

**Перспективы пород ергенинской свиты на Ti-Zr сырьё  
(Республика Калмыкия)**

©2023 А. В. Никитин<sup>1✉</sup>, Г. С. Золотарева<sup>1</sup>, О. Н. Кобылина<sup>1</sup>, С. В. Ненахов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет,  
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*  
<sup>2</sup>*Инжиниринговый центр «I-Technology»,  
ул. Хользунова, 40е, 394016, Воронеж, Российская Федерация*

**Аннотация**

*Введение:* Титан и цирконий являются стратегическими видами полезных ископаемых. Несмотря на то, что Россия – крупнейшая в мире сырьевая база титана, вклад страны в мировое производство концентратов титана составляет всего 0.03 %, а по выпуску циркониевых концентратов не превышает 1 %. В этой связи встает вопрос об импортозамещении Ti-Zr сырья. Решение проблемы дефицита Ti-Zr сырья лежит в плоскости изучения новых перспективных объектов и совершенствования технологии извлечения на основе безотходного, комплексного использования продуктивных песков.

*Общие сведения о геологическом строении территории и состоянии изученности:* в геологическом строении района участвуют отложения кайнозойского возраста. На дневную поверхность по балкам на Ергенинской возвышенности выходят палеогеновые, неогеновые и четвертичные образования. Титано-циркониевые россыпи Ергенинской возвышенности принадлежат к потенциальному Ергенинскому россыпному району в составе Предкавказской россыпной провинции. В пределах Ергенинского россыпного района выделяются Уманцево-Малодербетское, Садово-Обильненское, Балковско-Кегультинское, Ремонтненское и Буратинское россыпные поля.

*Условия формирования продуктивной толщи:* Генетическая принадлежность песчаных осадков ергенинской свиты, являвшихся объектом многочисленных исследований, до сих пор однозначно не определена, разные авторы относят их к флювиогляциальным, аллювиальным, дельтовым или прибрежно-морским образованиям.

*Строение ергенинской свиты:* Вертикальный разрез ергенинских отложений по литолого-минералогическим, фациальным и структурно-текстурным особенностям подразделяется на три части: для нижней базальной части (от 0.3 до 10 м) характерны грубо- и крупнозернистые пески с примесью гравийного материала. Средняя часть разреза (до 20 м) представлена преимущественно крупно- и среднезернистыми, косослоистыми песками, слоистость в которых подчеркнута градиционной сортировкой материала и редкими шлиховыми прослоями тяжелых минералов. Наиболее продуктивной является верхняя часть разреза сложенная тонко- и мелкозернистыми песками, на 60-70% состоящими из зерен размером 0.1–0.25 мм с содержаниями тяжелой фракции, в отдельных частях разреза до 3–5 %.

*Структурно-палеогеоморфологические особенности:* Анализ палеогеоморфологических схем восточной части Ергенинского россыпного района показал, что весьма благоприятными для захоронения и экспонирования на дочетвертичном этапе можно считать области распространения круп-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Никитин Александр Васильевич, e-mail: [nikav\\_1960@mail.ru](mailto:nikav_1960@mail.ru)

ных линейных эрозионно-тектонических депрессий, которые унаследованы локальными переуглубленными впадинами в пределах стабильных морфоструктур.

*Минералы тяжелой фракции ергенинской свиты:* Приведены результаты изучения минерального спектра тяжелой фракции Садово-Обильненского россыпного поля, и её сравнение с известными титан-циркониевыми месторождениями на соседних территориях.

*Заключение:* Предложены рекомендации по комплексному использованию ергенинских песков и направлению дальнейших исследований. Например, использование общераспространённых песков с их предварительным улучшением качества по гранулометрическому составу, уменьшению глинистости, выделению тяжёлых минералов, позволяет получить, помимо строительных песков, стекольные, формовочные, а также продукт, обогащённый минералами тяжелой фракции, включающий Ti-Zr сырьё и другие концентраты.

**Ключевые слова:** общераспространённые полезные ископаемые, комплексного использования продуктивных песков, импортозамещение Ti-Zr сырья.

*Для цитирования:* Никитин А. В., Золотарева Г. С., Кобылина О. Н., Ненахов С. В. Перспективы пород ергенинской свиты на Ti-Zr сырьё (Республика Калмыкия) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 2. С. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/44-56>

### Введение

Титан и цирконий относятся к группе дефицитных стратегических видов полезных ископаемых, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом. Несмотря на то, что Россия располагает одной из крупнейших в мире сырьевых баз титана (на её долю приходится 15 % запасов мира), вклад страны в мировое производство концентратов титана составляет всего 0.03 %, а по выпуску циркониевых концентратов не превышает 1 % [1]. В этой связи вопрос об импортозамещении Ti-Zr сырья стоит весьма остро, и решать его необходимо в ближайшее время.

До недавнего времени основным поставщиком титана и циркония служили украинские россыпные месторождения Днепропетровской области. В то же время на территории Российской Федерации расположены крупнейшие титан-циркониевые месторождения, в том числе Центральное (Тамбовская обл.), Бешпагир и Камбулат (Ствропольский край), Лукояновское (Нижегородская обл), Туганское (Томская обл.), и ряд других, которые в силу ряда причин, рассмотренных в серии публикаций [2–4] до сих пор не разрабатываются.

Решение проблемы дефицита Ti-Zr сырья лежит в плоскости изучения новых перспективных объектов и совершенствования технологии извлечения на основе безотходного, комплексного использования продуктивных песков. Не последнее место в решении указанной проблемы занимает правильная расстановка акцентов, связанная с делением полезных ископаемых типа общераспространённые и полезные ископаемые федерального значения. Например, при определении ТЭО кондиций приоритет отдаётся Ti-Zr сырью и даже при комплексной переработке продуктивных песков и пород вскрыши возникает проблема реализации огромных объёмов материала строительного, стекольного или формовочного назначения, что снижает рентабельность производства.

Если идти от обратного, то в ряде случаев использование общераспространённых песков с их предварительным улучшением качества по гранулометрии,

уменьшению глинистости, отделению тяжёлых минералов, позволяет получить, помимо строительных песков, стекольные, формовочные, а также “отход” (обогащённые минералами тяжелой фракции), включающий Ti-Zr сырьё, дистеновый, гранатовый и другие концентраты. Такой подход может дать максимальный эффект применительно к пескам с недостаточными высокими концентрациями рудных минералов, из-за чего они не могут рассматриваться как рудные пески федерального значения. Примером могут служить отложения ергенинской свиты Ергенинского россыпного района на территории республики Калмыкия, Ростовской и Волгоградской областей.

### Общие сведения о геологическом строении территории и состоянии изученности

В геологическом строении района участвуют отложения кайнозойского возраста. На дневную поверхность по балкам на Ергенинской возвышенности выходят палеогеновые, неогеновые и четвертичные образования. Более древние породы вскрыты глубокими скважинами [5].

Отложения палеогеновой системы распространены повсеместно. Их выходы на дневную поверхность наблюдаются по многочисленным балкам Ергенинской возвышенности. Палеогеновые отложения представлены нижнепалеоценовыми, эоценовыми и олигоцен-нижнемиоценовыми образованиями. Нижнепалеоценовые отложения трансгрессивно налегают на породы меловой системы и вскрыты севернее п. Яшкуль и юго-восточнее п. Утта на глубинах 473 и 357 м. Они сложены темно-серыми, зеленоватыми известковистыми глинами, которые в южной части района содержат прослой (0.2–5 м) зеленых плотных мергелей. Мощность не превышает 20 м. Верхнепалеоценовые отложения получили широкое распространение на юге, где вскрыты на глубинах от 130 до 540 м. В основании развиты глинисто-алевролитовые породы с прослоями песчаников. Глины темно-серые до черных, аргиллитоподобные, участками опоковидные. Вверх по разрезу они сменяются глинистыми алевро-

литами. Венчает разрез пачка (20–87 м) серых, темно-серых, глауконитово-кварцевых, мелкозернистых, крепких, слюдистых песчаников. Мощность отложений увеличивается с юго-запада на север и северо-восток от 82 до 305 м.

Эоценовые отложения подразделяются на нижне-среднеэоценовые и верхнеэоценовые образования. Нижне-среднеэоценовые отложения рассматриваются в объеме черкесской (известковистые глины и песчаники с прослоями известняков), керестинской (известняки) и кумской (битуминозные мергели и известковистые глины) свит, вскрытых на глубинах от 106 до 486 м. Общая мощность нижне-среднеэоценовых отложений от 260 до 530 м. Верхнеэоценовые отложения представлены *белоглинской свитой* (мергелями с органогенным известняком в основании). Мощность свиты увеличивается на юго-восток от 35 до 150 м.

Олигоцен-нижнемиоценовые осадки являются возрастными аналогами майкопской серии Предкавказья, с несогласием залегают на эоценовых отложениях и развиты практически повсеместно. Отложения представлены цимлянкой (глины монтмориллонитовые), соленовской (мергели) и калмыцкой (глины с прослоями алевролитов, мергелей и песков) свитами, составляющими палеогеновую часть разреза. Общая мощность олигоцен-нижнемиоценовых отложений от 260 до 530 м. Более молодые миоценовые образования на участке работ полностью размыты.

Неогеновая система представлена миоценовыми и плиоценовыми отложениями. Яшкульская серия миоцена объединяет загистинскую, балковскую и оватинскую свиты. Осадки залегают с размывом на отложениях эоцена, олигоцена и нижнего миоцена и сложены глинами бурыми, темно- и светло-серыми алевритистыми и песками светло-серыми с галечниковым горизонтом в верхней части разреза. Мощность серии достигает 275 м.

Плиоцен представлен морскими отложениями понтического и ачкагыльского регионарусов и прибрежно-морскими образованиями ергенинской свиты.

**Ергенинская свита ( $mN_{1er}$ )** распространена практически на всей исследованной территории. Отложения Ергенинской свиты ( $mN_{1er}$ ) площадью более 22 000 кв. км залегают «плащеобразно» в пределах Ергенинской возвышенности, которая представляет собой асимметричное (почти треугольное) плато на юго-востоке Европейской части России длиной около 300 км и шириной от 50 км в северной части до 350 км в южной, разделяющее бассейны Азовского и Каспийского морей. С востока возвышенность ограничена Ергенинским уступом, а с юга – долиной р. Маныча.

Многочисленные обнажения прослеживаются почти во всех балках восточного склона Ергенинской возвышенности, а на западном – лишь изолированные выходы. В этой части пески вскрыты скважинами.

Пески ергенинской свиты на Ергенинской возвышенности почти повсеместно плащеобразно перекрыты континентальными четвертичными отложениями – скифскими глинами мощностью от 10 до 50 м, на ко-

торых залегают покровные лессовидные суглинки мощностью до 70 м.

В тектоническом отношении Ергенинский блок, расположен в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и кряжа Карпинского (рис. 1). В структуре кровли доергенинской поверхности выделяется серия поднятий, прогибов и соединяющих их ступеней (террас).

Ергенинская возвышенность, как Ергенинский потенциальный россыпной район, был обоснован в процессе подготовки к изданию Госгеолкарты-1000 третьего поколения [6]. Этими работами было установлено наличие естественного шлиха титано-циркониевых минералов на отдельных участках Ергенинского плато, что явилось основанием для выделения в его пределах одноименного потенциального россыпного района. Эти данные послужили основанием для рекомендации в его пределах прогнозно-поисковых работ масштаба 1:200 000 на площади 12 000 кв. км.

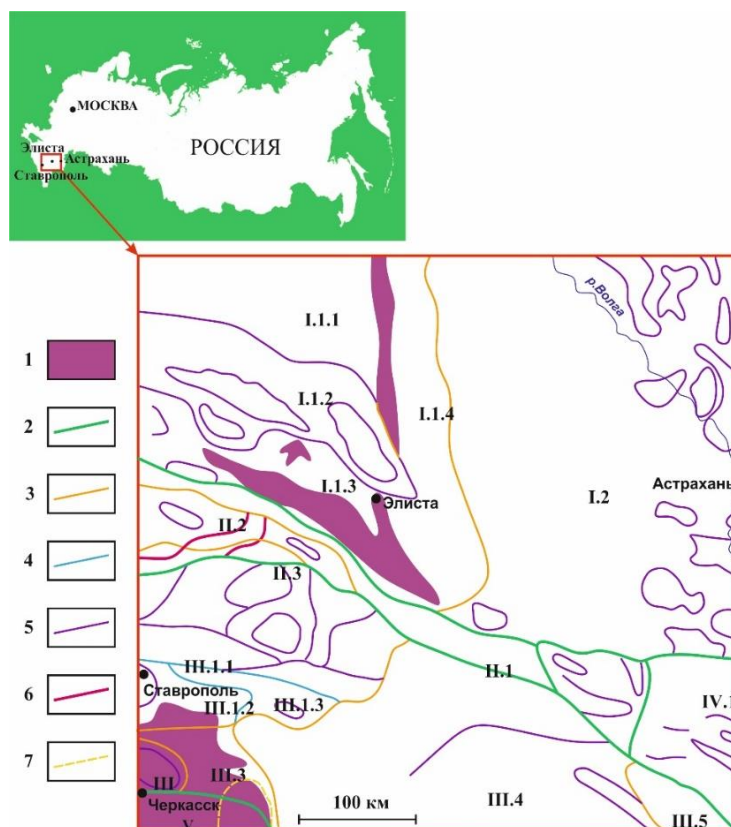
Прогнозно-поисковые работы масштаба 1:200 000–1:50 000 на титано-циркониевые россыпи в пределах восточной части Ергенинского потенциального россыпного района выполнялись ФГУГП «Кавказгеолсъёмка» в течение 2006–2008 гг. Основным целевым назначением работ по объекту была оценка перспектив рудоносности неогеновых отложений восточной части Ергенинского плато на титано-циркониевые прибрежно-морские россыпи.

Работы включали: литохимические поиски по потокам рассеяния, геологические маршруты масштаба 1:50 000 и 1:200 000, изучение опорных разрезов, минералого-геохимическое изучение продуктивных отложений, проходку канав, мелкометражное (до 10 м) и картировочное (до 40 м) бурение скважин, геофизические исследования методом ВЭЗ-ВП, различные виды опробования полевую и камеральную обработку материалов.

#### **Условия формирования продуктивной толщи**

Генетическая принадлежность песчаных осадков ергенинской свиты, являвшихся объектом многочисленных исследований, до сих пор однозначно не определена, разные авторы относят их к флювиогляциальным, аллювиальным, дельтовым или прибрежно-морским образованиям.

Так, по мнению [7] песчаные осадки Ергенинского плато, судя по широкому распространению в полях их развития пологоволнистой, мульдообразной и горизонтальной слоистости, наряду с которыми на отдельных участках проявлена и попеременно разнонаправленная, формировались в активной гидродинамической обстановке в прибрежной зоне при значительной роли морских течений периодически переменного направления. Эти течения, наряду с формированием ориентированной во взаимно перпендикулярных направлениях косой слоистости, обусловили вынос глинистого и крупнозернистого материала и накопление естественного шлиха исключительно в тонкозернистых песках.



**Рис. 1.** Схема тектонического районирования миоцен-плейстоценового комплекса: 1 – площади отсутствия отложений; 2 – границы первого порядка; 3 – границы второго порядка; 4 – контуры валов и прогибов; 5 – тектонические уступы; 6 – палеорусло (Бурукшунский каньон); 7 – наложенное Кавминводское интрузивно-купольное поднятие. Тектоническое районирование: I – Восточно-Европейская платформа и кряж Карпинского неразделенные: I-1 – Ергенинский блок: I-1.1 – Котельниковская гряда, I-1.2 – Сальский прогиб, I-1.3 – Сальско-Манычская гряда, I-1.4 – Ергенинский уступ; I-2 – Нижневолжский блок. II – Зона Манычских прогибов: II-1 – Северо-Манычский уступ, II-2 – Гудилковский прогиб, II-3 – Приманычская моноклираль. III – Скифская эпигерцинская плита Предкавказья и зона Предкавказских краевых прогибов неразделенные: III-1 – Ставропольский свод: III-1.1 – Северо-Ставропольский блок, III-1.2 – Южно-Ставропольский блок, III-1.3 – Восточно-Ставропольская впадина; III-2 – Беломечетская впадина; III-3 – Терско-Кумская впадина; III-4 – Прибрежно-Каспийский наложенный прогиб; III-5 – Комсомольско-Артезианский выступ. IV – Скифская эпигерцинская плита Среднего Каспия: IV-1 – Средне-Каспийская моноклираль. V – Складчато-глибовое сооружение Большого Кавказа.

**[Fig. 1.** Scheme of tectonic zoning of the Miocene-Pleistocene complex: (1) – area of absence of deposits; (2) – first-order boundaries; (3) – second-order boundaries; (4) – contours of shafts and deflections; (5) – tectonic ledges; (6) – paleochannel (Burukshu canyon); (7) – superimposed Kavminvodsk intrusive-dome uplift. Tectonic zoning: I – East European Platform and Karpinsky Ridge undivided: I-1 – Ergeninsky block: I-1.1 – Kotelnikovskaya ridge, I-1.2 – Salsky trough, I-1.3 – Salsko-Manychskaya ridge, I-1.4 – Ergeninsky ledge; I-2 – Lower Volga block. II – Zone of the Manych troughs: II-1 – North Manych bench, II-2 – Gudilovsky trough, II-3 – Primanych monocline. III – Scythian epihercynian plate of the Ciscaucasia and the undivided zone of the Ciscaucasian marginal troughs: III-1 – Stavropol arch: III-1.1 – North Stavropol block, III-1.2 – South Stavropol block, III-1.3 – East Stavropol depression; III-2 – Belomechet depression; III-3 – Terke-Kuma depression; III-4 – Coastal-Caspian superimposed trough; III-5 – Komsomol-Artesian ledge. IV – Scythian epihercynian plate of the Middle Caspian: IV-1 – Middle Caspian monocline. V – Folded-block structure of the Greater Caucasus.]

Авторы работы [5] опираясь на труды [8] по изучению строения продуктивных отложений и характера слоистости предполагают, что формирование россыпей происходило в зоне волнения при слабо колебательных движениях водной среды в пределах пляжа и прибрежного мелководья на завершающем этапе трансгрессии и начальном этапе регрессии морского бассейна. По мнению авторов на прибрежно-морские условия указывает также выдержанность литологического состава россыпей на больших расстояниях, специфичность текстур, морфологии и строения их залежей.

Ряд авторов [9] склонны считать, что палеофациальные условия накопления песчаных отложений

нижней и верхней частей ергенинской свиты существенно разнятся. Нижняя, более грубозернистая часть разреза, по-видимому, была сформирована в дельтовой части, в области отмелей и сильных придонных течений и волнений. Верхняя, вмещающая продуктивные уровни, формировалась в более спокойных условиях. Здесь, в составе продуктивных толщ возрастает содержание глинистой составляющей вплоть до появления глинистых прослоев. Это указывает на накопление отложений в области относительно спокойной седиментации.

Имеется несколько точек зрения и на источник ергенинских россыпей. Согласно традиционным моде-

ляем источником россыпей служила Кавказская суша, или реки с севера (Палео-Дон). В частности [5] опираясь на данные многочисленных замеров косой слоистости, делают вывод о том, что снос обломочного материала происходил с северо-запада (Северного Приазовья).

По мнению [10] продуктивные отложения Ергенинского района, сформированы за счет кор химического выветривания образований Восточно-Европейской платформы.

Альтернативная точка зрения [11], предполагает, что кроме Палео-Дона в среднесарматское время на севере Ставропольского свода существовала крупная река, (условно Палео-Волга) верховьями достигающая Уральского хребта, которая, протекая через район Среднего и Нижнего Поволжья, впадала в Ставропольский пролив в р-не Юго-Восточных Ергеней. Эта река приносила с Урала эпидот и роговую обманку, а размывая палеоген и майкопскую толщу в нижнем своём течении поставляла гранаты, дистен и рудные минералы. Течения с востока на запад перемещали этот набор минералов в зону Ставропольского поднятия, где существовали благоприятные гидродинамические условия для россыпеобразования. Мшанковые рифовые органогенные постройки на западном и северо-западном склонах Ставропольского поднятия являлись барьером между Азово-Кубанским (западным) и Терско-Каспийским (восточным) среднесарматскими морскими водоёмами, что подтверждается расположением всех известных в пределах Ставропольского поднятия россыпей к востоку от рифов.

Таким образом, состояние изученности и оценка перспектив Ti-Zr продуктивности ергенинского потенциально-рудного поля, а также ряд фундаментальных проблем связанных с этим, находится на самом раннем этапе. Ниже приводятся сведения и аргументация дальнейшего изучения этого объекта с выделением наиболее перспективных участков для детализации.

### Строение ергенинской свиты

Титано-циркониевые россыпи Ергенинской возвышенности принадлежат к потенциальному Ергенинскому россыпному району в составе Предкавказской россыпной провинции. В пределах Ергенинского россыпного района выделяются Уманцево-Малодербетское, Садово-Обильненское, Балковско-Кегультинское, Ремонтненское и Буратинское россыпные поля. Работы проводились в пределах Садово-Обильненского россыпного поля на россыпепроявлениях Садовый, Кировский, Обильное (рис. 2).

Потенциально продуктивными являются отложения ергенинской свиты, разрез которой по литолого-минералогическим, фациальным и структурно-текстурным особенностям подразделяется на три части.

Для нижней базальной части (от 0.3 до 10 м) характерны грубо- и крупнозернистые кварцевые пески с примесью гравийного материала, крутопадающей косой и диагональной слоистостью, которые сменяются средне- и крупнозернистыми песками с разно-

ориентированной косой, мульдобразной и горизонтальной слоистостью со следами подводного оползания осадков. Гранулометрический состав и плохая сортированность песков указывают на их формирование в условиях интенсивных течений.

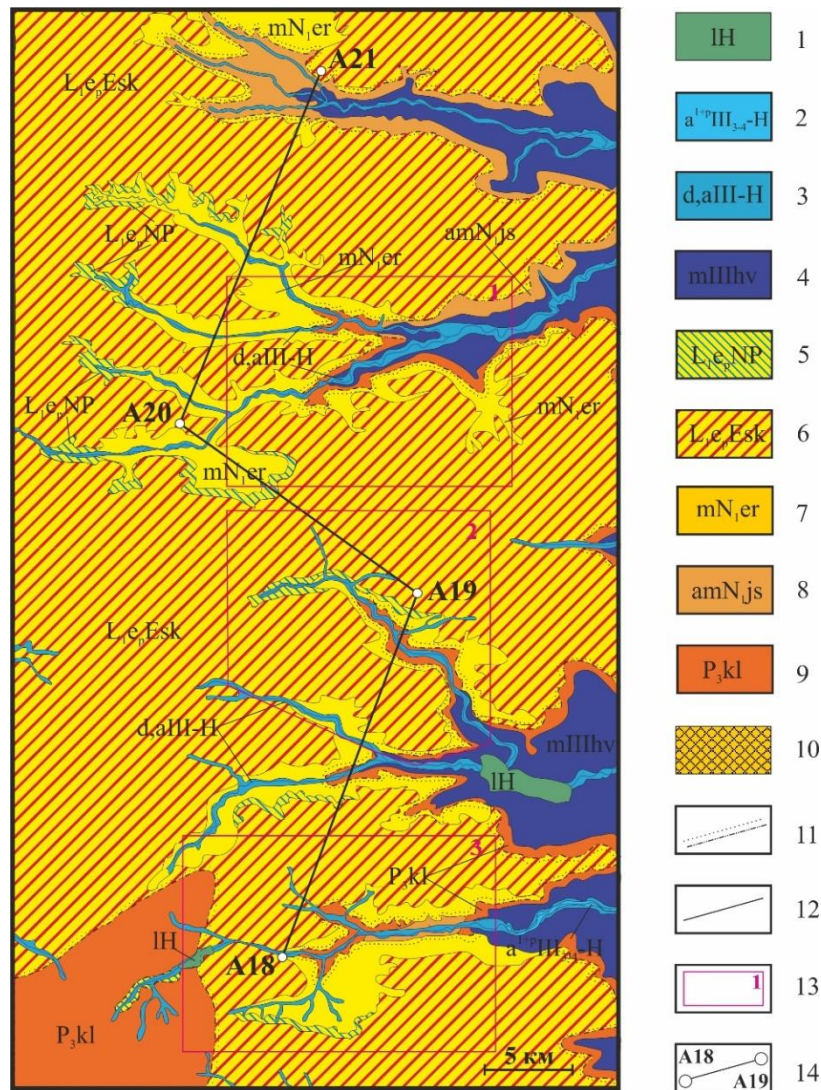
Средняя часть разреза (до 20 м) представлена крупно-, средне- и мелкозернистыми, преимущественно косослоистыми кварцевыми песками, переходящими вверх в слабонаклонные и горизонтально-волнистые. Крупнозернистые косослоистые пески слагают линзы (10–30 см) протяженностью до первых метров, слоистость в них подчеркнута градиционной сортировкой материала и редкими шлиховыми прослоями тяжелых минералов. Слойки в сериях распределены относительно равномерно и наклонены, как правило, в различных направлениях под углом 20–30°. Морфологические особенности слоистости и разнообразие гранулометрического состава указывают на формирование осадков в условиях интенсивных колебательных и поступательных движений воды.

Верхняя часть разреза (до 25 м) сложена кварцевыми песками белого, светло- и желтовато-серого цвета. Среди них преобладают тонко- и мелкозернистые разности, состоящие на 60–70 % из зерен размером 0.1–0.25 мм. Пески характеризуются повышенными содержаниями тяжелой фракции, которая в отдельных частях разреза достигает 3–5 %. Гранулометрический и минералогический состав, а также структурно-текстурные особенности песков верхней части разреза ергенинской свиты свидетельствует об их потенциальной продуктивности, доказательством чему являются установленные на разрозненных участках высокие концентрации тяжелых минералов. По обрамлению плато, где значительную роль в разрезе начинают играть глинистые пески и глины, появляются прослой мергелей и плитчатых алевролитов.

По латерали обогащенные рудными минералами пески ергенинской свиты образуют линзовидные тела двух уровней субмеридионального простирания. Титано-циркониевые россыпи представляют собой залежи преимущественно кварцевых песков, в различной степени обогащенных тяжелыми минералами. Рудные пески обычно мелко-тонкозернистые, хорошо отсортированные. С отчетливо выраженной горизонтальной, косой полого наклонной и волнистой слоистостью. Слоистость подчеркивается концентрацией титановых и циркониевых минералов в виде естественных шлихов.

Зерна тяжелых минералов из титано-циркониевых россыпей всегда мельче зерен породообразующего кварца. Совместное отложение различных по крупности зерен – результат интенсивной природной сортировки материала в прибрежной зоне моря.

В разрезе в ергенинской свите довольно отчетливо прослеживаются два уровня продуктивных песков. Нижний уровень мощностью от 1 до 4 м находится в основании свиты и имеет ограниченное распространение в пределах балочных долин.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Садово-Обильненского россыпного поля по фрагменту геологической карты Садово-Обильненского россыпного поля [12]: 1 – лимний (илы, суглинки, пески, до 6 м); 2 – аллювий первой надпойменной террасы нерасчлененный (глины, супеси, гравий, до 15 м); 3 – делювий и аллювий (суглинки, супеси, пески, до 15 м); 4 – мариний хвалынский (глины, пески глинистые, 5–15 м); 5 – неоплейстоцен (покровные лессовидные суглинки, более 70 м); 6 – эоплейстоцен: скифская толща (пестроцветные глины, суглинки, до 50 м); 7 – мариний: ергенинская свита (пески с редкими прослоями глин и линзовидных песчаников (до 100 м); 8 – аллювиомариний: яшкульская серия (глины, пески, редкие прослои песчаников, до 275 м); 9 – калмыцкая свита (глины зеленовато-серые, до 200 м); 10 – рудный горизонт (только на разрезе, рис. 4); 11 – границы несогласного залегания стратиграфических подразделений предполагаемые; 12 – границы согласного залегания стратиграфических подразделений; 13 – границы участков россыпепроявления (1 – Садовый, 2 – Кировский, 3 – Обильненский); 14 – линия разреза (рис. 4).

**[Fig. 2.** Schematic geological map of the Sadovo-Obilnensky placer field according to fragment of the geological map of the Sadovo-Obilnensky placer field [12]: (1) - limnium (silts, loams, sands, up to 6 m); (2) - undefined alluvium of the first floodplain terrace (clay, sandy loam, gravel, up to 15 m); (3) - deluvium and alluvium (loams, sandy loams, sands, up to 15 m); (4) - Khlvalynsky marinium (clays, clayey sands, 5-15 m); (5) - Neopleistocene (integumentary loess-like loams, more than 70 m); (6) - Eopleistocene: Scythian strata (variegated clays, loams, up to 50 m); (7) - marinium: Ergeninskaya suite (sands with rare interlayers of clays and lenticular sandstones (up to 100 m); (8) - alluvial-marine deposits: Yashkulskaia series (clays, sands, rare interlayers of sandstones, up to 275 m); (9) - Kalmyksskaya suite (greenish-grey clays, up to 200 m); (10) - ore horizon (only in the section, Fig. 4); (11) - boundaries of disconformity of stratigraphic units; (12) - boundaries of consistent occurrence of stratigraphic units; (13) - boundaries of areas of placer occurrence (1 - Sadovy, 2 - Kirovsky, 3 - Obilnensky); (14) - section line (Fig. 4).]

Наиболее богатым и выдержанным по простиранию является верхний уровень. Он расположен в 5–20 м ниже кровли и имеет мощность от 1 до 10 м.

В пределах Балковско-Кегультинского россыпного поля мощность свиты составляет от 23 до 30 м. Здесь также выделяется два уровня продуктивных песков. В

средней части разреза пески более грубозернистые. Нижний уровень мощностью от 1 до 8 м находится в основании разреза. Он сложен песками светло-серыми, мелкозернистыми, кварцевыми. В разрезе продуктивной толщи рудные минералы распределены неравномерно.



**Рис. 3.** Слоистость в отложениях ергенинской свиты (тёмное – рудные прослои)  
**[Fig. 3.** Stratification in the deposits of the Ergeninskaya suite (dark - ore layers).]

На фоне безрудных или слабо рудных песков встречаются линзовидные тела с содержанием тяжелых минералов от 40 кг/куб. м и более. Часто тяжелые минералы находятся в рассеянном состоянии. Наряду с горизонтальной слоистостью встречается косая, подчеркивающаяся тонкими (1–2 мм, через 0.5–5 см) шлиховыми прослоями (рис. 3).

Севернее (п. Овата) мощность продуктивного горизонта сокращается до 3 м. Пески становятся тонкозернистыми. Слоистость волнистая, мелкая, перекрестная, несимметричная (мульдообразная). Слойки сложены черными рудными минералами, они часто группируются в ритмы по 10–15 см, и окрас песка в этих местах становится темно-серым. Здесь содержание титано-циркониевых минералов доходит до 62 кг/куб. м.

Верхний уровень мощностью до 4 м, расположен в 8.5 м ниже кровли и выходит на дневную поверхность в глубоких промоинах. Данная залежь представлена песками светло-серыми, мелко-тонкозернистыми кварцевыми с мелкой волнистой, но чаще перекрестно-волнистой слоистостью. Она подчеркнута скоплением рудных минералов в виде шлиховых прослоев и, благодаря темной окраске последних, хорошо видна. Слойки в сериях тонкие (1–3 мм), параллельные друг другу. Серии срезают одна другую под разными углами. Границы серий четкие, отбиваются тонкими шлиховыми прослоями. Основными минералами рудных залежей являются измененный ильменит, рутил и циркон. Зерна большинства минералов тяжелой фракции имеют размеры 0.05–0.15 мм. Минералы легкой и тяжелой фракций обычно хорошо окатаны, их зерна в подавляющем большинстве имеют эллипсоидную и шаровидную форму. Степень окатанности зерен минералов на разных участках россыпи неодинакова. В краевых частях залежей преобладают слабоокатанные, а в центральных – среднеокатанные и хорошо окатанные зерна.

В районе Садово-Обильненского россыпного поля

мощность свиты 27–60 м. Продуктивная часть разреза мощностью от 1 до 10 м сложена тонко- и мелкозернистыми песками и включает два обогащенных горизонта – нижний и верхний. На первом из них продуктивные пески, в основании разреза, сложены песками светло-серыми, тонкозернистыми, кварцевыми. Слоистость пологоволнистая. Слойки тонкие (1–3 мм), прямолинейные, подчеркиваются шлиховыми прослоями тяжелых минералов. Часто они группируются в серии (до 10 см). Серии с обильным естественным шлихом часто перемывают друг друга. Содержания полезных компонентов здесь достигает 36.5 кг/куб. м на мощность 4 м.

Верхний горизонт сложен хорошо сортированными и отмытыми от глинистого вещества песками. Породы горизонтально- и мульдообразнослоистые, тонкозернистые, белые и светло-серые, мощностью от 2 до 10 м. Слоистость подчеркнута скоплениями рудных минералов в виде тонких шлиховых прослоев. Содержание титано-циркониевых минералов от 40 до 70.8 кг/куб. м.

В Уманцево-Малодербетском россыпном поле на севере изучаемой территории содержание полезных компонентов от 66.9 до 87.6 кг/куб. м.

#### **Структурно-палеогеоморфологические особенности**

На доергенинском этапе площадь разделялась на три крупных блока, причем северный и южный подняты относительно центрального. На этом этапе площадь осложнена обширными линейными эрозионно-тектоническими депрессиями и локальными переуглубленными впадинами. По комплексу признаков благоприятными условиями для формирования и локализации богатых титано-циркониевых россыпей на этом этапе являются стабильные в тектоническом отношении участки блоков с относительно приподнятыми морфоструктурами. Из них наиболее благоприятные условия создавались на площади Обильненского участка (рис. 4).

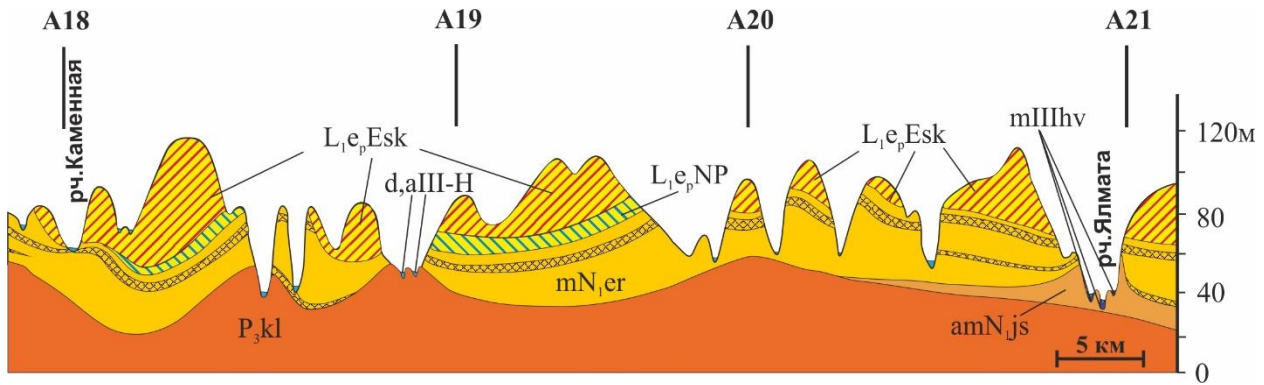


Рис. 4. Схематический геологический разрез по линии A18-A21 [12]. Условные обозначения на рис. 2.  
[Fig. 4. Schematic geological section along the line A18-A21 [12]. Legends see in Fig. 2.]

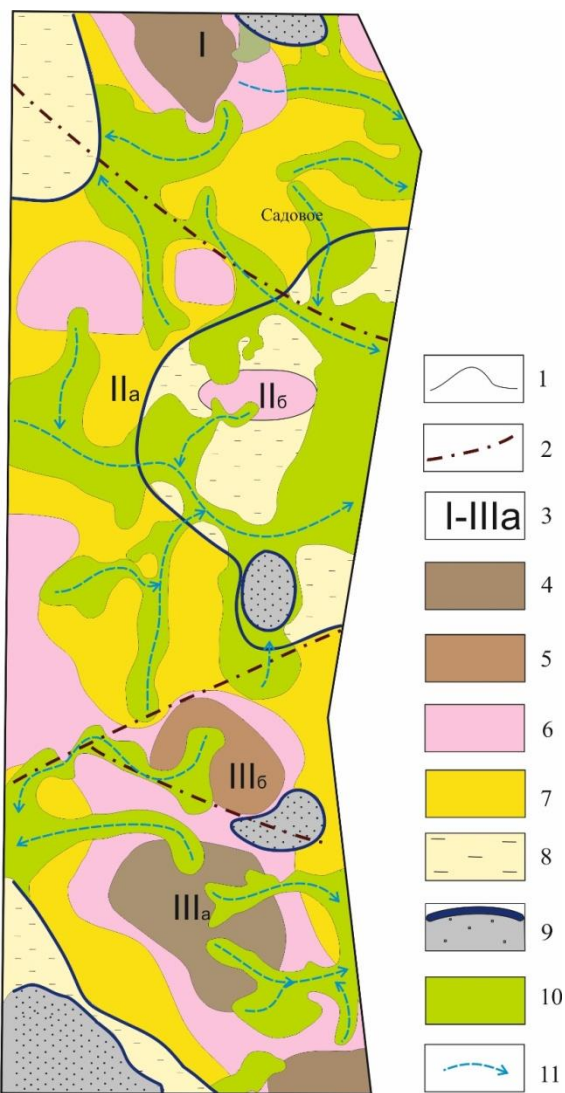


Рис. 5. Структурно-геоморфологическая карта восточной части Ергенинского россыпного района (доергенинский этап): 1 – морфоизогипсы вершинной поверхности, 2 – блокоразделы, 3 – номера блоков; 4 – морфоструктуры с максимальными абсолютными отметками; 5 – морфоструктуры интенсивно поднятые; 6 – морфоструктуры стабильные; 7 – морфоструктуры относительно опущенные; 8 – локальные впадины; 9 – эрозионно-тетконические депрессии; 10 – основные направления переноса материала.

[Fig. 5. Structural-geomorphological map of the eastern part of the Ergeninsky placer region (pre-Ergeninsky stage): (1) – morphoisoforms of the vertex surface, (2) – block partitions, (3) – block numbers; (4) – morphostructures with maximum absolute marks; (5) – intensively elevated morphostructures; (6) – stable morphostructures; (7) – relatively depressed morphostructures; (8) – local depressions; (9) – erosion and tectonic depressions; (10) – main directions of material transfer.]

На дочетвертичном этапе территория подразделялась на пять блоков-поднятий, контурами и тектонической активности несколько отличающимися от предшествующего этапа. Так, максимально высокие гипсометрические уровни здесь фиксируются в южном блоке. Вероятно, интенсивность этого поднятия унаследована от тектонической активности на более раннем этапе. Центральный блок относительно выше северного блока. Блоки разделяют эрозионно-тектонические депрессии, которые в свою очередь осложнены серией мелких переуглубленных впадин.

Анализ района дочетвертичного этапа показал, что в области морфоструктур с максимальными амплитудами положительных вертикальных движений сохранность россыпей менее вероятна, в морфоструктурах с максимальными отрицательными значениями дифференцированных тектонических движений, естественно происходило интенсивное погружение ранее сформированных залежей и они с геолого-экономических позиций не рентабельны. Благоприятными для захоронения и выводу залежей к поверхности на дочетвертичном этапе можно считать области распространения крупных линейных эрозионно-тектонических депрессий с унаследованными локальными переуглубленными впадинами в пределах стабильных морфоструктур этого этапа (рис. 5).

По совокупности положительных структурно-геоморфологических палеогеоморфологических, минералого-геохимических и геолого-экономических признаков в пределах восточной части Ергенинского россыпного района выделяется субмеридиональная полоса распространения площадей максимально благоприятных по комплексу признаков для формирования и сохранности титан-циркониевых россыпей на этапах, предшествующих современному. Эта полоса,



предположительно фиксирует прибрежную зону ергенинского бассейна.

В северной части субмеридиональной зоны выделены наиболее перспективные участки – Садовый, Кировский, Обильненский. В южной части располагаются несколько менее перспективные Кегультинский, Оватинский, Северо-Балковский и Балковский участки. Они приурочены к более погруженной части зоны, испытавшей аналогичную тенденцию и на более ранних этапах развития территории, что отражается в вещественном составе толщи продуктивных песков этой площади.

Таким образом, анализ палеогеоморфологических схем восточной части Ергенинского россыпного района показал, что весьма благоприятными для захоронения и экспонирования (выводу продуктивных залежей к поверхности) на дочетвертичном этапе можно считать области распространения крупных линейных эрозионно-тектонических депрессий с унаследованными локальными переуглубленными впадинами в пределах стабильных морфоструктур, т.к. в области морфоструктур с максимальными амплитудами положительных вертикальных движений сохранность россыпей менее вероятна, а в морфоструктурах с максимальными отрицательными значениями дифференцированных тектонических движений, происходило погружение ранее сформированных залежей на значительные глубины.

Анализ характера разреза ергенинской свиты, латеральная изменчивость которой проявляется достаточно контрастно, свидетельствует о значительной тектонической активности в условиях которой происходило накопление Ti-Zr минералов. Это нашло отражение в линзовидно-прерывистом характере строения продуктивных слоёв, которые по сравнению со стабильными условиями древних платформ, отличающихся большей выдержанностью продуктивных пластов (Центральное, Лукояновское, Туганское и др.), значительно труднее изучать на предмет оценки ресурсного потенциала.

Анализ granulometрии разрезов показал, что продуктивные линзы формируются только среди мелкозернистых песков. Однако, тяжёлые минералы в виде фоновых концентраций (до 5 кг/м<sup>3</sup>) присутствуют повсеместно.

Учитывая размерный класс минералов тяжёлой фракции (-0.315 с пиком приходящимся на класс -1.14+0.1), даже средне- и крупнозернистые пески в классе -0.315 содержат значительное количество минералов тяжёлой фракции.

#### Минералы тяжелой фракции ергенинской свиты

Тяжелая фракция ергенинской свиты включает в себя следующий набор минералов: ильменит, рутил, циркон, лейкоксен, титанит (сфен), ставролит, дистен, турмалин, в виде единичных зерен гранат (рис. 6).

Ильменит образует пластинчатые кристаллы и их обломки, цвет от ярко черного со смолянистым блеском до темно-коричневого с матовым блеском за счет

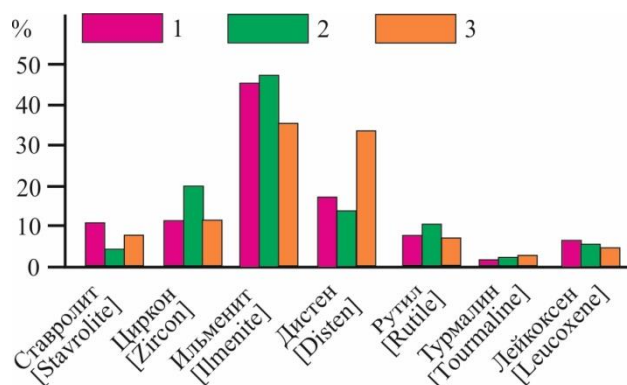


Рис. 6. Диаграмма усредненного минерального состава тяжёлой фракции: 1 – Кировский участок, 2 – Обильненский участок; 3 – Садовый участок.

[Fig. 6. Diagram of the average mineral composition of the heavy fraction: (1) – Kirovsky site, (2) – Obilnensky site; (3) – Garden site.]

лейкоксенизации.

Рутил – от черного до темно-красного цвета, со стекляннным блеском, от мелко (~0.07 мм) до относительно крупного (0.15 мм) размера.

Циркон очень разнообразен по цвету, прозрачности, кристаллографическим формам и облику. Встречаются как прозрачные, бесцветные зерна, так и светло-розовые. Часть циркона замутненная, трещиноватая, не прозрачная. Доминирует гиацинтовый тип. Зерна различного размера от мелких (0.07 мм) до крупных (0.1 и более мм), крупные цирконы, как правило – это обломки.

Лейкоксен представлен зернами от темно-коричневого до светло-коричневого цвета, с гладкой блестящей или матовой поверхностью (характерно для западин в зернах ильменита).

Титанит (сфен) встречается в виде бесцветных, слабо желтовато-коричневых и зеленовато-серых зерен конвертообразной формы с клиновидным сечением, а также их обломков.

Ставролит представлен полупрозрачными, полукатанными зернами от мелкого (~0.07 мм) до среднего (0.14-0.1 мм) размера, темно-желтого до светло-коричневого цвета.

Дистен – в виде зерен уплощенной таблитчатой и вытянутой формы, прозрачный, с характерной штриховкой, занозистым изломом. Встречается единичные зёрна разновидности дистена (кианита) голубого цвета, со стекляннным блеском.

Турмалин представлен преимущественно единичными зернами, за исключением. Обильненского участка, где его количество достигает 5.7 %.

Гранат диагностируется в пробах в виде светло-розовых кристаллов и их обломков угловато-окатанной формы, со стекляннным блеском, неровным изломом.

Подсчет частоты встречаемости в дорожке отдельных минеральных фаз по частным пробам показывает их существенный разброс: циркона от 5 до 52 %, ильменита от 10.3 до 62.3 %, рутила от 6.7 до 14.33 %, лейкоксона от 5 до 10 %.

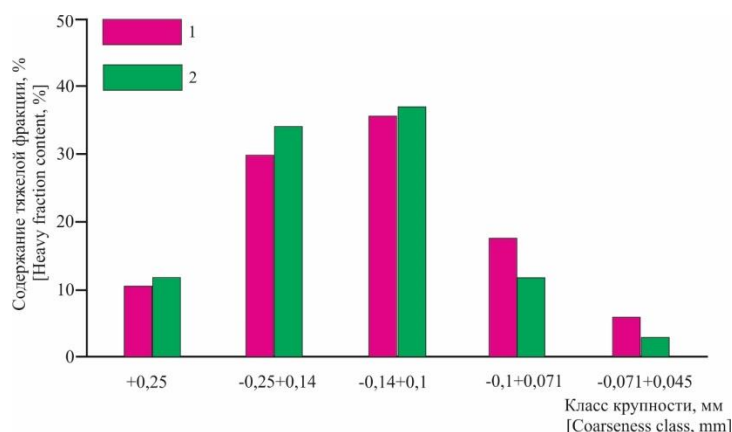
титаниста (сфена) от 0.3 % до 8.3 % (Кировский участок). В одной пробе на Обильненском участке содержание: лейкоксена от 0.3 % до 13.7 %, дистена от 3.9 % до 27.6 %, ставролита от 0.7 % до 17.6 %.

Содержания тяжелой фракции колеблются от 0.4 кг/м<sup>3</sup> до 19 кг/м<sup>3</sup>, в том числе на Садовом участке от 1.44 кг/м<sup>3</sup> до 7.2 кг/м<sup>3</sup>, на Кировском участке от 2.52 кг/м<sup>3</sup> до 14.04 кг/м<sup>3</sup>, на Обильненском участке от 5.4 кг/м<sup>3</sup> до 19.8 кг/м<sup>3</sup>. По результатам предшественников содержание минералов тяжелой фракции на Обильненском участке достигает 64 кг/м<sup>3</sup>.

На основании анализа особенностей черновых концентратов трех участков (Садовый, Кировский и

Обильненский), можно сделать предварительный вывод о том, что Обильненский участок является наиболее интересным с экономической точки зрения, как по уровню содержаний тяжелой фракции (до 64 гк/м<sup>3</sup>), так и по минеральному спектру, характеризующемуся повышенным содержанием циркона – 19 % и в меньшей степени рутила – 9 %.

Важной информацией для разработки оптимальной схемы обогащения является распределения весовых долей минералов тяжелой фракции по гранулометрическим классам. Для этого были созданы объединенные по двум участкам пробы, с их последующей расшивкой (рис. 7).



**Рис. 7.** Диаграмма выхода тяжелой фракции в объединенных пробах: 1 – Кировский участок, 2 – Обильненский участок.  
**[Fig. 7.]** Diagram of the outcrop of the heavy fraction in the pooled samples : (1) – Kirovsky plot, (2) – Obilnensky plot.]

**Табл. 1.** Сравнительная характеристика средневзвешенного минерального состава тяжелой фракции ергенинской свиты Камбулатского титан-циркониевого россыпного поля и месторождения Центральное (в кг/м<sup>3</sup>)  
**[Table 1.]** Comparative characteristics of the weighted average mineral composition of the heavy fraction of the Ergeninskaya suite the Kambulatsky titanium-zirconium placer field and the Central deposit (in kg/m<sup>3</sup>)

Рудное поле [Ore field]		Циркон [Zircon]	Ильменит [Ilmenite]	Рутил [Rutile]	Сфен [Sphene]	Лейкоксен [Leucosene]	Дистен [Disthene]	Ставролит [Stavrolite]	Турмалин [Tourmaline]	Анаказ [Anatase]	Монацит [Monazite]	Силлиманит [Sillimanite]	Гранат [Garnet]	Магнетит [Magnetite]
Камбулатское титан-циркониевое россыпное поле [Kambulatskoe titanium-zirconium alluvial field]		3,2-16,5	34,-66,0	6,2-12,1	2,9-12,4	6,1-19,0	1-8,2	-	-	-	-	-	-	-
Ергенинская свита [Yergeninskaya Formation]	Обильненский участок [Obilnensky section]	14,0	46,6	8,8	6,6	5,3	16,3	0,4	1,4	-	-	-	-	0,7
	Кировский участок [Kirovsky section]	17,4	48,3	8,5	1,4	4,2	15,1	3,8	1,3	-	-	-	0,1	-
	Годжурский участок [Gozhursky section]	16,6	48,4	8,3	1,8	4,1	14,1	4,8	1,5	-	-	-	0,4	0,1
Месторождение Центральное (Восточный участок) [Tsentralnoe deposit (Eastern section)]		7,86	40,5	11,62		30,88	7,21	-	-	1,31	0,35	0,69	7,67	-

Как видно из диаграмм, наиболее продуктивным гранулометрическим классом является фракция - 0.14+0.1, на долю которой приходится от 36 % (Ки-

ровский участок) до 38 % (Обильненский участок), на втором месте по продуктивности фракция -0.25+0.14 (от 30 до 34 %), на третьем фракции - 0.315+0.25 и -

0.1+0.071 (соответственно 11–13 % и 12–16 %). Во фракции 0.071+0.045 сосредоточено 3–6 % тяжёлых минералов.

Основная часть весового ильменита тяготеет к более крупным классам +0.25–0.1, а циркон и рутил – к наиболее тонким классам -0.1+0.045 мм. Наибольшее количество дистена отмечается в классе -0.14+0.1. В этом классе чаще всего встречается и сфен.

Сравнение минерального состава тяжёлой фракции отложений ергенинской свиты месторождений Камбулат и Центральное (табл. 1) показало, что содержание циркона в пробах ергенинской свиты в два с лишним раза выше, чем на Центральном месторождении. Камбулатское россыпное поле и ергенинская свита схожи по содержанию циркона, что, учитывая географическую близость области сноса, косвенно подтверждается и близкими содержаниями ильменита.

В составе тяжелой фракции ергенинской свиты отмечаются невысокие, но устойчивые (1.4–6.6 %) содержания сфена, самые высокие (до 16.3 %) содержания дистена и самые низкие концентрации лейкоксена (не более 5.3 %).

#### Заключение

Обобщение материала ранее проведенных работ, а также наши исследования позволяют сделать вывод о недостаточной изученности ергенинского Ti-Zr россыпного поля для однозначного заключения о его потенциале. Для этого предстоит решить целый ряд задач, включающий закономерности распределения рудных пластов и линз, установление питающей провинции, условия транспортировки и локализации рудного материала, установление детальной палеогеографической и палеотектонической обстановки для разных участков, выяснение причин резкой фациальной изменчивости пластов, линз и вмещающих песков. Тем не менее, очевидно, что ергенинская провинция является объектом, который может в значительной степени решить проблему импортозамещения Ti-Zr сырья. При этом, необходимо изначально ориентироваться на комплексную глубокую переработку песка для строительных, стекольных, формовочных целей, а Ti-Zr концентрат получать в качестве бонусного продукта.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 г. [Электронный ресурс]: издание официальное. ФГБУ «ВИМС», 2020. URL: [https://vims-geo.ru/documents/536/Государственный\\_доклад\\_-\\_2020.pdf](https://vims-geo.ru/documents/536/Государственный_доклад_-_2020.pdf) (дата обращения: 20.04.2023)
2. Бызовский Л.З. Перспективы комплексного использования титано-циркониевых россыпных месторождений России // *Горный журнал*. 1997. № 8. С. 22–26
3. Золотарева Г. С. Циркон как индикатор условий формирования титан-циркониевых россыпей в системе коренной источник – кора выветривания – промежуточный коллектор – россыпь (на примере россыпных объектов Воронежской антеклизы). Воронеж, Изд-во «Научная книга», 2013. 264 с.
4. Ненахов В. М., Золотарева Г. С. Интегральная модель россыпеобразования на территории Воронежской антеклизы // *Литология и полезные ископаемые*. 2012. № 1. С. 26–40
5. Лаврищев В. А., Семенов В. М. и др. Отчет по объекту «Прогнозно-поисковые работы масштаба 1:200 000–1:50 000 на титан-циркониевые россыпи в пределах восточной части Ергенинского потенциального россыпного района».
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист L-37, 38. Ростов-на-Дону. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000, 296 с.
7. Пруцкий Н. И., Рудянов И. Ф., Энна Н. Л. Предкавказская Титан-циркониевая россыпная провинция: история изучения и основные результаты исследований // *Региональная геология и металлогения*. 2006. № 29. С.50–55
8. Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М.: Наука, 1965. 265 с.
9. Печенюк В. Ф., Письменская Г. А., Шишов В. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Скифская. Лист L-38-III (Садовое). Объяснительная записка [Электронный ресурс]. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. URL <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/1-38-iii-sadovoe-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossiyskoy-federaci.pdf> (дата обращения: 20.04.2023)
10. Рудянов И. Ф., Лаврищев В. А., Семенов В. М. Ергенинский потенциальный россыпной район – первоочередной объект для поисков промышленно-значимых титан-циркониевых россыпей // *Региональная геология и металлогения*. 2005. № 25. С. 134–139
11. Бойко Н. И. Титан-циркониевые россыпи Ставрополя // *Литология и полезные ископаемые*. 2004. № 6. С. 602–609
12. Лаврищев В. А., Семенов В. М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Лист L-38 [Электронный ресурс]. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. URL <https://www.geokniga.org/maps/7062> (дата обращения: 20.04.2023)

## **Prospects for the use of rocks of the Ergeninskaya suite for obtaining Ti-Zr raw materials (Republic of Kalmykia)**

© 2023 A. V. Nikitin<sup>1✉</sup>, G. S. Zolotareva<sup>1</sup>, O. N. Kobylina<sup>1</sup>, S. V. Nenakhov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., 394018, Voronezh, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Borisyak Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences,  
123 Profsoyuznaya st., 117647, Moscow, Russian Federation*

### **Abstract**

*Introduction:* Titanium and zirconium are strategic minerals. Despite the fact that Russia is the world's largest source of raw materials for titanium, the contribution of the country to the world production of titanium concentrates is only 0.03%, and for the production of zirconium concentrates it does not exceed 1%. In this regard, the import substitution of Ti-Zr raw materials is necessary. The solution to the problem of shortage of Ti-Zr raw materials is the studying new promising objects and improving the extraction technology based on the waste-free, integrated use of productive sands.

*General information about the geological structure of the territory and the state of study:* deposits of the Cenozoic age are involved in the geological structure of the region. Paleogene, Neogene and Quaternary formations come to the surface along the beams on the Ergeninsky Upland. Titanium-zirconium placers of the Ergeninsky Upland belong to the potential Ergeninsky placer area within the Ciscaucasian placer province. The Umantsevo-Maloderbetskoe, Sadovo-Obilenskoe, Balkovsko-Kegultinskoe, Remontnenskoe and Buratinsky alluvial fields are distinguished within the Ergeninsky placer region.

*Conditions for the formation of a productive stratum:* The genetic affiliation of the sandy sediments of the Ergeninskaya suite, which was the object of numerous studies, has not yet been unequivocally determined; different authors classify them as fluvio-glacial, alluvial, deltaic, or coastal-marine formations.

*The structure of the Ergeninskaya formation:* The vertical section of the Ergenin deposits is subdivided into three parts according to lithological-mineralogical, facies, and structural-textural features: the lower basal part (from 0.3 to 10 m) is characterized by coarse and coarse-grained sands with an admixture of gravel material. The middle part of the section (up to 20 m) is represented mainly by coarse and medium-grained, cross-bedded sands, the layering in which is emphasized by the gradation sorting of the material and rare black sand interlayers of heavy minerals. The most productive is the upper part of the section composed of fine and fine-grained sands, 60–70% consisting of grains 0.1–0.25 mm in size with heavy fraction contents, in some parts of the section up to 3–5%.

*Structural and paleogeomorphological features:* The analysis of the paleo-geomorphological schemes of the eastern part of the Ergeninsky placer area showed that areas of distribution of large linear erosive-tectonic depressions, which were inherited by local overdeep depressions within stable morphostructures, can be considered very favourable for burial and exposure at the pre-Quaternary stage.

*Minerals of the heavy fraction of the Ergeninskaya formation:* The results of the study of the mineral spectrum of the heavy fraction of the Sadovo-Obilensky alluvial field, and its comparison with the known titanium-zirconium deposits in neighbouring territories, are presented.

*Conclusions:* Recommendations on the integrated use of the Ergenin sands and the direction of further



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Alexander V. Nikitin, e-mail: [nikav\\_1960@mail.ru](mailto:nikav_1960@mail.ru)

research are proposed. For example, the use of common sands with the preliminary improvement of the quality in terms of granulometric composition, reduction of clay content, release of heavy minerals, allows to obtain, in addition to building sands, glass, moulding sands, as well as a product enriched with heavy fraction minerals, including Ti-Zr raw materials and other concentrates.

**Keywords:** common minerals, integrated use of productive sands, import substitution of Ti-Zr raw materials.

*For citation:* Nikitin A. V., Zolotareva G. S., Kobylina O. N., Nenakhov S. V. Prospects for the use of rocks of the Ergeninskaya suite for obtaining Ti-Zr raw materials (Republic of Kalmykia) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 2, pp. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/44-56>

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

## REFERENCES

1. O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossijskoj federacii v 2020 g. [On the State and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2020]. Available at: [https://vims-geo.ru/documents/536/Государственный\\_доклад\\_-\\_2020.pdf](https://vims-geo.ru/documents/536/Государственный_доклад_-_2020.pdf) (accessed 20.04.2023) (In Russ.)
2. Byzovsky L. Z. Perspektivy kompleksnogo ispol'zovaniya titanocirkonievyyh rossypanyh mestorozhdenij Rossii [Prospects of complex use of titanium-zirconium placer deposits of Russia]. *Gornyj zhurnal – Mining Journal*, 1997, no. 8, pp. 22–26 (In Russ.)
3. Zolotareva G. S. Cirkon kak indikator uslovij formirovaniya titanocirkonievyyh rossypej v sisteme korennoj istochnik – kora vyvetriviya – promezhutochnyj kollektor – rossyp' (na primere rossypanyh ob'ektov Voronezhskoj anteklizy) [Zircon as an indicator of formation conditions of titanium-zirconium placers in the system of bedrock source – weathering crust – intermediate reservoir – placer (on the example of alluvial objects of the Voronezh antecline)]. Voronezh, "Nauchnaya kniga" publ., 2013. 264 p. (In Russ.)
4. Nenakhov V. M., Zolotareva G. S. Integral'naya model' rossy-peobrazovaniya na territorii Voronezhskoj anteklizy [Integral model of placer formation in the Voronezh antecline]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Mineral Resources*, 2012, no. 1, pp. 26–40 (In Russ.)
5. Lavrishchev V. A., Semenov V. M. et al. *Otchet po ob'ektu «Prognozno-poiskovye raboty masshtaba 1:200 000–1:50 000 na titan-cirkonievye rossypi v predelakh vostochnoj chasti Ergeninskogo potencial'nogo rossypanogo rajona»* [Report on the "Prognostic and prospecting works at a scale of 1:200 000-1:50 000 for titanium-zirconium placers within the eastern part of the Yergeninsky potential placer district"] (In Russ.)
6. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. List L-37, 38. Rostov-na-Donu* [State Geological Map of the Russian Federation. Sheet L-37, 38. Rostov-on-Don]. Saint Petersburg, VSEGEI, 2000, 296 p. (In Russ.)
7. Prutsky N.I., Rudyanov I.F., Enna N.L. Predkavkazskaya Titanocirkonievaya rossypanaya provinciya: istoriya izucheniya i osnovnye rezul'taty issledovaniy [Pre-Caucasian Titanium-zirconium placer province: history of study and main results of research]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional Geology and Metallogeny*, 2006, № 29, C. 50–55 (In Russ.)
8. Botvinkina L. N. *Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniyu sloistosti* [Methodical Guide to the Study of layering]. Moscow, Nauka publ., 1965, 265 p. (In Russ.)
9. Pechenyuk V. F., Pismenskaya G. A., Shishov V. S., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Izdanie vtoroje. Seriya Skifskaya. List L-38-III (Sadovoe). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1:200,000. Second edition. Scythian Series. Sheet L-38-III (Garden)]. Available at: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/1-38-iii-sadovoe-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossijskoj-federacii.pdf> (accessed 20.04.2023) (In Russ.)
10. Rudyanov I. F., Lavrishchev V. A., Semenov V. M. Ergeninskij potencial'nyj rossypanoj rajon – pervoocherednoj ob'ekt dlya poiskov promyshlennno-znachimyyh titan-cirkonievyyh rossypej [Yergeninsky potential placer district - a priority object for prospecting of industrially important titanium-zirconium placers]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional Geology and Metallogeny*, 2005, no. 25, pp. 134–139 (In Russ.)
11. Boyko N. I. Titan- cirkonievye rossypi Stavropol'ya [Titanium-zirconium placers of Stavropol]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Mineral Resources*, 2004, no. 6, pp. 602–609 (In Russ.)
12. Lavrishchev V. A., Semenov V. M. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1: 1000 000 (tret'e pokolenie). List L-38* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000 000 (the third generation). Leaf L-38]. Available at: <https://www.geokniga.org/maps/7062> (accessed 20.04.2023) (In Russ.)

*Никитин Александр Васильевич*, к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, РФ; e-mail: [nikav\\_1960@mail.ru](mailto:nikav_1960@mail.ru); ORCID 0000-0002-2808-7887

*Золотарева Галина Сергеевна*, к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, РФ; e-mail: [akcessoriy@mail.ru](mailto:akcessoriy@mail.ru); ORCID 0000-0003-2542-4558

*Кобылина Ольга Николаевна*, ст. преподаватель, Воронежский государственный университет, Воронеж, РФ; e-mail: [ollyabuh@mail.ru](mailto:ollyabuh@mail.ru); ORCID 0009-0001-5755-8668

*Ненахов Сергей Викторович*, директор, Инжиниринговый центр «I-Technology», Воронеж, РФ; e-mail: [nenakhov\\_sergey@mail.ru](mailto:nenakhov_sergey@mail.ru); ORCID 0009-0008-9803-2479

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Alexandr V. Nikitin*, PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [nikav\\_1960@mail.ru](mailto:nikav_1960@mail.ru); ORCID 0000-0002-2808-7887

*Galina S. Zolotareva*, PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [nikav\\_1960@mail.ru](mailto:nikav_1960@mail.ru); ORCID 0000-0003-2542-4558

*Olga N. Kobylina*, Senior lecturer, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: [ollyabuh@mail.ru](mailto:ollyabuh@mail.ru); ORCID 0009-0001-5755-8668

*Sergey V. Nenakhov*, Director, Engineering Center "I-Technology", Voronezh, Russian Federation; e-mail: [nenakhov\\_sergey@mail.ru](mailto:nenakhov_sergey@mail.ru); ORCID 0009-0008-9803-2479

*Authors have read and approved the final manuscript.*