах 406/304 – 344 знака, 410/307 – 15, 519/401 – 43 [15]. Размер зерен обычно 0.15–0.3 мм, они представлены октаэдрами с притупленными ребрами и вершинами. Присутствуют кристаллы, форма которых отклоняется от октаэдрической [21]. Такие морфологические типы принадлежат к мантийным и характерны для кимберлитов. Количество  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляет от 29.7 до 66.3 мас. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 5.29 до 37.81 %.

На юго-востоке антеклизы в осадочных толщах



**Рис. 9.** Особенности состава хромшпинелидов в координатах  $TiO_2$ - $Cr_2O_3$  и  $Al_2O_3$ - $Cr_2O_3$  (диаграмма Н. В. Соболева).  
**[Fig. 9.** Features of the composition of chrome spinels in the coordinates  $TiO_2$ - $Cr_2O_3$  and  $Al_2O_3$ - $Cr_2O_3$  (diagram of N. V. Sobolev).]



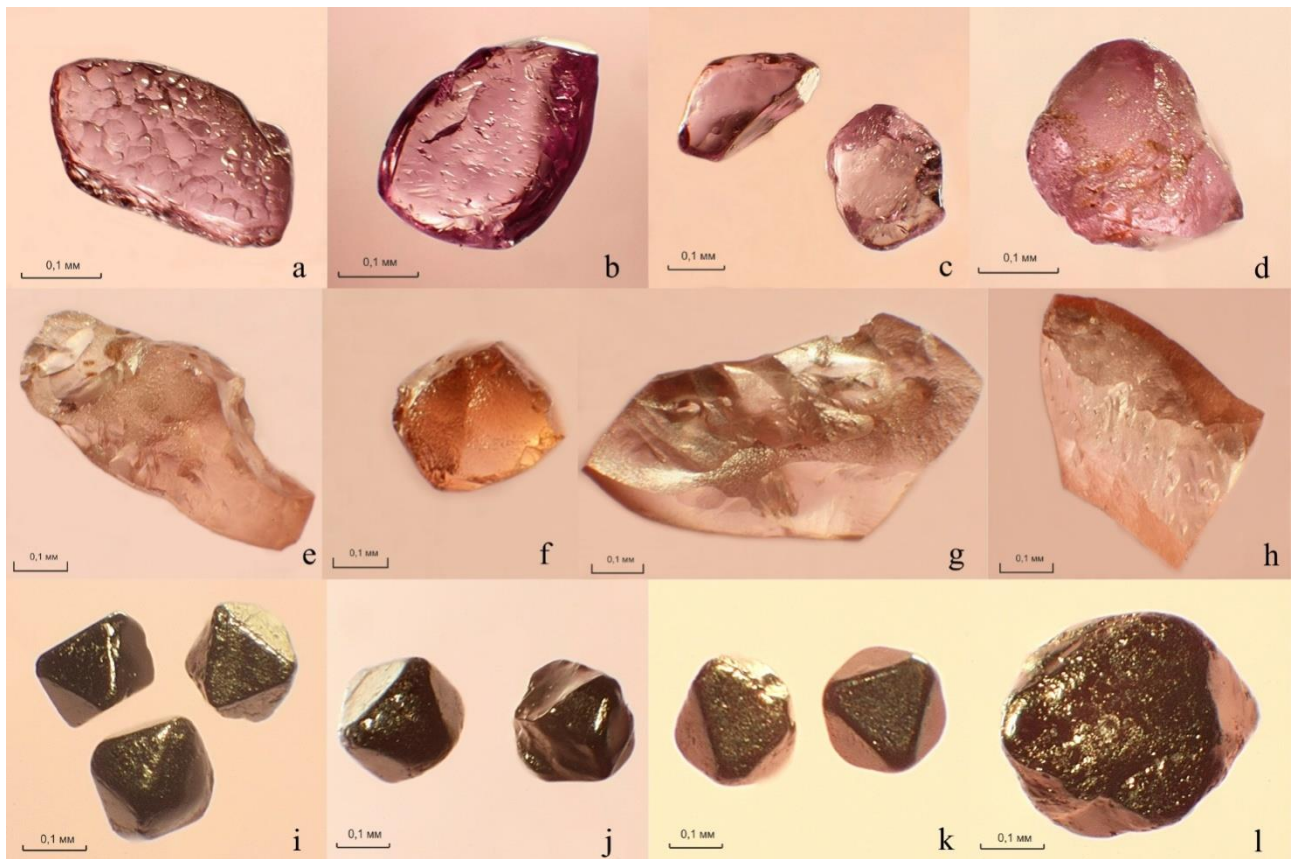
**Рис. 10.** Палеогеографическая схема альбского века для южной части Воронежской антеклизы: 1 – мелководно-морская, нормальной солёности, со средней и слабой, с преобладанием средней активностью гидродинамического режима; 2 – средней и высокой, с преобладанием средней; 3 – прибрежно-морская, нормальной солёности, с высокой активностью гидродинамического режима; 4 – обширных заболоченных озёр и мелководных опреснённых лагун; породы: 5 – пески крупно- и грубозернистые; 6 – глины, в т.ч. аргиллитоподобные; 7 – слюды; 8 – фосфоритов; 9 – примесь глауконита; 10 – границы районов с различными палеогеографическими условиями.

**[Fig. 10.** Paleogeographic scheme of the albian age for the southern part of the Voronezh anticline: 1 – shallow marine, normal salinity, with medium, and weak, with a predominance of medium activity in the hydrodynamic regime; 2 – medium to high, with a predominance of medium; 3 – coastal-marine, normal salinity, with high activity in the hydrodynamic regime; 4 – extensive swampy lakes and shallow desalinated lagoons; rocks: 5 – coarse and coarse-grained sands; 6 – clays, including mud-like clays; 7 – micas; 8 – phosphorites; 9 – glauconite admixture; 10 – borders of areas with different paleogeographic conditions.]

Воронежской и восточной части Белгородской области ассоциации минералов-индикаторов отличны от липецких. В Лебединском карьере у г. Губкина опробовались базальный горизонт альбских псаммитов. Из тяжелой фракции пробы 5152 извлечены пиропы и пикроильмениты (ильмениты с содержанием  $MgO > 1\%$ ). Пиропов встречено 23 угловатых обломка, в т.ч.: 4 – фиолетово-розовых, 1 – бледно-фиолетово-розовое, 18 – от бледно-фиолетовых до темно-фиолетовых. Последняя цветовая («чернильная») разность представлена одним зерном. Размеры меняются от 0.4 до 0.9 мм, преобладающий – 0.5–0.7 мм. Результаты

рентгеноспектрального анализа пиропов приводим в табл. 5.

Альбские псаммиты Лебединского карьера относятся к отложениям мелководно-морской зоны, сформировавшимся в условиях среднего и активного гидродинамических режимов. В 60 км юго-восточной они переходят в гравийно-галечные пески прибрежно-морской зоны, а еще в 40 юго-восточной начинается обширное пространство альбской суши. Принципиально важно, что выступ ее, наиболее приближенный к пиропоносному разрезу, отвечает погребённому архейскому Россошанскому срединному массиву.



**Рис. 11.** Морфологические особенности пиропов и хромшпинелидов: *a-h* – пиропы с гипергенной и гипергенно-механогенной поверхностью; *i-l* – хромшпинелиды.

**[Fig. 11.** Morphological features of pyrope and chrome spinelides: *a-h* – pyrope with a hypergenic and hypergenic-mechanogenic surface; *i-l* – chrome spinels.]

**Табл. 5.** Химические составы пироп-альмандинов и альмандин-пиропов (%) из основания альбского разреза Лебединского железорудного карьера Белгородской области. Анализы выполнены в ЯНИГП (1-6, лаборатория «Саха»), МГУ, Camebax SX-50, исполнитель Н. Н. Кононова (7-11)

**[Table 5.** Chemical compositions of pyrope-almandin and almandine-pyrope (%) from the base of the albian section of the Lebedinsky iron ore quarry in the Belgorod region. The analyzes were performed at YANIGP (1-6, «Sakha» Laboratory), Moscow State University, Camebax SX-50, performer N. N. Kononova (7-11)]

№ п.п. [№ in order]	Цвет [Colour]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего [Total]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пироп-альмандины [Pyrope-almandine]											
1	Сиреневый [Purple]	0.04	20.15	20.93	42.14	4.69	0.19	7.52	0.33	2.24	98.23
2	Сиреневый [Purple]	0.04	19.42	22.14	42.22	4.6	0.06	8.62	0.4	1.31	98.8
3	Темно-сиреневый [Dark purple]	0.03	19.42	14.3	39.98	6.43	0.38	5.89	0.34	10.78	97.55
4	Сиреневый [Purple]	–	20.9	21.02	41.83	5.16	0.03	7.66	0.36	1.84	98.8
5	Сиреневый [Purple]	–	21.29	20.90	40.88	4.78	0.01	7.96	0.44	2.54	98.8
6	Сиреневый [Purple]	–	20.24	20.83	40.74	5.22	0.11	8.25	0.46	2.36	98.22
7	Сиреневый [Purple]	–	19.82	20.75	42.04	5.7	0.05	8.24	0.58	2.34	99.51

Продолжение Табл. 5  
[Continued Table 5]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Альмандин-пиропы [Almandin-Pyrope]											
8	Оранжевый [Orange]	–	2.16	19.27	36.83	10.53	0.06	28.69	0.66	0	98.19
9	Оранжевый [Orange]	0.02	3.44	20.57	37.44	5.76	0.04	26.02	4.2	0	97.48
10	Оранжевый [Orange]	0.02	6.86	21.74	37.33	3.64	0.04	21.61	6.8	0.01	98.03
11	Оранжевый [Orange]	0.01	1.87	20.92	37.88	8.91	0.05	23.5	5.79	0	98.94

Близкая, но обедненная ассоциация высокобарических минералов характеризует контакт аптских и альбских псаммитов, вскрытый расчисткой у с. Верхне-Турово, Нижнедевицкий район на северо-западе Воронежской области (см. рис. 2, K1a1, проба 6005).

Небольшой песчаный карьер на восточной окраине с. Верхне-Турово, в 50 метрах северней автодороги Воронеж-Курск, разрабатывает подмеловую толщу. В пробе из неё (6005) в НПП «Недра» (г. Симферополь) выделено 3.0 г тяжелой фракции, в т.ч. по классам (г): –4+2 мм – 0.4; –2+1 мм – 0.1; –1+0.5 мм – 0.4; –0.5+0.25 – 0.4, –0.25+0.1 – 1.7.

Отсюда извлечены три пиропы, два зерна хромшпинелидов, предполагаемые пикроильмениты. Одно из зерен пиропов фиолетовое неправильной формы, с

участком бугорчатой поверхности размером 1.0x0.6x0.5 мм. Другой знак пиропов – прямоугольная выколка, угловатый, бледно фиолетовый, 0.3x0.25x0.2 мм.

Третье зерно – уплощенное, угловатое, с раковистым изломом, бледно фиолетовое, размером 0.15x0.15x0.1 мм. Хромшпинелиды представлены двумя октаэдрами. Один из них, черный, с полуметаллическим блеском, размером 0.3x0.25x0.2 мм, имеет несколько искаженную форму, сглаженные ребра. Второй октаэдр тоже сглаженный, буровато-черный, размером 0.2x0.15x0.15 мм.

Из пробы извлечены также три весьма крупных зерна ильменита размерностью 4x4x2 мм. Результаты рентгеноспектрального анализа МСА приведены в табл. 6.

**Табл. 6.** Химический состав минералов-спутников пробы 6005 (Верхне-Турово, Нижнедевицкий район Воронежской области). По результатам рентгеноспектрального анализа, выполненного в МГУ, CAMEBAX SX-50, исполнитель Н. Н. Кононова

[Table 6. The chemical composition of the mineral companion sample 6005 (Verkhne-Turovo, Nizhnedevitsky district of Voronezh region). According to the results of X-ray spectral analysis performed at Moscow State University, CAMEBAX SX-50, performer N. N. Kononova]

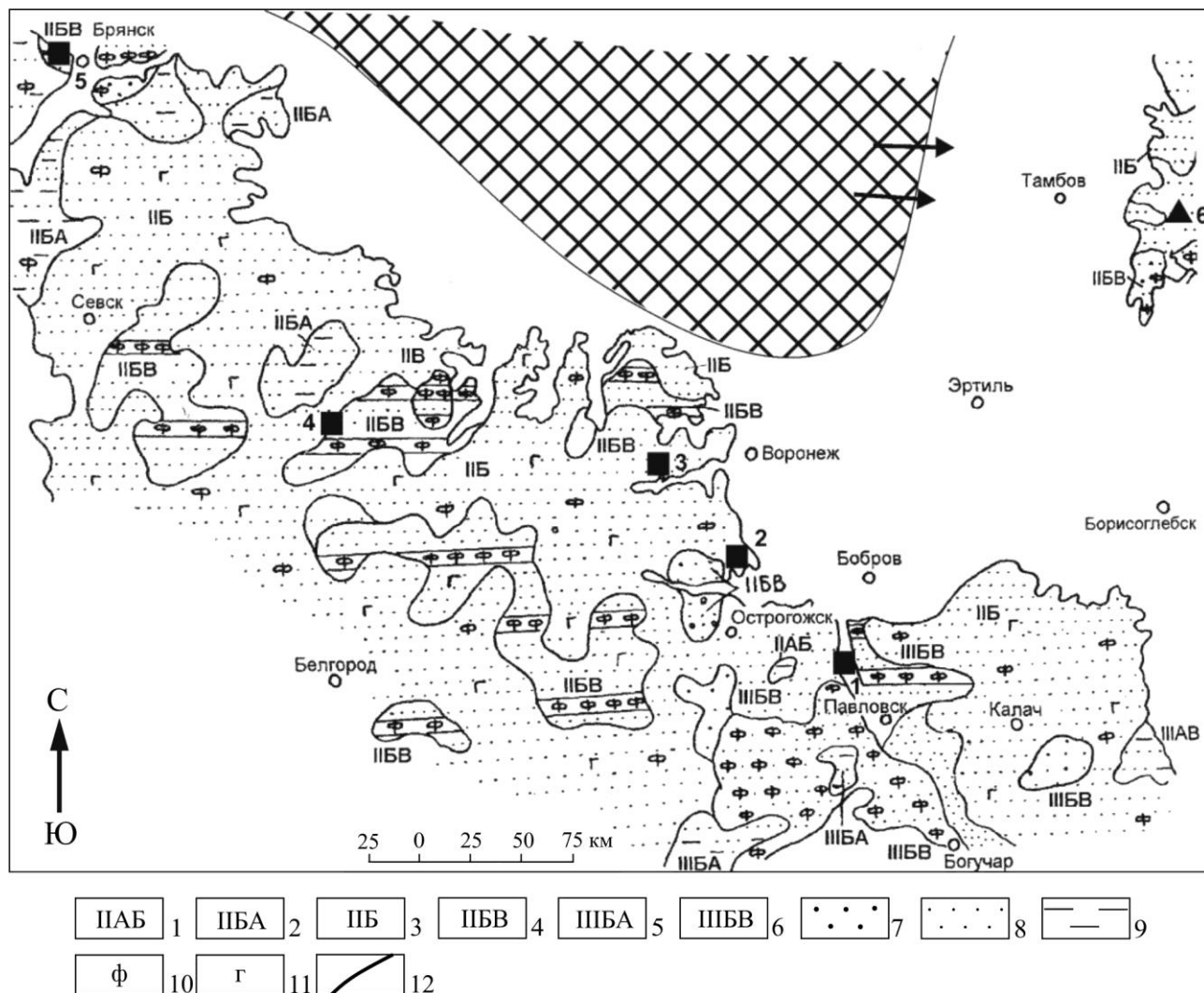
№ п.п. [№ in order]	Зерна [Grains]	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Всего [Total]
Пиропы [Pyrope]											
1	6005/1-20	0.019	21.857	17.717	40.477	5.573	0.115	6.991	0.318	7.012	100.079
2	6005/2-21	–	20.885	21.53	41.091	4.964	0.045	9.405	0.424	1.628	99.973
3	6005/2-22	0.028	21.038	20.942	40.82	5.611	–	7.705	0.46	2.841	99.444
Хромшпинелиды [Chrome spinelids]											
4	6005-30	–	4.633	9.356	0.674	–	3.826	30.318	0.266	43.7	92.774
5	6005-29	–	9.856	6.222	–	0.99	5.942	42.66	0.238	34.776	100.684
Пикроильмениты [Picroilmenites]											
6	6005-27	–	7.756	0.489	0.017	–	46.267	43.462	0.309	0.46	98.86
7	6005-28	–	5.165	0.378	0.019	–	49.083	44.107	0.319	0.012	99.191
8	6005/15-26	–	4.88	0.287	–	11.14	48.1	45.84	0.4	0.105	99.622

**Сеноманские отложения** представлены мелкозернистыми глауконит-кварцевыми песками с фосфоридами и опробованы на МИК всего в шести пунктах.

Сеноманские отложения в регионе объединяют с альбскими в единую брянскую серию. В юго-восточных разрезах сеноман стратиграфически индивидуализирован, так как налагает непосредственно на палеозой

**(Шкурлат, Осетровка).** При сравнении рис. 10. и 12 заметно; области размыва альба и сеномана на востоке антеклизы поменялись местами. В этом причина, отчего ассоциации минералов спутников Севера и Юга принципиально различаются: они происходят из различных пространственно разобщенных коренных источников.





**Рис. 12.** Палеогеографическая схема для сеноманского века Воронежской антеклизы. Область суши заштрихована, направления сноса указаны стрелками. Местонахождения алмазов (треугольник) и высокобарических минералов (квадрат), в т.ч.; Котовка (1), Болдыревка (2), Нижнедевицк (3), Свобода (4), Полпино (5), Центральное месторождение (6): 1 – мелководно-морская, нормальной солёности, со средней и слабой, с преобладанием слабой активностью гидродинамического режима; 2 – средней и слабой, с преобладанием средней; 3 – средней; 4 – средней и высокой, с преобладанием средней; 5 – прибрежно-морская, нормальной солёности, со средней и слабой, с преобладанием средней активностью гидродинамического режима; 6 – то же, средней и высокой, с преобладанием средней; породы: 7 – пески крупно- и грубозернистые; 8 – пески от тонко- до среднезернистых; 9 – глины, в т.ч. аргиллитоподобные; 10 – фосфоритов; 11 – примесь глауконита; 12 – границы районов с различными палеогеографическими условиями.

[**Fig. 12.** Paleogeographic scheme for the cenomanian age of the Voronezh anticline. The land area is shaded, and the direction of demolition is indicated by arrows. Locations of diamonds (triangle) and high-baric minerals (square), including; Kotovka (1), Boldyrevka (2), Nizhnedevitsk (3), Svoboda (4), Polpino (5), Tsentralnoye Deposit (6): 1 – shallow marine, normal salinity, with average and weak, with a predominance of low activity in the hydrodynamic regime; 2 – medium, and weak, with a predominance of medium; 3 – medium; 4 – medium to high, with a predominance of medium; 5 – coastal-marine, normal salinity, with medium and weak, with a predominance of medium active hydrodynamic mode; 6 – the same, medium and high, with a predominance of medium; rocks: 7 – coarse and coarse-grained sands; 8 – fine- to medium-grained sands; 9 – clays, including mud-like clays; 10 – phosphorites; 11 – glauconite admixture; 12 – borders of areas with different paleogeographic conditions.]

Особенности высокобарических минералов из сеномана Южных районов антеклизы связываются с собственным (не липецким) кимберлитовым источником. По сравнению с альбским разрезом Лебединского карьера Белгородской области и базальным палеогеновым коллектором (Жилино, Кантемировский район) содержание минералов-индикаторов в сеноманских толщах юго-запада понижено, а в сеномане разреза.

Осетровка МСА нет вовсе. Неясно, результат ли это вялых гидродинамических условий осадконакопления, отсутствия придонных течений или что иное.

В сеноманском коллекторе титан-циркониевого Центрального месторождения (Тамбовская область) найдено 17 алмазов размером – до 0.2 мм кубического и в меньшей степени октаэдрического габитуса, но МИК не обнаружены. Здесь зерна алмаза волчинского

типа ассоциируют с минералами Ti и Zr, накопившимися на мелководном шельфе в условиях средней гидродинамической активности. Питание алмазами сеноманской россыпи в большой степени осуществлялось за счет аптского промежуточного коллектора. Размерность зерен минерала по сравнению с аптским Волчинским месторождением меньше. Важнейшая черта – отсутствие в обоих россыпях индикаторных минералов, что рассматривается как принадлежность единому «липецкому» коренному источнику.

Из пробы 7011 у с. Болдыревка выделены 6 пиропов и единичные хромшпинелиды. Гранаты, размером до 0.55 мм, розовато-фиолетовые и розовато-оранжевые.  $Cr_2O_3$  в них от 1.7 до 2.38, MgO – 19.19–21.24, CaO от 3.95 до 5.02 мас. %. В хромшпинелидах  $Cr_2O_3$  – не более 45.08 мас. %. Из пробы у п. Нижнедивицк извлечено 3 пироба размером до 0.5 мм и два зерна хромшпинелидов, представленные октаэдром с отколотой частью и угловато-окатанным обломком с реликтами сглаженных октаэдрических граней.

В местонахождениях из т.н. 9, 21, 47 выделены только хромшпинелиды размером от 0.1 до 0.2 мм. Зерен в пробах от 4 до 7. Хромшпинелиды представлены кристаллами октаэдрического облика. Их зерна достаточно хорошо окатаны (2–3 класс), имеют гипергенно-механогенную поверхность, характеризуются широкими колебаниями основных элементов. Одно зерно из пробы 21/101 соответствует хромшпинелидам алмазной ассоциации. Кроме отмеченных разрезов наблюдается ряд местонахождений, приуроченных к северу ВА, где встречены единичные находки МИК (1–3 зерна) [15].

**Алмазы и МСА кайнозойских промежуточных коллекторов.** *Опорные разрезы палеогена.* Базальные отложения палеогена Воронежской антеклизы на Донском левобережье относят к сумскому надгоризонту верхнего палеоцена, на правом берегу – к каневскому, бучакскому, киевскому горизонтам эоцена. Они сформировались после длительного (10–15 млн лет) перерыва осадконакопления, оставившего КВ по карбонатным породам, известную как «хоперский горизонт». Стремительная позднепалеоценовая трансгрессия начинала крупный тектоно-седиментационный этап, охватив юг и юго-восток Воронежской антеклизы. О глубине, неравномерности проработки ранее накопленных осадочных толщ говорят переменчивость петрографического состава палеогенового коллектора. Именно глубина проработки ранних отложений сделала палеогеновые отложения южных районов антеклизы источником алмазописковой информации сравнимой по ценности и разнообразию с аптом северо-востока. Еще большее сходство палеогеновых разрезов с липецкими аптскими придает присутствие внутриформационных интервалов, обогащенных тяжелыми минералами. Однако на этом сходство и заканчивается. Аптские толщи содержат алмазы, почти не сопровождаемые спутниками. В песках палеогена, наоборот, комплекс индикаторных минералов разнообразен, алмазов же немного.

На юго-востоке Воронежской антеклизы из пяти разрезов выделено десять алмазов. Три кристалла алмаза извлечены из палеогеновых отложений участка Мамоновка. Один кристалл обнаружен в классе –4+2 мм, представлен слегка поврежденным октаэдром, бесцветным, прозрачным. Два кристалла обнаружены в классе –2+1 мм, из них первый – это обломок октаэдра темно-серого цвета с включениями графита. Второй представлен обломком шпинеливого двойника серого цвета с графитовыми включениями.

Два кристалла октаэдрической формы были извлечены из современных русловых отложений участка Россоховатое. Один октаэдр размером 0.4x0.4x0.5 мм со ступенчато-пластинчатым характером развития граней. Ребра ступенчатые, поперечные, гранные швы отсутствуют. На грани отмечается параллельная треугольная впадина. Алмаз прозрачный со слабым коричневатым нацветом. Второй октаэдр размером 1.4x1.2x1.0 мм гладкогранный тонколаминарного строения. Грани сложены тонкими тригональными слоями роста. Алмаз прозрачный со слабым дымчато-серым нацветом.

Еще один кристалл был найден в мелкообъемной пробе, отобранной из делювиально-пролювиальных отложений днища временного водотока на участке р. Копанки. Он представлен ромбододекаэдром, бесцветным прозрачным. На гранях кристалла отмечается шагреновая поверхность, грани и ребра округлены.

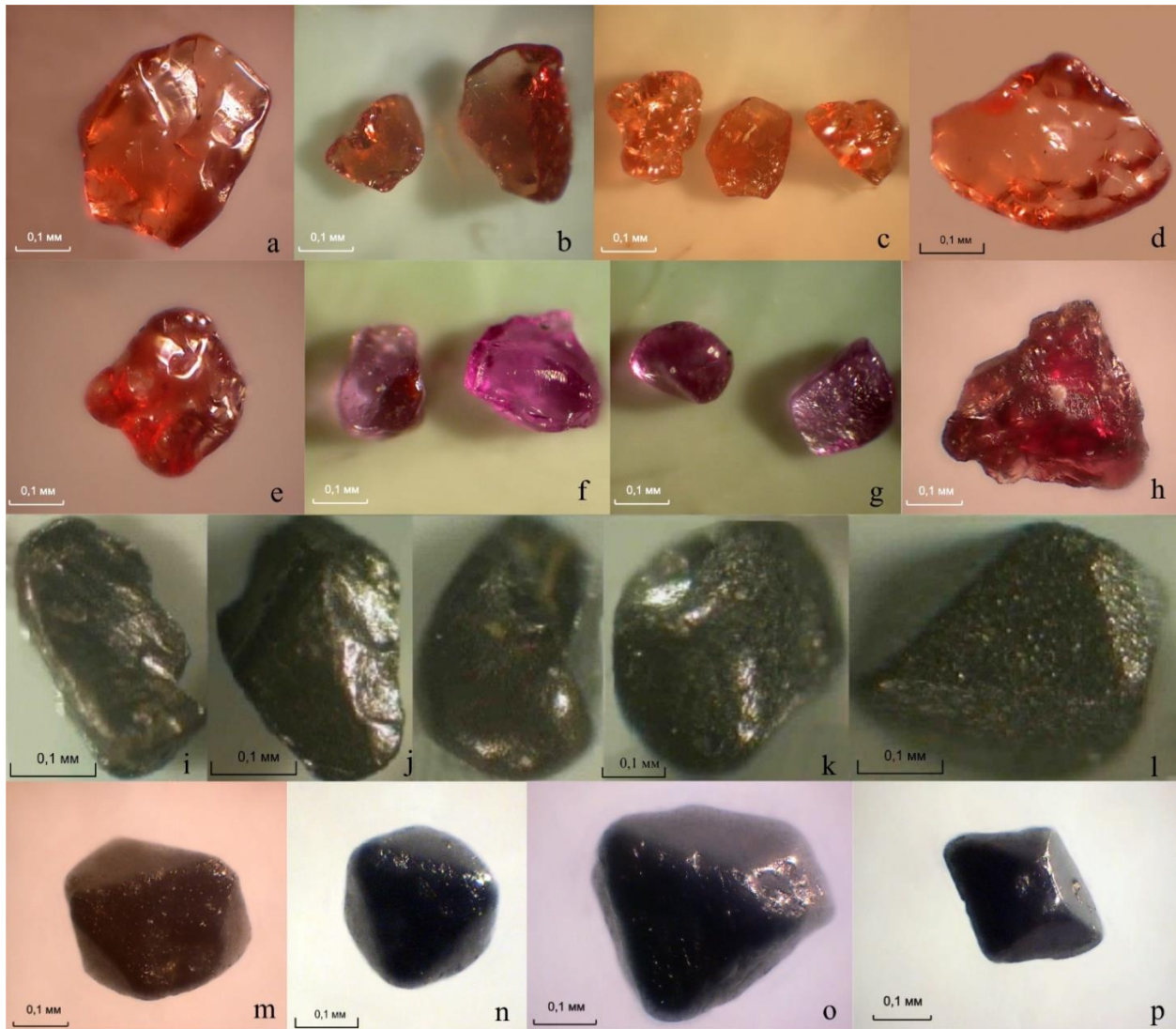
Поисковая значимость алмазов, отобранных из четвертичных отложений, невелика, поскольку большая часть антеклизы в раннем и среднем неоплейстоцене была занята Донским и Днепровским ледниками, область питания которого совпадает с северной алмазонасной провинцией Русской платформы. Находки трех алмазов из палеогеновых отложений также нужно использовать с осторожностью, так как повторное опробование этого же разреза пробой большим объемом не выявило его алмазности [22].

Один кристалл алмаза обнаружен в пробе, отобранной из базального горизонта сумской свиты палеогена в разрезе Ершовка (Михайловка). Алмаз представлен изношенным обломком предположительно октаэдра размером 0.25x0.2x0.2 мм.

В **пробе 7001**, характеризующей бучакские прибрежно-морские пески разреза **Нижний Бык** (см. рис. 2), встречены три зерна алмаза. Один из них представлен, предположительно, гранью октаэдра, с убывающим по площади нарастанием пластинчато-ступенчатым слоем и образованием удлиненной вершины тетраэдрического облика. Первичные и сколовые поверхности гладкие, блестящие. Размер 0.33x0.25x0.23 мм. Второй кристалл кубического габитуса, с длиной ребер 0.15–0.17 мм. Две его вершинки обломаны. Поверхности граней ямчато-бугорчатые, ребра ступенчатые, на части ребер прослеживаются поверхности ромбододекаэдра. Окраска желтая. По одной из осей четвертого порядка наблюдается искажение – грань имеет ромбо-

видный профиль, с длинной диагональю размером 0.21 мм и короткой – 0.19 мм. На одной из граней имеется изометричное углубление, след от востка иного минерала. Третье зерно алмаза – сколок неопределен-

ного габитуса размером 0.18x0.18x0.1 мм. Поверхность слабо матированная. Эти три зерна алмаза сопровождали пиропы (14 зерен, рис. 13, табл. 7), хромшпинелиды.

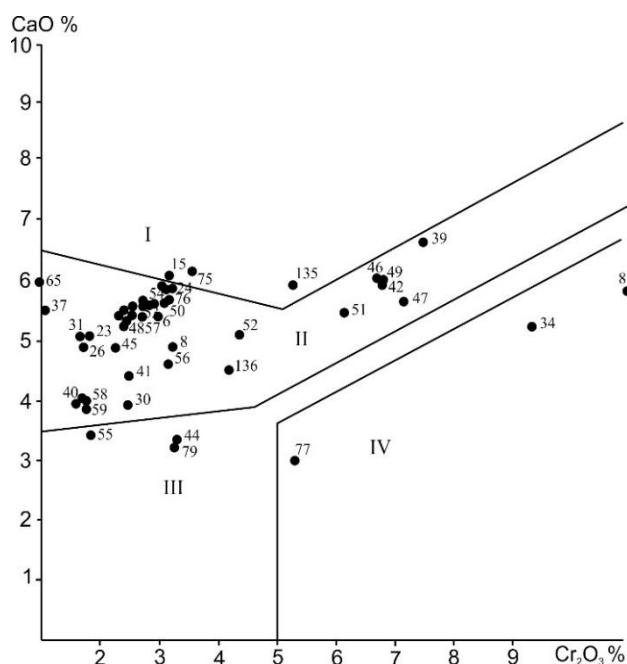


**Рис. 13.** Минералы-индикаторы кимберлитов из отложений палеогена: *a-b* – пиропы, проба 7001; *c-e* – зерна пиропов из пробы 7002; *f-h* – фиолетовые пиропы, проба 7003; *i-k* – ильмениты из пробы 7001; *l-p* – хромшпинелиды из пробы 7001.

**[Fig. 13.** Mineral indicators of kimberlites from paleogene deposits: *a-b* – pyrope, sample 7001; *c-e* – pyrope grains from sample 7002; *f-h* – purple pyrope, sample 7003; *i-k* – ilmenites from sample 7001; *l-p* – chrome spinels from sample 7001.]

**Табл. 7.** Химический состав пироп-альмандинов пробы 7001 (Нижний Бык). По результатам рентгеноспектрального анализа, выполненного в МГУ, CAMEBAX SX-50, исполнитель Н. Н. Кононова  
**[Table 7.** The chemical composition of pyrope-almandin samples 7001 (Nizhny Byk). According to the results of X-ray spectral analysis performed at Moscow State University, CAMEBAX SX-50, performer N. N. Kononova]

Зерно [Grains]	Проба [Samples]	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Цвет [Colour]
Пироп-альмандины [Pyrope-almandine]										
136	7001	4.2	21.14	8.88	19.85	4.5	0.1	0.53	40.44	Сиреневый [Purple]
135	7001	5.34	20.33	8.61	18.36	5.91	0.12	0.49	40.38	Сиреневый интенсивный [Purple intensive]
134	7001	9.34	16.4	7.35	18.59	5.22	0.15	0.51	40.74	Фиолетовой густой [Violet dark]



**Рис. 14.** Распределение фигуративных точек CaO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в зёрнах пиропы пробы 7003, отобранной из базальных песков бучакской свиты среднего эоцена. Разрез Жилино-Поддубный, Кантемировский район, Воронежская область. По данным А. Д. Савко с соавторами [7]: I – область верлитов; II – область лерцолитов; III – область гарцбургит-дунитов; IV – включения в алмазе.

[Fig. 14. Distribution of figurative points of CaO and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the pyrope grains of sample 7003, taken from the basal sands of the buchak formation of the middle eocene. Section Zhilino-Poddubny, Kanemirovsky district, Voronezh region. According to A. D. Savko et al. [7]: I – area of verlites; II – area of lherzolites; III – harzburgite-dunite area; IV – inclusions in diamond.]

По данным рентгеноспектрального анализа пикроильменита, выделенного из пробы 7001, содержания окислов в нем таковы (%): MgO – 5.86; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.45; TiO<sub>2</sub> – 57.06; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.11; FeO – 32.72; MnO – 0.52. В одном из зерен хромшпинелидов содержания (%): MgO – 14.09; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5.02; TiO<sub>2</sub> – 5.61; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 36.45; FeO – 35.75; MnO – 0.24; NiO – 0.25. Другое зерно вдвое менее магниальное – MgO – 7.38; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8.06; TiO<sub>2</sub> – 6.37; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 24.52; FeO – 50.87; MnO – 0.28; SiO<sub>2</sub> – 0.16; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.5; NiO – 0.31.

В разрезах палеогена Донского левобережья у с. Жилино и х. Поддубного, Кантемировский район Воронежской отмечено наиболее высокие содержания пиропов, из которых отдельные по геохимическим показателям принадлежат алмазонасной дунит-гарцбургитовой ассоциации.

Очень богаты пиропами прибрежно-морские базальные пески бучакского горизонта в разрезе **Жилино-Поддубный**, южная часть Россошанского срединного массива (см. рис. 2). Из пробы 7003 массой 2.3 т извлечено 79 только фиолетовых разностей, четверть в гранулометрическом классе 0.5–0.9 мм, т.е. размерностью до крупных песков (см. рис. 13). Рентгеноспектральным анализом (рис. 14) подтверждено кимберлитовое происхождение отдельных зёрен минерала (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 13.25%). Приведем некоторые анализы новых находок (табл. 8).

В разрезах палеогена Донского левобережья у с. Жилино и х. Поддубного, Кантемировский район Воронежской отмечено наиболее высокие содержания пиропов, из которых отдельные по геохимическим показателям принадлежат алмазонасной дунит-гарцбургитовой ассоциации.

**Табл. 8.** Химические анализы пиропов и пироп-альмандинов из отложений палеогена  
[Table 8. Chemical analyzes of pyropes and pyrope-almandin from paleogene deposits]

Зерно [Grains]	Проба [Samples]	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Цвет [Colour]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пиропы [Pyrope]										
77	7003	5.31	20.33	7.86	21.04	3	0.04	0.45	41.4	Густо-сиреневый [Dark purple]
Пироп-альмандины [Pyrope-almandine]										
59	7003	1.71	21.95	10.12	18.67	3.98	0.08	0.46	40.85	Слабосиреневый [Light purple]
58	7003	1.8	22.39	10.02	18.41	4.07	0.06	0.46	40.96	Слабосиреневый [Light purple]
55	7003	1.9	23.05	9.18	20.55	3.51	0.08	0.4	41.2	Слабосиреневый [Light purple]
78	7003	2.35	22.34	7.39	19.24	5.35	0.03	0.57	41.67	Слабосиреневый [Light purple]
48	7003	2.62	21.89	7.76	19.39	5.41	0.1	0.43	41.49	Слабосиреневый [Light purple]
57	7003	2.72	22.11	9.14	18.39	5.35	0.08	0.47	41.4	Слабосиреневый [Light purple]
53	7003	2.97	21.56	8.41	19.31	5.67	0.03	0.44	41.53	Слабосиреневый [Light purple]
80	7003	3.03	21.56	7.2	19.79	5.29	0.01	0.33	41.75	Сиреневый [Purple]
54	7003	3.16	21.55	9.09	18.2	5.72	0.09	0.51	41.09	Сиреневый [Purple]

Продолжение Табл. 8  
[Continued Table 8]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
56	7003	3.35	19.81	6.71	20.28	4.62	0.8	0.23	41.38	Сиреневый [Purple]
50	7003	3.4	21.33	7.68	19.06	5.63	0.12	0.42	41.4	Сиреневый [Purple]
79	7003	3.41	21.66	8.22	19.49	4.81	0.07	0.57	41.71	Сиреневый [Purple]
76	7003	3.47	21.34	7.65	19.06	5.65	0.01	0.49	40.94	Сиреневый [Purple]
75	7003	3.7	21.13	7.38	18.95	6.22	–	0.38	40.97	Сиреневый [Purple]
52	7003	3.84	21.27	7.45	20.04	5.04	0.24	0.45	41.15	Сиреневый [Purple]
136	7001	4.2	21.14	8.88	19.85	4.5	0.1	0.53	40.44	Сиреневый [Purple]
135	7001	5.34	20.33	8.61	18.36	5.91	0.12	0.49	40.38	Густо-сиреневый [Dark purple]
51	7003	6.12	18.96	7.22	18.79	5.39	–	0.47	40.99	Густо-сиреневый [Dark purple]
49	7003	6.87	17.86	7.15	19.21	5.86	0.59	0.37	40.72	Густо-сиреневый [Dark purple]
47	7003	7.04	17.93	7.28	19.29	5.63	0.14	0.38	41.01	Фиолетовый [Violet]
134	7001	9.34	16.74	7.35	18.59	5.22	0.15	0.51	40.74	Фиолетовый [Violet]
81	7003	13.25	13.61	7.4	18.87	5.61	0.07	0.47	39.69	Фиолетовый [Violet]

#### Обсуждение результатов исследований

1. Высокобарические минералы, присутствующие в промежуточных коллекторах Воронежской антеклизы, судя по типоморфным признакам (хромшпинелиды «мантийного» типа, представленные мироздрическими кристаллами и октаэдрами с винициальными гранями), действительно происходят из коренных алмазосодержащих пород, тем более что в шлихах алмаз их периодически сопровождает. Следовательно, обнаружение минералов охарактеризованной выше ассоциации должно рассматриваться в условиях Воронежской антеклизы как прямой поисковый признак при прогнозных построениях.

2. В ассоциации высокобарических минералов, присутствующей в осадочных толщах мела и палеогена региона, количественно доминируют хромшпинелиды и пиропы. Среди пиропов встречены различия характерные для лерцолитов (их количественно больше и в ксенолитах алмазосодержащих кимберлитов). Отмечаются пиропы, составы которых идентичны зернам этого минерала из алмазосодержащих гарцбургит-дунитов, а также те, что характерны для включений из алмазов ультрабазитовых ассоциаций. Близки по составу к гранатам Э-типа алмазосодержащей ассоциации пироп-альмандины, которые также широко представлены в изученных пробах.

3. В изученных пробах обильно представлены ильмениты с широкими вариациями химического состава. Среди них имеются различия, которые принадлежат пикроильменитам. На генетических диаграммах они попали в область эклогитов и гранатовых ультра-

базитов, но имеются и те, которые соответствуют ильменитам ультрабазитов и ильменитам из цемента кимберлитовой массы. Содержание хрома в ильмените кимберлитов Якутии варьирует в широких пределах, в единичных случаях достигая 4 мас.%. В нашей выборке обнаружено зерно именно такого состава, с содержанием оксида хрома 4.41%.

4. Количество хромшпинелидов в разрезах достигает нескольких тысяч знаков на пробу объемом 20 литров. Выделены хромшпинелиды «мантийного» типа, представленные мироздрическими кристаллами и октаэдрами с винициальными гранями. По своему химическому составу часть зерен (от 8 до 32%) на диаграмме Н. В. Соболева попадает в поле составов алмазной ассоциации.

Проведенные научной группой ВГУ исследования пятидесяти опорных проб свидетельствуют о неравномерном распространении высокобарических минералов (ВБМ) в осадочном чехле Воронежской антеклизы. Можно говорить о следующем:

1 – не приходится рассчитывать на то, что ассоциации ВБМ в условиях Воронежской антеклизы удастся успешно изучать мельчайшими пробами объемом «стандартные» десять литров, ссылаясь на западноавстралийский и якутский опыты. Как, впрочем, и на получение сколько бы достоверной информации при опробовании четвертичных толщ, контаминированных алмазосодержащим северным материалом. Минимальный объем опорных проб в регионе не должен быть меньше 0.5 м<sup>3</sup>. Более или менее гарантированный (фоновый) комплекс спутников обнаруживается только в пробах

объемом от кубометра и более;

2 – информативность одних и тех же дочетвертичных коллекторов на северо-востоке Воронежской антеклизы и в ее южных и центральных районах различная. В первом случае наибольший интерес для опробования представляет базальный горизонт морского апта, который можно вскрыть во многих пунктах небольшими по объему горными работами. Основание неокома еще перспективней, но опробовать его без масштабных горных работ сложно. На юге региона наиболее важны морские палеогеновые отложения, т.е. базальный горизонт кайнозойской части разреза.

3 – менее интересны континентальные толщи, так как они формировались на антеклизе за счет источников вещества, сносимого с ограниченных площадей. При этом совершенно не срабатывает настойчивая (и банальная) рекомендация «опробовать толщи с возможно более грубым гранулометрическим составом». Именно незначительностью и «пустотой» площадей размыва объясняется отсутствие ВБМ в континентальных галечниках девонской мамонской толщи Осетровки (проба 6001), таких же аптских гравийниках Стрелицы (проба 5154), богатых тяжелой фракцией хвостах, получаемых при мокром ситовании континентальных аптских бетонных песков Хохольского (проба 5153) и т.д.

4 – использование не всех промежуточных коллекторов морского происхождения одинаково эффективно. Концентрирующая способность наступающего моря в отношении не просто тяжелой фракции, но – ее высокобарических минералов, напрямую связана не столько с масштабами трансгрессий, сколько с их темпами, а также прибрежной и придонной (течения) гидродинамической активностью вод. Медлительные, вялые, хотя ареально и широкие, девонские и каменноугольные приходы морей сравнительно мало воздействовали на субстрат. Байос-раннебатское море было более активным, о чем свидетельствует присутствие галечников в разрезах Лебединского и Михайловского железорудных карьеров, но оно не занимало перспективную в отношении коренных источников полосу срединных массивов фундамента и, следовательно, не участвовало в переработке алмазоносного материала. Иное дело – переменчивые и активные морские условия раннего мела и палеогена, вовлекшие в оборот (береговой и подводный размыв, перемещение, возникновение частых повышенных концентраций) огромные массы бедного ВБМ материала. Морские течения аптского века увлекли на север продукты размыва развитых на юге ильменитоносных отложений ястребовского горизонта (D<sub>3</sub>js). В поздней сеноманской россыпи Центрального месторождения Тамбовской области зерна алмазов еще меньшего размера, чем волчинские, спутников нет тоже.

5 – анализ палеогеографических карт нового поколения (масштабы 1:200 000 – 1:500 000), новые данные опробования (50 проб массой 0.25–20 т каждая) свидетельствуют в пользу гипотезы о местном происхождении алмазов и локализации их материнских пород в

осадочном чехле Воронежской антеклизы. Палеогеографические исследования, неперенный компонент поисковой активности, позволили оконтурить две площади, по одной в Липецкой и Воронежской областях, в пределах которых предполагаются продуктивные диатремы.

6 – экспериментально установленную ненадежность результатов, получаемых при опробовании наиболее доступных и внешне привлекательных грубозернистых четвертичных толщ. Воронежская антеклиза – область покровных оледенений квартера, с удаленным на 1.2 тыс. км северным алмазоносным очагом (Кольский полуостров, Финляндия, северные районы Архангельской области). В Восточной Сибири, нарабатанные поисковые приемы которой пытались копировать на ВЕП, оледенения были неизменно *очаговыми* горными, с недалгим переносом рыхлого материала;

7 – новые аргументы в пользу того, что на территории антеклизы возможны коренные источники не только среднепалеозойской, но и более молодых продуктивных эпох. Для северо-востока региона (Ольмский, или Липецкий, район) авторы допускают проявления алмазоносных магматитов раннего мезозоя (поздний триас-юра), на юго-востоке – ларамийской, рубежа мела и палеогена. Последнее обосновано приуроченностью находок алмаза и большинства зерен пиропов с кноррингитовой составляющей к основанию палеогена, обнаружением в соседнем районе Украины (Старобельск, Луганская область) вулканитов, возможно, трубочных, с радиологическими датами (K–Ar) 71 млн лет [23];

8 – поиски в регионе стоит сместить на площади осадочного чехла антеклизы, перекрывающего древние архейские ядра-срединные массивы, которым ранее должного внимания не уделялось.

Сказанное определило: 1 – создание комплекса палеогеографических карт для выявления путей перемещения вещества от источников сноса в осадочные бассейны, построение на этой основе сети *крупных* опорных проб, охватывающей избранные районы антеклизы; 2 – выявление ассоциаций высокобарических минералов в отложениях различных подразделений осадочного чехла, районирование территории региона по составу таких ассоциаций; 3 – минералогические и химические исследования обнаруженных зерен алмазов, пиропов, хромшпинелидов, пикроильменитов, с целью реконструкции вероятных облика и возраста коренных источников.

В результате получены новые материалы – установлены не известные ранее местонахождения драгоценного минерала в породах промежуточных коллекторов нижнемелового (северо-восток) и раннепалеогенового (юго-восток), доказана принадлежность части пиропов и хромшпинелидов алмазной ассоциации, встречены минералогические свидетельства мезозойских (?) эксплозий в осадочном чехле [7]. Они были бы невозможны без помощи коллектива НПП Недр, г. Симферополь.



**Благодарности:** Авторы глубоко благодарны Юрию Александровичу Полканову, передавшему ВГУ для описания свою историческую коллекцию волчинских алмазов 1969 г. Важным эпизодом в работе они считают исследования алмазоносности северо-востока антеклизы, проведенные при участии ФУГП «Аэрогеология» (д. геол.-мин. наук А. Ю. Егоров). Наконец, нельзя не выразить признательности и уважения сотрудникам НИИ геологии, вынесшим на своих плечах многие десятки тонн песков из опробованных базальных горизонтов региона – Д. А. Дмитриеву, О. Н. Евдокимову, А. Е. Звонареву, А. А. Жабину, В. В. Лоскутову, А. В. Шишову.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шевырев Л. Т., Савко А. Д., Шишов А. В. Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и ее эндогенный рудогенез. Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 25, 2004. 112 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768044> (дата обращения: 10.07.2020).
2. Афанасьев Н. С. Петрофизика докембрийских образований и геологическое строение Воронежского кристаллического массива: дис. д-ра геол. мин. наук. Ленинград, 1982. 450 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16151344> (дата обращения: 10.07.2020).
3. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырев Л. Т., Ильяш В. В., Афанасьев Н. С. Алмазоносность Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 17, 2003. 120 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768061> (дата обращения: 10.07.2020).
4. Немиров А. А., Скрипин А. И., Сафьянников В. И. Геология промежуточных коллекторов алмазов. Новосибирск: Наука, 1994. 136 с.
5. Харьков А. Д. Картирование алмазоносных территорий по индикаторным минералам кимберлитов (ИМК) и методическое обеспечение шлихо-минералогического метода поисков. Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, 2001. С. 553–560.
6. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Ильяш В. В. Ассоциация минералов-индикаторов алмазоносности в осадочном чехле Воронежской антеклизы. *Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения*. Воронеж, 2001. С. 423–433. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29223441> (дата обращения: 10.07.2020).
7. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Ильяш В. В. Алмазы и их спутники из осадочного чехла Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 47, 2007. 122 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768064> (дата обращения: 10.07.2020).
8. Черешинский А. В., Савко А. Д. Акцессорные минералы базальных горизонтов Воронежской антеклизы (в связи с вопросами алмазоносности). Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 48, 2007. 120 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768048> (дата обращения: 10.07.2020).
9. Шевырев Л. Т., Черешинский А. В. Алмазоносность центральной части Восточно-Европейской платформы (Воронежская антеклиза). Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 90, 2015. 283 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25043240> (дата обращения: 10.07.2020).
10. Митюхин С. И. Геолого-генетические и эмпирические основы выделения таксона класса субпровинции кимберлитов и конвергентных им пород // *Отечественная геология*. 1997. № 1. С. 23–28.
11. Михайлов М. В., Беляев Г. А., Кузьмина Т. С., Ладыгина М. Ю., Поляков А. А. Перспективы обнаружения на Русской платформе новых среднепалеозойских месторождений алмазов // *Региональная геология и металлогения*. 2000. № 12. С. 158–177. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35627813> (дата обращения: 10.07.2020).
12. Черешинский А. В. Минералы-индикаторы кимберлитов палеозойского промежуточного коллектора Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016. № 1. С. 76–82. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25942774> (дата обращения: 10.07.2020).
13. Канцеров В. А. Ильменитоносные вулканогенно-осадочные породы позднего девона юго-востока Воронежской антеклизы: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: Харьков, 1984. 23 с.
14. Черешинский А. В., Милаш А. В. Типоморфные особенности минералов и вещественный состав титановых руд ястребовских отложений юго-востока Воронежской антеклизы. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2019. № 1. С. 64–71. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37278505> (дата обращения: 10.07.2020).
15. Черешинский А. В. Минералы-индикаторы кимберлитов мезозойского промежуточного коллектора Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 2. С. 107–114. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29407072> (дата обращения: 10.07.2020).
16. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 68, 2013. 100 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21763902> (дата обращения: 23.04.2020).
17. Богатиков О. А., Рябчиков И. Д., Кононова В. А. Лампроиты. М., 1991. 298 с.
18. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М., 1998. 555 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42835876> (дата обращения: 10.07.2020).
19. Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфуни А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: МГУ, 1991. 240 с.
20. Костровицкий С. И. Геохимические особенности минералов кимберлитов. Новосибирск, 1986. 264 с.
21. Харьков А. Д., Квасница В. Н., Сафронов А. Ф., Зинчук Н. Н. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. Киев, 1989. 181 с.
22. Черный С. Д., Дак А. И., Сафьянников Ю. В. Минералогические критерии и перспективы алмазоносности юго-восточной части Воронежского кристаллического массива. *Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения*. Воронеж, 2001. С. 437–442.
23. Скаржинский В. И. Эндогенная металлогения Донецкого бассейна. Киев, 1973. 204 с. <https://www.geo-fund.am/files/library/1/15384736163353.pdf> (дата обращения: 10.07.2020)

## The study of the basal horizons of the sedimentary cover of the Voronezh antecline: a path to forecasting its primary diamond potential

© 2020 A. V. Cheresinskiy✉, L. T. Shevryev, A. D. Savko

*Voronezh State University,  
1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation*

### Abstract

*Introduction:* The forecasts concerning the diamond potential of ancient cratons are dominated by the concept that kimberlite diatremes tend to be found in the areas where the most powerful Archaean (older than 2.5 billion years) crust had developed. The ore body of Voronezh diamonds, similar to other diamond-bearing provinces, should be localised within these regions. Small diamonds within the Voronezh antecline have only been found at different depths in rocks of basal horizons of the sedimentary cover. Diamonds can be accompanied by kimberlite indicator minerals, the key ones of which include the following: pyrope, microilmenite, chrome-spinelide, and chrome-diopside. In order to reach the ore bodies of diamonds, both the study of accessories and a facies analysis of the basal horizons are necessary.

*Methodology:* In 2004–2006, in various parts of the antecline, over 50 reference samples 0.25–10 m<sup>3</sup> in volume were taken from Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic aleuro-sandy rocks. They were processed in the Nedra Scientific Production Enterprise (Simferopol), where kimberlite indicator minerals were isolated from them. The typomorphic and geochemical features of the isolated kimberlite indicator minerals were studied using a binocular microscope and an electronic microscope with a Camebax 50-SX X-ray microprobe analyser (Moscow State University). The geological survey (GDP-200) conducted in 2003–2017 included over 250 steam sediment samples from Devonian, Carboniferous, Jurassic, Cretaceous, Paleogene, and Neogene deposits. The initial volume of the bulk sample was 20 litres (0.02 m<sup>3</sup>). The samples were washed on a Siberian tray in the following three stages: elutriating of samples, washing off light particles, and refining the concentrate. The mineralogical analysis was preceded by screening for particle size classes: +1.0 mm, –1.0 + 0.25 mm, –0.25 + 0.1 mm, and –0.1 mm; the division of the material in a heavy liquid (bromoform) with a density of 2.9 g/cm<sup>3</sup>; and the fractionation of the heavy fraction of samples into magnetic, electromagnetic, and non-magnetic components. The chemical composition of mineral grains was studied using a Jeol 6380 LV electron microscope with an Inca-250 energy dispersive quantitative analysis system (Voronezh State University) and a JSM 5300 electron microscope with a Link:ISIS spectrometer (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals). Over 1,000 tests were performed. Geological, facies, and paleogeographic maps were created. Their analysis revealed the relationships between the distributions of kimberlite indicator minerals with the facies features characteristic of basal horizons deposits.

*Results and discussion:* 683 small diamonds and a large number of their accessory minerals were found in the studied samples. Accessory minerals are quantitatively dominated by pyropes, especially moderately chromic differences characteristic of lherzolites. Grains were found with compositions identical to garnets from diamond-bearing harzburgite-dunites, as well as those characteristic of inclusions in diamonds. Ilmenites with wide variations in chemical composition, including microilmenites, are also widely represented in the studied samples. Compared to garnets and ilmenites, chrome-spinelides are rarer, however, even



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Aleksey V. Cheresinskiy, e-mail: vsu31022@mail.ru



among them there are differences with the composition corresponding to a potential diamond-bearing coesite depth subfacies. Judging by their typomorphic features and composition, diamonds and their accessory minerals in the intermediate hosts of the Voronezh anteclise come from primary diamond-bearing rocks, which should be considered as a direct prospecting indicator for forecasts.

**Conclusions:** The analysis of paleogeographic maps of a new generation (scales of 1:200,000 – 1:500,000) and the sampling data (50 samples weighing 0.5–20 tons each) support the hypothesis of the local origin of diamonds and the localization of their parent rocks in the sedimentary cover of the Voronezh anteclise. Paleogeographic studies, an indispensable component of exploration activities, and kimberlite indicator minerals data allowed to outline two areas with assumed productive diatremes.

**Keywords:** Voronezh anteclise, diamonds, diamond accessory minerals, basal horizons, intermediate hosts.

**For citation:** Chereshinskiy A. V., Shevyrev L. T., Savko A. D. The study of the basal horizons of the sedimentary cover of the Voronezh anteclise: a path to forecasting its primary diamond potential. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2020, No. 3, pp. 4–29. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3006>

**Acknowledgments:** The authors are deeply grateful to Yuri A. Polkanov, D. A. Dmitriev, O. N. Evdokimov, A. E. Zvonarev, A. A. Zhabin, V. V. Loskutov, A. V. Shishov.

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

#### REFERENCES

1. Shevyrev L. T., Savko A. D., Shishov A. V. Evolyutsiya tektonicheskoy struktury Voronezhskoy anteklizy i ee endogennyy rudogenez. [Evolution of the tectonic structure of the Voronezh anteclise and its ore-forming]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 25, 2004. 112 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768044> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
2. Afanas'ev N. S. Petrofizika dokembriyskikh obrazovaniy i geologicheskoe stroenie Voronezhskogo kristallicheskogo massiva: dis. d-ra geol. min. nauk. [Petrophysics of Precambrian formations and the geological structure of the Voronezh crystal massif]. Leningrad, 1982. 450 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16151344> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
3. Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrev L. T., Il'yash V. V., Afanas'ev N. S. Almazonosnost' Voronezhskoy anteklizy. [Diamondiferousness of the Voronezh anteclise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 17, 2003. 120 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768061> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
4. Nemirov A. A., Skripin A. I., Sa'fyaninikov V. I. *Geologiya promezhutochnykh kollektorov almazov*. [Geology of intermediate diamond reservoirs]. Novosibirsk, Nauka publ., 1994. 136 p. (in Russ.).
5. Khar'kiv A. D. Kartirovanie almazonosnykh territoriy po indikatornym mineralam kimberlitov (IMK) i metodicheskoe obespechenie shlikho-mineralogicheskogo metoda poiskov. [Mapping of diamond-bearing territories by kimberlite indicator minerals (IMC) and methodological support of the concentrate-mineralogical method of prospecting]. *Problemy almaznoy geologii i nekotorye puti ikh resheniya* [Problems of diamond geology and some ways to solve them.] Voronezh, 2001. pp. 553–560. (in Russ.).
6. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V. Assotsiatsiya mineralov-indikatorov almazonosnosti v osadochnom chekhle Voronezhskoy anteklizy. [Association of the minerals-indicators in the sedimentary cover of the Voronezh anteclise]. *Problemy almaznoy geologii i nekotorye puti ikh resheniya* [Problems of diamond geology and some ways to solve them]. Voronezh, 2001. pp. 423–433. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29223441> (accessed 12.02.2020). (in Russ.).
7. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V. Almazy i ikh sputniki iz osadochnogo chekhla Voronezhskoy anteklizy. [Diamonds and their minerals-satellites from the sedimentary mantle of the Voronezh anteclise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 47, 2007. 122 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768064> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
8. Chereshinskiy A. V., Savko A. D. Aktsessornyye mineraly bazal'nykh gorizontov Voronezhskoy anteklizy (v svyazi s voprosami almazonosnosti). [The accessory minerals of horizon basal of Voronezh anteclise (in bonding with questions diamondiferousness)]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 48, 2007. 120 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21768048> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
9. Shevyrev L. T., Chereshinskiy A. V. Almazonosnost' tsentral'noy chasti Vostochno-Evropeyskoy platformy (Voronezhskaya antekliza). [Diamondiferousness of the Central part of the East European platform (Voronezh anteclise)]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 90, 2015. 283 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25043240> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
10. Mityukhin S. I. Geologo-geneticheskie i empiricheskie osnovy vydeleniya taksona klassa subprovintsiy kimberlitov i konvergentnykh im porod. [Geological-genetic and empirical basis for the allocation of a taxon of the kimberlite subprovinatation class and rocks convergent to them]. *Otechestvennaya geologiya = National Geology*, 1997., no. 1, pp. 23–28. (in Russ.).
11. Mikhaylov M. V., Belyaev G. A., Kuz'mina T. S., Ladygina M. Yu., Polyakov A. A. Perspektivy obnaruzheniya na Russkoy platforme novykh srednepaleozoyskikh mestorozhdeniy almazov. [Prospects for the discovery of new Middle Paleozoic diamond deposits on the Russian platform]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya = Regional geology and metallogeny*, 2000, no. 12, pp. 158–177. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35627813> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
12. Chereshinskiy A. V. The indicator minerals of kimberlites of Paleozoic intermediate placer trap of the Voronezh anteclise. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series:*

- Geology*, 2016, no. 1, pp. 76–82. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25942774> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
13. Kanzerov V. A. Ilmentionosnii vulkanogenno-osadochnie porodni pozdnego devona ugo-vostoka Voronezhskoi anteklizi: Dis. kand. geol.-min. nauk [Ilmenitinous volcanic-sedimentary rocks of the late Devonian of the southeast of the Voronezh antecline. Extended Abstract of Ph.D. Thesis]. Kharkiv, 1986. 23 p. (in Russ.).
14. Chereshinskiy A. V., Milash A. V. Typomorphic features of minerals and the material composition of the titanium ores of the yastrebow deposits of the southeast of voronezh antecline. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 1, pp. 64–71. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37278505> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
15. Chereshinskiy A. V. The indicator minerals of kimberlites of the Mesozoic intermediate placer trap of the Voronezh antecline. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2017, no. 2, pp. 107–114. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29407072> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
16. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. *Kimberlity v istorii Zemli*. [Kimberlites in the Earth history]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 68, 2013. 100 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21763902> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
17. Bogatikov O. A., Rjabchikov I. D., Kononova V. A. *Lamproity*. [Lamproites]. Moscow, 1991. 298 p. (in Russ.).
18. Har'kiv A. D., Zinchuk N. N., Krjuchkov A. I. *Korennyye mestorozhdeniyaalmazov mira*. [World's primary diamond deposits]. Moscow, 1998. 555 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42835876> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).
19. Garanin V. K., Kudrjavceva G. P., Marfunin A. S., Mihajlichenko O. A. *Vkljuchenija v almaze i amazonosnyeporody*. [Inclusions in diamond and diamondiferous rocks]. Moscow, MSU, 1991. 240 p. (in Russ.).
20. Kostrovickij S. I. *Geohimicheskie osobennosti mineralov kimberlitov*. [Geochemical features of kimberlite minerals]. Novosibirsk, 1986. 264 p. (in Russ.).
21. Har'kiv A. D., Kvasnica V. N., Safronov A. F., Zinchuk N. N. *Tipomorfizm almaza i ego mineralov-sputnikov iz kimberlitov*. [Typomorphism of diamond and its satellite minerals from kimberlites]. Kiev, 1989. 181 p. (in Russ.).
22. Chernyj S. D., Dak A. I., Saf'jannikov Ju. V. Mineralogicheskie kriterii i perspektivy almazonosnosti jugo-vostochnoj chasti Voronezhskogo kristallicheskogo massiva. [Mineralogical criteria and prospects of diamond content in the southeastern part of the Voronezh crystalline massif]. *Problemy almaznoy geologii i nekotorye puti ikh resheniya* [Problems of diamond geology and some ways to solve them]. Voronezh, 2001. pp. 437–442. (in Russ.).
23. Skarzhinskij V. I. *Jendogennaja metallogenija Doneckogo bassejna*. [Endogenous metallogeny of the Donetsk basin]. Kiev, 1973. 204 p. <https://www.geo-fund.am/files/library/1/15384736163353.pdf> (accessed 10.07.2020). (in Russ.).

Черешинский Алексей Васильевич – к. г.-м. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: vsu31022@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0697-3551>

Шевырев Леонид Тихонович – д. г.-м. н., Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: shevpp@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3468-6712>

Савко Аркадий Дмитриевич – д. г.-м. н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: savko@geol.vsu.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Alexey V. Chereshinskiy – PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: vsu31022@mail.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0697-3551>

Leonid T. Shevyrev – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: shevpp@yandex.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3468-6712>

Arkady D. Savko, PhD, Dr. habil. in Geol.-Min, Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: savko@geol.vsu.ru; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

All authors have read and approved the final manuscript.