

Эпохи формирования титан-циркониевых россыпей в фанерозое Воронежской антеклизы

©2025 А. В. Крайнов[✉], А. Д. Савко, А. В. Черешинский, Д. А. Иванов

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

Аннотация

Введение: в осадочном чехле Воронежской антеклизы (ВА) известны разновозрастные титан-циркониевые россыпи. Они рассмотрены в ряде публикаций. Вместе с тем за последние полтора десятка лет в результате проведения сотрудниками Воронежского госуниверситета геолого-съёмочных и тематических работ получены новые данные по распространению и составу россыпей, что легло в основу настоящей статьи.

Методика: для изучения титан-циркониевых россыпей проведены полевые и лабораторные исследования мезозойских и кайнозойских песков. Опробование проводилось бороздовым способом, маломощные прослои опробовались точно. Основное внимание при описании и опробовании уделялось структурно-текстурным особенностям пород. В лаборатории определялся гранулометрический и минеральный состав песчаных отложений. Пробы квартовались, глинистая фракция вымывалась, а алеврито-песчаная рассеивалась. Проводился количественный анализ минералов тяжелой и легкой фракций. На основе комплексных данных проводились литолого-фациальные и минерагенические построения.

Результаты и обсуждение: выделено шесть эпох россыпеобразования – раннефранская (ястребовская), баррем-аптская, сеноманская, раннесантонская, раннекампанская и олигоцен-миоценовая. В раннефранское время на юго-востоке ВА сформировались вулканогенно-осадочные россыпи, в которых основным минералом является ильменит. Россыпи мелового и палеоген-неогенового возраста титан-циркониевые, залегают, как правило, на водоразделах и имеют небольшую мощность вскрыши. Полезными компонентами являются ильменит, рутил, лейкоксен, циркон. В баррем-аптское время в северной части территории ВА в кварцевых песках сформировались россыпи дальнего переноса. В сеноманскую эпоху на северо-восточном склоне ВА в глауконит-кварцевых песках образовалось крупное россыпное месторождение Центральное с высоким содержанием минералов тяжелой фракции. Для сантонского века там же характерны комплексные россыпи с тяжелыми минералами и желваковыми фосфоритами. В кампанских россыпях северо-запада ВА тяжелые минералы, как и зерна кварца, могут иметь фосфатную оболочку. Оligocen-миоценовые россыпи развиты на юго-западе ВА, связаны с кварцевыми песками и отличаются повышенным содержанием циркона и рутила.

Выводы: в истории Воронежской антеклизы неоднократно возникали условия для формирования титан-циркониевых россыпей. Важнейшими факторами при этом были тектонический и фациальный, второстепенными – стратиграфический и палеогеографический. Прослеживается также эволюция россыпеобразования во времени, которая выражается в миграции по территории ВА областей аккумуляции полезных компонентов, а среди них в увеличении доли наиболее устойчивых тяжелых минералов в результате процессов рециклинга.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Крайнов Алексей Владимирович, e-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru

Ключевые слова: пески, титан-циркониевые россыпи, ильменит, рутил.

Для цитирования: Крайнов А. В., Савко А. Д., Черешинский А. В., Иванов Д. А. Эпохи формирования титан-циркониевых россыпей в фанерозое Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2025. № 1. С. 25–39. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/25-39>

Введение

В Центрально-Черноземном районе развиты и морские титан-циркониевые россыпи дальнего и вулканогенно-осадочные ближнего переносов. К первому типу относятся Центральное, Кирсановское, Унечское месторождения и многочисленные проявления в Липецкой, Белгородской, Курской и Воронежской областях. Месторождения обычно мелового и палеоген-неогенового возраста, залегают на водоразделах, не обводнены и имеют небольшую мощность вскрыши. В составе полезных компонентов – ильменит, рутил, лейкоксен, циркон. К вулканогенно-осадочному типу приурочены Павловская и Лосевская россыпи, которые формировались в ястребовское время раннего франа.

В пределах Воронежской антеклизы (ВА) имеются все предпосылки нахождения титан-циркониевого сырья как в виде самостоятельных месторождений, так и в качестве попутного компонента из песков, оцененных в качестве стекольных и формовочных.

В терригенных отложениях (ВА) часто присутствуют минералы тяжелой фракции, однако, наиболее высокие концентрации приурочены к 6 эпохам россыпеобразования (рис. 1): раннефранская (ястребовская), баррем-аптская, сеноманская, раннесантонская, раннекампанская и олигоцен-миоценовая [1].

Вопросом россыпеобразования на территории Воронежской антеклизы занимался ряд исследователей: В. А. Блинов, С. Н. Калюжная, А. Д. Савко, Н. Н. Иконников, Н. П. Хожайнов, И. Н. Быков, В. А. Канцеров, В. И. Беляев, Г. И. Первушина, С. И. Гурвич, А. М. Болотов, А. В. Лаломов, А. В. Черешинский, Д. А. Иванов, А. Е. Звонарев, А. В. Милаш и другие. Изучение титан-циркониевых россыпей на рассматриваемой территории началось с середины XX века. В 1957 году геологическим управлением Центральных районов и ВИМС были проведены научно-исследовательские работы на этот вид сырья. В результате выявлены титаносодержащие пески в мамонской песчано-каолиновой толще и установлены концентрации ильменита в отложениях ястребовского горизонта живецкого яруса. В 60–70 гг. были открыты месторождения Центральное, Волчинское, Голожиховское, Скопинское и другие, связанные с терригенными образованиями нижнего мела. В результате комплекса работ были оценены перспективы титаносодержимости осадочных отложений от аптских до кантемировских (нижний олигоцен).

По мнению С. И. Гурвич и А. М. Болотова [2] аптские россыпи Липецкой области формировались в прибрежно-морских обстановках, в Тамбовской области сеноманские формировались в трансгрессивную стадию вдоль предполагаемой береговой линии. Эти

авторы отмечают различие в источниках сноса: при формировании аптских россыпей размывалась кора выветривания восточного склона Воронежской антеклизы и, возможно, Уральского хребта; область питания сеноманских россыпей был Балтийский щит, так как Воронежский кристаллический массив в это время был полностью покрыт морем. Во второй половине 70-х годов Н. П. Хожайновым, В. И. Беляевым, Г. И. Первушиной [3, 4], И. Е. Секретаревым и В. В. Китаевым [5] построены фациальные, структурные карты, детально охарактеризованы гранулометрический и минеральный составы.

В 80-х годах Н. Н. Иконников с соавторами [6, 7] выделил новый тип титан-циркониевых россыпей, связанных со своеобразной фосфоритоносной формацией. Детальные геолого-разведочные и тематические работы позволили оконтурить ряд россыпей, определить их фациальную принадлежность и приуроченность к регрессивной фазе позднего мела. Одновременно продолжалось исследование титан-циркониевых россыпей в ряде районов Воронежской антеклизы и на прилегающих площадях. В олигоценовых отложениях были выявлены кантемировский и берекский комплексы с циркон-ильменит-рутиловыми россыпями. Рутит-циркониевые россыпи обнаружены в миоценовых отложениях на юге Воронежской антеклизы, в Днепровско-Донецкой впадине и по окраинам Украинского кристаллического щита.

В 1995 году А. Д. Савко с соавторами в обобщающей монографии по титан-циркониевым россыпям ЦЧР рассмотрены распространение, типы, условия образования и основные факторы их формирования [1]. В работе приведены данные о геологическом строении россыпей, их минеральном составе, а также поднят вопрос по перспективам освоения титан-циркониевых россыпей Центрально-Черноземного района.

А. Е. Звонарев рассмотрел акцессорные минералы мел-палеогеновых терригенных отложений Воронежской антеклизы [8, 9]. Среди этих минералов значительная роль принадлежала титаносодержащим. В работе приведен состав, распределение по площади и в разрезе тяжелых минералов, дано детальное описание их типоморфных особенностей. Рассмотрены основные факторы формирования ассоциаций акцессориев и их эволюция во времени, приведено районирование меловых и палеогеновых отложений по перспективности поисков в них титан-циркониевых россыпей.

В статье [10] рассмотрены типоморфные особенности минералов и вещественный состав титановых руд ястребовских отложений ВА. Установлено, что ильменит имеет специфический химический состав, характеризуется повышенным содержанием MgO и TiO₂.

ЭПОХА РОССЫПЕ-ОБРАЗОВАНИЯ [THE ERA OF PLACER FORMATION]	ПОЗДНЕ-ЖИВЕТСКАЯ (ЯСТРЕБОВСКАЯ) [LATE ZHIGET (YASTREBOVSKAYA)]	БАРРЕМ-АПТИСКАЯ [BARREM - APT]	СЕНОМАНСКАЯ [SENOMAN]	РАННЕСАМОАНСКАЯ [EARLY SAMOAN]	РАННЕКАМПАНИСКАЯ [EARLY CAMPAN]	ОЛИГОЦЕН-МИОЦЕНОВАЯ [OLIGOCENE-MIOCENE]
Распространение [Distribution]	Ю-В часть ВА [S-E part VA]	С-В часть ВА [N-E part VA]	С-В часть ВА [N-E part VA]	С-В часть ВА [N-E part VA]	С-З часть ВА [N-W part VA]	Ю-З часть ВА [S-W part VA]
Фациальные обстановки [Facies]	Мелководно-морские вулканогенно-осадочные [Sublittoral, volcano-genic-sedimentary]	В прибрежно-морских условиях [Littoral]	В мелководно-морских условиях [Sublittoral]	В прибрежно- и мелководно-морских условиях [Sublittoral, Littoral]	В мелководно-морских условиях [Sublittoral]	В прибрежно-морских условиях [Littoral]
Состав легкой фракции [Composition of the light fraction]	Обломки эффузивов, кварц, ПШ, пепловый и глинистый материал [Effusive fragments, quartz, FS, ash and clay material]	Кварц [Quartz]	Кварц, глаукогнит, ПШ [Quartz, glauconite, FS]	Кварц, глаукогнит [Quartz, glauconite]	Кварц, глаукогнит [Quartz, glauconite]	Кварц [Quartz]
Состав тяжелой фракции [Composition of the heavy fraction]	Ильменит, обломки эффузивных пород с зернами ильменита, слюда, хромит, гранат, старовит, циркон, рутил, анатит, лейкоксен, апатит [Ilmenite, fragments of effusive rocks with grains of ilmenite, siderite, chromite, garnet, staurolite, zircon, rutile, anatase, leucokhene, apatite]	Ильменит, циркон, дистен, старовит В апте-алмазы, золото [Ilmenite, zircon, distene, staurolite, garnet, epidote, zoisite] In the apt-diamonds, gold]	Ильменит, лейкоксен, рутил, гранат, эпидот, цинцит [Ilmenite, leucokhene, rutile, garnet, epidote, zircon]	Ильменит, рутил, гранат, циркон, желваки фосфоритов [Ilmenite, rutile, garnet, zircon, phosphorite nodules]	Зерна фосфорита, ильменита, лейкоксена, рутила, дистена, граната и циркона. Фосфорит также в виде обломков на зернах кварца и тяжелых минералов, конкреций, отдельных зерен, биоморфов [Grains of phosphorite, ilmenite, leucokhene, rutile, distene, garnet and zircon. Phosphorite is also in the form of shells on quartz grains and heavy minerals, nodules, individual grains, and biomorphoses.]	Ильменит, лейкоксен, рутил, циркон, старовит, дистен, слюда, анатит, турмалин "редкоземельные" минералы, золото, алмазы [Ilmenite, leucokhene, rutile, zircon, staurolite, distene, sillimanite, tourmaline + rare earth minerals, gold, diamonds]
Рудная зона (РЗ)/Район (РР) [Zone (Z)/District (D)]	Павловско-Обоянская РЗ [Pavlovsky-Obouyanskaya Z]	Плавск-Скопин-Елецкая РЗ [Plavsk-Skopin-Yelstskaya Z]	Тамбовский РР [Tambov' D]	Тамбовский РР [Tambov' D]	Унечско-Крапивненская РЗ [Uneshko-Krapivnenskaya Z]	Павловско-Обоянская (Белгородская) РЗ [Pavlovsky-Obouyanskaya Z]
Выявленные россыпи [Identified placers]	Павловская, Лосевская [Pavlovskaya, Losevskaya]	Баррем: Корневская, Дубасовская, Князевско-Петрушинская Апт: Волгинско-Голоховская, Лев-Толстовская, Корневская, Рогачевская Лев-Толстовская, Корневская, Рогачевская [Barrem: Kornevskaya, Dubasovskaya, Knyazevsko-Petrushinskaya, Apt: Volchinskogo-Golozhkovskaya, Lev-Tolstovskaya, Kornevskaya, Rogachevskaya]	Центральная [Centralnaya]	Карсановская [Karsanovskaya]	Унечская [Uneshkaya]	Сине-Липовская, Новозыбковская, Бутовская, Источенская [Sine-Lipovskaya, Novozybkovskaya, Butovskaya, Istochenskaya]

Рис. 1. Характеристика эпох россыпеобразования в фанерозое Воронежской антеклизы.
[Fig. 1. Characterization of the epochs of placer formation in the Phanerozoic Voronezh antecline.]

Кроме собственной ильменитовой компоненты для проанализированных зерен характерно наличие магнелиевой разновидности – гейкилита, и марганцевой – пирофанита. В качестве включений в исследуемых ильменитах отмечены монацит, апатит и тальк. В работе [11] приводится сравнительная характеристика ильменита из ястребовской свиты ВА и Иршинского (Украина) месторождений. Выявлено, что ястребовский ильменит аналогичен иршинскому по содержанию в рудах, химическому составу, степени измененности, размеру компонентов, и может рассматриваться как источник для замещения импортного сырья для российской титановой промышленности при производстве пигментного диоксида титана.

Высоко оценивая вклад многих исследователей в изучение титан-циркониевых россыпей Воронежской антеклизы, следует признать, что на данный момент существует ряд нерешенных вопросов, требующих дальнейшего изучения. В частности, более детальное изучение вещественного состава тяжелой фракции россыпей показало наличие в ней мелких алмазов и частиц золота, что предполагает обнаружение их в источниках сноса. Более глубокой проработки требуют методы фациального и формационного анализов образования россыпей. Особого внимания заслуживают вопросы стратиграфии и тектоники при выработке поисковых критериев для прогноза новых титан-циркониевых месторождений в пределах рассматриваемой территории ВА.

Методика

При проведении работ предусматривался комплекс полевых и лабораторных исследований. Опробование проводилось, как правило, бороздовым способом. Длины проб составляли около 1 м с сечением борозды 12х2.5 см. В обнажениях производились расчистки до коренных пород, в косослоистых отложениях опробовались серии слоев и отдельные слои.

При документации основное внимание уделялось структурно-текстурным особенностям пород (типы слоистости, рябь, распределение акцессориев, включения, контакты слоев и пачек). Визуально определялся гранулометрический и минеральный состав, а также степень сортировки песчаных отложений. Производились зарисовки и фотографирование наиболее интересных фрагментов разреза.

В лабораторных условиях пробы квартовались с отбором навесок в 100 г. Глинистая фракция (<0.01 мм) вымывалась, а алевроитопесчаная составляющая рассеивалась стандартном наборе сит.

Количественный анализ минералов тяжелой фракции проводился в жидкости с пока-

зателем преломления 1.737, а легкой фракции – 1.544. Подсчитывалось порядка 500 зерен с выделением прозрачных и непрозрачных минералов, производился пересчет содержаний в процентах на прозрачную и непрозрачную части, а затем и на всю тяжелую фракцию [8].

На основании анализа литологических и фациальных данных выделены литологические зоны и установлены основные особенности осадконакопления [12, 14]. Описание минерагенических построений приведено в работе [15].

Обсуждение результатов

Эпохи россыпеобразования

В фанерозое для Воронежской антеклизы выделяются раннефранская, баррем-аптская, сеноманская, раннесантонская, раннекампанская и олигоцен-миоценовая эпохи россыпеобразования. В различных частях региона для этих эпох характерны песчаные отложения, содержащие промышленные концентрации титанциркониевых минералов.

Раннефранская эпоха на юго-востоке Воронежской антеклизы связана с вулканогенно-осадочными отложениями ястребовского горизонта, представленными ильменитоносными туфами, туфолавами, туффитами, туфопесчаниками, аргилитами, алевролитами, форми-

ровавшимися в дельтовых, лагунных, прибрежно- и мелководно-морских фациях.

По данным работы [16], ястребовские отложения залегают на глубинах от первых до 250 м и вскрыты только Павловским гранитным карьером. Их мощность варьируется от 1 до 40 метров, а в вулканогенных породах – до 25 метров. Наибольшая мощность наблюдается вблизи вулканических аппаратов (рис. 2), рассмотренные в работе А. В. Милаша [17]. Здесь же можно найти самые крупные частицы вулканического материала (до туфобрекчий) и наибольшее содержание ильменита (до 350 кг/м³).

В различных породах ястребовского горизонта тяжёлая фракция составляет от долей до 15 %. Она состоит из ильменита (10–47 %), обломков эффузивных пород с зёрнами ильменита (0.02–31 %), сидерита (3–84 %), хромита, граната, ставролита, циркона, рутила, анатаза, лейкоксена и апатита (всех до первых процентов) [18].

В основном, ильменит содержится в грубообломочных туфах и туффитах с эффузивными обломками основного состава, песчаниках с большим количеством туфогенного материала, а также в туфолавах и туфобрекчиях. Мощность слоёв и пачек пород, обогащённых ильменитом, колеблется от 2–3 до 10–11 метров. Туфы и туффиты, содержащие ильменит, могут быть лито-

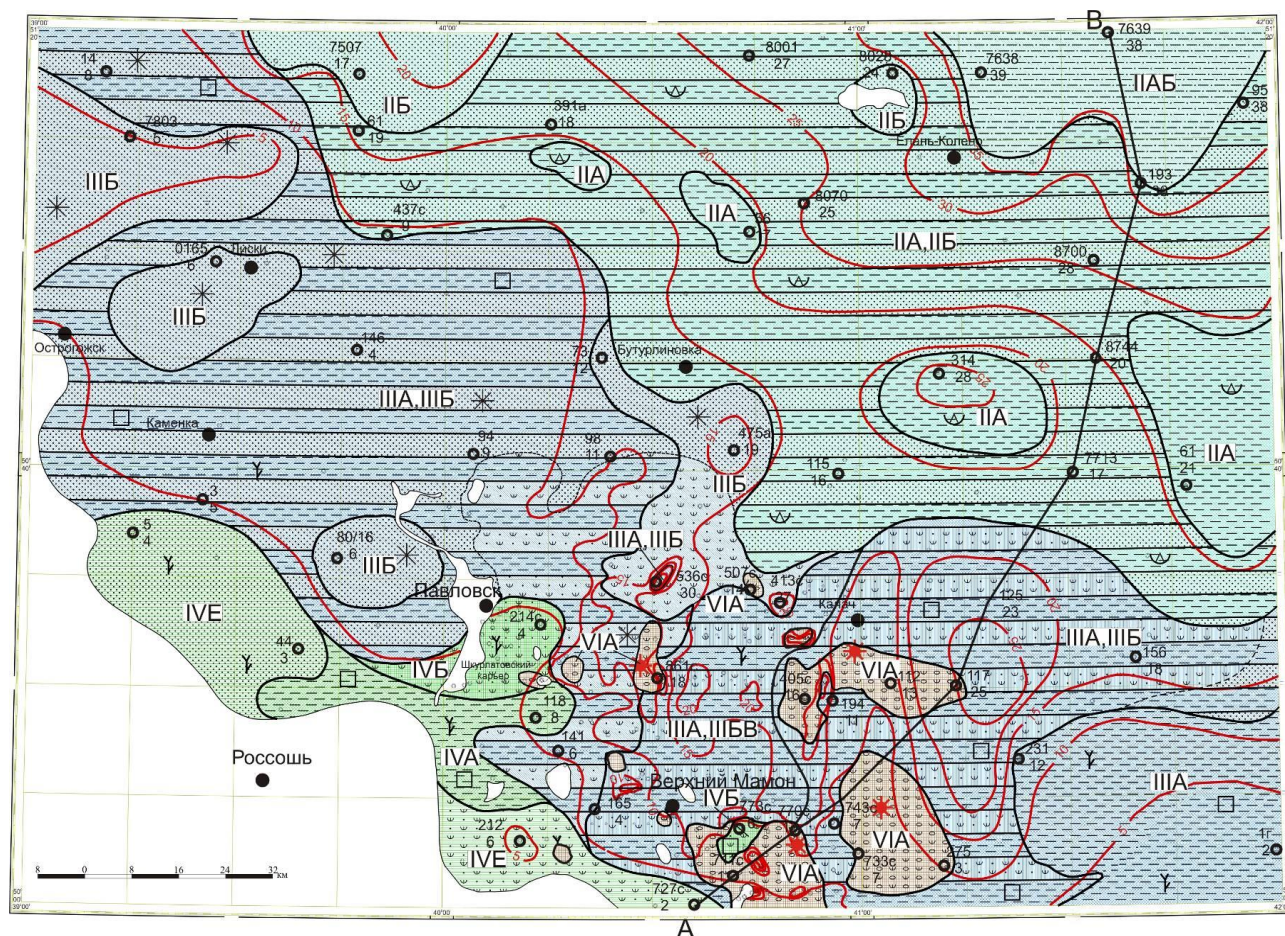


Рис. 2. Фациальная карта юго-востока Воронежской антеклизы. Ястребовское время [17].
[Fig. 2. Facies map of the southeast of the Voronezh antecline. Hawk time [17].]

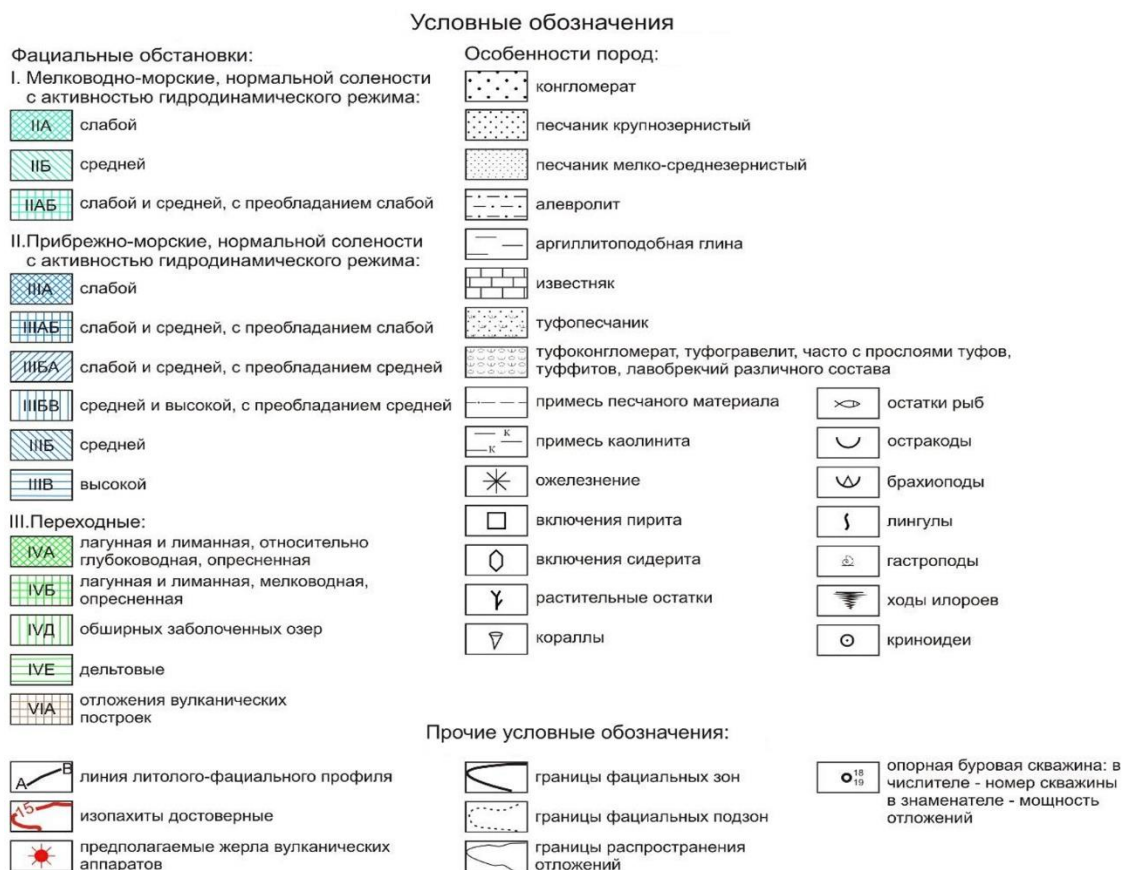


Рис. 2. Фациальная карта юго-востока Воронежской антеклизы. Ястребовское время. Условные обозначения [17].

[Fig. 2. Facies map of the southeast of the Voronezh antecline. Hawk time [17]. Symbols of the facies environment: I. Shallow-sea, normal salinity with activity of the hydrodynamic regime: IIA weak; IIB medium, IIB weak and medium, with a predominance of weak; II. Coastal-marine, normal salinity with hydrodynamic regime activity: IIIA weak; IIIB weak and medium, with a predominance of weak; III weak and medium, with a predominance of medium; III medium and high, with a predominance of medium; III medium; III high; III. Transitional: IVA lagoon and estuary, relatively deep-water, desalinated; IVB lagoon and estuary, shallow, desalinated; IVD of extensive swampy lakes; IVE deltas; VIA deposits of volcanic structures. Rock features: conglomerate; coarse-grained sandstone; fine-to-medium-grained sandstone; siltstone; mudstone-like clay; limestone; tuff sandstone; tuffconglomerate, tuffog gravelite, often with layers of tuffs, tuffites, lavobrecchia of various compositions; admixture of sandy material; remains of fish; admixture of kaolinite; ostracods; calcification; brachiopods; lingules; inclusions of pyrite; inclusions of siderite; gastropods; plant remains; iloro passages; corals; crinoids. Other symbols: the line of the lithological and facies profile; the boundaries of the facies zones; the reference borehole: in the numerator - the number of the well in the denominator - the thickness of the sediments; isopachites reliable; boundaries of facies subzones; assumed vents of volcanic apparatuses; boundaries of sediment distribution.]

или витрокластическими. Пирокласты (70–90 %) сцементированы магниезально-железистым хлоритом, который развивается по пеплу и пелитовому материалу. Чем больше хлорита, тем выше содержание ильменита в породе. Большая часть ильменита имеет оскольчатую, остроугольную или серповидную форму. Иногда встречаются изоморфные кристаллы. В литокластах ильменит находится в виде густой вкрапленности. Часто можно увидеть его скелетные формы и оторочки вокруг обломков эффузивов и зёрен кварца. Это свидетельствует о перераспределении титана в процессе диагенеза. Размер зёрен ильменита колеблется от тысячных долей до 0.68 мм. Самые крупные находятся в средне- и грубообломочных разностях туфогенных пород. Среднее содержание ильменита – 100 кг/м³ при средней мощности пласта 6 метров.

Кристаллизация минералов титана и циркония происходила в магме повышенной щелочности, богатой

титаном и магнием, на что указывает специфический химический состав ильменита, который проявляется в увеличении содержания MgO и MnO [10].

Баррем-аптская эпоха проявилась на севере территории ВА (северная часть Липецкой и южная Рязанской областей). Там в мелком море формировались монаминеральные кварцевые пески в результате размыва доаптской коры выветривания. Барремская часть нижнемеловой формации продуктивна на юго-западе Рязанской области. С ней связаны Корневская, Дубасовская и Князево-Петрушинская россыпи. Продуктивные пески мелкозернистые и алевритистые. Выход тяжёлой фракции составляет 6–35 кг/м³ и представлен циркон-дистен-ставролит-ильменитовой ассоциацией. Ильменит нередко лейкоксенитизирован.

Более высокое содержание тяжёлой фракции наблюдается в аптских отложениях (до 200 кг/м³). В прибрежно-морской зоне, расположенной к северу от

Липецка, формировались пески с переменным гранулометрическим составом как по разрезу, так и по площади (рис. 3). Для них характерна разнообразная слоистость, которая может быть как мульдобразной, так и косой. Пески отличаются хорошей сортировкой и повышенным содержанием тяжёлых минералов. В некоторых обнажениях наблюдаются косые серии с направлением вытянутых косых слоёв в разные стороны, а также мелкую мульдобразную и «пучковую» слоистость. Эти типы часто усложняют слоевые поверхности в песках с первыми двумя типами слоистости.

Для песков с мелкой мульдобразной слоистостью характерно высокое содержание тяжёлых минералов,

которые сосредоточены преимущественно во фракции 0.25–0.1 мм. В некоторых случаях участки с повышенным содержанием аксессуаров разобщены в плане глинистыми песками, а в других — песками с высоким содержанием фракций крупнее 0.25 мм. Россыпи с тяжёлыми минералами залегают в виде вытянутых линзовидных тел шириной от 0.5 до 3 км и протяжённостью от 1 до 3 км. Общая ширина полосы распространения рудоносного пласта с линзами, где концентрация полезных минералов более 10 кг/м³, может достигать 4 км. В Липецкой области обнаружены Волчинско-Голожоховская, Лев-Толстовская, Корневская и Рогачевская россыпи.

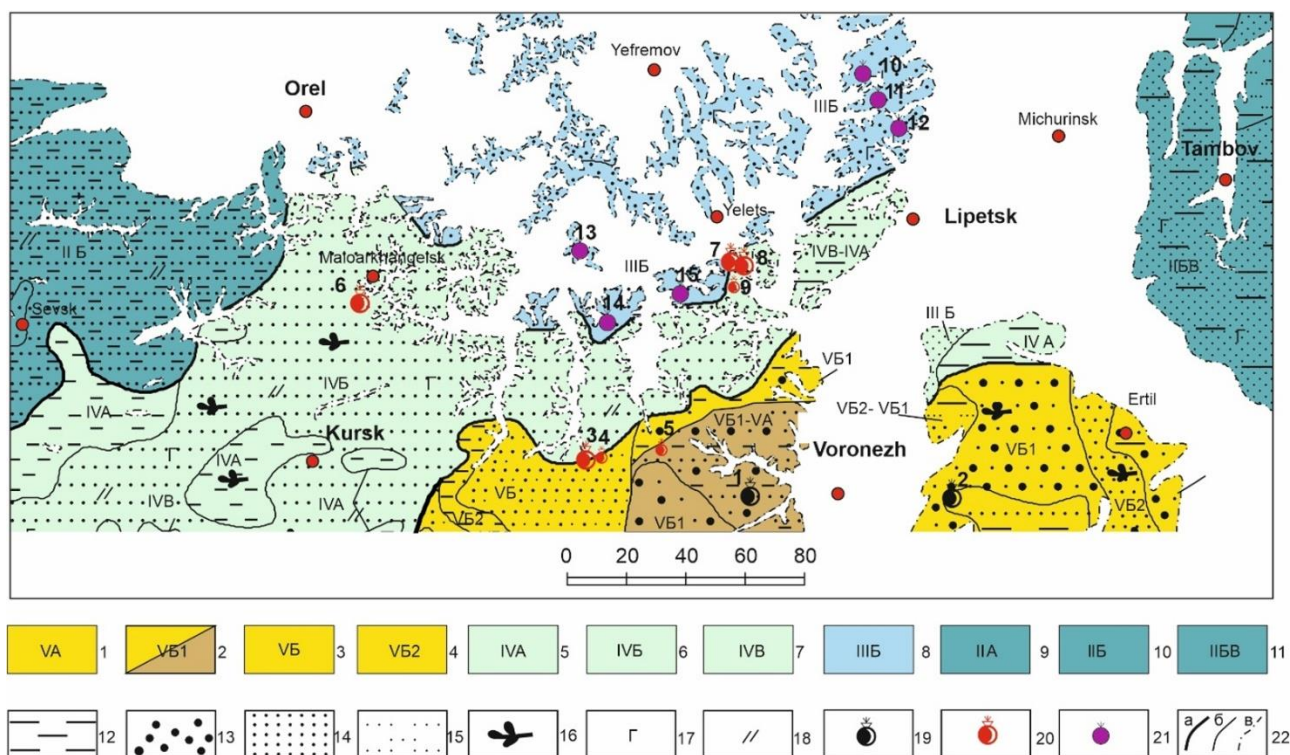


Рис. 3. Фациальная карта аптского времени с врезкой для района Латненского месторождения. Фациальные обстановки: 1–4 – континентальные (коричневым – возвышенная аллювиальная равнина, желтым – низовья аллювиальной равнины): 1 – озерно-болотная, 2 – аллювиальная русловая, 3 – аллювиальная нерасчлененная, 4 – аллювиальная пойменная и старичная; 5–7 – лагуно-морские, с активностью гидродинамических режимов: 5 – слабой, 6 – средней, 7 – высокой; 8 – прибрежно-морские с средней активностью гидродинамических режимов; 9–11 – мелководно-морские, с активностью гидродинамических режимов: 9 – слабой, 10 – средней, 11 – средней и высокой, с преобладанием средней. Породы: 12 – глины, 13 – пески крупно-, грубозернистые, 14 – пески от тонко- до среднезернистых, 15 – алевроиты, 16 – углефицированные растительные остатки, 17 – глауконит, 18 – слюдистость. Полезные ископаемые: 19 – огнеупорные глины, 20 – тугоплавкие глины, 21 – титан-циркониевые россыпи. Месторождения и россыпи: Огнеупорные глины: 1 – Латненское, 2 – Криушанское; тугоплавкие глины: 3 – Болшекарповское, 4 – Малокарповское (проявление), 5 – Касторенское (проявление), 6 – Малоархангельское, 7 – Лукошкинское, 8 – Чибисовское, 9 – Черкасские Дворики; 10–15 – Ti-Zr россыпи: 10 – Лев-Толстовская; 11 – Первомайская; 12 – Волчинская; 13 – Норовская; 14 – Захаровская; 15 – Дубовецкая.

[Fig. 3. Facies map of the Aptian time with an inset for the Latnensky deposit area. Facies settings: (1–4) – continental (brown – elevated alluvial plain, yellow – lower reaches of the alluvial plain): (1) – lake-marsh, (2) – alluvial channel, (3) – alluvial undivided, (4) – alluvial floodplain and ancient; (5–7) – lagoon-marine, with activity of hydrodynamic modes: (5) – weak, (6) – medium, (7) – high; (8) – coastal-marine with average activity of hydrodynamic modes; (9–11) are shallow-sea, with the activity of hydrodynamic modes: (9) – weak, (10) – medium, (11) – medium and high, with a predominance of medium. Rocks: (12) – clays, (13) – coarse and coarse-grained sands, (14) – fine to medium-grained sands, (15) – siltstones, (16) – carboniferous plant remains, (17) – glauconite, (18) – mica. Minerals: (19) – fireproof clays, (20) – refractory clays, (21) – titanium-zirconium deposits. Deposits and placers: fireproof clays: (1) – Latnenskoye, (2) – Kriushanskoye; refractory clays: (3) – Bolshekarpovskoye, (4) – Malokarpovskoye (manifestation), (5) – Kastorenskoye (manifestation), (6) – Maloarchangelskoye, (7) – Lukoshkinskoye, (8) – Chibisovskoye, (9) – Cherkassky Courtyards; (10–15) – Ti-Zr placers: (10) – Lev-Tolstovskaya; (11) – Pervomayskaya; (12) – Volchinskaya; (13) – Norovskaya; (14) – Zakharovskaya; (15) – Dubovetskaya.]

Сеноманская эпоха проявлена на северо-востоке Воронежской антеклизы и связана с мелководно-морскими фациями, где накапливались фосфатоносные глауконит-кварцевые пески. С этой эпохой связана крупная титан-циркониевая Центральная россыпь, а также ряд мелких залежей. Выход тяжелой фракции, представленной ильменитом, лейкоксеном, рутилом, цирконом, гранатом, эпидотом, цоизитом непостоянен и варьирует от 14 до 200 кг/м³. Легкая фракция песков представлена кварцем (до 90 %), глауконитом (до 8.7 %) и полевыми шпатами (до 6.5 %).

Раннесантонская эпоха проявлена там же, где и сеноманская. Повышенные содержания тяжелых минералов приурочены к нижней (фосфоритоносная пачка) и верхней (мелко-тонкозернистые пески) частям сантонских отложений. В это время формирование россыпей происходило в двух фациальных зонах с активным гидродинамическим режимом – прибрежно- и мелководно-морских, а вместе с фосфоритами накапливались тяжелые минералы. В отличие от отложений апта и сеномана, в фосфоритоносной пачке до 66 % фракции более 0.25 мм. Это связано с присутствием фосфатов, образующих биоморфозы, желваки и зёрна.

Выход тяжелой фракции возрастает с увеличением концентрирующей фракции 0.25–0.16 мм, частично 0.16–0.05 мм. Содержание последней в прибрежно-морской зоне составляет 11–21 %, а выход тяжелой фракции 5.0–47.1 кг/м³. В то же время, на удаленной от берега мелководно-морской фации содержание фракции 0.16–0.05 мм увеличивается до 77 %, а выход тяжелых минералов – до 72 кг/м³. Пески по составу глауконит-кварцевые, среднее глауконита в них 12 %. Тяжелая фракция характеризуется циркон-рутил-гранат-ильменитовой ассоциацией. С этой эпохой связана Кирсановская россыпь, содержащая ильменит, гранат, рутил.

Раннекампанская эпоха проявлена на северо-западе ВА. Продуктивная толща приурочена к пескам с примесью глауконита, полевых шпатов и тяжелых минералов (ильменит, лейкоксен, рутил, дистен, гранат и циркон). Отличительной особенностью является наличие фосфатной оболочки на зернах кварца и минералах тяжелой фракции [19].

Обычно продуктивный слой состоит из алевроитистых, мелкозернистых кварцевых песков с глауконитом (2–30 %), полевыми шпатами (3–13.3 %) и тяжелыми минералами (до 6.3 %), представленными зёрнами фосфорита, ильменита, лейкоксена, рутила, дистена, граната и циркона. Фосфорит встречается в виде оболочек на зёрнах кварца и тяжёлых минералов, конкреций, отдельных зёрен и биоморфоз. Содержание P₂O₅ колеблется от 3 до 28 % и находится в тесной связи с количеством тяжелой фракции. К этой эпохе приурочена Унечская россыпь фосфатов и тяжёлых минералов.

В олигоцен-миоценовую эпоху в регионе происходил процесс осадконакопления, который можно охарактеризовать как регрессивный. В это время были созданы благоприятные условия для шлихования песков, преимущественно юго-западной части ВА. Там в Белгородской области, имеются Бутовская и Истобенская россыпи с повышенным содержанием тяжелой фракции (ильменит, лейкоксен, рутил, циркон, редкоземельные минералы). В Воронежской области выявлена Синелипяговская россыпь. В ней рутила 16 кг/т, циркона 19.5 кг/т, ильменита 5.3 кг/т.

В Брянской области разведана Новозыбковская россыпь с суммарным выходом тяжелой фракции до 350 кг/м³ (ильменит, лейкоксен, рутил, циркон, ставролит, дистен, силлиманит, турмалин). В Курской области известна Высоконовская россыпь (циркона 25 %, ильменита 5 %, рутила 42 %, ставролита 12 %, дистена 10 %).

Изучение тяжелой фракции из крупнообъемных проб, взятых из ряда рассмотренных выше россыпей, показало наличие в тяжелой фракции песков нетрадиционных для ЦЧР видов минерального сырья. Так в Волчинской залежи аптских песков обнаружено свыше 400 мелких алмазов (рис. 4), что определило постановку тематических работ по поискам их коренных источников. Проведенные сотрудниками Воронежского госуниверситета работы, в том числе по ряду листов ГДП-200, показали наличие подобных алмазов, а также их минералов спутников, не только в аптских, но и в неокотских, и олигоцен-миоценовых россыпях. Результаты этих исследований изложены в работах [20–22].

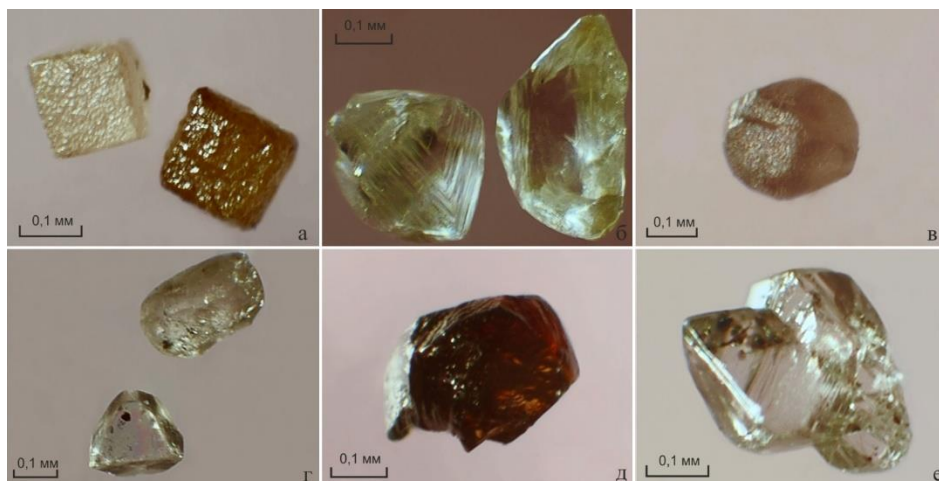


Рис. 4. Алмазы из Волчинской россыпи: а – два кристалла кубической формы; б – октаэдр; в – куб-октаэдр; г – октаэдр и зерно эллипсоидной формы; д – ромбододекаэдр; е – сростки октаэдров.

[Fig. 4. Diamonds from Volchinsky placer: (a) – two crystals of cubic shape; (b) – octahedra; (c) – cube-octahedron; (d) – octahedron and grain of ellipsoid shape; (e) – rhombododecahedron; (f) – octahedron intergrowths.]

Изучение обнаруженных в россыпях частиц ультратонкого золота не подтвердило их терригенного происхождения. Как правило, эти частицы содержат примеси летучих Hg, As, S, Bi, а также Cu, Zn, а также и других элементов. Это свидетельствует об эвгальционно-осадочном генезисе драгоценного металла [23, 24]. Т.е. он не накапливается в тяжелой фракции, а россыпи не могут быть перспективны на наличие в них этого металла.

Минерагеническое районирование титан-циркониевых россыпей

На территории листа N-36 (Смоленск) выделена Унечско-Крапивенская циркон-титановая минерагеническая зона (1). Она приурочена к песчано-алевритовой формации нижнего кампана, прослежена от г. Унечи, где рудный горизонт выходит на поверхность, в Гомельскую область Белоруссии (рис. 5). В ее пределах выявлен Унечский циркон-титановый рудный район.

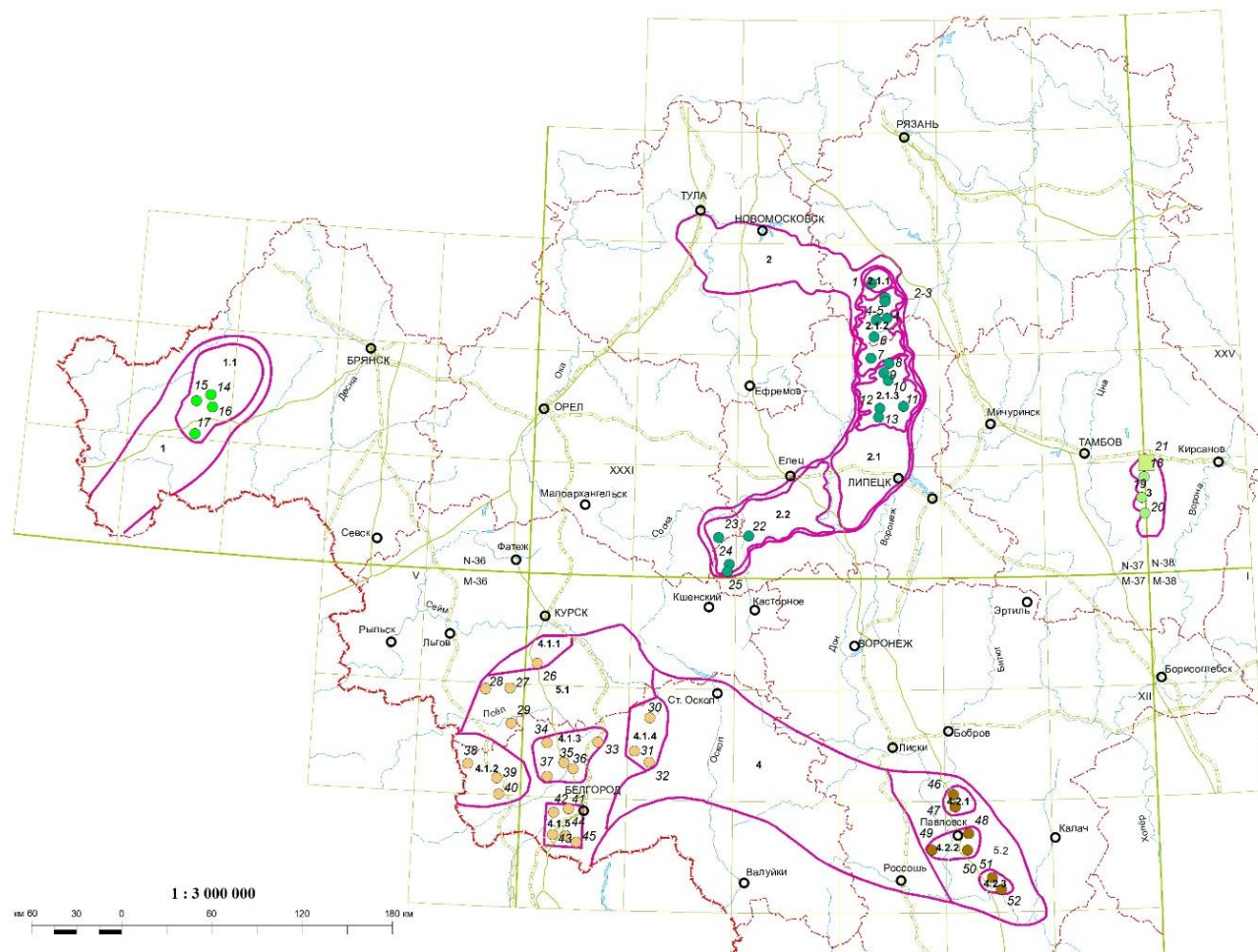


Рис. 5. Схема минерагенического районирования титан-циркониевых россыпей в пределах Воронежской антеклизы. Минерагенические таксоны: 1 – Унечско-Крапивенская циркон-титановая минерагеническая зона; 1.1 – Унечский циркон-титановый рудный район; 2 – Плавск-Скопин-Липецк-Елецкая титан-циркониевая россыпная зона; 2.1 – Липецкий титан-циркониевый россыпной район (2.1.1 – Скопинский россыпной узел, 2.1.2 – Милославский россыпной узел, 2.1.3 – Первомайский россыпной узел); 2.2 – Елецко-Ливенский прогнозируемый район; 3 – Тамбовский россыпной район; 4 – Павловско-Обоянская титан-циркониевая минерагеническая зона; 4.1 – Обоянский и Павловский россыпной район (4.1.1 – Высоконовский, 4.1.2 – Истобнянский, 4.1.3 – Бутовский, 4.1.4 – Борисовский, 4.1.5 – Белгородский); 4.2 – и Павловский россыпной район (4.2.1 – Лосевский узел, 4.2.2 – Павловский узел, 4.2.3 – Нижнемамонский узел). 1–52 россыпи: 1 – Князевская; 2 – Ольшанская; 3 – Казначеевская; 4 – Дуловская; 5 – Дубасовская; 6 – Кочуровская; 7 – Ягодинская; 8 – Лев-Толстовская (Больше-Карповская залежь); 9 – Лев-Толстовская (Лев-Толстовская залежь); 10 – Лев-Толстовская (Астаповская залежь); 11 – Овражная; 12 – Шовская; 13 – Больше-Избищенская; 14 – Унечская, участок Писаревский; 15 – Унечская, участок Павловский; 16 – Унечская участок Шуляковский; 17 – Унечское, участок Вишневский; 18 – Кирсановская; 19 – Ручей; 20 – Хитрово; 21 – Центральная; 22 – Дубовецкая; 23 – Норовская; 24 – Захаровская; 25 – Волоская; 26 – Высоконовская Южная; 27 – Любостанская; 28 – Большая Солдатская; 29 – Нижнепенская; 30 – Куськинская; 31 – Холодненская; 32 – Короханская; 33 – Беленихинская Северная; 34 – Верхоненская; 35 – Покровская; 36 – Беленихинская Южная; 37 – Бутовская; 38 – Угрюмовская; 39 – Ракитнянская; 40 – Новоберезовская; 41 – Бессоновская Северная; 42 – Бессоновская Южная; 43 – Октябрьская; 44 – Болдыревская Западная; 45 – Болдыревская Восточная; 46 – Лосевская-1; 47 – Лосевская-2; 48 – Павловская; 49 – Сергеевская; 50 – Шкурлатовская; 51 – Верхнемамонская; 52 – Нижнемамонская.

[Fig. 5.] The scheme of mineralogical zoning of titanium-zirconium placers within the Voronezh antecline. Mineralogical taxa: (1) – Unechsko-Krapivenskaya zircon-titanium mineralogical zone; (1.1) – Unechsky zircon-titanium ore region; (2) – Plavsk-Skopin-Lipetsk-Yeletskaaya titanium-zirconium placer zone; (2.1) – Lipetsk titanium-zirconium placer region ((2.1.1) – Skopinsky placer node, (2.1.2) – Miloslavsky placer

node, (2.1.3) – Pervomaisky placer node,); (2.2) – Yeletsko-Livensky forecasted area; (3) – Tambov placer area; (4) – Pavlovsko-Oboyanskaya titanium-zirconium mineragenic zone; (4.1) – Oboyansky and Pavlovsky placer area ((4.1.1) – Vysokonovsky, (4.1.2) – Istobnyansky, (4.1.3) – Butovsky, (4.1.4) – Borisovsky, (4.1.5) – Belgorodsky); (4.2) – and Pavlovsky placer area ((4.2.1) – Losevsky node, (4.2.2) – Pavlovsky node, (4.2.3) – Nizhnemamonsky node). (1–52) placers: (1) – Knyazevskaya; (2) – Olshanskaya; (3) – Kaznacheevskaya; (4) – Dulovskaya; (5) – Dubasovskaya; (6) – Kochurovskaya; (7) – Yagodinskaya; (8) – Lev Tolstovskaya (More-Karpovskaya deposit); (9) – Lev-Tolstovskaya (Lev-Tolstovskaya deposit); (10) – Lev-Tolstovskaya (Astapovskaya deposit); (11) – Ravine deposit; (12) – Shovskaya; (13) – Bolshe-Iz-bishchenskaya; (14) – Unechskaya, Pisarevsky site; (15) – Unechskaya, Pavlovsky site; (16) – Unechskaya site Shulyakovsky; (17) – Unech-skoye, Vishnevsky section; (18) – Kirsanovskaya; (19) – Ruchey; (20) – Khitrovo; (21) – Tsentralnaya; (22) – Dubovetskaya; (23) – No-rovskaya; (24) – Zakharovskaya; (25) – Volovskaya; (26) – Vysokonovskaya Yuzhnaya; (27) – Lyubostanskaya; (28) – Bolshaya Soldatskaya; (29) – Nizhnepenskaya; (30) – Kusinskaya; (31) – Kholodnenskaya; (32) – Korokhanskaya; (33) – Belenikhinskaya North; (34) – Verkhopen-skaya; (35) – Pokrovskaya; (36) – Belenikhinskaya South; (37) – Butovskaya; (38) – Pogromedovskaya; (39) – Rakitnyanskaya; (40) – Novo-berezovskaya; (41) – Bessonovskaya North; (42) – Bessonovskaya South; (43) – Oktyabrskaya; (44) – Boldyrevskaya West; (45) – Boldyrevskaya East; (46) – Losevskaya-1; (47) – Losevskaya-2; (48) – Pavlovskaya; (49) – Sergeevskaya; (50) – Shkurlatovskaya; (51) – Verkhnemamonskaya; (52) – Nizhnemamonskaya.]

В минерагеническом районировании в пределах территории листа N-37 (Москва) выделена Плавск-Скопин-Липецк-Елецкая титан-циркониевая россыпная зона (2), простирающаяся в виде полумесяца с севера на юг по линии Тула-Скопин-Данков-Лев Толстой-Липецк-Задонск-Елец, приуроченная к нижнемеловым песчано-глинистым отложениям. Она находится на склоне Воронежского кристаллического массива на границе с Московской синеклизой. Центральная и южная части зоны расположены в пределах антеклизы, а северная часть находится в переходной зоне между этими надпорядковыми структурами.

Для россыпей отмечается повышенное содержание минералов титана и циркония. В целом, для всей Плавск-Скопин-Липецк-Елецкой зоны характерно наличие множества россыпей малых по своим запасам и ресурсам и бедных по содержанию минералов титана и циркония. Средние суммарные количества этих компонентов, несмотря на высокие их содержания в отдельных пробах, не более 30 кг/м³. В пределах зоны выделен Липецкий титан-циркониевый россыпной район (2.1) и Елецко-Ливенский прогнозируемый район (2.2). Первый включает три рудных узла – Скопинский (2.1.1), Милославский (2.1.2) и Первомайский (2.1.3). В площадь развития последнего включено Волчинское россыпное поле.

На стыке листов N-37 (Москва) и N-38 (Пенза) расположен Тамбовский россыпной район, приуроченный к верхнемеловым морским отложениям. В пределах этого района выявлено Центральное месторождение, связанное с мелководно-морскими отложениями сеномана и раннесантонская Кирсановская россыпь.

В пределах листа М-37 (Воронеж) выявлена Павловско-Обоянская титан-циркониевая минерагеническая зона (4), приуроченная к широкому спектру отложений – от верхнего девона до миоцена. В ее пределах отмечаются Обоянский (4.1) и Павловский рудные районы (4.2), включающие в себя пять и три рудных узла соответственно. Эта рудная зона прослеживается на сопредельной территории, на площади листа М-36, и носит там название Белгородская зона.

Рудоконтролирующие факторы

Основными факторами, влияющими на формирование титан-циркониевых россыпей являются: стратиграфический, фациальный, структурно-тектоничес-

кий, палеогеографический, эволюционный.

Стратиграфический фактор. В мезокайнозойских отложениях ВА наблюдаются повышенные концентрации тяжёлых минералов и россыпей. Эти отложения относятся к барремскому, аптскому, сеноманскому, сантонскому и кампанскому ярусам меловой системы, а также к бережской свите олигоцен-миоценового возраста. Тяжёлые минералы чаще всего встречаются в алевропесчаных отложениях, расположенных в нижней или верхней части ярусов или подъярусов. Однако возраст продуктивных толщ в пределах ярусов и подъярусов охватывает широкий диапазон различных стадий россыпеобразования. Это затрудняет определение точного возраста формирования россыпей и их отдельных частей, таких как пачки и слои, которые могут быть обогащены тяжёлыми минералами в разной степени. Стратиграфические исследования позволяют выделить свиты, подсвиты, горизонты и другие подразделения внутри ярусов или подъярусов.

Таким образом, стратиграфический фактор играет важную роль в определении узких временных интервалов, связанных с образованием россыпей. Однако его значение не является ключевым и должно использоваться совместно с другими факторами.

Фациальный и палеогеографический факторы. Многократные перемывы и шлихование песков на неровном рельефе прибрежной зоны и мелководного шельфа – одно из главных условий накопления тяжёлых минералов. Подводные течения также играли значительную роль в повышении концентраций акцессориев. Титан-циркониевые россыпи относятся к россыпям дальнего переноса. Источниками сноса для них в мезокайнозой преимущественно были осадочные породы палеозоя и мезозоя ВА. Для титан-циркониевых россыпей важна не только удаленность от источников сноса, но и зрелость размываемых пород.

В меловых и палеогеновых отложениях Воронежской антеклизы, за исключением аптских, отсутствуют континентальные и переходные фации, что затрудняет определение границ суши и моря. В аптских отложениях есть дельтовые и морские образования, поэтому возможно выделение зоны мелководных отложений севернее широты г. Липецка. Более достоверно установлены береговые линии для продуктивных толщ сивашской (бережская свита) и средненовопетровской подсвиты полтавской серии. Здесь обнаружены россыпи

с прибрежно-морской пляжевой фациальной принадлежностью. Таким образом, палеогеографический фактор применим только для регионального обзора с целью выявления различных типов морских фациальных обстановок (прибрежно-морских, мелководных и относительно глубоководных).

Принадлежность алевропесчаных пород к фациальным обстановкам устанавливается по текстурным особенностям, гранулометрии и минеральному составу. Для продуктивных толщ характерны различные типы косой слоистости, отражающие гидродинамические режимы среды осадконакопления. На месторождении Центральное слоистость уничтожена илоедами, в соседних участках тип слоистости указывает на значительную роль подводных течений. Слоистость песков Волчинско-Голожоховской и Корневской россыпей отражает колебательные движения водной среды. Протяженность и большие размеры слоев в песках первой свидетельствуют о более активной гидродинамике. Типы слоистости Высоконовского месторождения также указывают на активную колебательную динамику.

Повышение концентрации тяжелых минералов связано с мелкозернистыми алевритистыми песками. Наиболее продуктивны пески с содержанием фракции 0.25–0.05 мм от 60 до 80 %. Основной рудоконцентрирующей является фракция 0.25–0.1 мм. При увеличении фракций >0.25 мм или <0.05 мм общее содержание тяжелой фракции уменьшается.

В минералогическом отношении россыпи Скопинского района, Волчинско-Голожоховская и Новозыбковская сложены песками кварцевого состава и образовались они в прибрежной зоне. На месторождении Центральное в легкой фракции присутствует глауконит (до 6 %), который накапливается в мелководно-морской зоне, прилегающей к нижней “фосфатной” части шельфа. С нижней фосфатно-карбонатной частью шельфа связано образование Унечско-Крапивенской группы месторождений (содержание глауконита 2.0–30 %, фосфатов 13.5–98.0 %, карбонатов до 25 %). Присутствие глауконита (10.6 %) и глобулярного опала в Кирсановском месторождении (до 60 %) указывает на глубины нижних частей шельфа. Следовательно, формирование россыпей шло в разных частях мелководно-морского бассейна.

Таким образом, можно сформулировать фациальные критерии поисков повышенных концентраций тяжелых минералов в песках: наличие прибрежных и мелководно-морских фаций с переменной и средней гидродинамической активностью; преобладание фракций 0.25–0.05 мм; приуроченность к нижним частям шельфа, в том числе “фосфатного”. Но эти критерии не имеют значения при отсутствии выраженных положительных форм подводного рельефа или пляжевой зоны. Одно из основных условий шлихования тяжелых минералов – многократный и длительный перемыв песков при неустойчивой береговой линии.

Структурно-тектонический фактор. Рассматриваемые титан-циркониевые россыпи, как правило, расположены в пограничных районах ВА с отрицатель-

ными структурами.

Формирование рудных залежей Скопинского участка в барремском и аптском веках происходило на склонах локальных подводных поднятий. Скопинская и Волчинско-Голожоховская россыпи находятся на границе структур первого порядка – Московской синеклизы и северо-северо-восточного склона Воронежской антеклизы. Здесь выделяется крупная структура второго порядка – Сухиничи-Труфаново-Скопинская зона поднятий и прогибов, внутри которой находится Скопинско-Липецкая подзона, являющаяся структурой третьего порядка, где обнаружено большинство продуктивных залежей. Волчинско-Голожоховская россыпь контролируется пересечением стабильной пляжной зоны аптского моря и опущенного блока. Современная поверхность распространения россыпи заключена между отметками 160–170 м.

На северо-восточном склоне антеклизы находится Центральное месторождение, которое сформировалось в сеноманском веке в нижних частях склонов двух вытянутых валов и впадине между ними. Оно находится на территории Пачелмского авлакогена, заложенного по глубинным разломам. В сеномане в её пределах была отрицательная структура, где располагался морской бассейн. Туда сносился терригенный материал с размываемых промежуточных коллекторов минералов тяжелой фракции ВА и Волго-Уральской антеклизы, последующим его шлихованием и образованием титан-циркониевых россыпей. Этому во многом способствовала нестабильная подвижная береговая линия, контролируемая глубинными разломами.

На северо-западном склоне антеклизы, в пределах Унечского грабена расположена Унечско-Крапивенская зона месторождений. Продуктивные нижнекампанские песчано-алевритовые отложения приурочены к структуре второго порядка – Брянскому поднятию, где расположены структуры высоких порядков, контролирующие распределение фосфатно-титан-циркониевых россыпей. Они приурочены к средним и нижним частям поднятий.

На юго-западном склоне антеклизы, на северо-восточном борту Днепровско-Донецкой впадины, пограничным с ВА, находится Белгородская россыпная зона с отложениями бережской свиты олигоцен-миоценового возраста. Участки повышенного содержания минералов титана и циркона приурочены к приподнятым участкам прибрежной зоны. Высоконовское месторождение связано с одноименным поднятием.

Таким образом, основным условием концентрации тяжелых минералов является наличие положительных форм подводного рельефа, являющимися структурами высоких порядков в пределах склонов ВА на границах с структурами 1-го порядка – Московской синеклизой, Волго-Уральской антеклизы и Днепровско-Донецкой впадиной (в палеогене Украинской синеклизой).

Эволюционный фактор. Анализ минерального и петрографического состава мезокайнозойских россыпей показывает их приуроченность к различным осадочным формациям.

Баррем-аптские россыпи связаны с формацией мноминеральных кварцевых песков, сеноманские — с глауконит-кварцевыми, сантонские и сеноманские — с глауконит-кремнисто-кварцевыми песками с фосфоритами. Нижнекампанские россыпи отмечаются в породах карбонат-фосфат-кварцевой формации, а берекские — в олигомиктовой кварцевой.

В меловой этап россыпеобразование смещается от пляжевой зоны к низам шельфа, в берекскую — возвращается в прибрежно-морские фации. В эпохи регрессий россыпи локализуются в мелководно-морской и пляжевой зона (баррем-апт), а трансгрессий — на фосфатном шельфе. Это влияет на минеральный состав россыпей, обусловленный составом и сменой минеральных провинций в источниках сноса и интенсивностью выветривания пород. Важное значение имеет интенсивность шлихования минералов тяжелой фракции и размерность рудоконцентрирующих песков.

Сравнение средних содержаний основных минералов тяжелой фракции в разновозрастных песках показывает близкие значения. В палеогеновых россыпях отмечаются более высокие содержания рутила и циркона, а в песках Высоконовского месторождения преобладает рутил. В пляжевых песках, к которым относятся аптские и берекские россыпи, наблюдаются пониженные количества эпидота и граната и повышенные содержания метаморфических минералов — дистена, ставролита, силлиманита и турмалина. В палеогене появляются россыпи с повышенными количествами рутила, что является ярким эволюционным признаком.

Заключение

В пределах Воронежской антеклизы выделено 6 эпох россыпеобразования: раннефранская (ястребовская), баррем-аптская, сеноманская, раннесантонская, раннекампанская и олигоцен-миоценовая. Можно выделить особенности каждой эпохи, которые проявляются в формировании определённых типов россыпей.

В ястребовское время формировались россыпи, образованные в результате вулканической активности и последующего осадконакопления. В баррем-аптское время в мелководно-морских условиях в кварцевых песках формировались небольшие россыпи дальнего переноса, содержащие титан и цирконий. В сеноманскую эпоху на северо-восточном склоне в мелкозернистых глауконит-кварцевых песках образовывались крупные россыпи с высоким содержанием тяжёлых минералов. Для сантонского века характерны комплексные россыпи, содержащие тяжёлые минералы и желваковые фосфориты. В кампанских наряду с тяжёлыми минералами важную роль играют фосфаты. Оligocen-миоценовые россыпи связаны с кварцевыми песками и отличаются повышенным содержанием циркона и рутила, что делает их наиболее качественными по составу минералов.

Таким образом, в истории Воронежской антеклизы неоднократно возникали условия для формирования титан-циркониевых россыпей. Важнейшими факто-

рами при этом были тектонический и фациальный, второстепенными — стратиграфический и палеогеографический. Прослеживается также эволюция россыпеобразования во времени, которая выражается в миграции по территории ВА областей аккумуляции полезных компонентов, а среди них в увеличении доли наиболее устойчивых тяжёлых минералов результате процессов рециклинга через серию промежуточных коллекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко А. Д., Беляев В. И., Иконников Н. Н., Иванов Д. А. Титан-циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1995. 147 с.
2. Гурвич С. И., Болотов А. М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы их поисков. М., 1968. 185 с.
3. Хожайнов Н. П. Литология терригенных толщ палеозоя и мезозоя Воронежской антеклизы и проблемы их рудоносности: дис. ... д-ра геол. мин. наук. Воронеж, 1970. 360 с.
4. Хожайнов Н. П. Полевые шпаты и терригенные минералы тяжелой фракции в обломочных породах палеозоя и мезозоя Воронежской антеклизы как показатели источников сноса и эпох рудообразования. Металлогенические исследования в Центральных районах Русской платформы. М., 1976. С. 170–178.
5. Секретарев И. Е., Китаев В. В. Новые данные о геологическом строении Центрального титан-циркониевого месторождения и технологическая оценка его руд // *Экспресс-информ. ВИЭМС*. 1971. Вып. 3. 43 с.
6. Орлов В. П., Иконников Н. Н. Фосфатные титан-циркониевые россыпи на Русской плите // *Разведка и охрана недр*. 1993. №3. С. 5–7.
7. Петрова З. Н., Иконников Н. Н., Яхонтова Л. К. Геолого-минералогическая характеристика Волчинской россыпи // *Вестник Московского государственного университета Серия Геология*. 4. 1978. № 5. С. 78–82.
8. Звонарев А. Е., Савко А. Д. Акцессорные минералы меловых и палеогеновых отложений Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 29. 2005. 151 с.
9. Звонарев А. Е. О новом источнике титан-циркониевого сырья Центрального Черноземья. *Комплексное изучение и освоение природных и техногенных россыпей*: тезисы конференции. Симферополь–Судак, 2007. С. 42–43.
10. 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.
11. Лаломов А. В., Григорьева А. В., Милаш А. В., Черешинский А. В. Титаносодержащие туфопесчаники ястребовской свиты юго-востока Воронежской антеклизы как возможная альтернатива ильменитовому сырью Иршинского месторождения (Украина) // *Горный*

- журнал. 2023. № 2. С. 15–19. DOI 10.17580/gzh.2023.02.02.
12. Савко А. Д., Михин В. П., Холмовой Г. В. Литология и полезные ископаемые аптских отложений междуречья Дон–Ведуга. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 26. 2004. 111 с.
13. Бортников Н. С., Новиков В. М., Савко А. Д. Структурно-морфологические особенности каолинита различных стадий литогенеза глинистых пород (на примере Воронежской антеклизы) // *Литология и полезные ископаемые*. 2013. № 5. С. 426–440.
14. Крайнов А. В. Геология и минерагения керамических и огнеупорных глин аптского яруса Воронежской антеклизы: дис. ... канд. геол. мин. наук. М., 2016. 132 с.
15. Крайнов А. В., Звонарев А. Е. Новые источники минералов титана и циркония из песков аптского яруса по материалам работ ГДП-200 // *Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология*. 2020. № 3. С. 90–95.
16. Савко А. Д., Мануковский С. В., Мизин А. И. Литология и фации донеогеновых отложений Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. Вып. 3. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. 201 с.
17. Милаш А. В. Литолого-фациальная характеристика ястребовских отложений юго-востока Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология*. 2016. № 1. С. 37–43.
18. Милаш А. В., Савко А. Д. Литология девонских отложений юго-востока Воронежской антеклизы. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 100. 2017. 122 с.
19. Беляев В. А., Иванов Д. А. Вещественный состав и особенности генезиса продуктивных отложений нижнекампанского подъяруса Брянской области // *Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология*. 1995. № 1. С. 104–114.
20. 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. 121 с.
21. Черешинский А. В. Минералы-индикаторы кимберлитов мезозойского промежуточного коллектора Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология*. 2017. № 2. С. 107–114.
22. Черешинский А. В. Минералы-индикаторы кимберлитов кайнозойского промежуточного коллектора Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология*. 2017. № 3. С. 75–81.
23. Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Ультратонкое золото. Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 16. 2001. 151 с.
24. Shevyrev L. T., Cheresinsky A. V., Savko A. D. Endogenic Gold Occurrences in the Sedimentary Cover of the Voronezh Anteclise // *Doklady Earth Sciences*. 2023. Vol. 513. No. S2. P. 218–228.

Epochs of formation of titanium-zirconium placers in the Phanerozoic of the Voronezh antecline

©2025 A. V. Krainov✉, A. D. Savko, A. V. Chereshinsky, D. A. Ivanov

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

Abstract

Introduction: titanium-zirconium placers of different ages are known in the sedimentary cover of the Voronezh antecline. They are considered in a number of publications. At the same time, over the past fifteen years, as a result of geological survey and thematic work carried out by employees of the Voronezh State University, new data on the distribution and composition of placers have been obtained, which formed the basis of this article.

Methodology: field and laboratory studies of Mesozoic and Cenozoic sands were carried out to study titanium-zirconium placers. Sampling was carried out using the furrow method, thin interlayers were sampled pointwise. The main attention in the description and sampling was paid to the structural and textural features of the rocks. In the laboratory, the granulometric and mineral composition of sand deposits was determined. Samples were quartered, the clay fraction was washed out, and the silt-sand fraction was dispersed. A quantitative analysis of heavy and light fraction minerals was carried out. Based on the complex data, lithological-facies and mineragenic constructions were made.

Results and discussion: six placer formation epochs were distinguished – Early Frasnian (Yastrebovskaya), Barremian-Aptian, Cenomanian, Early Santonian, Early Campanian and Oligocene-Miocene. In the Early Frasnian, volcanogenic-sedimentary placers were formed in the southeast of Voronezh antecline, in which the main mineral is ilmenite. Cretaceous and Paleogene-Neogene placers are titanium-zirconium, usually occur on watersheds and have a small overburden thickness. Useful components are ilmenite, rutile, leucoxene, and zircon. In the Barremian-Aptian, long-distance placers were formed in quartz sands in the northern part of the Voronezh antecline territory. In the Cenomanian epoch, a large placer deposit Central with a high content of heavy-fraction minerals was formed in glauconite-quartz sands on the northeastern slope of the Voronezh antecline. Complex placers with heavy minerals and nodular phosphorites are typical there for the Santonian age. In the Campanian placers of the northwest of the Voronezh antecline, heavy minerals, like quartz grains, can have a phosphate shell. Oligocene-Miocene placers are developed in the southwest of the Voronezh antecline, are associated with quartz sands and are distinguished by an increased content of zircon and rutile.

Conclusions: in the history of the Voronezh antecline, conditions for the formation of titanium-zirconium placers repeatedly arose. The most important factors were tectonic and facies, secondary – stratigraphic and paleogeographic. The evolution of placer formation over time is also traced, which is expressed in the migration of useful component accumulation areas across the Voronezh antecline territory and among them in the increase in the share of the most stable heavy minerals as a result of recycling processes.

Keywords: sands, titanium-zirconium placers, ilmenite, rutile.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Aleksey V. Krainov, e-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru

For citation: Krainov A. V., Savko A. D., Chereshinsky A. V., Ivanov D. A. Epochs of formation of titanium-zirconium placers in the Phanerozoic of the Voronezh anteclise // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 1, pp. 25–39. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/25-39>

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

REFERENCES

1. Savko A. D., Belyaev V. I., Ikonnikov N. N., Ivanov D. A. Titan-tsirkonievye rossypi Tsentral'no-Chernozemnogo raiona [Titanium-zirconium placers of the Central Black Earth region]. Voronezh, VSU publ., 1995. 147 p. (In Russ.)
2. Gurvich S. I., Bolotov A. M. Titano-tsirkonievye rossypi Russkoi platformy i voprosy ikh poiskov [Titanium-zirconium placers of the Russian platform and issues of their exploration]. Moscow, Nedra publ., 1968. 185 p. (In Russ.)
3. Khozhainov N. P. Litologiya terrigennykh tolshch paleozoya i mezozoya Voronezhskoy anteklizy i problemy ih rudonosnosti. Dis. ... d-ra geol. min. nauk [Lithology of terrigenous strata of the Paleozoic and Mesozoic Voronezh anteclise and problems of their ore bearing. Diss. Dr. geol. min. Sciences]. Voronezh, 1970. 360 p. (In Russ.)
4. Khozhainov N. P. Polevye shpaty i terrigennyye mineraly tyazheloi fraktsii v oblomochnykh porodakh paleozoya i mezozoya Voronezhskoi anteklizy kak pokazateli istochnikov snosa i epokh rudoobrazovaniya. Metallogenicheskie issledovaniya v Tsentral'nykh raionakh Russkoi platformy [Feldspars and terrigenous minerals of the heavy fraction in the Paleozoic and Mesozoic clastic rocks of the Voronezh anteclise as indicators of provenances and ore formation eras. Metallogenetic studies in the Central regions of the Russian platform]. Moscow publ., 1976, pp. 170–178 (In Russ.)
5. Sekretaryov I. E., Kitaev V. V. Novye dannye o geologicheskom stroenii Tsentral'nogo titan-tsirkonievogo mestorozhdeniya i tekhnologicheskaya otsenka ego rud [New data on the geological structure of the Central titanium-zirconium deposit and technological evaluation of its ores]. *Ekspress-inform – Express-inform*. 1971, i. 3. 43 p. (In Russ.)
6. Orlov V. P., Ikonnikov N. N. Fosfatnye titan-tsirkonievye rossypi na Russkoi plite [Phosphate titanium-zirconium placers on the Russian plate]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploration and protection of mineral resources*, 1993, no. 3, pp. 5–7 (In Russ.)
7. Petrova Z. N., Ikonnikov N. N., Yakhontova L. K. Geologo-mineralogicheskaya kharakteristika Volchinskoi rossypi [Geological and mineralogical characteristics of the Volchin placer]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya Geologiya. 4. – Proceedings of Moscow State University, Ser. 4. Geology*, 1978, no. 5, pp. 78–82 (In Russ.)
8. Zvonarev A. E., Savko A. D. Aktsessornyye mineraly melevykh i paleogenovykh otlozhenii Voronezhskoi anteklizy [Accessory minerals of Cretaceous and Paleogene deposits of the Voronezh anteclise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 29, 2005. 151 p. (In Russ.)
9. Zvonarev A. E. O novom istochnike titan-tsirkonievogo syr'ya Tsentral'nogo Chernozem'ya [On a new source of titanium-zirconium raw materials of the Central Black Earth Region]. *Kompleksnoe izuchenie i osvoenie prirodnikh i tekhnogennykh rossypei: tezisy konferencii* [Comprehensive study and development of natural and man-made placers: abstract of report of the conference]. Simferopol – Sudak publ., 2007, pp. 42–43 (In Russ.)
10. Chereshinsky A. V., Milash A. V. Typomorficheskiye featury mineralov i material'nogo sostava titaniyevykh rud Yastrebovskikh zdolozhenii yugo-vostochnoy chasti Voronezhskoy anteklizy. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 1, pp. 64–71 (In Russ.)
11. Lalomov A. V., Grigorieva A. V., Milash A. V., Chereshinsky A. V. Titan-soderzhashchiye peschanyye porody Yastrebovskoy suity v yugo-vostochnoy chasti Voronezhskoy anteklizy kak vozmozhnyy alternativnyy istochnik suyroviny dlya razvitiya titaniyevoy promyshlennosti [Titanium-bearing tuff sandstones of the Yastrebovskaya suite in the southeast of the Voronezh anteclise as a possible alternative to ilmenite raw materials from the Irshinskoye deposit (Ukraine)]. *Gornyy Zhurnal*, 2023, no. 2, pp. 15–19. DOI 10.17580/gzh.2023.02.02.
12. Savko A. D., Mikhin V. P., Kholmovoi G. V. Litologiya i poleznye iskopaemye apskikh otlozhenii mezhdurech'ya Don-Veduga [Lithology and useful minerals of the Aptian deposits of the Don-Veduga interfluvium]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 26, 2004, 111 p. (In Russ.)
13. Bortnikov N. S., Novikov V. M., Savko A. D., Boeva N. M., Zhegallo E. A., Bushuev E. B., Krainov A. V., Dmitriev D. A. Strukturno-morfologicheskiye osobennosti kaolinita razlichnykh stadii litogeneza glinistykh porod (na primere Voronezhskoi anteklizy) [Structural and morphological features of kaolinite from different stages of lithogenesis of clay rocks (using the Voronezh anteclise as an example)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and mineral resources*, 2013, no. 5, pp. 426–440 (In Russ.)
14. Krainov A. V. *Geologiya i minerageniya keramicheskikh i ognepurnykh glin apskogo jarusa Voronezhskoy anteklizy*: dis. ... kand. geol.-min. nauk. [Geology and minerageny of ceramic and refractory clays of the Aptian stage of the Voronezh anteclise. PhD diss.]. Moscow, 2016. 132 p. (In Russ.)
15. Krainov A. V., Zvonarev A. E. Novyye istochniki titaniyevykh i zirkoniyevykh mineralov iz peska apskogo jarusa na materialakh, poluchennykh v techeniye 1:200,000 aditsionnoy razvedki. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2020, no. 3,

- pp. 90–95. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3012> (In Russ.)
16. Savko A. D., Manukovsky S. V., Mizin A. I., Burykin V. N., Bartenev V. K., Babkin V. F., Okorokov V. A., Lithology and facies of pre-Neogene deposits of the Voronezh anteklise. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 3, 2001, 201 p. (In Russ.)
 17. Milash A. V. Litologo-fatsial'naya kharakteristika yastrebovskikh otlozhenii yugo-vostoka Voronezhskoi anteklizy [Lithofacies characteristics of the Yastrebovsk deposits of the southeast of the Voronezh anteklise]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2016, no. 1, pp. 37–43 (In Russ.)
 18. Milash A. V., Savko A. D. Litologiya devonskikh otlozhenii yugo-vostoka Voronezhskoi anteklizy [Lithology of Devonian deposits of the southeast of the Voronezh anteklise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 100, 2017, 122 p. (In Russ.)
 19. Belyaev V. A., Ivanov D. A. Veshchestvennyi sostav i osobennosti genezisa produktivnykh otlozhenii nizhekampanskogo pod'yarsa Bryanskoi oblasti [Material composition and features of the genesis of productive deposits of the lower Campanian substage of the Bryansk region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 1995, no. 1, pp. 104–114 (In Russ.)
 20. Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrev L. T., Ilyash V. V., Afanasyev N. S. *Almazonosnost' Voronezhskoi anteklizy* [Diamond potential of the Voronezh anteklise]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 17, 2003, 121 p. (In Russ.)
 21. Cheresinsky A. V. Mineraly-indikatory kimberlitov mezozoiskogo promezhutochnogo kollekora Voronezhskoi anteklizy [Minerals-indicators of kimberlites of the Mesozoic intermediate reservoir of the Voronezh anteklise]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2017, no. 2, pp. 107–114 (In Russ.)
 22. Cheresinsky A. V. Mineraly-indikatory kimberlitov kainozoiskogo promezhutochnogo kollekora Voronezhskoi anteklizy [Minerals-indicators of kimberlites of the Cenozoic intermediate reservoir of the Voronezh anteklise]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2017, no. 3, pp. 75–81 (In Russ.)
 23. Savko A. D., Shevyrev L. T. Ul'tratonkoe zoloto [Ultrafine gold]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU publ., vol. 16, 2001, 151 p. (In Russ.)
 24. Shevyrev L. T., Cheresinsky A. V., Savko A. D. Endogenic Gold Occurrences in the Sedimentary Cover of the Voronezh Anteklise. *Doklady Earth Sciences*, 2023, vol. 513, no. S2, pp. 218–228.

Крайнов Алексей Владимирович, д.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; e-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-0990>

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>

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>

Иванов Дмитрий Андреевич, к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; e-mail: ivanov@geol.vsu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-0990>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Aleksey V. Kraynov, Dr. habil. in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-0990>

Arkady D. Savko, 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>

Alexey V. Cheresinskiy, 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>

Dmitry A. Ivanov, PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: ivanov@geol.vsu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0038-0990>

All authors have read and approved the final manuscript.