

## Эволюция накопления титан-циркониевых россыпей в истории Земли

©2025 А. Д. Савко✉

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

### Аннотация

*Введение:* исследованию титан-циркониевых россыпей посвящено большое количество публикаций. В этих работах детально рассмотрены геология, вещественный состав, генезис россыпей, а также их роль как источника стратегических видов минерального сырья. Вместе с тем вопросы эволюции накопления титан-циркониевых россыпей, за редким исключением, остались неизученными. Восполнение этого пробела предлагается в настоящей статье.

*Фактический материал и методы исследований:* при написании работы использовались многочисленные литературные и собственные источники, содержащие информацию по титан-циркониевым россыпям. Основными методами исследований были сравнительно-литологический, стратиграфический, формационный, фациальный, а также факторный анализ.

*Результаты исследований и их обсуждение:* в истории Земли накопление россыпей происходило постоянно. Изучение распределения их запасов по стратиграфической шкале показало, что с позднего архея до настоящего времени образование рассматриваемых россыпей происходило постоянно. Но абсолютное большинство промышленных россыпей известно начиная со среднего девона. Выделяются следующие этапы концентрации титан-циркониевых минералов: 1 – досреднедевонский, 2 – среднедевонский-раннекаменноугольный, 3 – позднетриасовый-среднеюрский, 4 – меловой, 5 – кайнозойский. Первый этап включает «предысторию» формирования титан-циркониевых аккумуляций, когда на разных стратиграфических уровнях в течение длительного времени происходило накопление преимущественно непромышленных концентраций рассматриваемых металлов. Особенностью россыпей второго этапа является заметное влияние эндогенного фактора на их формирование. Это выражается в появлении в источниках сноса значительных объёмов магматических пород с аксессуориями, поступлении эксплозивного рудного материала в бассейны седиментации. Наложение на россыпи процессов метаморфизма, как это было на Тимане, привело к изменению и перераспределению титановых минералов. Для третьего этапа, в отличие от предыдущего, характерна тесная связь россыпей с масштабной позднетриасово-раннеюрской эпохой мощного корообразования. Это привело к появлению первых элювиальных месторождений рассматриваемых металлов и россыпей их ближнего переноса. Но основные запасы титана и циркония по-прежнему были сосредоточены в залежах дальнего переноса. На четвертом этапе после киммерийского орогенеза в поздней юре-раннем мелу и планации территорий образовались коры выветривания, при размыве которых в баррем-аптское время в мономинеральных кварцевых песках начали формироваться титан-циркониевые россыпи ближнего переноса. Обширные трансгрессии с углублением морских бассейнов в позднем мелу определили образование россыпей дальнего переноса в глауконит-кварцевых песках.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Савко Аркадий Дмитриевич: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru)

Последний этап характеризуется самым масштабным в истории Земли формированием титан-циркониевых россыпей, особенно олигоцен-миоценовых и современных. Это вызвано рядом благоприятных факторов. Среди них широкое развитие КВ, особенно в зонах теплого климата, резкое увеличение протяженности береговых линий, частая смена гидродинамических режимов в результате трансгрессий и регрессий, контрастность рельефа, способствующая выносу больших объёмов терригенного материала с тяжелыми минералами в бассейны седиментации.

**Заключение:** в целом же эволюция россыпеобразования имеет циклично-направленный характер. Направленность выражена в увеличении запасов металлов титана и циркона во времени, особенно в кайнозое, а цикличность - в наличии этапов сочетания благоприятных для россыпеобразования факторов.

**Ключевые слова:** титан-циркониевые россыпи, минералы тяжелой фракции.

*Для цитирования:* Савко А. Д. Эволюция накопления титан-циркониевых россыпей в истории Земли // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 4. С. 4–24. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/4/4-24>

### Введение

Титан и цирконий являются важными стратегическими видами минерального сырья, импортируемого в настоящее время Россией преимущественно из других стран, несмотря на имеющиеся у неё крупные запасы этих металлов. Возникшая проблема импортозамещения представляет не только практический, но и научный интерес. В Мировом основном источниками получения диоксидов титана и циркония являются россыпи. Поэтому их изучение не перестаёт быть актуальным.

Исследованию титан-циркониевых россыпей посвящено большое количество публикаций. Особая роль в этом плане принадлежит российским ученым [1–6 и многие другие]. В этих работах детально рассмотрены геология, вещественный состав, генезис россыпей, а также их роль как источника стратегических видов минерального сырья. Вместе с тем вопросы эволюции накопления титан-циркониевых россыпей, за редким исключением, остались неизученными. Восполнение этого пробела предлагается в настоящей статье.

По данным Геологической службы США (USGS) общие запасы разведанных месторождений диоксида титана в Мировом на 2025 год составляют 1300 млн т. Из них 63 % (820 млн т) сосредоточено в россыпях, остальное количество приурочено к эндогенным месторождениям. По запасам титана на первом месте находится Китай, на втором Россия, на третьем Бразилия (табл. 1). Но в Китае и России, а также Канаде и Норвегии, большая часть запасов связана с эндогенными источниками, тогда как в других странах – с россыпями. Приведенные цифры достаточно условны, поскольку каждый год данные по запасам меняются, но общее представление о них в странах Мира они дают. К этому следует добавить, что основная масса титанового сырья, представленного ильменитом, рутилом, лейкоксенном, анатазом и брукитом, ныне добывается именно из титан-циркониевых россыпей. В них также могут находиться другие полезные компоненты, в том числе алмазы, золото, платиноиды, минералы редких и рассеянных элементов.

**Табл. 1.** Разведанные запасы титана и циркония в странах Мира, млн т  
[Table 1. Proven reserves of titan and zircon in the World, mln t]

Страна [Country]	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Страна [Country]	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Страна [Country]	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>
Китай [China]	232.8	5.6	Украина [Ukraine]	94.0	4.0	Канада [Canada]	54.1	-
Россия [Russia]	177.0	6.2	Австралия [Australia]	70.4	39.1	США [USA]	34.72	8.5
Бразилия [Brazil]	123.0	7.0	ЮАР [South Africa]	63.0	21.0	Мадагаскар [Madagascar]	32.70	2.8
Индия [India]	100	6.8	Норвегия [Norway]	57.0	-	Мозамбик [Mozambique]	10.0	7.8

Общие запасы диоксида циркония в Мировом оцениваются примерно в 110 млн т. Из них 33.5 млн т относятся к разведанным, остальные к категории прогнозных. Наибольшими запасами обладают Австралия, ЮАР, США (см. табл.1). Месторождения циркония имеются также в Китае, в Мозамбике, Кении, Бангладеш, Шри-Ланке, Вьетнаме, Новой Зеландии и некоторых других странах. Основными источниками циркона (95 % запасов) являются россыпи. Другой циркониевый минерал бадделеит обычно имеет эндогенный

генезис, и пока его промышленные запасы сосредоточены в щелочном гипербазитовом Ковдорском массиве на Кольском полуострове.

Среди титан-циркониевых россыпей выделяются элювиальные, ближнего (делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, лимнические) и дальнего (прибрежно- и мелководно-морские) переноса. Основные запасы титана и циркония связаны с россыпями дальнего переноса. Это обусловлено поступлением в моря и побережья океанов больших объёмов терригенного

вещества из источников сноса, содержащего тяжелые минералы, а также благоприятные условия для их шлихования и концентрации в результате воздействия волн и подводных течений.

Поступление тяжелых минералов в бассейны седиментации во многом связано с эпохами корообразования, когда при выветривании из материнского субстрата высвобождаются большие объемы акцессориев, особенно из магматических пород. В некоторых случаях значительны аккумуляции минералов титана и циркония в корах выветривания (КВ). Они известны в раннемеловом элювии на основных породах Украины, но особенно развиты в кайнозойских КВ карбонатитов Бразилии, где составляют значительную часть запасов страны.

Важную роль играет рециклинг, определяющий накопление со временем тяжелых минералов в осадочных и осадочно-метаморфических образованиях, выведенных на поверхность в источниках сноса. Благоприятным фактором является меняющийся трансгрессивно-регрессивный режим, когда шлихование осадков охватывает большие площади. Они наибольшие в талассократические эпохи с максимальным протяжением береговых линий морских бассейнов. Выделяют древние и современные россыпи.

По данным А. В. Лаломова [4] для формирования титан-циркониевых россыпей промышленного масштаба необходимо оптимальное сочетание локальных факторов их образования. Таковыми являются гидродинамический, литодинамический, структурно-динамический и трансгрессивно-регрессивный режим бассейна россыпеобразования. Они охватывают широкий спектр условий, определяющий перспективы образования прибрежно-морских титан-циркониевых россыпей, которые этот автор называет редкометалльно-титановыми.

Разные аспекты эволюции россыпеобразования в той или иной степени затрагиваются в ряде работ. Б. М. Михайлов с соавторами [7] считали, что формирование россыпных месторождений минералов титана, циркония, золота и алмазов началось с позднего протерозоя. Эти авторы выделяют позднпротерозойскую, среднпалеозойскую, позднемезозойскую и олигоцен-четвертичную эпохи экзогенного рудообразования, в том числе и россыпеобразования. Подчеркивается нарастание экзогенного рудогенеза со временем, а наиболее продуктивной считают последнюю эпоху.

В работе [8] на примере россыпеобразования в пределах одного региона (Воронежская антеклиза) показана эволюция циркон-титановых россыпей дальнего переноса в мезокайнозой. Она заключается в смене прибрежно-морских россыпей мелководно-морскими в меловом и палеогеновом ритмах осадконакопления, а также в изменении терригенно-минералогических ассоциаций во времени, что выражается в увеличении в них количества устойчивых минералов. Палеогеновые россыпи обогащены цирконом и рутилом и практически лишены неустойчивых минералов. Если меловые

аккумуляции тяготеют к трансгрессивным частям ритмов, то палеогеновые – к регрессивным.

Самые древние россыпи выявлены в архее Урал-Тау (Башкирия и Челябинская область) в Кусинско-Златоустовском кварцито-гнейсовом блоке. Они представлены пачкой мощностью около 100 м с частыми тонкими (миллиметры) слоями гематит-циркон-рутиловых минералов. Н. Г. Патык-Кора [3] с раннего протерозоя выделяет пять мегаэпох россыпеобразования: ранний протерозой, поздний протерозой, вторая половина палеозоя, вторая половина мезозоя, кайнозой (незавершенный). В рамки этих мегаэпох есть эпохи глобального выравнивания и образования КВ, сменяющиеся эпохами трансгрессий. С последними связан основной объем запасов россыпей дальнего переноса.

Следует заметить, что для первых двух мегаэпох общей продолжительностью 2 млрд лет месторождения титан-циркониевых россыпей крайне редки, а их абсолютное большинство начало формироваться со среднего девона. Это связано с выходом на сушу растительности и формированием в источниках сноса мощных КВ. При их размыве в бассейны седиментации поступало большое количество устойчивых минералов и формировались титан-циркониевые россыпи.

Анализ распределения их запасов по стратиграфической шкале фанерозоя (рис. 1) показал, что образование рассматриваемых россыпей происходило постоянно. Но абсолютное большинство промышленных россыпей известно начиная со среднего девона. Выделяются следующие этапы концентрации титан-циркониевых минералов: 1 – досреднедевонский, 2 – среднедевонский-раннекаменноугольный, 3 – поздне триасовый-среднеюрский, 4 – меловой, 5 – кайнозойский. Первый этап включает «предысторию» формирования титан-циркониевых аккумуляций, когда на разных стратиграфических уровнях в течение длительного времени происходило накопление преимущественно непромышленных концентраций рассматриваемых металлов. Особенностью россыпей рассматриваемого этапа является значительное влияние эндогенного фактора на их формирование. Это выражается в появлении в источниках сноса значительных объемов магматических пород с акцессориями, поступлении эксплозивного рудного материала в бассейны седиментации при образовании россыпей. Наложение на них процессов метаморфизма, как это было на Тимане, привело к изменению и перераспределению титановых минералов, что дало основание ряду авторов относить россыпи этого региона к типу гидротермально-флюидизатных месторождений.

Последний этап с большим количеством месторождений является незавершенным, поскольку в последующем перед перекрытием рудных песков они могут быть в значительной мере размыты. Другой их особенностью является довольно быстрое восстановление обрабатываемых прибрежно-морских россыпей для морских побережий Индии, Шри-Ланка, Мадагаскара, Австралии, Гвинеи, Бразилии и других.

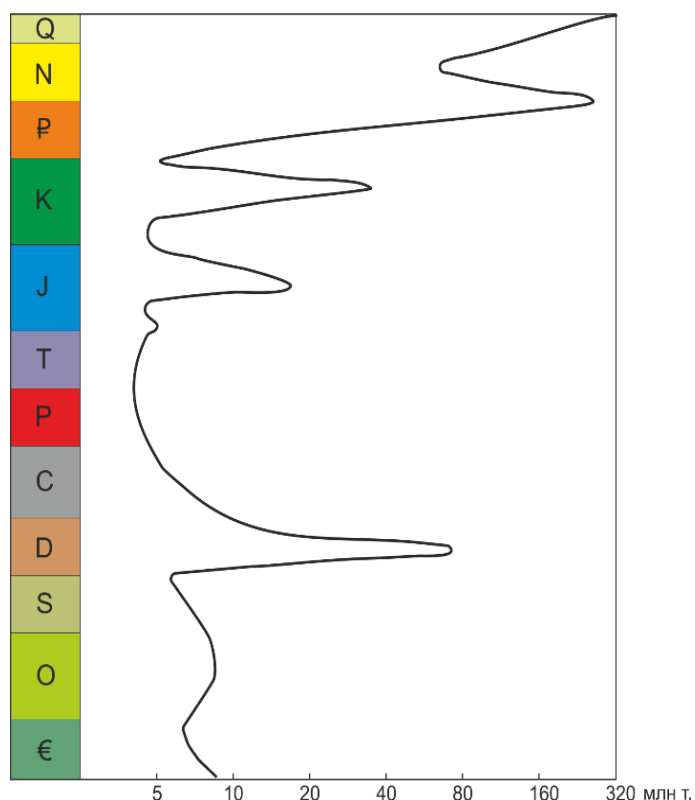


Рис. 1. Схема распределения запасов россыпного титана в фанерозое.  
[Fig. 1. Distribution of alluvial titan reserves in the Phanerozoic.]

### Досреднедевонский этап

Метаморфизованные скопления минералов титана и циркония в отложениях верхнего рифея (около 0.8 млрд лет) на западном склоне прослежены от Приполярья до Южного Урала. В Башкирии их связывают с перемывом древних КВ. Мощности рудных песчаников здесь доходят до 8–10 м (обычно 2–3 м), а вся рудоносная толща до 100 м. В обогащенных частях (0.1–0.8 м) содержится до 200–400 кг/т ильменита и брукита, 5–7 кг/т циркона [9]. В песках  $TiO_2$  от 1–2 % до 24 %, а в среднем на пласт 1.5–2 %. Значительные метаморфизованные россыпи в горах Урал-Тау представлены "рутилитами", т.е. рутиловыми гнейсами. Отдельные прослои мощностью 0.1–0.2 м содержат более 20 %  $TiO_2$ , до 7 %  $ZrO_2$  [10].

Наиболее масштабные проявления находятся в породах зильмердакской свиты верхнего рифея - каратая (1.0–0.65 млрд лет), где они тяготеют к прослоям до 2.5 м мощностью, обогащенным ильменитом (до 250–400 кг/т) и цирконом (до 30 кг/т). Рутилитами могут представлять большой промышленный интерес. Амфиболиты Кузнечихинского месторождения Среднего Урала содержат до 1.5 % рутила, эклогиты южноуральского Шубинского – 4.4 % рутила.

В США месторождение Харворд (Harvord) – докембрийское рутиловое (до 20 % минерала) в хлоритовых сланцах. В Мексике, у г. Мехико (за пределами современных границ платформы) известны масштабные россыпи рутила и циркона в верхнепротерозойских

толщах. На площади месторождения Плуме Идальго (Plume Hidalgo) докембрийские гнейсы содержат до 25 % рутила.

Раннекембрийские пляжевые россыпи известны вдоль Гренвильского фронта в штате Вирджиния. Ильменит-рутиловая россыпь месторождения Робинсон Коп возникла при размытии анортозитов группы Пиней. "Гренвильско-каледонская" метаморфизованная россыпь Буэна Виста там же содержит до 50 % Sc-ильменита.

В работе [11] охарактеризованы кембрийские и ордовикские россыпные проявления Ленинградской области. Минералы титана и циркония в повышенных концентрациях там наблюдаются в песчаниках мощностью 30–40 м, полоса которых прослежена на 300 км. Металлоносные песчаники залегают на нижнекембрийских голубых глинах мощностью 100–120 м. По возрасту они: на северо-востоке полосы нижнекембрийские глауконитовые (Люкатин и Тискрес), среднекембрийские тонкие кварцевые со следами ряби (Саблино, мощность 10–13 м), верхнекембрийские тонкие кварцевые с катунными глинами (Ладога, западней – Ламошка, мощность 0.1–3.0 м), грубо- и среднезернистые кварцевые с раковинным детритом (Тосно, под ордовикскими черными сланцами).

Средние размеры обломочных частиц в песчаниках 0.14–0.40 мм. В целом размерность падает с запада на восток и возрастает от подошвы к кровле стратиграфических подразделений. Среднее содержание минералов тяжелой фракции в классе  $-0.1+0.05$  мм – 0.49 %, при разбросе значений в интервале 0.04–1.94 %. Здесь сосредоточено 60 % тяжелых минералов. В более крупном классе  $-0.25+0.1$  мм их 0.11 % (вариации 0.02–0.57 мм).

Минеральный состав тяжелой фракции очень прост, на 50–90 % она состоит из зерен ильменита, лейкоксена, циркона. Доля циркона составляет 29.5 %, в среднем, 29.5 %, ильменита и лейкоксена – по 21.5 и 13.4 % соответственно. Содержания турмалина – от 0.2 до 27 %, в среднем, 9.7 %, рутила – 0.1–8.4 % (среднее 2.6 %), анатаза – 0.2–24.7 % (2.8, в среднем). Обычны ставролит, сфен, амфиболы, гранаты, пироксены, и некоторые другие минералы, но их не более 0.5 %. Регрессивный характер отложений ладожской толщи среднего кембрия обусловили повышенные содержания полезных минералов, отличающие песчаники этого уровня как от более древних «саблинских», так и молодых «тоснинских». Увеличение этих значений в западном направлении, в сторону Балтийского щита, указывает на положение области сноса и коренных источников рудных компонентов. Цитируемые авторы отметили, что содержания полезных минералов в Ленинградской области не достигают промышленных значений, но они могут все-таки оказаться экономически значимыми в ладожских песчаниках среднего кембрия на некоторых площадях юго-востока региона.

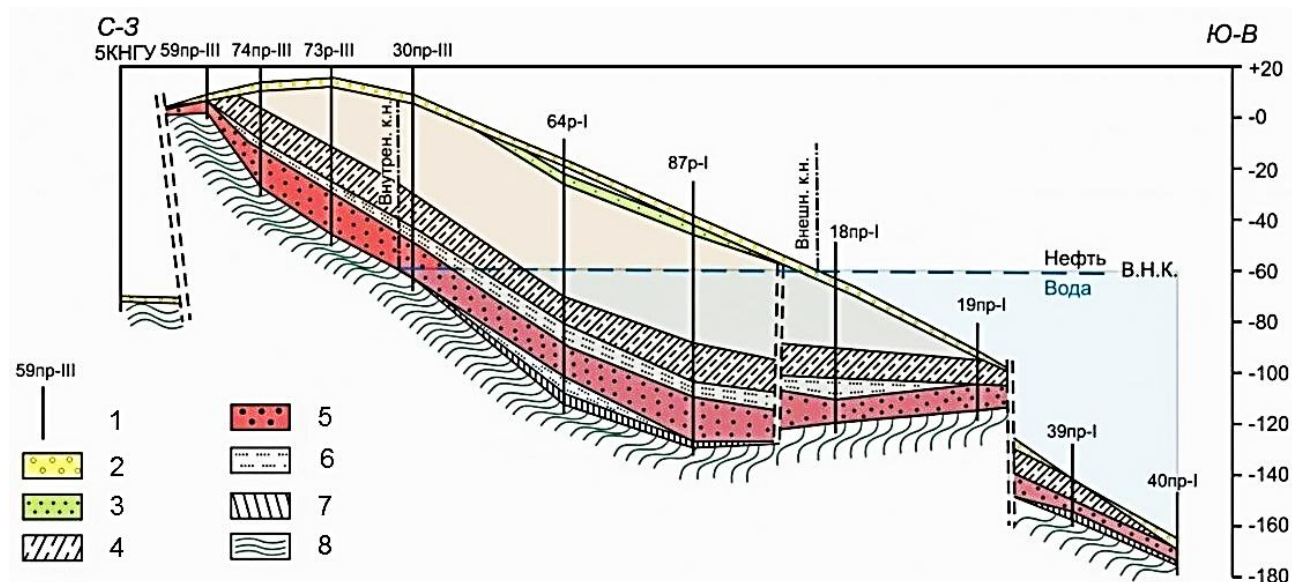
### Среднедевонский-раннекаменноугольный этап

В среднем-позднем девоне, кое-где и в раннем карбоне, формировались крупные комплексные россыпные месторождения, основными полезными компонентами которых были минералы титана, а также циркония, редких и рассеянных элементов. Своими масштабами выделяются средне-верхнедевонские лейкоксеновые и лейкоксен-ильменитовые россыпи, известные на Среднем и Южном Тимане. На Северном Тимане они приурочены и к нижнекаменноугольным образованиям.

В работе [2] ареал распространения титан-циркониевые россыпей Тимана выделен в титаносную россыпную провинцию мирового значения. Особенности ее интересны, иногда необычны, что связано со специфическим влиянием на минеральные особенности рудных песков – углеводородов, коллектором для которых они часто являются. Россыпи приурочены к известным поднятиям фундамента, в пределах которых размывались метаморфизованные ильменито-

носные породы рифея. Самыми значительными считаются Ярегская в Ухтинском районе на юге Тимана и Пижемская (Средний Тиман). На их долю приходится около 80 % запасов диоксида титана России. Утвержденные запасы первой 65 млн т  $TiO_2$  по категориям А+В+С и 12.5 млн т второй на 1/9 её исследованной части площади.

Ярегское месторождение считается крупнейшим в Мире. В нём содержатся 49.2 % балансовых запасов титана России. Основным рудным минералом является лейкоксен. Но рудоносные песчаники эйфеля-нижнего франа коллектор не только для собственно нефти, но и для пластовых вод (рис. 2). Месторождение расположено в центре Ухтинской брахиантиклинали, инверсионной структуры, сформировавшейся на месте ранне-среднедевонской Верхне-Ижемской впадины. Главным источником лейкоксена в девонских песчаниках были ильменит и частично сфен черных сланцев ярегской свиты рифея, метаморфизованных в биотит-хлоритовой субфации зеленых сланцев.



**Рис. 2.** Схематический разрез пласта III Ярегского месторождения и расположения в нем титановых россыпей [12]: 1 – разведочные скважины; 2 – верхняя пачка пласта III и Верхняя россыпь ( $D_{2psh}$ ); 3 – средняя пачка пласта III и Средняя россыпь ( $D_{2st}$ ); 4 – надрудные алевролиты ( $D_{2ef2}$ ); 5 – богатые руды Нижней россыпи ( $D_{2ef2}$ ); 6 – бедные руды Нижней россыпи ( $D_{2ef2}$ ); 7 – надсланцевые аргиллиты ( $D_{2ef2}$ ); 8 – рифейский фундамент.

[Fig. 2. Schematic cross-section of zone III of the Yaregskoye field and location of titan placers in it [12]: (1) – exploration wells; (2) – upper unit of zone III and Upper placer ( $D_{2psh}$ ); (3) – middle unit of zone III and Middle placer ( $D_{2st}$ ); (4) – supra-ore siltstones ( $D_{2ef2}$ ); (5) – rich ores of the Lower placer ( $D_{2ef2}$ ); (6) – poor ores of the Lower placer ( $D_{2ef2}$ ); (7) – supra-shale mudstones ( $D_{2ef2}$ ); (8) – Riphean foundation.]

В пределах россыпи присутствуют также базальты и диабазы нижнего франа, локализованные в контуре продуктивного нефтяного пласта. Важнейшим был процесс досреднедевонского выветривания, обеспечивший экстракцию рудного вещества из рифейских сланцев. Разрез среднего-верхнего девона россыпи начинают пески и глины бийской свиты эйфеля, перекрытые основным рудным горизонтом – конгломератами, гравелитами, песчаниками живета-низов франа, с лейкоксеном, асфальтитами и нефтью. Они включают пачку кварцевых мелкозернистых песчаников и аргиллитов.

Основной рудный пласт перекрыт аргиллитами, базальтами и туфами, отделяющими его от верхнего рудоносного уровня – мелко- и среднезернистых песчаников с лейкоксеном, нефтью, а также битумами, локализованными в толще серых глин. Наиболее обогащены лейкоксеном мелкогалечные толщи. Титановые минералы накопились в прибрежной зоне мелководного водоема с участием волноприбойной деятельности.

Не все параметры россыпи известны. Однако отмечено, что она прослежена на 19 км и имеет ширину 3–5 км. Залегают рудоносные тела на глубинах 150–280 м.

Запасы составляют при 11 % среднего содержания  $\text{TiO}_2$  – десятки миллионов тонн. В отдельных горизонтах содержания лейкоксена очень высоко – до 40 %. Три рудоносных уровня именуют Нижней, Средней и Верхней россыпями, но балансовые запасы отнесены только к Нижней, в которой мощность балансовых руд составляет, в среднем, 13 м, а содержание нефти – 8/7 %. Последнее обстоятельство приводит к самовозгоранию добытой руды. Средняя россыпь существует только в южном секторе месторождения. Линза псаммитов с лейкоксеном имеет среднюю мощность 3.48 м при вариации мощностей от 0 до 13.4 м. Верхняя россыпь залегает выше Средней и имеет мощность около 3 м. Она содержит значительное количество сидерита.

Прочие средне-верхнедевонские ильменит-лейкоксеновые россыпные месторождения Тимана находятся: 1 – на Порожской структуре в 30–35 км северней г. Ухта; 2 – на Чинья-Варыкской структуре в 40 км к западу от г. Ухта. По составу минералов тяжелой фракции северотиманские россыпи циркон-ставролит-ильменитовые. Россыпи Северного Тимана имеют возраст: Сувойная – фаменская, Пембой – визейская. Известным месторождением является среднедевонская комплексная (алмаз, золото, редкие металлы) россыпь Ичеть-Ю. Менее известны, но представляют определенный интерес в связи с золотоносностью средне-верхнедевонские россыпные месторождения Джин-Ю, Ыджит-Ю, Югыт-Ю [13].

Авторы работы [14] считают, что Ярегское и Пижемское месторождения относятся к одному генетическому типу метаморфогенных коренных лейкоксен-кварцевых образований, а первичным минералом обоих месторождений является ильменит. Лейкоксен как конечная фаза изменения ильменита образуется в результате многостадийного химического гидротермального процесса с участием углекислотного флюида. Железо выносятся из первичного минерала (ильменит  $\rightarrow$  Fe-рутил  $\rightarrow$  псевдорутит  $\rightarrow$  лейкоксен + рутил) в виде бикарбоната, который преобразуется в сидерит и вместе с каолинитом, иллитом и гематитом образует крепкий цемент рудных титаноносных песчаников.

Более того, эти авторы полагают, что Ярегское и Пижемское месторождения не могут считаться россыпями, поскольку не отвечают необходимым признакам: полезное ископаемое – титановые фазы не переносились в водных потоках (они хрупкие) и образовались на месте, также как и главный породообразующий минерал песчаников – кластогенный неокатанный кварц (абразивный материал). Вторичный гидротермальный сидерит образует крепкую связку (цемент) между всеми минералами, поэтому рудные песчаники не отвечают второму признаку россыпей – полезные компоненты не находятся в рыхлой породе в виде свободных зерен (для их извлечения из агрегатов потребуются дополнительные технологические приемы). Такая точка зрения свидетельствует об интенсивных постседиментационных изменениях состава россыпей наложенными процессами.

В рассматриваемый этап также образовались тита-

новые россыпи раннего франа в юго-восточной части Воронежской антеклизы. Они приурочены к вулканогенноосадочным образованиям ястребовского горизонта. Это туфы, туфолавы, туффиты, туфопесчаники, туфоаргиллиты, туфоалевролиты, в различной степени ильменитоносные (рис. 3). Они детально освещены в работах [8 и ссылки в ней; 15–18]. По этим работам ниже приведена краткая характеристика рассматриваемых ильменитоносных россыпей

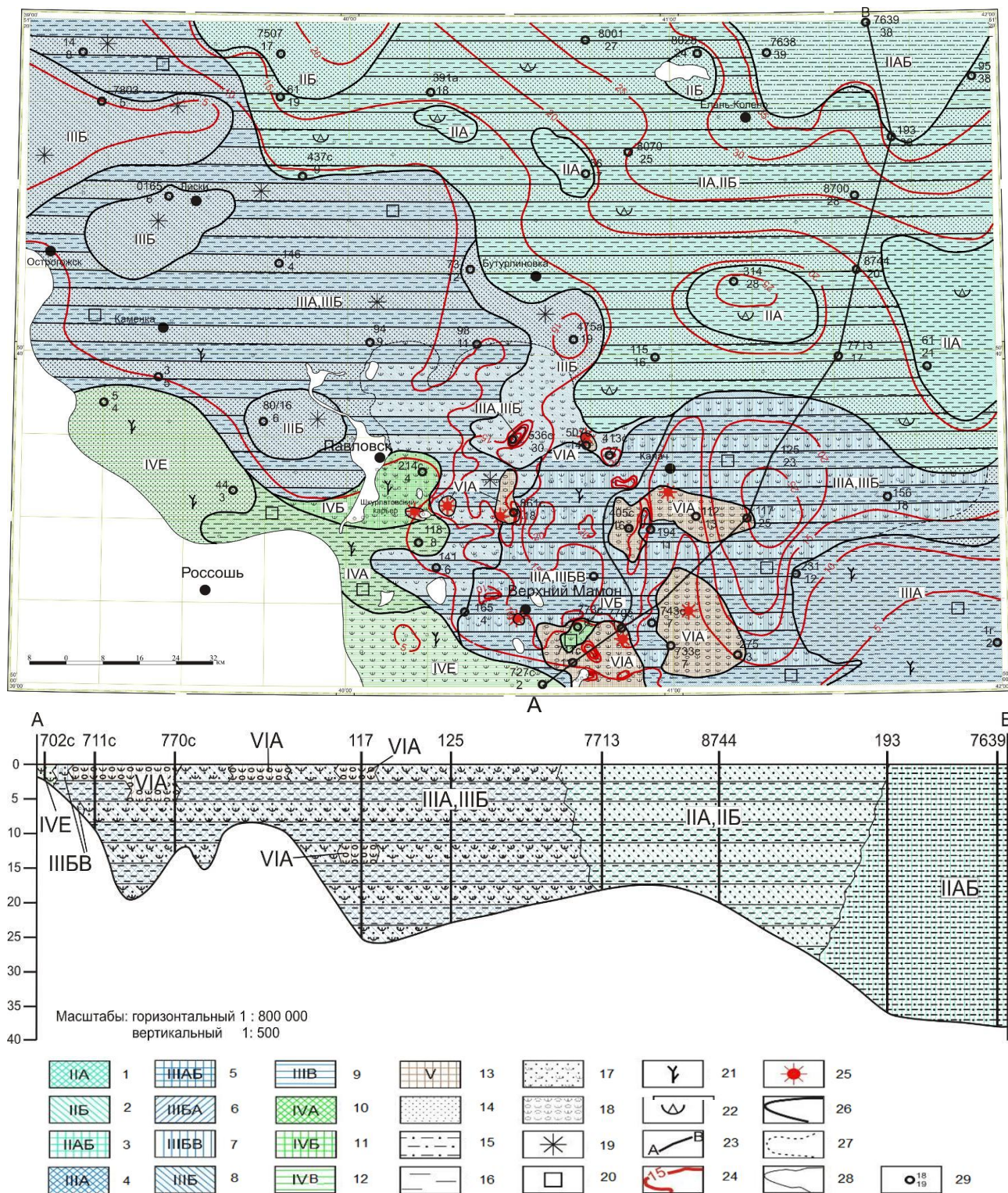
Ястребовские отложения залегают на глубинах от первых до 250 м и вскрыты только Павловским гранитным карьером. Их мощности не выдержаны и колеблются в интервале от 1 до 40 м, а собственно вулканогенных пород от 1 до 25 м. Максимальны последние вблизи предполагаемых вулканических аппаратов, где наблюдается и наибольшая размерность вулканического материала (до туфобрекчий) и самые высокие содержания ильменита до 350 кг/м<sup>3</sup>. Тяжелая фракция в породах ястребовского горизонта составляет от долей до 15 %. Преобладают ильменит (10–47 %), обломки эффузивов с зернами ильменита (0.02–31 %), сидерит (3–84 %), встречаются хромит, гранат, ставролит, циркон, рутил, анатаз, лейкоксен, апатит (всех – до первых процентов).

Ильменитоносны, главным образом, грубообломочные туфы и туффиты с эффузивными обломками основного состава, песчаники с большим количеством туфогенного материала, а также туфолавы и туфобрекчий. Мощность обогащенных ильменитом прослоев и пачек пород колеблется от 2–3 м до 10–11 м. Ильменитоносные туфы и туффиты лито- или витрокластические, пирокласты (70–90 %) сцементированы магнетитом-железистым хлоритом, развитым по пеплу и пелитовому материалу. Увеличение количества хлорита связано с повышением ильменитоносности.

Большая часть ильменита корродирована, имеет оскольчатую, остроугольную, реже серповидную форму, иногда встречаются изоморфные кристаллы. В литокластах ильменит преобладает в виде густой тонкой вкрапленности. Часто наблюдаются его скелетные формы и оторочки вокруг обломков эффузивов и зерен кварца, что свидетельствует о перераспределении титана в процессах диагенеза. Размер зерен ильменита колеблется от тысячных долей до 0.68 мм, причем наиболее крупные находятся в средне- и грубообломочных разностях туфогенных пород. Среднее содержание ильменита порядка 100 кг/м<sup>3</sup> при средней мощности пласта 6 м. Выявленные магматогенная природа ильменита и вмещающих пород, а также перемыв кластического материала в прибрежно-морских условиях позволили говорить о новом вулканогенно-осадочном типе титаноносных россыпей, сформировавшихся в раннефранское время

В Жарминском районе Семипалатинской области Казахстана известны морские титаномagnetитовые песчаники палеороссыпи Сократовская [2]. Залежи связаны с туфопесчаниками и туфоконгломератами, локализованными среди вулканитов основного-среднего составов. Месторождение разрабатывалось.





**Рис. 3.** Фациальная карта ястребовских отложений и профиль, восстановленный от их кровли. Из работы [15 с изменениями и дополнениями]. Фациальные обстановки: I – мелководно-морские с активностью гидродинамического режима (АГДР) – I – слабой, 2 – средней, 3 – слабой и средней с преобладанием первой; II – прибрежно-морские с АГДР – 4 – слабой, 5 – слабой и средней с преобладанием первой, 6 – слабой и средней с преобладанием второй, 7 – средней и высокой с преобладанием первой, 8 – средней, 9 – высокой; III – переходные: 10 – лагунная и лиманная, относительно глубоководная опресненная, 11 – лагунная и лиманная, мелководная опресненная, 12 – дельтовая, 13 – мелководная зон воздействия вулканических извержений. Породы: 14 – песчаник мелко-среднезернистый, зернистый, 15 – алевролит, 16 – аргиллитоподобная глина, 17 – туфопесчаник, 18 – туфоконгломерат, туфогравилит с прослоями туфов, туффитов, лавобрекчий различного состава. Другие обозначения: 19 – ожелезнение, 20 – включения пирита, 21 – растительные остатки, 22 – брахиоподы, 23 – линия литолого-фациального профиля, 24 – изопакиты, 25 – предполагаемые жерла вулканов. Границы: 26 – фациальных зон, 27 – фациальных подзон, 28 – распространения отложений; 29 – опорная буровая скважина: в числителе её номер, в знаменателе мощность пород.

[Fig. 3. Facies map of hawk deposits and profile recovered from their top. From work [15 with changes and additions]. Facies conditions: (I) – shallow-marine with hydrodynamic mode activity (AGDR) – (1) – weak, (2) – medium, (3) – weak and medium with a predominance of the first; (II) – coastal-marine with AGDR – (4) – weak, (5) – weak and medium with a predominance of the first, (6) – weak and medium with a predominance of the second, (7) – medium and high with a predominance of the first, (8) – medium, (9) – high; III transitional: (10) – lagoon and estuary, relatively deep-sea desalinated, (11) – lagoon and estuary, shallow-water desalinated, (12) – deltaic, (13) – shallow-water zones of influence of volcanic eruptions. Rocks: (14) – fine-medium-grained sandstone, grainy, (15) – siltstone, (16) – argillitic clay, (17) – tuff sandstone, (18) – tuff conglomerate, tuff gravilite with interbeds of tuffs, tuffite, lavobrecchia of various composition. Other designations: (19) – ferruginization, (20) – pyrite inclusions, (21) – plant remains, (22) – brachiopods, (23) – lithological-facies profile line, (24) – isopachites, (25) – alleged volcanic vents. Boundaries: (26) – facies zones, (27) – facies subzones, (28) – sediment distribution; (29) – reference borehole: in numerator its number, in denominator rock thickness.]

Особенностью россыпей рассматриваемого этапа является значительное влияние эндогенного фактора на их формирование. Это выражается в появлении в источниках сноса значительных объёмов магматических пород с аксессуарами, поступлении эксплозивного рудного материала в бассейны седиментации при образовании россыпей. Наложение на них процессов метаморфизма, как это было на Тимане, привело к изменению и перераспределению титановых минералов, что дало основание ряду авторов относить россыпи этого региона к типу гидротермально-флюидизатных месторождений.

#### Позднетриасовый-среднеюрский этап

После образования Пангеи в конце палеозоя началась планация её территории с образованием мощных КВ, особенно в поздней юре-раннем триасе. Последующий распад этого суперконтинента привел к образованию многочисленных морских бассейнов. В них при размыве КВ поступал материал для формирования титан-циркониевых россыпей, среди которых известны элювиальные, ближнего и дальнего переноса. В последних сосредоточены основные запасы рассматриваемых металлов.

На востоке Красноярского края (правобережье Ангары) находится Мадашанское россыпное месторождение титана. Оно связано с КВ верхнего триаса-юры, развитыми по траппам. На площади около 10 км<sup>2</sup> латеритные коры содержат в среднем 42 кг/м<sup>3</sup> ильменита и 0.6 кг/м<sup>3</sup> циркона. Средняя мощность рудного пласта – около 10 м, примерно такая, как и вскрышных пород.

Тулунское россыпное месторождение титана находится близ г. Тулун на р. Ия, Иркутский угленосный бассейн. Несколько невыдержанных залежей локализованы в отложениях лейаса. Ильменит сносился из КВ, развитых по соседним трапповым полям. В линзах среди прибрежно-озерно-дельтовых средне- и мелкозернистых песков размеры зерен ильменита 0.08–0.2 мм. В песчано-глинистых осадках проточных озер ильменит еще мельче (70% в классе 0.1–0.001 мм). Его концентрации в аргиллитах – 22 кг/м<sup>3</sup>, песчаных аргиллитах – 38 кг/м<sup>3</sup>, в песчаниках – 20–40 кг/м<sup>3</sup>. Среди минералов тяжелой фракции ильменита до 93%, аутигенных лимонита и сидерита – 20–93 %. Зерна ильменита лейкоксенизированы только в 1–2 % случаев. Содержание TiO<sub>2</sub> в рудоносных псаммитах 3.1–3.4 %. Благоприятным свойством ильменитов Тулуна является низкая хромистость (0.034 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

В Житомирской области выявлена группа ильменитовых россыпей, среди которых Иршинская, Шерш-

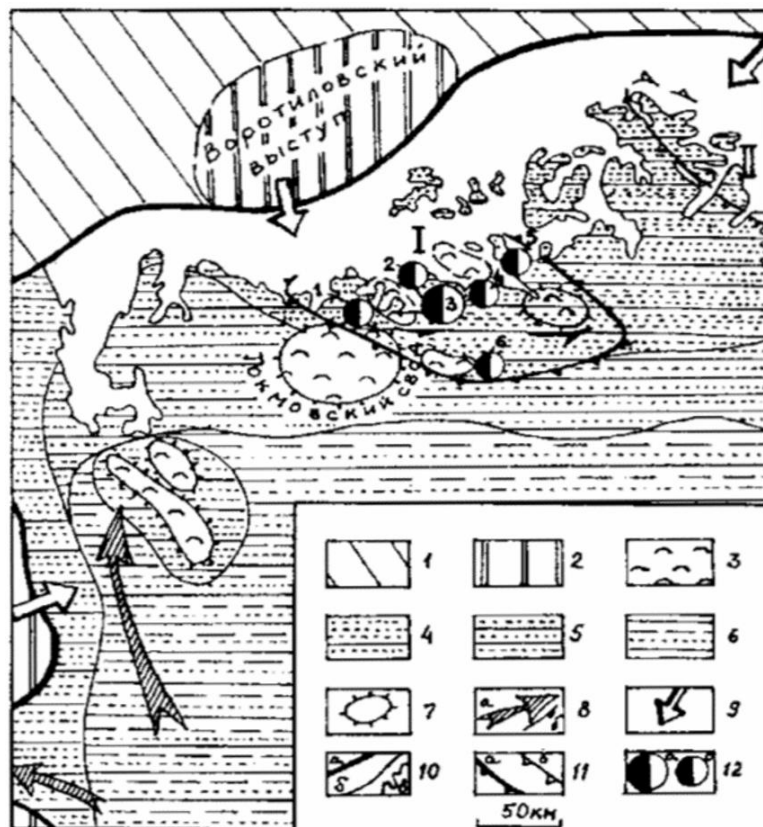
невская, Гацкая и др. Все эти объекты ассоциируют с Коростеньским анортозит-рапакиви-гранитным плутоном (в его центральной части находится Володар-Волынский габбро-анортозитовый массив), вмещающим многие коренные ильменитовые месторождения. Из большого количества россыпных объектов только Ушицкая и Ушомирская россыпи находятся вне массива. Россыпи относятся к формации юрского (?)–мелового пенеппена, но погребены в полтавское время (поздний олигоцен-ранний миоцен), а вскрыты и частично переработаны в плиоцене-квартере. Значительно Торчинское фосфатно-титановое месторождение – рудоносная КВ мощностью от 1 до 12–15 м с содержаниями ильменита от 105 до 150 кг/м<sup>3</sup>.

Многочисленные россыпи доггера образовались в Поволжье вдоль северного края Ульяновско-Саратовской синеклизы, рис. 4. Их месторождения и проявления известны в Нижегородской области (Лукояновское), Чувашии, Мордовии. Наиболее экономически важные залежи Лукояновского россыпного района, объединившего около десяти отдельных залежей на площади 5 тыс. км<sup>2</sup>. Самые значительные из них – Итмановская, Шатковская, Казаковская, Ульяновская, Сангуловская. Лукояновское месторождение входит в пятёрку крупнейших титан-циркониевых РФ с подтвержденными запасами рудных песков (C1+C2) 30 млн т и 1 млн т оксида титана (в ильмените, рутиле, лейкоксене) и более 350 тыс. т оксида циркония (в цирконе).

Ширина субширотной полосы россыпей по северо-восточной периферии Арзамасского вала – 20–30 км, протяженность – до 70 км. Россыпи располагаются на северо-востоке Токмовского свода, тяготея к его мелким поднятиям. Линейную форму их тел с подковообразным замыканием объясняют формированием по периферии островов и подводных банок, где мощность продуктивного пласта 8–10 м (на сводах 1–2 м).

Титан-циркониевые залежи батского возраста в Лукояновском районе залегают на размывтой поверхности пород татарского яруса нижней перми, а перекрыты верхнеюрскими и меловыми образованиями. Основными минералами тяжелой фракции в продуктивной средней части батских тонко- и мелкозернистых кварцевых песков являются ильменит (20–38 кг/м<sup>3</sup>), циркон (6–8 кг/м<sup>3</sup>), эпидот, хромит (до 100 кг/м<sup>3</sup>), присутствуют гематит и магнетит. 90–100 % полезных минералов сосредоточены в классе – 0.1+0.043. Рудное вещество поступало из Предуралья и Воротиловского выступа, прежде всего, через промежуточные коллекторы.





siltstones with an admixture of sand; (6) – alleged shallows, banks, possibly islands; (7) – local vaults; (8) – directions: (a) – main currents, (b) – sediment flows, reconstruction; (9) – ways of goods receipt from land; (10) – boundaries: (a) – ancient land, assumed, (b) – lithological-facies zones, (c) – modern distribution of Middle Jurassic deposits; (11) – areas of placer formation: (a) – main (I – Lukoyanovsky placer area), (b) – secondary (II – Sangulovskaya area); (12) – placers of ilmenite, zircon, chromite: (a) – large, (b) – small (I – Kazakovskaya, (2) – Shatkovskaya, (3) – Itmanovskaya, (4) – Alatyrskaya).]

Самой перспективной считается Итмановская россыпь (рис. 5) с площадью залежи 30x8 км. В контуре подсчета запасов 6.5x1.5 км её мощность варьирует в интервале 1–15 м, в среднем составляя 4 м. Глубина залегания рудоносных песков составляет 5–42 м, в среднем, 25 м. В этом контуре полезных минералов (кг/м³): циркон – 24; рутил и лейкоксен – 9; ильменит+хромит+гематит – 90. При среднем содержании в песках «условного циркона» 63.7 кг/м³, запасы их 200 млн т [2].

Особенностью рассмотренного этапа в отличие от предыдущего является тесная связь россыпей с масштабной поздне триасово-раннеюрской эпохой мощного корообразования. Это привело к появлению первых элювиальных месторождений рассматриваемых металлов и россыпей их ближнего переноса. Но основные запасы титана и циркония по-прежнему сосредоточены в залежах дальнего переноса.

#### Меловой этап

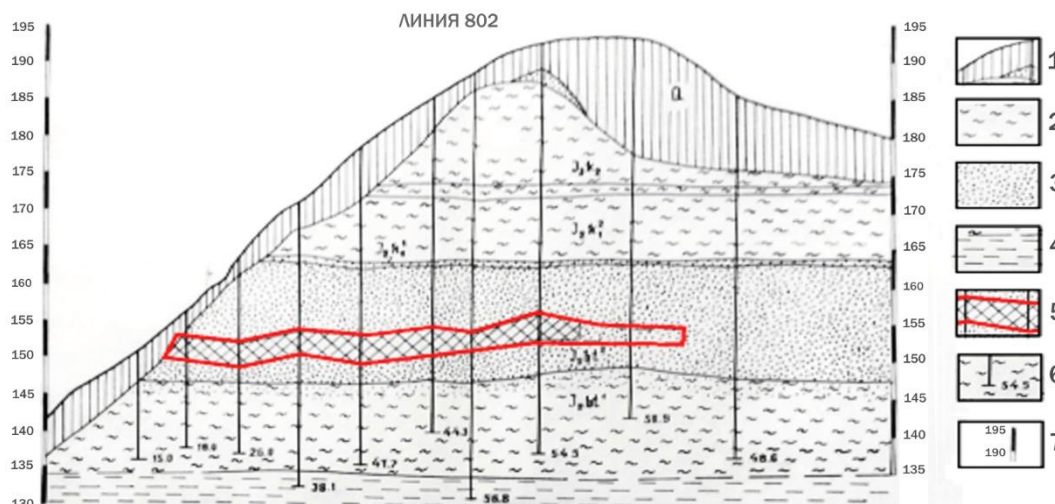
Продолжавшийся распад Пангеи обусловил появление новых морских бассейнов с протяженными береговыми линиями и формирование новых россыпей. В поздне меловое время был заложен современный план океанических бассейнов, и эта эпоха и является одной из самых таласократических в истории Земли. Вместе с тем на отдельных территориях, в первую

**Рис. 4.** Прибрежная зона батского осадочного бассейна и положение Лукояновского россыпного района. По данным С. И. Гурвича, А. М. Болотова, В. О. Позняка и др. из работы [2]. 1 – область сноса, низкая суша; 2 – то же, поднятия в области массивов и выступов; 3 – (3–5) – области накопления, в т.ч.: 3 – преимущественно песчаных осадков с примесью алеврита и глины, 4 – песчано-глинистых осадков, 5 – алевропелитов с примесью песков; 6 – предполагаемые отмели, банки, возможно, острова; 7 – локальные своды; 8 – направления: а – основных течений, б – потоков наносов, реконструкция; 9 – пути поступления материала с суши; 10 – границы: а – древней суши, предполагаемая, б – литолого-фациальных зон, с – современного распространения среднеюрских отложений; 11 – области россыпеобразования: а – главные (I – Лукояновский россыпной район), б – второстепенные (II – Сангуловская площадь); 12 – россыпи ильменита, циркона, хромита: а – крупные, б – мелкие (1 – Казаковская, 2 – Шатковская, 3 – Итмановская, 4 – Алатырская).

**[Fig. 4.** The coastal zone of the Bathonian sedimentary basin and the position of the Lukoyanovsky placer region. According to S. I. Gurvich, A. M. Bolotov, V. O. Poznyak and others from the work [2]. (1) – drift area, low land; (2) – the same, lifting in the area of masses and protrusions; (3) – (3–5) – accumulation areas, including: (3) – mainly sandy sediments with an admixture of silt and clay, (4) – sandy-clayey sediments, (5) –

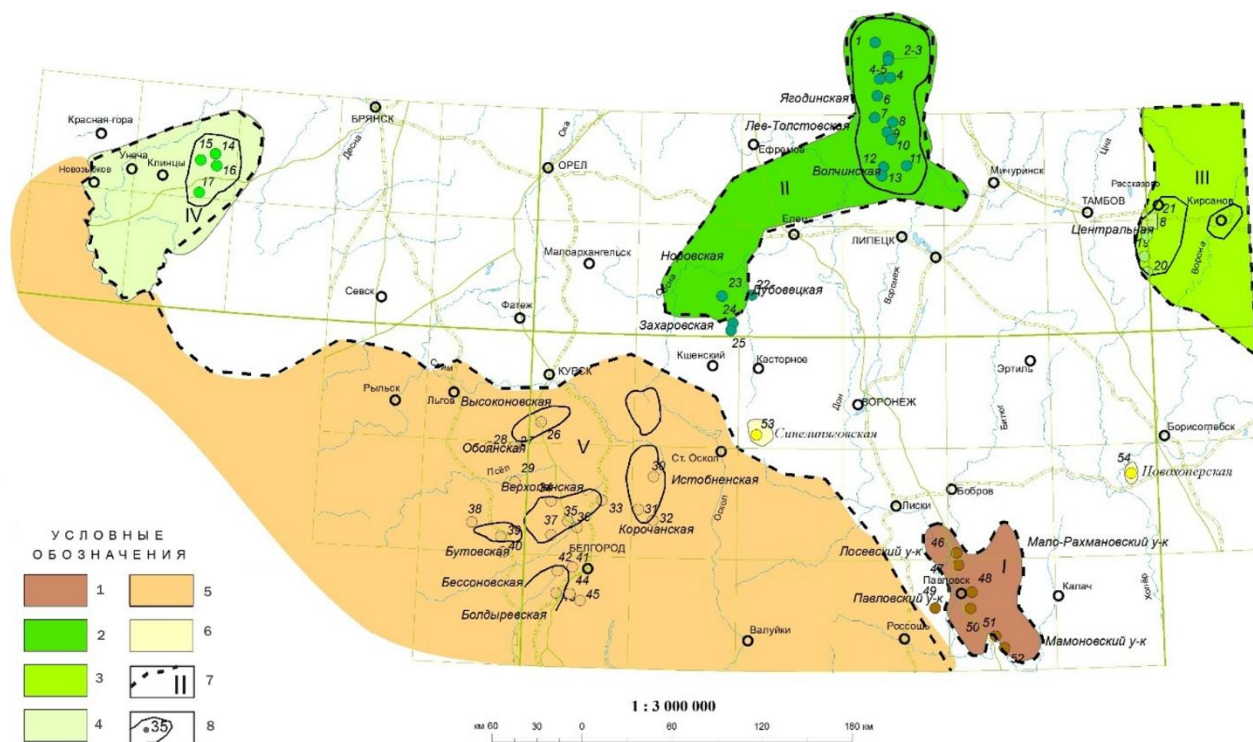
очередь положительных структур, проявилась тектоническая этапность более высоких порядков. Она определяла трансгрессии и регрессии морских бассейнов. При благоприятных тектонических и климатических условиях происходило формирование и сохранность россыпей вблизи береговых линий. Так в меловых отложениях Воронежской антеклизы, в разных частях её территории, образование титан-циркониевых россыпей приурочено к трём уровням: баррем-аптскому, сеноман-раннесантонскому и ранне-кампанскому (рис. 6).

**Баррем-аптские россыпи.** В предаптское время на юге антеклизы сформировалась КВ, при размыве которой возникла продуктивная нижнемеловая формация: мономинеральные кварцевые пески, каолиновые глины, титан-циркониевые россыпи дальнего переноса. Аптские залежи запада Рязанской и севера Липецкой областей имеют большие содержания полезных компонентов, до 200 кг/т в отдельных залежах. Все они (Волчинско-Голожиховская, Лев Толстовская, Корневская, Рогачевская и др.) принадлежат единой Липецко-Скопинской зоне россыпей. Крупнейшая из них первая прослежена на площади 98.5 км². Она образована серией кулисообразно расположенных линзовидных и пластовых тел без четких контуров длиной до 10–15 км при мощности 0.5–9.8 м.



**Рис. 5.** Геологический разрез Итмановской россыпи Лукояновского титан-циркониевого месторождения. Из работы [19]: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – глины; 3 – пески; 4 – алевриты; 5 – промышленный пласт; 6 – скважины (глубина, м); 7 – высотные отметки. Среднеюрские отложения: J<sub>2</sub>bt – батский ярус; J<sub>2</sub>k – келловейский ярус.

[Fig. 5: Geological cross-section of Itman placer of Lukoyanovsky titan-zircon deposit. From work [19]: (1) – soil-plant layer; (2) – clays; (3) – sands; (4) – aleurites; (5) – industrial formation; (6) – wells (depth, m); (7) – elevations. Middle Jurassic deposits: J<sub>2</sub>bt – Bathonian Stage; J<sub>2</sub>k – Callovian stage.]



**Рис. 6.** Продуктивные формации и минерагенические зоны титан-циркониевых россыпей Воронежской антеклизы. С использованием данных из работ [8, 18, 20]. 1–7 – области развития продуктивных формаций. 1 – среднедевонской-раннекаменноугольной, 2 – позднетриасовой-раннеюрской, 3 – баррем-аптской, 4 – сеноманской, 5 – раннесантонской; 6 – раннекампанской; 7 – олигоцен-раннемиоценовой, 8 – миоцен-плиоценовой. 9 – минерагенические зоны и их номера: I – Павловская, II – Павлук-Скопин, Елецкая, III – Тамбовская, IV – Унечско-Новозыбковская, V – Белгородская; 10 – россыпные районы и россыпи в них (1–54): 1 – Князевская; 2 – Ольшанская; 3 – Казначеевская; 4 – Дуловская; 5 – Дубасовская; 6 – Кочуровская; 7 – Ягодинская; 8–10 – Лев-Толстовская, залежи: 8 – Больше-Карповская; 9 – Лев-Толстовская; 10 – Астаповская; 11 – Овражная; 12 – Шовская; 13 – Больше-Избищенская; 14–17 – Унечская, участки: 14 – Писаревский; 15 – Павловский; 16 – Шуляковский; 17 – Вишневецкий; 18 – Кирсановская; 19 – Ручей; 20 – Хитрово; 21 – Центральная; 22 – Дубовецкая; 23 – Норовская; 24 – Захаровская; 25 – Воловская; 26 – Высоконовская; 27 – Любостанская; 28 – Большая Солдатская; 29 – Нижнепенская; 30 – Куськинская; 31 – Холодненская; 32 – Короханская; 33 – Белешихинская Северная; 34 – Верхопенская; 35 – Покровская; 36 – Белешихинская 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; 53 – Синелипяговская; 54 – Новохоперская.

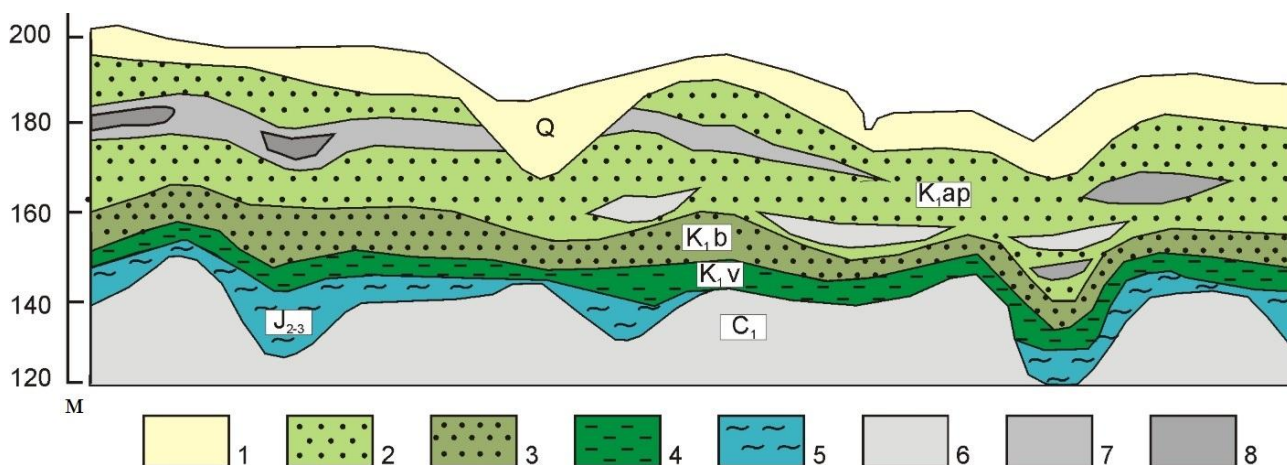
**[Fig. 6. Productive formations and mineragenic zones of titanium-zirconium placers of the Voronezh antecline. Using data from works [8, 18, 20]. (1–7) – areas of development of productive formations (1) – Middle Devonian-Early Carboniferous, (2) – Late Triassic-Early Jurassic, (3) – Barrem-Aptian, (4) – Cenomanian, (5) – Early Santonian; (6) – early Campanian; (7) – Oligocene-Early Miocene, (8) – Miocene-Pliocene. (9) – mineragenic zones and their numbers: (I) – Pavlovskaya, (II) – Plavsk-Skopin, -Eletskaya, (III) – Tambovsky, (IV) – Unechsko – Novozybkovsky, (V) – Belgorod; (10) – placer areas and placers in them (1–54): (1) – Knyazevskaya; (2) – Olshanskaya; (3) – Kaznacheevskaya; (4) – Dulovskaya; (5) – Dubasovskaya; (6) – Kochurovskaya; (7) – Yagodinskaya; (8–10) – Lev-Tolstovskaya, deposits: (8) – Bolshe-Karpovskaya; (9) – Lev-Tolstovskaya; (10) – Astapovskaya; (11) – Ravine; (12) – Shovskaya; (13) – Bolshe-Izbishchenskaya; (14–17) – Unechskaya, plots: (14) – Pisarevsky; (15) – Pavlovsky; (16) – Shulyakovsky; (17) – Vishnevsky; (18) – Kirsanovskaya; (19) – Stream; (20) – Khitrovo; (21) – Central; (22) – Dubovetskaya; (23) – Norovskaya; (24) – Zakharovskaya; (25) – Volovskaya; (26) – Vysokonovskaya; (27) – Lyubostanskaya; (28) – Big Soldier; (29) – Nizhnepenskaya; (30) – Kuskinskaya; (31) – Kholodnenskaya; (32) – Korokhanskaya; (33) – Belenikhinskaya Severnaya; (34) – Verkhopenskaya; (35) – Pokrovskaya; (36) – Belenikhinskaya Yuzhnaya; (37) – Butovskaya; (38) – Ugroedovskaya; (39) – Rakitnyanskaya; (40) – Novoberezovskaya; (41) – Bessonov North; (42) – Bessonovskaya South; (43) – October; (44) – Boldyrevskaya Zapadnaya; (45) – Boldyrevskaya Vostochnaya; (46) – Losevskaya-1; (47) – Losevskaya-2; (48) – Pavlovskaya; (49) – Sergeevskaya; (50) – Shkurlatovskaya; (51) – Verkhnemamonskaya; (52) – Nizhnemamonskaya, (53) – Sinelipya-govskaya; (54) – Novokhoperskaya.]**

Выделяются три рудоносных горизонта. Мощность нижнего 0.5–7 м, длина его не известна. Протяженность среднего до 3 км при ширине 0.5–3.0 км и мощности 0.5–5.9 м. Среднее содержание минералов Ti и Zr 10–21 кг/м<sup>3</sup>. Верхний рудоносный горизонт распространен локально на водоразделах. Он оконтурен по минимальной концентрации 10 кг/м<sup>3</sup>. Образует линзы длиной 1–5 км при ширине 1–4 км в полосе длиной до 12 км.

Средняя мощность вскрыши в пределах контура Волчинско-Голожихвинской россыпи (рис. 7) – 13.3 м, содержание среднее ильменита – 34.37 кг/м<sup>3</sup>. Пески легко обогащаются гравитационными методами. Рутит и ильменит без доводки извлекается при этом на 71.1 %, циркон – на 57.61 %. Н.Н. Иконников выявил в залежи Овражная (овраг Барак у с. Волчье) аптские пески, обогащенные естественным образом – они содержат до 22 % тяжелой фракции. Верхний рудный

пласт (до 6 м мощностью) здесь на 83–96 % образован фракцией 0.25–0.1 мм. В нижнем пласте фракции 0.25–0.1 мм и 0.1–0.05 мм составляют 32.83 % и 13–61 % соответственно. Безрудный интервал содержит больше крупных частиц. Фракции <0.5–0.25 мм там 20–37 %. Основная часть рудных минералов концентрируется в классе 0.10–0.05 мм, а в классе 0.07–0.05 мм их может быть до 81 % [8].

Барремская и аптская части продуктивной формации особенно выражены на западе Рязанской области, где обнаружены россыпи Скопинской площади (Корневская, Дубасовская, Князево-Петрушинская и др.). Мелкие алевритистые пески с преобладанием фракции 0.25–0.1 мм содержат 5–35 кг/м<sup>3</sup> минералов ильменит-циркон-дистен-ставролитовой ассоциации. Россыпи локализованы в прибрежно-морской зоне, где занимают поднятия субмаринного рельефа.



**Рис. 7. Геологический разрез через аптскую титан-циркониевую россыпь у с. Волчье, Добринский район, Липецкая область. Из работы [8] с дополнениями. Отложения: 1 – четвертичные; 2 – аптские алеврито-песчаные; 3 – барремские алеврито-песчаные; 4 – валанжинские алевритоглинистые; 5 – (юрские?) КВ по палеозойским толщам, глинистые; 6 – каменноугольные глины; 7 – каменноугольные известняки; 8 – рудные тела с повышенными содержаниями минералов титана и циркония (нижняя и верхняя залежи); 9 – рудные тела с высокими содержаниями минералов титана и циркония.**

**[Fig. 7: Geological section through the Aptian titan-zircon placer near Volchye village, Dobrinsky district, Lipetsk region. From work [8] with additions. Deposits: (1) – quaternary; (2) – Aptian silt-sand; (3) – Barremian silt-sand; (4) – Valanginian silt-clay; (5) – (Jurassic?) KV for Paleozoic strata, argillaceous; (6) – Carboniferous clays; (7) – Carboniferous limestones; (8) – ore bodies with increased contents of titan and zircon minerals (lower and upper deposits); (9) – ore bodies with high contents of titan and zircon minerals.]**

Сеноман-нижнесантонские россыпи развиты на северо-востоке Воронежской антеклизы и связаны с фосфатоносными глауконит-кварцевыми песками.

Зона их развития вытянута на север на 200 км при ширине в среднем 6 км. Здесь разведано месторождение Центральное и известен ряд проявлений меньшего

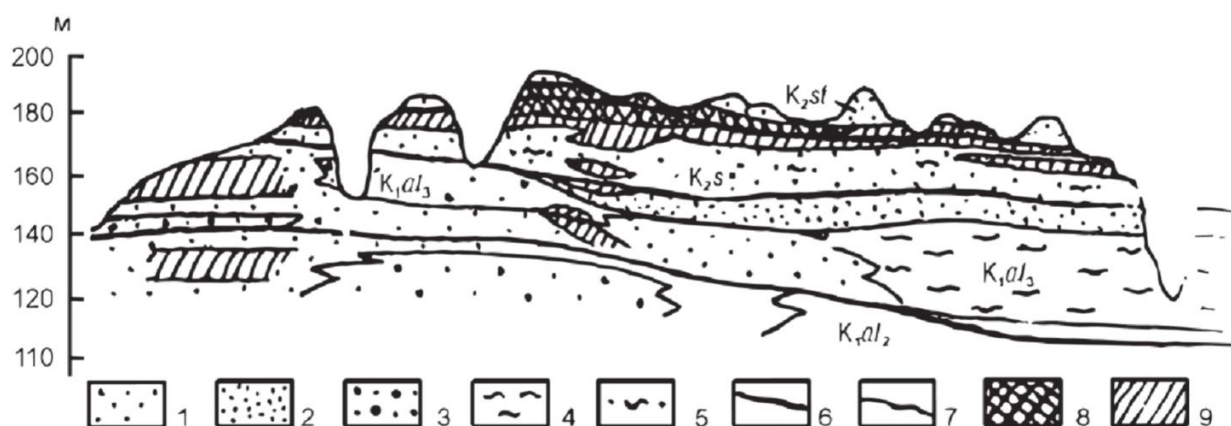


масштаба. Продуктивными явились средне-мелкозернистые кварцевые (до 90 %) с глауконитом (его до 8.7 %) и полевыми шпатами (до 6.5 %) пески с примесью алевроглинистого материала. Среднее содержание фракции 0.25–0.1 мм – 76.2 %, фракции 0.1–0.05 мм – 13.4 %. Минералов тяжелой фракции ильменит-рутил-гранат-циркониевой ассоциации обычно 14–85.3 кг/м<sup>3</sup>, иногда до 200 кг/м<sup>3</sup>.

В разрезе месторождения Центральное (60 км к востоку от Тамбова) имеются рудоносные пласты основной сеноманский и менее значимый, нижнесантонский (рис. 8). Промышленные содержания ценных компонентов свыше 50 кг/м<sup>3</sup>, больше всего в последней ильменита (до 40 %) и рутила в пластовой залежи глауконит-кварцевых песков сеномана мощностью

2–15 м (в среднем 6.5 м), на площади 136 км<sup>2</sup>. Мерионально вытянутый многоугольник рудоносной площади длиной около 20 км и шириной 10–15 км разбит долиной р. Ломовис на участки Восточный, Западный и Южный. Мощности вскрышных пород 3.8–22 м, в среднем 18 м.

Пески продуктивного горизонта на 30–40 % относятся к классу 0.14–0.90 мм, содержания тяжелой фракции в них – 1–7 %. Больше всего в последней ильменита (40 %), рутила (5–10 %), циркона (5–8 %), присутствуют лейкоксен, ставролит, турмалин, дистен, гранат, эпидот. Средние содержания в россыпи компонентов (кг/м<sup>3</sup>): ильменита – 32.33, рутила – 6.43; циркона – 5.22. Присутствует мелкое (50–500 мкм) золото. В пробе массой 5 т его 0.2–0.3 г/т.



**Рис. 8.** Геологический разрез титан-циркониевого россыпного Центрального месторождения (междуречье Цны и Вороны, Тамбовская область). По В. М. Блинову, из [8]. 1–3 – пески, в т.ч.: 1 – мелкозернистые, 2 – тонкозернистые, 3 – разнозернистые; 4 – глины; 5 – глинистость в песках; 6 – стратиграфические границы; 7 – границы литологических комплексов и продуктивных тел; 8 – продуктивный пласт с высоким содержанием минералов титана и циркония; 9 – продуктивный пласт с повышенным содержанием минералов титана и циркония.

[Fig. 8. Geological cross-section of the titan-zircon placer of the Central Field (Tsna-Vorona interfluvium, Tambov Oblast). According to V. M. Blinov, from [8]. (1–3) – sands, including: (1) – fine-grained, (2) – fine-grained, (3) – variable-grained; (4) – clays; (5) – clay content in sands; (6) – stratigraphic boundaries; (7) – boundaries of lithological complexes and pay zones; (8) – productive formation with high content of titan and zircon minerals; (9) – productive formation with high content of titan and zircon minerals.]

Нижнесантонские россыпи на северо-восточном склоне Воронежской антеклизы сопряжены с фосфоритоносной пачкой, трансгрессивно залегающей на породах сеномана (нижний рудоносный уровень) и мелко- тонкозернистыми фосфорито-опокково-песчаными образованиями верхней части разреза (верхний рудоносный уровень). Концентрирующие фракции 0.25–0.16 мм, частично – 0.16–0.05 мм. Содержание первой в прибрежно-морских псаммитах 11–21 %, а тяжелой фракции здесь – 5.0–47.1 кг/м<sup>3</sup>.

В мелководно-морских песках фракции 0.16–0.05 мм уже до 77 %, отчего выход тяжелых минералов возрастает до 72 кг/м<sup>3</sup>. В верхнем рудоносном горизонте – фосфорит-опока-песчаные породы, – содержание тяжелой фракции возрастает снизу вверх по разрезу от 7.7 кг/м<sup>3</sup> до 225 кг/м<sup>3</sup>. Кирсановская россыпь – пример значительной продуктивности верхней части разреза нижнего сантона Тамбовской области. Здесь рудоносные породы относятся к фракциям 0.25–0.1 мм – 60 %, 0.1–0.01 – 24 %, менее 0.01 мм – 1.5–3.0 %.

Нижнекампанские россыпи известны в полосе развития псаммитов длиной 120 км при ширине 20 км на западе Воронежской антеклизы. В. П. Орлов и Н. Н. Иконников назвали их из-за своеобразного минерального состава (кварц, фосфаты, тяжелые минералы) «унечитами», по городку Брянской области, близ которой расположена одноименная россыпь-голотип. Продуктивный пласт сложен обычно алевритистыми, тонкозернистыми кварцевыми песками с примесью глауконита (2.1–2.4 %), полевых шпатов (1.0–9.4 %), тяжелых минералов (зерна фосфорита, ильменит, лейкоксен, рутил, дистен, гранат, циркон). Фосфаты в этих россыпях образуют оболочки на зернах минералов и собственные выделения. Количество Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> напрямую связано с содержанием тяжелой фракции и составляет 3–28 % [8].

В Северной Америке имеется обширная область верхнемеловых прибрежно-морских титан-циркониевых залежей Скалистых гор США и Канады в штатах Юта, Аризона, Монтана, Нью-Мексико, Колорадо,



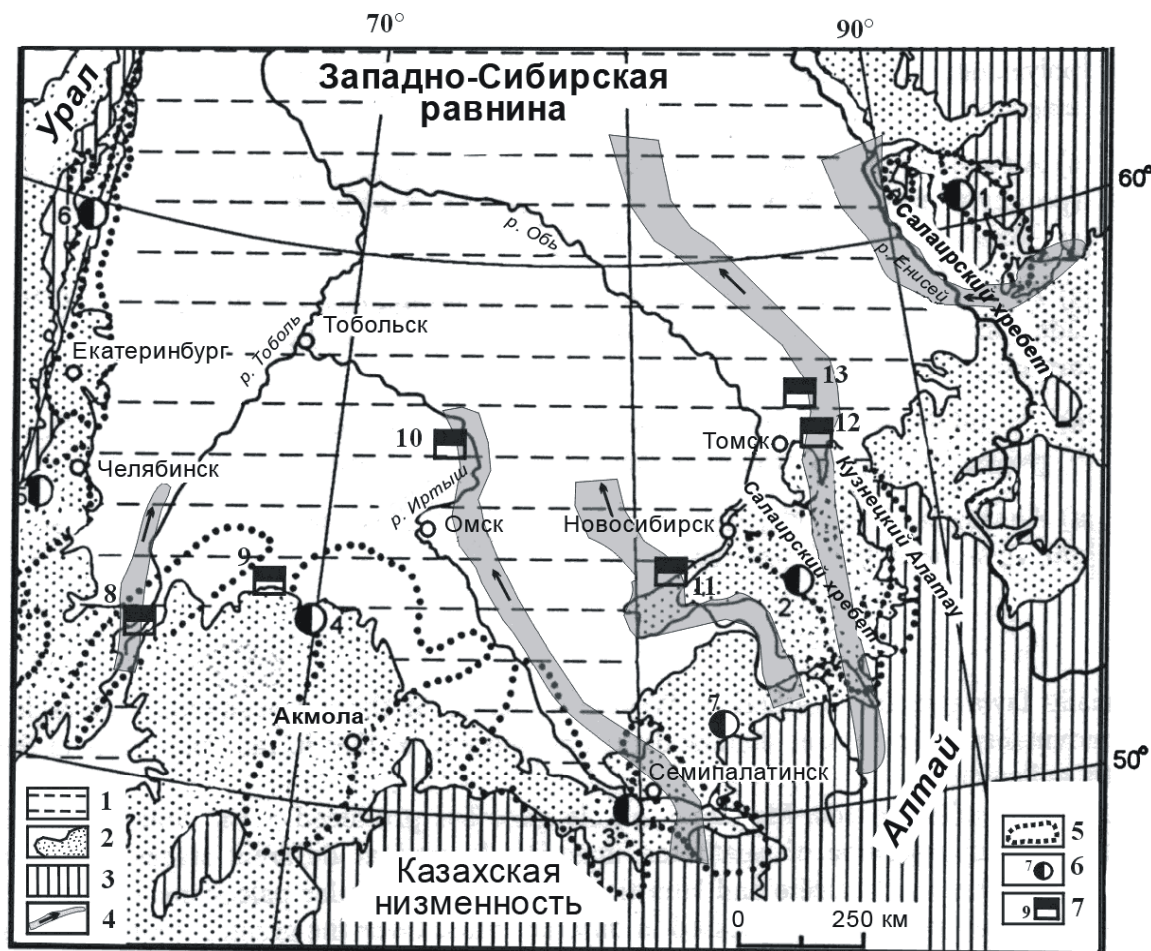
Вайоминг и провинции Альберта. При их формировании использовался материал, сносимый с примыкающих площадей платформы. Пласты, обогащенные рудными минералами (до 15 % в среднем по отдельным участкам), чередуются с безрудными интервалами. Основная масса полезных компонентов сконцентрирована в регрессивных сериях и тяготеет к верхним частям разрезов [10]. В штате Вайоминг по краю ларамийского куполовидного поднятия вдоль зоны Мак-Корт-Тонг на 70 км протянулись меловые прибрежно-морские черные пески с минералами титана и циркония. Некоторые линзы имеют длину до 700 м при мощности 2.5 м. Они содержат 3 % тяжелой фракции, из которых 15–80 % падает на циркон [21].

Таким образом, после киммерийского орогенеза в поздней юре-раннем мелу и планации территорий образовались КВ, при размыве которых в баррем-аптское время в мономинеральных кварцевых песках начали формироваться титан-циркониевые россыпи ближнего переноса. Обширные трансгрессии с углублением морских бассейнов в позднем мелу определили формирование россыпей дальнего переноса в глауконит-кварцевых песках. Извлечение глауконита повышает рентабельность разработки россыпей.

### Кайнозойский этап

Основные запасы титан-циркониевых залежей кайнозоя образовались в олигоцен-миоценовое и четвертичное время. Большая доля разведанных запасов, около 200 млн т оксида титана и чуть более 40 млн т диоксида циркония сосредоточены в современных россыпях. В них повышенное соотношение устойчивого в гипергенезе циркония к титану и увеличение со временем содержаний рутила во многом вызвано рециклингом и увеличением объемов осадочных пород в источниках сноса. Это определило образование россыпей не только в условиях теплого, но умеренного и даже арктического климатов.

Огромные по запасам титан-циркониевые россыпи на юге Западной Сибири (Шокашская, Обуховская, Тарская, Ордынская, Туганская, Георгиевская) локализуются в меловых-палеогеновых долинах переходной зоны между гористой (Алтай, Саян, Северо-Казахстанская возвышенность, Енисейский хребет) и равнинной частями региона (рис. 9, из работы [22]). Для россыпей характерны: мелкозернистость песков и рудных минералов, глинистость, небольшое количество лимитируемых примесей, пригодность кварц-полевошпатовых хвостов первичного обогащения для использования в качестве сырья для стекльной и других видов промышленности [23].



**Рис. 9.** Ассоциации кор выветривания и циркон-ильменитовых россыпей с эндогенной золоторудной минерализацией на периферии Западно-Сибирской плиты. Из работы [22]. 1 – равнины с высотами до 200 м выше уровня моря; 2 – плато, холмистые равнины и подтвержденные зоны распространения площадей с признаками химического выветривания (высоты от 200 до 500 м выше

уровня моря); 3 – горы, высоты более 500 м выше уровня моря; 4 – древние долины; 5 – золотоносные поля; 6 – золоторудные месторождения со значительными ресурсами золота в КВ: 1 – Олимпиада; 2 – Егорьевское; 3 – Суздальское; 4 – Васильковское; 5 – Светлинское; 6 – Воронцовское; 7 – Алтайский край, район Алейска; 8–13 – крупные циркон-ильменитовые россыпные месторождения, в т.ч.: 8 – Шокашское; 9 – Обуховское; 10 – Тарское; 11 – Ордынское; 12 – Туганское; 13 – Георгиевское.

[Fig. 9: Associations of weathering and zircon-ilmenite placers with endogenous gold ore mineralization on the periphery of the West Siberian plate. From work [22]. (1) – plains with heights up to 200 m above sea level; (2) – plateaus, hilly plains and confirmed areas with signs of chemical weathering (heights from 200 to 500 m above sea level); (3) – mountains, heights of more than 500 m above sea level; (4) – ancient valleys; (5) – gold fields; (6) – gold deposits with significant gold resources in KV: (1) – Olympiad; (2) – Egorievskoe; (3) – Suzdal; (4) – Vasilkovskoye; (5) – Svetlinsky; (6) – Vorontsovskoe; (7) – Altai Territory, Aleisk District; (8–13) – large zircon-ilmenite placer deposits, including: (8) – Shokashskoye; (9) – Uchetkovskoye; (10) – Tarskoe; (11) – Orda; (12) – Tuganskoye; (13) – Georgievskoe.]

Самое крупное Туганское месторождение с промышленными запасами оксидов титана 2.5 млн т и чуть более 1 млн т циркония находится в области сочленения Томь-Колыванской складчатой зоны, фундамент которой ступенчато погружается под мезозойско-кайнозойский осадочный чехол с образованием хорошо выраженных тектонических уступов. Месторождение представляет собой серию погребённых прибрежно-морских россыпей в эоцен-олигоценных песках, которые в виде полосы протягиваются вдоль выступа палеозойского фундамента. Их формирование связано с перетолжением слабо сцементированных горных пород КВ на глинистых сланцах, алевролитах и песчаниках нижнего карбона.

На месторождении выделено 5 разобщённых участков на расстоянии 0.5–10 км друг от друга: Южно-Александровский, Кусовско-Шириевский, Малиновский, Северный и Чернореченский. Промышленный интерес представляют первые два участка. В их пределах средняя мощность рудных песков 5–7 м, глубины залегания от

нескольких до 100 м. Рудные пески кварцевые, каолинизированные, тонко- и мелкозернистые, обогащены ильменитом, рутилом, лейкоксеном, цирконом и другими устойчивыми минералами. Среднее содержание тяжёлой фракции 2–5 %, ильменита 29, рутила и лейкоксена 5, циркона 10.5 кг/м<sup>3</sup>.

На территории Республики Казахстан имеется значительное количество выявленных титан-циркониевых россыпей рассматриваемого этапа, тяготеющих к южному обрамлению Западно-Сибирской плиты. Они также несут промышленную минерализацию редких и редкоземельных элементов. Это месторождения россыпей и КВ, образованные в результате денудации коренных пород в прибрежно-морских и континентальных условиях осадконакопления, составляют основу минерально-сырьевой базы Ti-Zr руд Казахстана.

Крупный район титан-циркониевых россыпей находится в Среднем Приднепровье, входящий в состав Украинской провинции (рис. 10).

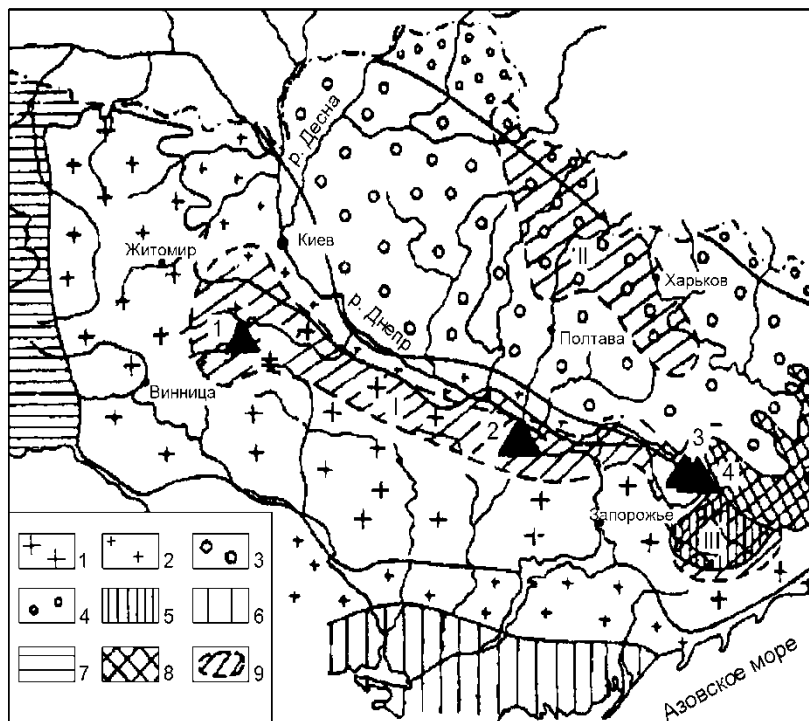


Рис. 10. Комплексные Ti-Zr россыпи Центральной и Восточной Украины. По С. Н. Цымбалу, Ю. А. Полканову из работы [2]. 1 – Украинский щит; 2 – склоны щита, частично перекрытые платформенным чехлом; 3 – Днепровско-Донецкая впадина; 4 – юго-западный склон Воронежского массива; 5 – Конско-Ялынская впадина; 6 – Причерноморская впадина; 7 – Вольно-Подольская плита; 8 – Донецкий бассейн; 9 – россыпные зоны и районы: I – Приднепровский, подразделяющийся на Право- и Левобережный; II – Днепровско-Донецкий; III – Приазовский. Треугольниками и арабскими цифрами обозначены месторождения: 1 – Тарасовское; 2 – Малышевское (Самотканское); 3 – Волчанское; 4 – Краснокутское.

[Fig. 10. Complex Ti-Zr placers of Central and Eastern Ukraine. According to S. N. Tsybaly, Yu. A. Polkanov from the work [2]. (1) – Ukrainian shield; (2) – slopes of the shield, partially covered with a platform cover; (3) – Dnieper-Donetsk depression; (4) – the southwestern slope of the Voronezh massif; (5) – Kongo-Yalynskaya depression; (6) – Black Sea Depression; (7) – Volyn-Podolsk plate; (8) – Donetsk basin; (9) – placer zones and districts: (I) – Pridneprovsky, divided into Pravo- and Left-Bank; (II) – Dnieper-Donetsk; (III) – Priazovsky. Triangles and Arabic numerals indicate deposits: (1) – Tarasovskoye; (2) – Malyshevskoe (Samotkansko); (3) – Volchanskoye; (4) – Krasnokutskoye.]

Продуктивные площади – россыпи Малышевская, Волчанская, Тарасовская, Краснокутская, – тяготеют к зоне сочленения Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. В экономически наиболее важном Самотканском районе они локализованы в осадочных толщах, относимых к полтавскому надгоризонту ( $P_3-N_1pl$ ) и сарматскому региоярису  $N_{1s}$ . Залегают рудоносные толщи на верхнемеловой-нижнепалеоценовой КВ, отложениях различных ярусов эоцена. Иногда в КВ устанавливается содержащий скандий (0.01 %) ильменит в количестве до 500 кг/т.

На Малышевском (Самотканском) месторождении Запорожской области рудная толща полтавских псаммитов достигает мощности 30–40 м. Наиболее высокие концентрации в сотни кг/т титан-циркониевого концентрата приходится на верхнюю часть полтавского разреза. Пески содержат монацит и ксенотим, но в цирконовом концентрате количество этих минералов не превышает 0.1 %, а мелких (0.1–0.2 мм) зерен циркона – 15–45 %. Содержание минералов тяжелой фракции здесь таково (%): циркона – 9–11 %, рутила – 13–17 %, ильменита – 32–37 %, дистена, ставролита, силлиманита, турмалина – 40 %. Самые богатые цирконом участки россыпи тяготеют к полям развития подстилающей КВ и краевым фациям полтавского морского бассейна [21].

По другую сторону от Днепровско-Донецкой впадины, разделяющей Украинский щит и Воронежскую антеклизу, широко распространены продуктивные титан-циркониевые формации рассматриваемого этапа. Они распространены юго-западе и западе территории антеклизы (см. рис. 6). Кроме того, мелкие россыпи миоценового возраста аллювиально-лимнического генезиса имеются в её центральной (Синелипяговская) и восточной (Новохоперская) частях. Практического значения они не имеют.

Наиболее значимые россыпи сосредоточены на юго-западе антеклизы. Здесь на Белгородской россыпной площади выделено 4 россыпных поля – Бутовское, Истобнянское, Борисовское и Высококоновское. Все они представлены прибрежно-морскими залежами хорошо сортированных кварцевых песков с содержанием тяжелой фракции 0.65–1.87, иногда до 4.5 %. Мощности продуктивных тел колеблются от первых до 15, в среднем 5–8 м, вскрышных пород от 1.5 до 21 м. Прогнозные запасы россыпей 16 млн т  $TiO_2$  и 3.2 млн т  $ZrO_2$ . Особенностью рассматриваемых залежей является повышенное содержание оксида циркония, особенно в Высококоновской [21]. В ней два рудных пласта. В тяжелой фракции нижнего пласта ильменита 37, рутила 13, циркона 17 %, в верхнем первого 5, второго 42, третьего 25, дистена 10, ставролита 8 %. Это свидетельствует о высокой «зрелости» рассматриваемых россыпей по сравнению с их более ранними аналогами в регионе, рассмотренными ранее.

На СЗ Воронежской антеклизы Новызыбковская россыпь титан-циркониевых песков связана с полтавскими отложениями (верхи олигоцена-низы миоцена). В ее пластовой залежи, вытянутой с севера на юг, наиболее обогащена верхняя часть мощностью 2.1 м (I

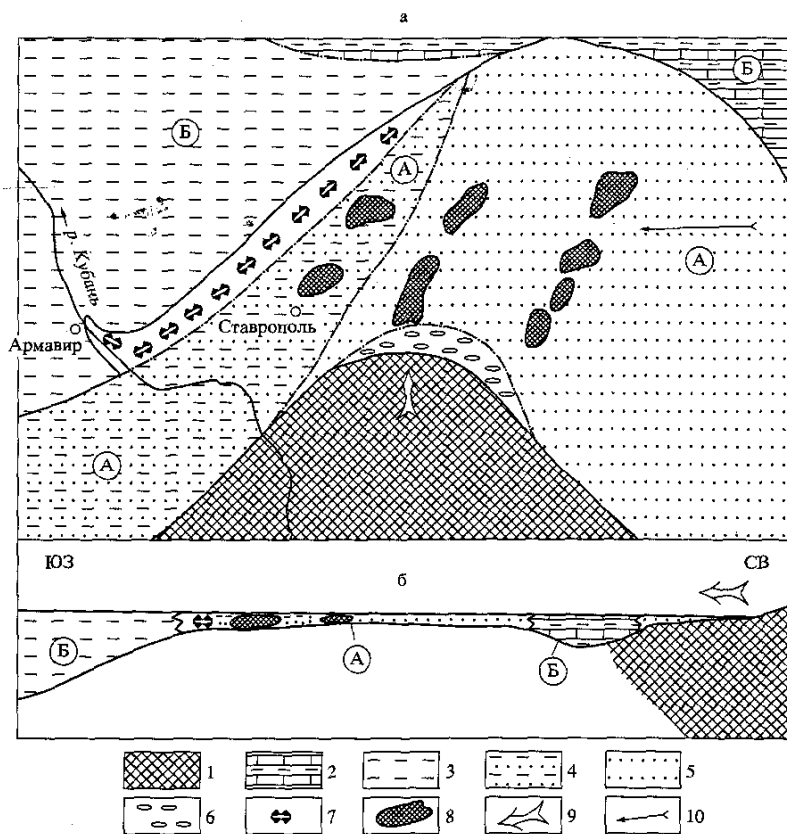
горизонт). На 99 % пески сложены кварцем. Минералы титана и циркон (класс  $-0.1+0.4$  мм) по отдельным пробам содержат 0.9–277 кг/м<sup>3</sup>. В целом по месторождению сумма минералов Ti и Zr 23.42 кг/м<sup>3</sup> (48.6 кг/м<sup>3</sup> I горизонт и 9.55 кг/м<sup>3</sup> II горизонт). В среднем ильменита – 15.84 кг/м<sup>3</sup>, рутила – 3.52 кг/м<sup>3</sup>, лейкоксена – 1.62 кг/м<sup>3</sup>, циркона – 2.47 кг/м<sup>3</sup>. Отдельные участки россыпи содержат до 350 кг/т тяжелых минералов в интервалах разреза мощностью до 2.5 м.

На Северном Кавказе Н. И. Бойко и Г. Ю. Складенко [24] характеризуют "Южно-Русскую провинцию древних прибрежно-морских титан-циркониевых россыпей" как одну из наиболее перспективных для промышленного освоения в России. В нее они включили "Предкавказский россыпной бассейн" (сарматские и киммерийские россыпи, прогнозные ресурсы 435 тыс т минералов титана и циркония), южные склоны Воронежской антеклизы (6 миоценовых россыпей), Ставропольский свод (сарматские россыпи), Таманский полуостров (киммерийские россыпи).

В пределах Ставропольского свода (рис. 11) россыпи минералов титана и циркония известны среди отложений стратиграфических уровней среднего миоцена: чокракского, караганско-конкского, среднесарматского, средне-верхнесарматского. Со среднесарматским уровнем связаны наиболее крупные россыпные аккумуляции Бешпагирского, Высоцкого, Грачёвского, Камбулатского, Ташлинского, Тугулукского месторождений, с содержаниями в песках полезных компонентов  $>50$  кг/м<sup>3</sup>.

Бешпагирское месторождение в 40 км восточней Ставрополя было разведано в 1950-х гг. В его среднесарматских песках содержатся циркон (запасы по категории  $C_2$  – 120.9 тыс. т, прогнозные ресурсы по категории  $P_1$  – 319.1 тыс. т, содержания 10–13 кг/м<sup>3</sup>), рутил (10.8 кг/м<sup>3</sup>), ильменит (36.5 кг/м<sup>3</sup>) [26]. Продуктивная толща входит в состав прибрежно-морского песчаного субкомплекса, псаммиты которого с размывом залегают на породах нижнего сармата. Продуктивные пески не тяготеют к базальному горизонту, а размещены существенно выше.

В пределах Ольховской россыпной площади известны перспективные участки Лысогогорский, Вяженский, Центральный. Рудные минералы в повышенных количествах (30–50 кг/м<sup>3</sup>) концентрируются в одном или двух горизонтах мощностью 0.5–18.3 м среди мелкозернистых (0.1–0.25 мм) прибрежно-морских песков нижнего миоцена (средняя часть полтавской свиты). Ширина залежей 0.15–1.0 км, протяженность – 1–8 км. Рудоносные линзы вытянуты на северо-восток. Большинство минералов титана (до 85 % рутила, лейкоксена, до 90 % ильменита) присутствует в классах 0.16–0.10 и 0.10–0.063 мм. Их остальные 10–15 % имеют размерность  $<0.063$  мм. 50–60 % зерен циркона находятся в классе  $<0.05$  мм, остальные – в классе 0.10–0.063 мм. Другие минералы тяжелой фракции – дистен, ставролит, турмалин, силлиманит, анатаз, сфен. Отличительная особенность россыпи – выдержанность минерального состава лёгкой фракции, где



**Рис. 11.** Положение основных Ti-Zr россыпей Ставропольского свода (Центральное Предкавказье) на палеогеографической схеме для среднего сармата (*a* – схема, *b* – разрез) По Н. И. Бойко [25]: 1 – суша; 2–7 – субкомплексы отложений, в т.ч.: 2 – пелитово-известняковый, 3 – пелитовый, 4 – пелитово-песчаный, 5 – песчаный, 6 – псефитовый, 7 – органогенных построек; 8 – основные титан-циркониевые россыпи; 9 – направления выноса осадочного материала с областей денудации; 10 – направления морских течений. Литолого-фациальные комплексы отложений: *A* – прибрежно-морских, *B* – мелководного шельфа.

[Fig. 11. The position of the main Ti-Zr placers of the Stavropol arch (Central Predkavkazye) in the paleogeographic scheme for the middle Sarmatian (*a*) – scheme, (*b*) – section) According to N. I. Boyko [25]: (1) – land; (2–7) – subcomplexes of deposits, including: (2) – pelitic-limestone, (3) – pelitic, (4) – pelitic-sandy, (5) – sandy, (6) – psephitic, (7) – organogenic buildings; (8) – main titan-zircon placers; (9) – directions of sediment removal from denudation areas; (10) – directions of sea currents. Lithological-facies complexes of deposits: (*A*) – coastal-marine, (*B*) – shallow-water shelf.]

кварца 96–97, полевых шпатов – 0.5–0.1 %.

Ольховская россыпь формировалась в пляжевой обстановке "на границе низменных болотистых равнин, временами заливаемых морем, и мелководной прибрежно-морской зоны миоценового моря. Перемыву и сортировке рудных минералов способствовал интенсивный гидродинамический режим структурно-тектонических ловушек, установившийся на стыке приподнятой Богучарской глыбы и Прихоперской тектонической ступени" [24]. Источниками полезных минералов были в коренных породах и КВ Воронежской антеклизы, Украинского щита и Восточного Донбасса.

Вдоль Передового хребта Восточного Кавказа (Дагестанский сектор) Ti-Zr россыпи в отложениях среднего миоцена и среднего-низов верхнего миоцена прослежены на протяжении >200 км между реками Рубасчай и Акташ. По данным V. I. Cherkashin et al. [27], ширина зоны россыпей достигает 5 км, а мощности рудоносных интервалов варьирует от десятков до сотен метров. Вмещающие полезные минералы породы обычно представлены светлыми кварцевыми (90–95 %) песками с преобладающей размерностью зерен до 0.5 мм. Содержания тяжелой фракции 0.5–3.0 %, достигая 80–90 кг/м<sup>3</sup>. На 90 % она сложена цирконом, ильменитом, рутилом, лейкоксеном. Рудовмещающие пески рыхлые или слабо сцементированные. Иногда в них содержатся видимые золото и серебро в виде чешуек до 0.2 мм.

К рассматриваемому этапу относятся и современные россыпи (рис. 12). Их формирование началось 6

тыс. лет назад при трансгрессии Мирового океана в результате таяния ледниковых щитов вюрмского времени. Это привело к формированию крупных титан-циркониевых месторождений, разведанные запасы которых составляют их значительную часть от общемировых. Основные аккумуляции рассматриваемых минералов приурочены к шельфовым областям пассивных окраин континентов. Гораздо менее распространены титан-циркониевые россыпи на активных окраинах, где шлихование тяжелых минералов происходило в зоне пляжа. Там в источниках сноса большое развитие имеют основные и ультраосновные породы, поэтому в россыпях преобладает магнетит, титаномагнетит, ильменит и хромит. В пределах архипелагов и островных дуг Тихого океана широкое развитие имеют россыпи олова, золота, платиноидов ближнего переноса.

В титан-циркониевых россыпях соотношение минералов титана к циркону обычно порядка 5:1. Но в зависимости от поступающего из источников сноса материала россыпи могут быть практически магнетит-титановыми (Курилы, Япония), существенно циркониевыми (Атлас-буна Нарринг в Австралии) и рутиловыми (Сьера Леоне, Лесото на ЮЗ Африки).

Таким образом кайнозойский этап характеризуется самым масштабным в истории Земли формированием титан-циркониевых россыпей, особенно олигоцен-миоценовых и современных. Это вызвано рядом благоприятных факторов. Среди них широкое развитие КВ, обычно в зонах теплого климата, резкое



увеличение протяженности береговых линий, частая смена гидродинамических режимов в результате трансгрессий и регрессий, контрастность рельефа,

способствующая выносу больших объемов терригенного материала с тяжелыми минералами в бассейны седиментации.

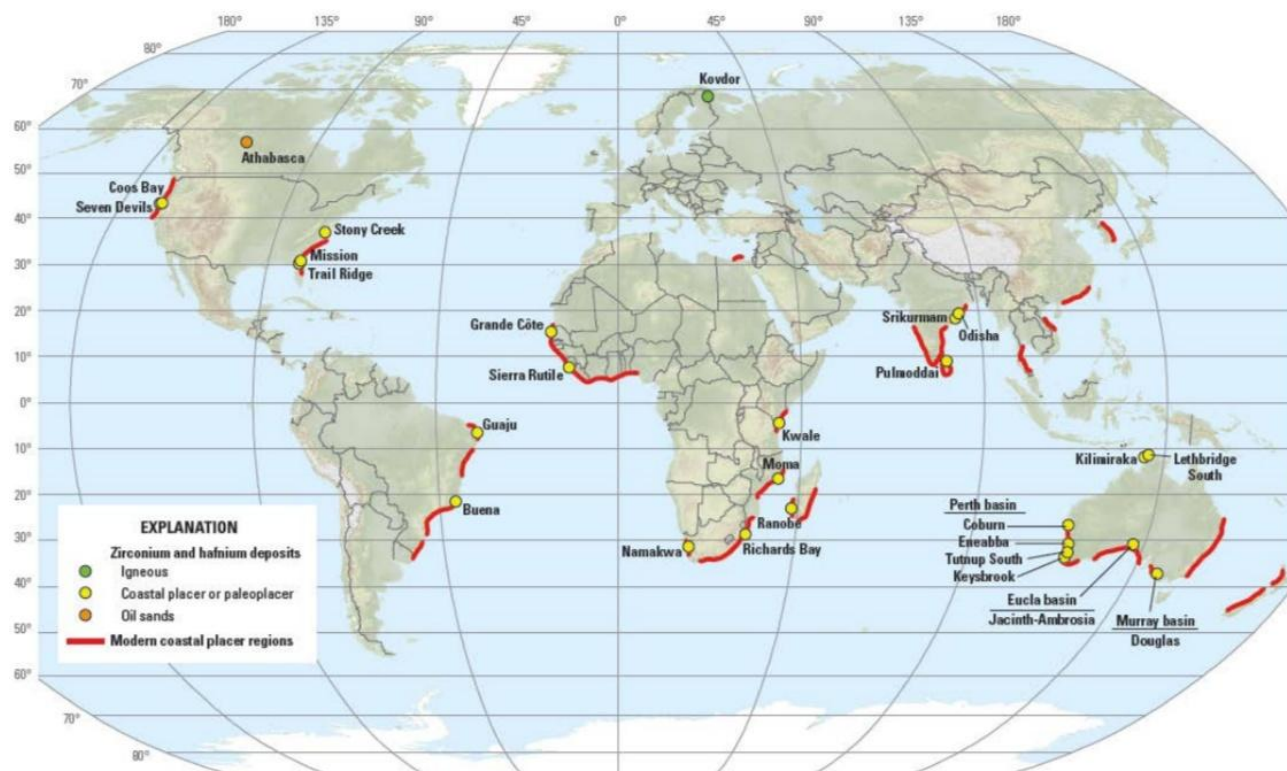


Рис. 12. Распространение современных титан-циркониевых россыпей Мира. Из работы [28].

[Fig. 12. Distribution of modern titanium-zirconium placers of the World. From work [28].]

### Выводы

Формирование россыпных месторождений тесно связано с эпохами мощного корообразования и коррелятными им осадками. Для остаточных россыпей (элювий) и россыпей ближнего переноса (делювий, пролювий, частично аллювий и лимний) характерны тесные связи с источниками сноса, частый размыв при трансгрессиях и регрессиях. Поэтому в ископаемом состоянии они встречаются редко, а основная масса россыпных месторождений этого типа приурочена к неоген-четвертичному этапу. Россыпи дальнего переноса менее зависят от источников сноса, формируются через промежуточные коллекторы и лучше сохраняются в древних разрезах. Со временем количество россыпных месторождений нарастает, а большая их часть приходится на кайнозойский этап и особенно на олигоцен-четвертичное время.

Важную роль играет рециклинг, поскольку со временем в источниках сноса увеличивается количество осадочного материала, в котором содержания устойчивых циркона и рутила увеличивается, а ильменита и лейкоксена уменьшается. При этом в отдельных россыпях, образованных за счет размывов осадочных пород первые преобладают над вторыми, хотя обычно это соотношение обратное.

В целом же эволюция россыпеобразования имеет циклично-направленный характер, обусловлена эволю-

цией геологических структур земной коры и различных типов континентального и морского литогенеза. Направленность выражена в увеличении запасов металлов титана и циркона во времени, особенно в кайнозое, а цикличность – в наличии этапов сочетания благоприятных для россыпеобразования факторов.

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

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов Н. А. Учение о россыпях. Изд. 2-е, перераб. и доп. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.
2. Патык-Кора Н. Г., Беневольский Б. И., Быховский Л. З. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. Под ред. Н. П. Лаврова, Н. Г. Патык-Кора. М.: Научная мысль, 1997. 479 с.
3. Патык-Кора Н. Г. Минерогения россыпей: типы россыпных провинций. М.: ИГЕМ РАН, 2008. 528 с.
4. Лаломов А. В. Локальные геолого-динамические факторы формирования комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых минералов: дисс. ... д-ра геол. мин. наук. М. ИГЕМ, 2011. 293 с.
5. Лаломов А. В. Россыпи как источник стратегических видов минерального сырья // *Разведка и охрана недр*. 2024. № 2. С. 15–24
6. Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев

- И. В., Аристов В. В., Лаломов А. В., Мурашов К. Ю. Минеральные ресурсы высоко технологических металлов в России: Состояние и перспективы развития // *Геология рудных месторождений*. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119
7. Михайлов Б. М., Вировец В. В., Горбачев Б. Ф. и др. Основные черты экзогенной минерализации СССР. *Металлогения и рудные месторождения. 27-й Международный геологический конгресс СССР*: сб. ст. конгресса. М.: Наука, 1984. С. 84–94
8. Савко А. Д., Беляев В. И., Иконников Н. Н., Иванов Д. А. Титан-циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района. Воронеж: ВГУ, 1995. 148 с.
9. Рудные ресурсы и их размещение по геозонам. Редкие металлы: тантал, ниобий, скандий, редкие земли, цирконий, гафний. Справ. пособие. Под ред. акад. Д.В. Рундквиста. М.: Недра, 1995. 223 с
10. Дымкин А. М., Чайка В. М. Эволюция накопления природных соединений семейства железа. М.: Наука, 1992. 256 с.
11. Лаломов А. В., Платонов М. В., Тугарова М. А., Бочнева А. А., Чефранова А. В. Редкометалльно-титановая россыпная металлоносность кембро-ордовикских песчаников северо-запада Русской плиты // *Литология и полезные ископаемые*. 2015. № 6. С. 563–575
12. Власенко В. В. Особенности и перспективы совместной разработки высоковязкой нефти и титановой руды на площадях их совместного залегания в границах Ярегского нефтетитанового месторождения. *Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов*: материалы конференции. Ухта, 2010. С. 24–35
13. Недра России. Т. 1. Полезные ископаемые. Гл. ред. Н. В. Межеловский, А. А. Смыслов. СПб.-М., 2001. 547 с.
14. Макеев А. Б., Брянчикова Л. И., Красоткина А. О. Уникальные титановые месторождения Тимана: проблемы генезиса и возраста // *Записки Горного института*. 2022. Т. 255. № 3. С. 275–289
15. Милаш А. В. Литолого-фациальная характеристика ястребовских отложений юго-востока Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология*. 2016. № 1. С. 37–43
16. 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.
17. 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
18. 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. 25–36
19. Лаломов А. В., Бочнева А. А. Центральное, Лукояновское и Унечское месторождения цирконий-титановых песков как база для создания минерально-сырьевого центра и осуществления стратегии импортозамещения России // *Молодой ученый*. 2020. № 2 (292). С. 333–341
20. Беляев В. И., Иванов Д. А. Продуктивные титан-циркониевые формации фанерозоя Воронежской антеклизы (факторы, прогноз) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология*. 2000. № 3 (9). С. 138–151
21. Беляев К. Д., Гансеев И. Г., Чайка И. Г. Рудные ресурсы и их размещение по геозонам. Редкие металлы. Тантал, ниобий, скандий, редкие земли, цирконий, гафний: справочное пособие. Под ред. Д. В. Рундквиста. М.: Недра, 1996. 176 с.
22. Вараксин Ю. Н., Свиридов В. Г. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири (Новосибирская, Омская, Томская области). Т. 2. Полезные ископаемые. Новосибирск: Изд-во СО РАН. НИЦ ОИГГМ, 1998. 254 с.
23. Левченкова Е. Н., Ключерева Д. С., Лаломов А. В. Генезис, особенности вещественного состава и проблемы освоения редкометалльно-титановых россыпей Западно-Сибирской мегапровинции // *Литология и полезные ископаемые*. 2020. № 2. С. 162–176
24. Бойко Н. И., Склиаренко Г. Ю. Миоценовые титан-циркониевые россыпи южного склона Воронежской антеклизы // *Руды и металлы*. 2007. № 6. С. 36–41
25. Бойко Н. И. Титан-циркониевые россыпи Ставрополя // *Литология и полезные ископаемые*. 2004. № 6. С. 36–41
26. Кременецкий А. А., Пруцкий Н. И., Веремева Л. И., Архипова Н. А., Рудянов И. Ф. Северо-Кавказская титан-циркониевая провинция: геолого-экономическая модель рационального недропользования. *Титан-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения*: материалы совещания М.: ИГЕМ. 2006. С. 25–29
27. Cherkashin V. I., Matsapulin V. U., Jusupov. A. R. Titanium-zirconium placer formations of Eastern Caucasus // *Understanding the genesis of ore deposits to meet the 21st century, 12th Quadrennial IAGOD Symposium*, Moscow, 2006. SD. Fail 024. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.316340>
28. Суйекпаев Е. С. Титан-циркониевые россыпи и коры выветривания Восточного Казахстана и их практическое значение: дис. ... д-ра фил. наук. Республика Казахстан Усть-Каменогорск, 2021. 88 с.

## Evolution of the accumulation of titan-zircon placers of the Earth history

©2025 A. D. Savko✉

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

### Abstract

*Introduction:* a large number of publications are devoted to the study of titan-zircon placers. In these works, the geology, material composition, genesis of placers, as well as their role as a source of strategic types of mineral raw materials are examined in detail. At the same time, the evolution of the accumulation of titan-zircon placers, with rare exceptions, remained unexplored. Filling this gap is proposed in this article.

*Methodology:* when writing the work, numerous literary and own sources were used, containing information on titan-zircon placers. The main methods of research were comparative lithological, stratigraphic, formation, facies, as well as factor analysis.

*Results and discussion:* in the history of the Earth, the accumulation of placers occurred constantly. A study of the distribution of their reserves on a stratigraphic scale showed that from the late Archean to the present, the formation of the placers in question occurred constantly. But the vast majority of industrial placers have been known since the Middle Devonian. The following stages of concentration of titan-zircon minerals are distinguished: 1 – Pre-Middle Devonian, 2 – Middle Devonian-Early Carboniferous, 3 – Late Triassic-Middle Jurassic, 4 – Cretaceous, 5 – Cenozoic. The first stage includes the "history" of the formation of titan-zircon accumulations, when at different stratigraphic levels for a long time there was an accumulation of mainly non-industrial concentrations of the metals in question. A feature of the placers of the second stage is the noticeable influence of the endogenous factor on their formation. This is expressed in the appearance in the demolition sources of significant volumes of igneous rocks with accessions, the flow of explosive ore material into sedimentation basins. The imposition of metamorphism processes on placers, as it was on Timan, led to a change and redistribution of titan minerals. The third stage, unlike the previous one, is characterized by a close connection between placers and the large-scale Late Triassic-Early Jurassic era of powerful coring. This led to the appearance of the first eluvial deposits of the metals in question and placers of their near transport. But the main reserves of titan and zircon were still concentrated in long-range transport deposits. At the fourth stage, after the Cimmerian orogeny, CVs were formed in the Late Jurassic-Early Cretaceous and planation of territories, during the erosion of which in the Barremian-Aptian time, titan-zircon placers of near transport began to form in monomineral quartz sands. Extensive transgressions with deepening of marine basins in the Late Cretaceous determined the formation of placers of long-range transport in glauconite-quartz sands. The last stage is characterized by the largest formation of titan-zircon placers in the history of the Earth, especially Oligocene-Miocene and modern ones. This is caused by a number of favorable factors. Among them are the widespread development of CVs, especially in warm climate zones, a sharp increase in the length of coastlines, frequent changes in hydrodynamic regimes as a result of transgressions and regressions, relief contrast, which contributes to the removal of large volumes of terrigenous material with heavy minerals into sedimentation basins.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Arkady D. Savko, e-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru)

**Conclusions:** in general, the evolution of placer formation is cyclically directed. The focus is expressed in an increase in the reserves of titan and zircon metals over time, especially in the Cenozoic, and cyclical - in the presence of stages of a combination of factors favorable for placer formation.

**Keywords:** titan-zircon placers, heavy fraction minerals.

**For citation:** Savko A. D. Evolution of the accumulation of titan-zircon placers of the Earth history // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 4, pp. 4–24 DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/4/4-24>

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

## REFERENCES

1. Shilo N. A. *Uchenie o rossypjah* [The doctrine of placers]. Ed. 2-e, rev. Vladivostok, Dalnauka publ., 2002, 576 p. (In Russ.)
2. Patyk-Kora N. G., Benevol'skij B. I., Byhovskij L. Z. *Rossypnye mestorozhdenija Rossii i drugih stran SNG* [Placer deposits of Russia and other CIS]. Ed. N. P. Laverov, N. G. Patyk-Kora. Moscow, Scientific thought publ., 1997, 479 p. (In Russ.)
3. Patyk-Kora N. G. *Mineragenija rossypej: tipy rossypnyh provincij* [Mineralogy of placers: types of placer provinces]. Moscow, IGEM RAS publ., 2008, 528 p. (In Russ.)
4. Lalomov A. V. *Lokal'nye geologo-dinamicheskie faktory formirovanija kompleksnyh pribrezhno-morskih rossypej tjazhelyh mineralov*. Diss. d-ra geol. min. nauk Local geological and dynamic factors of formation of complex coastal-marine placers of heavy minerals. Diss. Dr. geol. min. sciences.]. Moscow, IGEM publ., 2011, 293 p. (In Russ.)
5. Lalomov A. V. Rossypi kak istochnik strategicheskikh vidov mineral'nogo syr'ja [Rossypi as a source of strategic types of mineral raw materials]. *Razvedka i ohrana nedr – Exploration and protection of subsoil*, 2024, no. 2, pp. 15–24 (In Russ.)
6. Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galjamov A. L., Vikent'ev I. V., Aristov V. V., Lalomov A. V., Murashov K. Ju. Mineral'nye resursy vysoko tehnologicheskikh metallov v Rossii: Sostojanie i perspektivy razvitiya [Mineral resources of highly technological metals in Russia: State and development prospects]. *Geologija rudnyh mestorozhdenij – Geology of ore deposits*, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 97–119 (In Russ.)
7. Mihajlov B. M., Virovec V. V., Gorbachev B. F. i dr. Osnovnye cherty jekzogennoj mineragenii SSSR. *Metallogenija i rudnye mestorozhdenija. 27-j Mezhdunarodnyj geologicheskij kongress SSSR: sb. st. kongressa* [The main features of exogenous mineralogy of the USSR. Metallogeny and ore deposits. 27th International Geological Congress of the USSR: coll. Art. Congress]. Moscow, Nauka publ., 1984, pp. 84–94 (In Russ.)
8. Savko A. D., Beljaev V. I., Ikonnikov N. N., Ivanov D. A. *Titan-cirkonievye rossypi Central'no-Chernozemnogo rajona* [Titanium-zirconium placers of the Central Black Earth region]. Voronezh, VSU publ., 1995, 148 p. (In Russ.)
9. *Rudnye resursy i ih razmeshhenie po geojepoham. Redkie metally: tantal, niobij, skandij, redkie zemli, zirkonij, gafnij* [Ore resources and their placement by geoeepochs. Rare metals: tantalum, niobium, scandium, rare earths, zirconium, hafnium]. Ed. D. V. Rundquist. Moscow, Nedra publ., 1995, 223 p. (In Russ.)
10. Dymkin A. M., Chajka V. M. *Jevoljucija nakoplenija prirodnyh soedinenij semejstva zheleza* [Evolution of the accumulation of natural compounds of the iron family]. Moscow, Science publ., 1992, 256 p. (In Russ.)
11. Lalomov A. V., Platonov M. V., Tugarova M. A., Bochneva A. A., Chefranova A. V. Redkometall'no-titanovaja rossypnaja metallonosnost' kembro-ordovikskih peschanikov severo-zapada Russkoj plity [Rare metal-titanium placer metal content of Cambro-Ordovician sandstones of the north-west of the Russian plate]. *Litologija i poleznye iskopaemye – Lithology and minerals*, 2015, no. 6, pp. 563–575 (In Russ.)
12. Vlasenko V. V. Osobennosti i perspektivy sovmestnoj razrabotki vysokovjazkoj nefiti i titanovoj rudy na ploshhadjah ih sovmestnogo zaleganija v granicah Jaregskogo neftetitanovogo mestorozhdenija. [Features and prospects of joint development of high-viscosity oil and titanium ore in areas of their joint occurrence within the boundaries of the Yaregskoye oil-titanium field]. *Problemy razrabotki i jekspluatacii mestorozhdenij vysokovjazkih neftej i bitumov: materialy konferencii* [Problems of development and operation of high-viscosity oil and bitumen deposits: materials of the meeting]. Ukhta publ., 2010, pp. 24–35 (In Russ.)
13. *Nedra Rossii V. I. Poleznye iskopaemye*. [The bowels of Russia. Vol. 1. Minerals]. Ed. N. V. Mezhelovskij, A. A. Smyslov. Saint-Petersburg-Moscow publ., 2001, 547 p. (In Russ.)
14. Makeev A. B., Brjanchikova L. I., Krasotkina A. O. Unikal'nye titanovye mestorozhdenija Timana: problemy genezisa i vozrasta [Unique titanium deposits of Timan: problems of genesis and age]. *Zapiski Gornogo instituta – Notes of the Mining Institute*, 2022, vol. 255, no. 3, pp. 275–289 (In Russ.)
15. Milash A. V. Litologo-facial'naja harakteristika jastrebovskih otlozhenij jugo-vostoka Voronezhskoj anteklizy [Lithological and facies characteristics of the Yastrebovsky deposits of the southeast of the Voronezh antecline]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2016, no. 1, pp. 37–43 (In Russ.)
16. Milash A. V. Savko A. D. Litologija devonskih otlozhenij jugo-vostoka Voronezhskoj anteklizy [Lithology of Devonian deposits of the southeast of the Voronezh antecline]. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii* [The work of the Research Institute of Geology]. Voronezh, VSU publ., vol. 100, 2017, 122 p. (In Russ.)
17. Cheresinskij A. V., Milash A. V. Tipomorfnye osobennosti mineralov i veshhestvennyj sostav titanovyh rud jastrebovskih otlozhenij jugo-vostoka Voronezhskoj anteklizy [Typomorphic features of minerals and the material composition of titanium ores of the hawk deposits of the southeast of the Voronezh antecline]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2019, no. 1, pp. 64–71 (In Russ.)
18. Krajnov A. V., Savko A. D., Cheresinskij A. V., Ivanov D. A. Jepohi formirovanija titan-cirkonievych rossypej v fanerozoje Voronezhskoj anteklizy [Epochs of the formation of titanium-zirconium placers in the Phanerozoic of the Voronezh antecline]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 1, pp. 25–36 (In Russ.)
19. Lalomov A. V., Bochneva A. A. Central'noe, Lukojanovskoe i Unechskoe mestorozhdenija cirkonij-titanovyh peskov kak baza dlja sozdaniya mineral'no-syr'evogo centra i osushhestvlenija



strategii importozameshhenija Rossii [Central, Lukoyanovskoye and Unechskoye deposits of zirconium-titanium sands as a base for the creation of a mineral resource center and the implementation of the import substitution strategy of Russia]. 2020. № 2 (292). *Molodoj uchenyj – Young scientist*, 2020, no. 2 (292), pp. 333–341 (In Russ.)

20. Beljaev V. I., Ivanov D. A. Produktivnye titan-cirkonievye formacii fanerozoja Voronezhskoj anteklizy (faktory, prognoz) [Productive titanium-zirconium formations of the phanerozoic of the Voronezh antecline (factors, forecast)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2000, no. 3 (9), pp. 138–151 (In Russ.)

21. Beljaev K. D., Ganeev I. G., Chajka I. G. *Rudnye resursy i ih razmeshhenie po geopoham. Redkie metally. Tantal, niobij, skandij, redkie zemli, cirkonij, gafnij: spravocnoe posobie* [Ore resources and their placement by geoech. Rare metals. Tantalum, niobium, scandium, rare earths, zirconium, hafnium: reference manual]. Ed. D. V. Rundqvist. Moscow, Nedra publ., 1996, 176 p. (In Russ.)

22. Varaksin Ju. N., Sviridov V. G. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Zapadnoj Sibiri (Novosibirskaja, Omskaja, Tomskaja oblasti). V. 2. Poleznye iskopaemye* [Geological structure and minerals of Western Siberia (Novosibirsk, Omsk, Tomsk regions). Vol. 2. Minerals. Novosibirsk]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN. NIC OIGGM publ., 1998, 254 p. (In Russ.)

23. Levchenkova E. N., Kljuchereva D. S., Lalomov A. V. Genezis, osobennosti veshhestvennogo sostava i problemy osvoenija redkometall'no-titanovyh rossypej Zapadno-Sibirskoj megaprovincii [Genesis, features of the material composition and the problems of developing rare metal-titanium placers of the

West Siberian megaprovince]. *Litologija i poleznye iskopaemye – Lithology and Minerals*, 2020, no. 2, pp. 162–176 (In Russ.)

24. Bojko N. I., Skljarenko G. Ju. Miocenovy titan-cirkonievye rossypi juzhnogo sklona Voronezhskoj anteklizy [Miocene titanium-zirconium placers of the southern slope of the Voronezh antecline]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2007, no. 6, pp. 36–41 (In Russ.)

25. Bojko N. I. Titan-cirkonievye rossypi Stavropol'ja [Titanium-zirconium placers of Stavropol]. *Litologija i poleznye iskopaemye – Lithology and minerals*, 2004, no. 6, pp. 36–41 (In Russ.)

26. Kremeneckij A. A., Pruckij N. I., Veremeeva L. I., Arhipova N. A., Rudjanov I. F. Severo-Kavkazskaja titan-cirkonievaja provincija: geologo-jekonomicheskaja model' racional'nogo nedropol'zovanija North Caucasian titanium-zirconium province: geological and economic model of rational subsoil use]. *Titan-cirkonievye mestorozhdenija Rossii i perspektivy ih osvoenija: materialy soveshhanija* [Titanium-zirconium deposits of Russia and prospects for their development: materials of the meeting]. Moscow, IIGM publ., 2006, pp. 25–29 (In Russ.)

27. Cherkashin V. I., Matsapulin V. U., Jusupov. A. R. Titanium-zirkonium plakerformacii of Eastern Caucasus. *Understanding the genesis of ort deposits to meethe 21-st century, 12-th Quadrennial IAGOD Symposium*, Moscow, 2006. SD. Fail 024. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.316340>

28. Sujekpaev E. S. *Titan-cirkonievye rossypi i kory vyvetrivanija Vostochnogo Kazahstana i ih prakticheskoe znachenie*. Diss. d-ra fil. nauk [Titanium-zirconium placers and weathering barks of East Kazakhstan and their practical significance: Diss. Dr. Phil. Sciences]. Republic of Kazakhstan Ust-Kamenogorsk publ., 2021, 88 p. (In Russ.)

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>  
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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>  
All author have read and approved the final manuscript.