

УДК 551.351

## СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ КРАСНОКУТСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВОГО РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНА)

© 2019 г. Е. А. Ганжа<sup>1, \*</sup>, А. В. Лаломов<sup>2,3, \*\*</sup>, А. В. Чефранова<sup>2</sup>,  
А. В. Григорьева<sup>2</sup>, Л. О. Магази́на<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологических наук НАН Украины  
Украина, 01054 Киев, ул. О. Гончара, 55 б

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН  
119017 Москва, Старомонетный пер., 35

<sup>3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614990 Пермь, ул. Букирева, 15

\*E-mail: oag2909@gmail.com

\*\*E-mail: lalomov@mail.ru

Поступила в редакцию 27.07.2018 г.

Исследованы условия залегания, структура, вещественный состав и россыпеконтролирующие факторы Краснокутского россыпного редкометалльно-титанового месторождения, локализованного в миоценовых отложениях северо-восточного склона Днепровско-Донецкой впадины. Выделенные литофациальные комплексы (аллювиально-дельтовый, прибрежно- и мелководно-морской, золотой) соответствуют нижней (аквитанской), средней (бурдигальской) и верхней (лангийской) подсвитам новопетровской свиты миоцена. Россыпные тела локализуются в литоральных прибрежно-морских комплексах средненопетровской подсвиты. Россыпеобразование связано с фазами стабилизации береговой линии на регрессивном этапе существования бассейна Субпаратетиса. Основными поисково-прогнозными критериями выделения перспективных участков в пределах Харьковско-Сумской россыпной зоны являются области стабилизации береговой линии регрессивного этапа развития бассейна средненопетровского времени и развитие поперечных к ним аллювиально-дельтовых структур, поставляющих в бассейн слабометаллоносные осадки, нарушающих монотонность вдольберегового переноса и играющих роль структурно-седиментационных ловушек. Разработанная цифровая структурно-литологическая модель Краснокутского месторождения позволяет предложить комплекс критериев для сравнительной оценки разных участков месторождения с целью определения очередности их освоения. Минеральный состав продуктивных отложений является характерным для россыпей региона и для редкометалльно-титановых россыпей в целом; повышенные содержания рутила и циркона, увеличивающие промышленную ценность россыпей этой зоны, связаны с влиянием кристаллических пород Воронежского массива.

**Ключевые слова:** россыпи, ильменит, циркон, Субпаратетис.

DOI: 10.31857/S0024-497X20196540-556

Краснокутское редкометалльно-титановое (“титано-циркониевое”) россыпное месторождение, стоящее на балансе Украины, находится в северо-восточной краевой зоне Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), в пределах Краснокутского россыпного поля Харьковско-Сумской россыпной зоны [Атлас ..., 2001] (рис. 1).

Территория Украинского щита (УЩ) и ДДВ являлась основным титанодобывающим районом СССР и СНГ, в первую очередь — за счет

суперкрупного и высокорентабельного Само-танского (Малышевского) россыпного месторождения, в то же время другие аналогичные объекты региона оставались вне зоны научного, геологоразведочного и промышленного интереса. В настоящее время запасы Само-танского месторождения истощаются, поэтому информация о других редкометалльно-титановых россыпных объектах является актуальной.

Палеофациальная зональность и развитие россыпеобразующих систем региона определя-

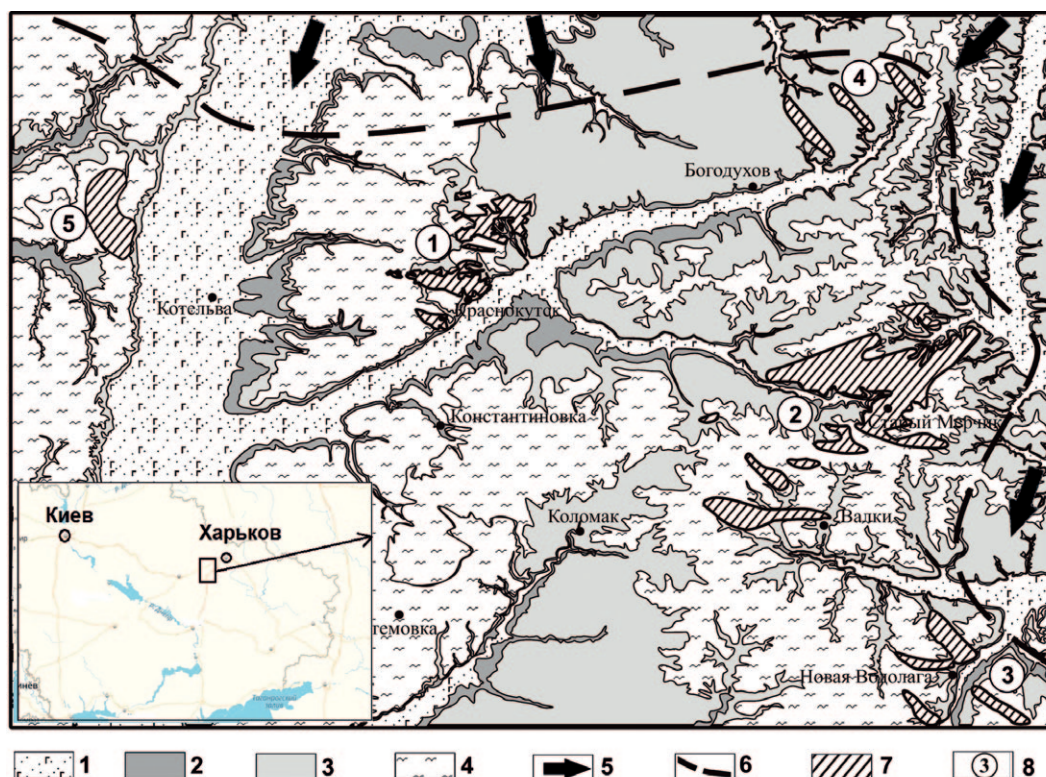


Рис. 1. Геологическое строение Харьковского россыпного района, по [Романов, 1976] с изменениями.

1 — средний олигоцен, межигорская свита, пески зеленовато-серые, глауконитовые, мелкозернистые; 2 — нижний миоцен, новопетровская свита, пески светло-серые, желтоватые, иногда с пестрой окраской, в верхней части каолинистые, мелко- и среднезернистые; 3 — верхний олигоцен, берекская свита, пески светло-серые, зеленоватые, с единичными зернами глауконита, мелкозернистые, в подошве глины зеленовато-серые, бурые с прослойками песка желтовато-зеленого, разнозернистого; 4 — верхний миоцен, толща пестрых и темно-серых глин; 5 — направление сноса титановых и циркониевых минералов; 6 — положение береговой линии в результате трансгрессии Субпаратетиса; 7 — контуры месторождений; 8 — месторождения редкометалльно-титановых руд (1 — Краснокутское, 2 — Мерчинское, 3 — Нововодолажское, 4 — Богодуховское, 5 — Куземинское).

лись особенностями замкнутого континентального бассейна, который включал суббассейны ДДВ и УЩ, протягивался от Западно-Европейской плиты до Предуралья и получил название “Субпаратетис” [Зосимович и др., 1989]. Миоценовое россыпеобразование происходило на обширной территории, включающей геоструктуры первого порядка Восточно-Европейской платформы — Днепровско-Донецкую впадину, склоны Украинского щита и Воронежского массива, и охватывало две палеогеографические области осадконакопления: континентальную и бассейновую — собственно Субпаратетис. В пределах всей этой территории можно выделить четыре формационно-вещественные системы россыпеобразования, в состав которых входят основные россыпные поля и группы месторождений: Самотканское, Краснокутское, Тарасовское и Иршанское [Патык-Кара, 2008].

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРАСНОКУТСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

С точки зрения современной геоморфологии, исследованное Краснокутское месторождение размещается на древнем междуречье, восточная часть которого представляет собой плато высокого уровня (отметки поверхности 170–200 м). Западная часть относится к плато низкого гипсометрического уровня (отметки 150–170 м).

В морфологическом отношении, месторождение представляет собой группу россыпных тел, состав и строение которых определяются юго-западной ориентировкой аллювиально-дельтового комплекса, являющегося источником россыпеобразующих компонентов, и регрессивной серией береговых линий, имевших северо-западное простираие.

На площади месторождения выделяются четыре рудные залежи — Козиевская, Степановская, Центральная и Южная [Романов, 1976]. При суммарной протяженности россыпных тел 11 км, ширине 3.8 км, мощности пласта 6.3 м и среднем содержании суммы рудных компонентов  $26 \text{ кг/м}^3$  ( $99 \text{ кг/м}^3$  условного ильменита, с коэффициентами 1 для ильменита и 5 для рутила, лейкоксена и циркона), запасы месторождения оцениваются в 6.8 млн т [Титановые ..., 1967].

Продуктивные отложения обычно состоят из прослоек и линз песков с разной концентрацией тяжелых минералов. Контуры рудных тел устанавливаются только по результатам опробования. В разрезе залежи обычно представлены одно, реже два—три рудных тела, которые разделены песками с некондиционным содержанием тяжелой фракции. Количество рудных прослоек и линз уменьшается с северо-востока на юго-запад. Мощность россыпи увеличивается от ее периферии к центру.

Выход тяжелой фракции и главных рудных минералов из продуктивных отложений изменяется по площади и по разрезу россыпи. Выход коллективного концентрата (суммарного содержания ильменита, рутила, лейкоксена, циркона, монацита, дистена, силлиманита, ставролита) варьирует от сотен граммов до  $286 \text{ кг/м}^3$ , в том числе измененного ильменита — до 120 (среднее по подсчетам —  $10.4 \text{ кг/м}^3$ ; рутила и лейкоксена — до 14 (среднее —  $7.8 \text{ кг/м}^3$ ; циркона — до 70 (среднее —  $7.8 \text{ кг/м}^3$  [Титановые ..., 1967].

## ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ НОВОПЕТРОВСКОЙ СВИТЫ

Литостратиграфический разрез новопетровской свиты Краснокутского месторождения характеризуется тремя подсвитами, относящимися к аквитанскому, бурдигальскому и лангийскому ярусам миоцена [Кравченко, 2015].

Нижняя подсвита представлена гумусированными песками с прослойками бурого угля и зеленоватых глин аквитанского яруса нижнего миоцена, залегающих на песчаных отложениях палеогена. Мощность песков колеблется от 0.3 до 5 м, достигая максимума в депрессиях кровли палеогена. По литологическому составу и мощности отложений нижненовопетровской подсвиты, на Краснокутском месторождении выделяются две полосы: восточная и западная.

В западной полосе нижненовопетровская подсвита характеризуется максимальной мощностью и представлена песками с прослойками глин и угля. Пески кварцевые, гумусированные, охристо-желтые, серые, грязно-серые и черные. В песках встречаются лигнит, линзы бурого угля и тонкие прослойки черных сланцеватых глин. Общая мощность отложений достигает 5 м. В восточной полосе нижняя подсвита маломощная (0.2—3.0 м), представлена обычно зеленовато-серыми или черными слоистыми глинами. В глинах иногда встречаются тонкие прослойки песка и углефицированные растительные остатки.

Отложения средненовопетровской подсвиты относятся к бурдигальскому ярусу нижнего миоцена и выделяются по характерной отчетливо выраженной слоистости и повышенной концентрации темноцветных рудных минералов. Окраска песков обычно светло-серая или серовато-белая, но встречаются участки с грязно-серой, розовой, желтой и ржаво-желтой окраской, обусловленной присутствием гидроксидов железа и глинистого материала. Отдельные пятна грязно-серой или буроватой окраски в ожелезненных песках, обусловлены привнесением гумусированного материала реками в бассейн осадконакопления. Для песков средней подсвиты, развитых на исследуемой территории, характерна тонкая, отчетливо выраженная параллельная субгоризонтальная, волнистая и перекрестная косая слоистость со знаками ряби (рис. 2). Слоистость обусловлена, в основном, гранулометрическими различиями и колебаниями концентрации тяжелых темноцветных минералов. В нижней части толщи пески интенсивно ожелезнены и включают прослой глины (см. рис. 2).

Отложения верхней подсвиты представлены разнотернистыми (преимущественно мелкозернистыми), слоистыми кварцевыми песками белыми, желтыми, розовыми, бурыми и кирпично-красными, относящимися к лангийскому ярусу среднего миоцена. Толща песков верхней подсвиты залегает на плато высокого гипсометрического уровня, абсолютные отметки ее подошвы — 140—170 м, мощность — от 0.5 до 12.6 м. Для верхней подсвиты новопетровской свиты в исследуемом районе характерно присутствие линз и прослоек крупнозернистых песков с многоярусной косой, линейной, клинообразной и диагональной слоистостью (мощность се-



рий до 1.5–2.0 м), обусловленной, главным образом, гранулометрическими различиями.

Отобранные по разрезу пробы, по данным лаборатории ИГЕМ РАН, показали следующие величины содержания минералов тяжелой фракции: в отложениях аллювиально-дельтового комплекса — 15.5 кг/м<sup>3</sup>, прибрежно-морского — 112 кг/м<sup>3</sup> и эолового — 55.1 кг/м<sup>3</sup>, при этом содержание суммы рудных минералов (ильменита, рутила, циркона и минерального агрегата — лейкоксена) в тяжелой фракции — 85–90%.

### ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РОССЫПЕОБРАЗУЮЩЕГО БАСЕЙНА И ФАЦИАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В истории развития бассейна Субпаратетис можно выделить три этапа. Первый этап (ранне-новопетровское время) связан с установлением континентального режима на территории ДДВ и большей части УЩ, и образованием аллювиально-дельтового комплекса. Начало второго этапа (средне-новопетровское время) — с возникновением и существованием слабосоленого континентального водного бассейна, занимавшего прогиб ДДВ, а также смежные с прогибом площади УЩ и Воронежского массива, и началом регрессии этого бассейна, в фазах стабилизации которой формировались россыпные тела Краснокутского узла. Таким образом, крупный континентально-аквальный седиментационный бассейн средне-новопетровского времени, существовавший в пределах ДДВ и прилегающих щитов, состоял из двух структурно-фациальных зон: суши и водоема конечного стока. Последний представлял собой специфическую акваторию типа “море–озеро”, названную Субпаратетисом. Береговая линия этого бассейна проводится условно, по внешней границе прибрежных отложений. В пределах комплекса морских отложений выделяются фациальные зоны литорали, примыкающего к ней подводного берегового склона и мелководного шельфа.

Третий этап (поздне-новопетровское время) соответствовал установлению континентального режима осадконакопления на всей площади Субпаратетиса. В пределах специфических форм палеорельефа, отражающих общий ландшафт усыхающих водоемов и их водоразделов, накапливались элювиально-пролювиальные, делювиальные, элювиально-озерные, озерные, эоловые отложения.

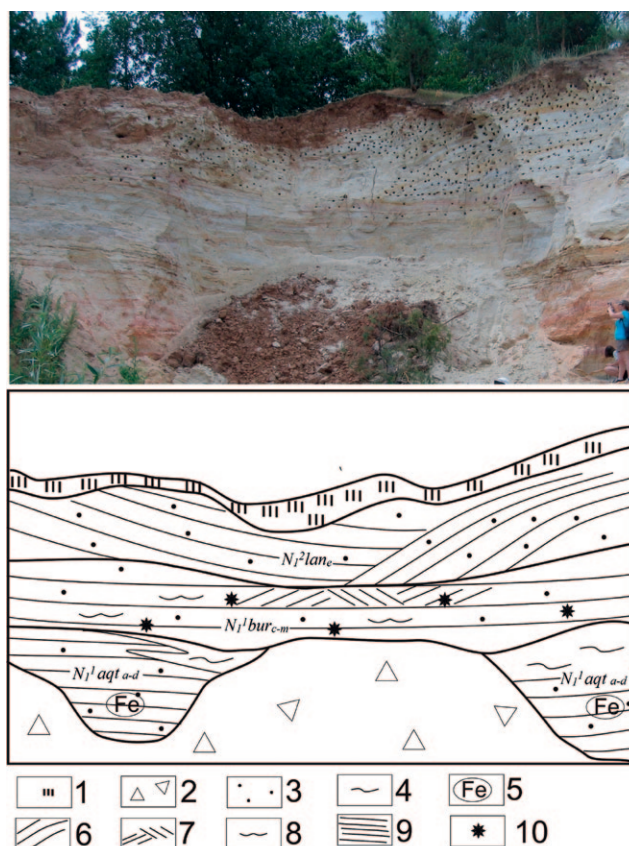


Рис. 2. Разрез верхней и средней подбит новопетровской свиты на площади Краснокутского месторождения (окраина с. Краснокутское).

1 — почвенно-растительный слой, 2 — осыпи, 3 — разнозернистые пески, 4 — глинистые прослои, 5 — ожезненные прослои, 6 — косослоистые серии повышенной мощности (более 0.5 м), 7 — перекрестная косая слоистость, 8 — знаки ряби, 9 — параллельная субгоризонтальная слоистость, 10 — обогащение темноцветными минералами.  $N_1^{1}aq_{a-d}$  — нижний миоцен, аквитанский ярус, аллювиально-дельтовый комплекс,  $N_1^{1}bur_{c-m}$  — нижний миоцен, бурдигальский ярус, прибрежно-морской литоральный и мелководно-морской комплекс,  $N_1^{2}lan_e$  — средний миоцен, лангийский ярус, эоловый комплекс.

### Палеофациальная модель Краснокутского месторождения

Выделение фациальных типов отложений россыпнеобразующей системы Краснокутского россыпного поля проводилось на основе гранулометрических и текстурных особенностей исследованных отложений и их сравнения с типичными для различных фаций прибрежно-морского и прибрежно-континентального комплексов. В результате была построена схема пространственного распределения фациальных типов отложений Краснокутского россыпного поля.

Дельтовые отложения ранненовопетровского этапа ориентированы субперпендикулярно береговой линии и имеют субмеридианальное простирание (рис. 3). Эта зона прорезает подстилающие отложения, что подтверждает предположение об их аллювиальном происхождении [Кравченко, 2016]. В конце ранненовопетровского времени, после регрессии олигоценного моря, на территории Краснокутского месторождения устанавливается режим суши с локальным развитием аллювиальных и озерно-болотных фаций.

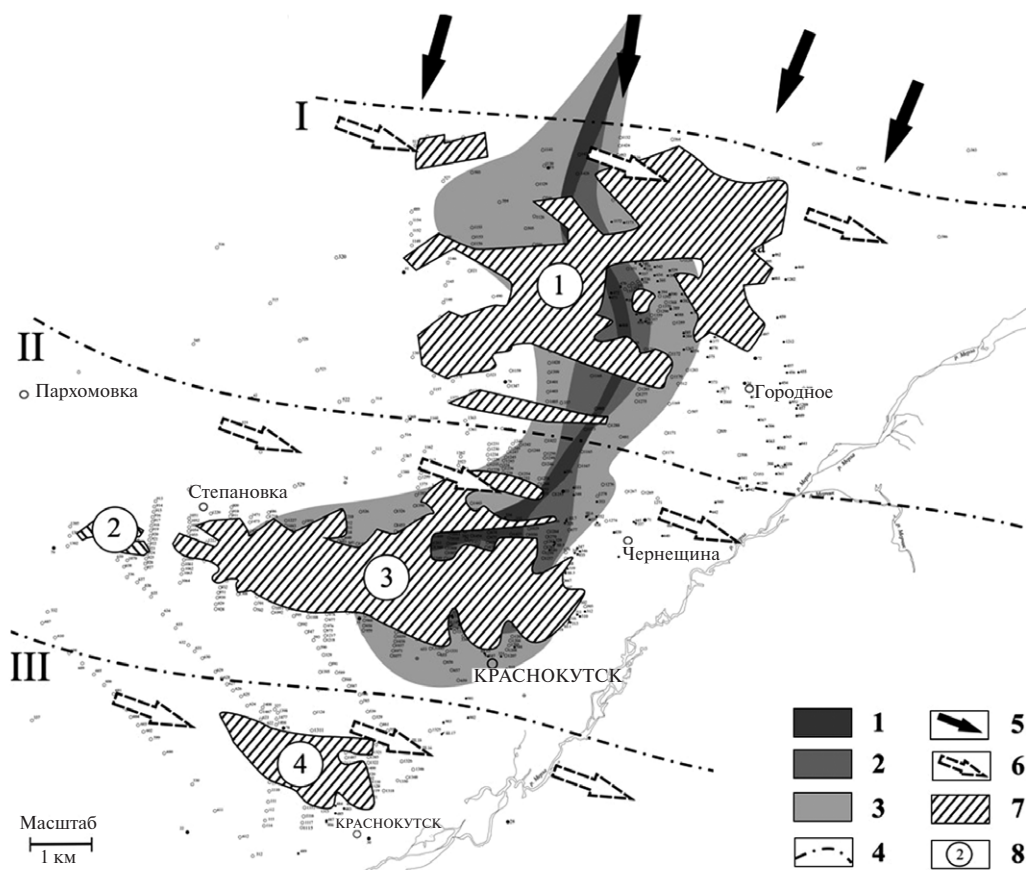
Дельтовым песчаным породам присуща косая разнонаправленная клиновидная слоистость, обусловленная изменениями гранулометрического состава отложений, а также присутствием темноокрашенного органического или глинистого материала и т. д. (рис. 4).

Функционирование дельты характеризовалось периодами ее латеральной миграции: как

в направлении течения реки (наступление—отступление), так и в боковых направлениях (боковая миграция речного потока). Эти особенности миграции прослеживаются на литофациальных профилях и схемах площадного распределения фаций, полученных с помощью цифрового структурно-литологического моделирования [Лаверов и др., 2014].

Начальный этап средненовопетровского времени связан с относительно быстрой трансгрессией Субпаратетиса, во время которой дельтовые отложения были частично размыты и переотложены, а площадь месторождения полностью оказалась в условиях прибрежного мелководья. На конечной стадии развития трансгрессии и стабилизации береговой линии бассейна началось формирование Козиевской залежи.

В последующее время происходила регрессия моря, и фации литорали и прибрежного мелководья постепенно смещались с севера



**Рис. 3.** Палеогеографическая схема территории Краснокутского месторождения в ранне-средненовопетровское время.

1–3 — дельта: 1 — песок средне- и крупнозернистый, 2 — песок разномелко- и среднезернистый, 3 — глина; 4 — положение береговой линии на разных этапах регрессии бассейна (I–II–III); 5 — направление сноса рудного материала; 6 — движение вдольбереговых течений; 7 — контуры рудных залежей; 8 — рудные залежи (1 — Козиевская, 2 — Степановская, 3 — Центральная, 4 — Южная).



на юг. Прибрежно- и мелководно-морские отложения образуют полосы юго-восточного простирания. Зоны россыпеобразования постепенно смещались вслед за береговой линией при ее миграции, что выражено на литофациальных профилях перемещением этих зон из нижних горизонтов средненовопетровской подсвиты к средним и верхним, при этом происходил перемыв подстилающих отложений.

Результатом пространственно-временной миграции является образование трех россыпных полос на площади месторождения: северной (Козиевская залежь), центральной (Центральная и Степановская залежи) и южной (Южная залежь). Эти полосы соответствуют трем этапам временной стабилизации береговой линии бассейна, обусловивших возникновение фациальных зон россыпеобразования. Причем, наиболее “продуктивным” в этом отношении был средний этап, с отложениями которого связаны максимальные концентрации рудного материала и наиболее высокие удельные и общие запасы.

Для зон литорали и подводного берегового склона характерны разнонаправленная перекрестная косая слоистость и симметричные знаки ряби волнового типа. В зоне мелководного шельфа присутствуют знаки ряби волнения и однонаправленные косослоистые серии, характерные для подводных течений. Слоистость в песках обычно тонкая, отчетливо выраженная, обусловленная, главным образом, гранулометрическими изменениями и различной окраской отдельных слоев за счет присутствия в них глинистого или органического материала, иногда — окиси железа.

В поздненовопетровское время на территории Краснокутского месторождения, в связи с осушением Субпаратетиса, установился континентальный режим и существовала суша, в пределах которой накапливались эоловые отложения и отложения временных потоков (толща разнозернистых песков с каолинистым и железистым цементом).

### СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ТОЛЩИ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Общая характеристика гранулометрического состава песчаных пород приводится по данным поисково-разведочных работ [Романов, 1976] и результатам изучения опорного разреза



**Рис. 4.** Преимущественно однонаправленная косая клиновидная слоистость дельтовых отложений. Краснокутское месторождение, начало ранненовопетровского времени.

новопетровской свиты (см. рис. 2), описанном и опробованном нами в районе с. Краснокутское; пробы были проанализированы в ИГЕМ РАН (табл. 1). Гранулометрические классы крупности  $>0.1$  мм практически не содержат минералов рудной ассоциации, тяжелая фракция в них представлена турмалином, ставролитом, лейкоксеном и гидроксидами железа.

По результатам гранулометрического анализа, приведенным И.С. Романовым [1976], основную массу песчаных пород составляет размерная фракция  $0.25-0.05$  мм. Содержание крупнозернистого материала ( $>0.25$  мм) в них не превышает 2% (табл. 2).

Согласно классификации псаммитов [Шванов, 1987], эти породы соответствуют тонкозернистым и мелко-тонкозернистым пескам. Наилучшей отсортированностью характеризуются эоловые разности песков. В безрудных песках содержание фракции с размерностью частиц  $0.25-0.1$  мм увеличивается, а фракции

**Таблица 1.** Гранулометрический состав и выход тяжелой фракции из отложений новопетровской свиты (по данным лаборатории ИГЕМ РАН)

	>0.25 мм	0.25–0.1 мм	0.1–0.05 мм	<0.05 мм	выход т.ф. из пробы	
Отложения	%	%	%	%	%	кг/м <sup>3</sup>
аллювиально-дельтовые	<u>6.78</u> 0.01	<u>37.4</u> 1.50	<u>48.1</u> 89.31	<u>7.72</u> 9.18	0.86	15.5
прибрежно-морские	<u>1.07</u> 0.00	<u>35.5</u> 0.81	<u>46.8</u> 94.05	<u>16.6</u> 5.14	6.22	112.0
эоловые	<u>0.16</u> 0.00	<u>12.3</u> 0.25	<u>74.9</u> 87.67	<u>12.7</u> 12.08	2.62	47.2

Примечание. т.ф. — тяжелая фракция; в числителе — гранулометрический состав отложений, в знаменателе — гранулометрический состав т.ф.

**Таблица 2.** Гранулометрический состав песков средненопетровской подсвиты по данным И.С. Романова [1976]

Класс крупности, мм	Рудные пески, %			Безрудные пески, %		
	от	до	среднее	от	до	среднее
>1	0.01	1.54	0.34	0.004	11.44	0.89
1–0.5	0.07	3.35	0.84	0.05	10.76	1.37
0.5–0.25	0.16	9.12	2.80	0.42	8.04	3.63
0.25–0.10	4.25	67.99	23.61	2.48	61.73	34.61
0.10–0.05	6.84	81.84	59.83	7.91	85.83	48.06
0.05–0.01	0.50	4.91	2.04	0.16	13.76	2.50
0.01–0.005	0.00	6.80	1.54	0.00	19.46	2.05
<0.005	6.00	13.20	9.00	4.76	8.75	6.89

0.1–0.05 мм, с наиболее высоким содержанием минералов тяжелой фракции, уменьшается.

В аллювиально-дельтовых отложениях отмечаются фоновые концентрации россыпеобразующих минералов. Они являются промежуточным коллектором для основных россыпных концентраций, которые приурочены в основном к осадкам прибрежно-морской литоральной и мелководно-морской зон бассейна. Продуктивные отложения, таким образом, практически полностью относятся к прибрежно-морскому литоральному комплексу средненопетровской подсвиты.

Для рудной толщи характерны субгоризонтальная параллельная, перекрестно-параллельная, волнистая и волнистая перекрестная формы слоистости. Наиболее отчетливо выражена слоистость рудоносных песков, в которых на общем светлом фоне контрастно выделяются темно-серые и серые тонкие прослойки, обогащенные рудными минералами. Рудоносные пески с тонкослоистой (мощность слоев

до 1 см) текстурой образуют серии мощностью до 30–50 см.

В рудоносных песках наблюдается ритмичность, выраженная чередованием рудных и безрудных слоев и серий, причем разные типы слоистости характеризуются различной концентрацией рудного материала. Максимальные концентрации приурочены к толще песков с волнистой перекрестной (мульдообразной) слоистостью. Этот тип слоистости с высокой концентрацией тяжелых минералов может повторяться до 2–5 раз в разрезах рудных линз. Кровля толщи с волнистой перекрестной слоистостью ровная, подошва всегда волнистая. В кровле слоистость отчетливая, в подошве толщи — неясная. В разных фациальных обстановках россыпная минерализация имеет свои особенности: в отложениях зоны мелководного шельфа — рассеянная, равномерная; в отложениях литорали и прибрежного мелководья — распределена неравномерно, здесь сосредоточены с максимальные концентрации и запасы, в т.ч. промышленные. Эти различные структурно-

текстурные особенности рудоносных песчаных пород соответствуют двум разным механизмам концентрирования тяжелых минералов в условиях прибрежно-морского россыпеобразования: первый связан с дифференцированным воздействием волновых процессов в пределах литорали, второй — с действием донных течений на мелководном шельфе [Лаломов, Таболич, 2013].

Следует особо отметить приуроченность полюсов рудных тел к флексуроподобным прогибам в рельефе подошвы средненовопетровской подсвиты (рис. 5). Линии простираения этих прогибов сосредоточены в пределах полосы максимальных концентраций тяжелых минералов, которая протягивается вдоль границы литоральной зоны и зоны верхнего (надводного) пляжа. Также необходимо отметить высокую степень расчлененности рельефа на площади Центрального участка месторождения, что способствовало локализации структурно-седиментационных ловушек рудного материала вкост простираения линии палеоберега.

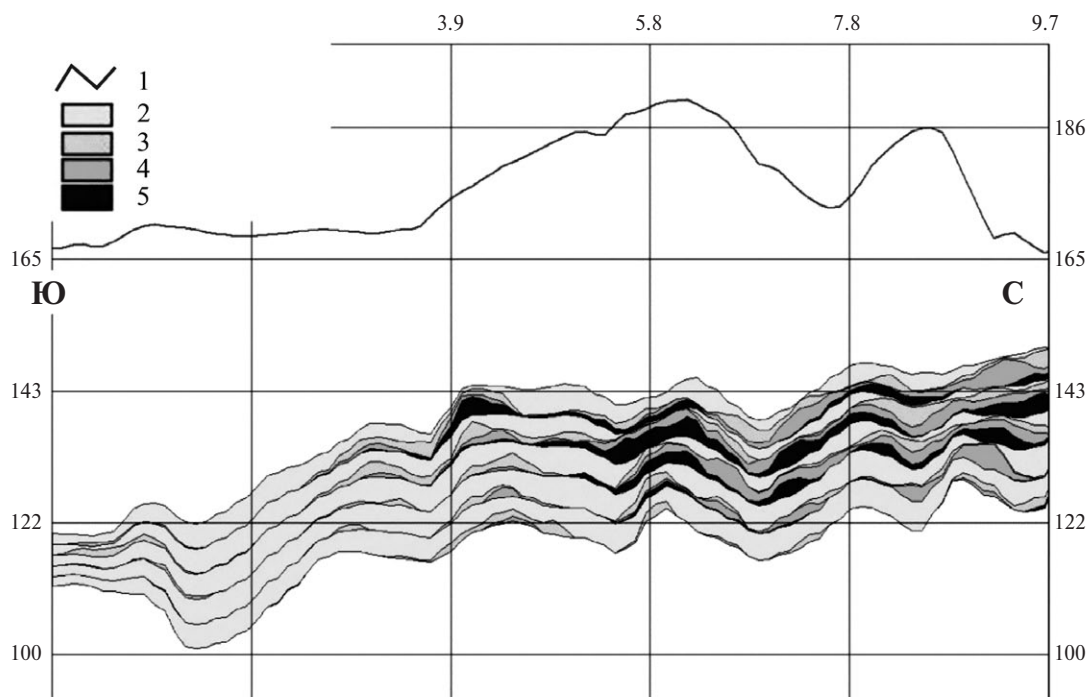
Наиболее высокие концентрации рудных минералов приурочены к прибрежно-морским отложениям средней части новопетровской свиты, по данным геологоразведочных работ выход коллективного концентрата из них достигает

286 кг/м<sup>3</sup> [Титановые ..., 1967]. Выход тяжелой фракции из отложений аллювиально-дельтовой толщи оценивается на уровне фона. Эоловые отложения слабо металлоносны.

Распределение всех четырех рудных минералов (ильменита, псевдорутила-лейкоксена, рутила и циркона) практически идентичное, некоторое небольшое несовпадение зон их распространения обусловлено случайными локальными факторами.

#### *Характеристика рудных тел*

Основной морфологической особенностью россыпи является общерегиональный выдержанный наклон ее подошвы по отношению к осевой линии бассейна Субпаратетис и осложнение подошвенной поверхности долинообразными понижениями, которые возникли в результате действия эрозионных процессов на начальной стадии формирования бассейна средненовопетровского времени. На форму кровли, в свою очередь, наиболее существенное влияние оказали конседиментационные и эрозионные процессы после-средненовопетровского времени: неравномерное первоначальное распределение рудных минералов в отложениях



**Рис. 5.** Распределение содержаний коллективного концентрата в разрезе средненовопетровской подсвиты, построенном вкост простираения Центральной залежи россыпи.  
1 — дневная поверхность; 2–5 — выход коллективного концентрата, кг/м<sup>3</sup>: 2 — 0–5, 3 — 5–8.5, 4 — 8.5–19, 5 — более 19.



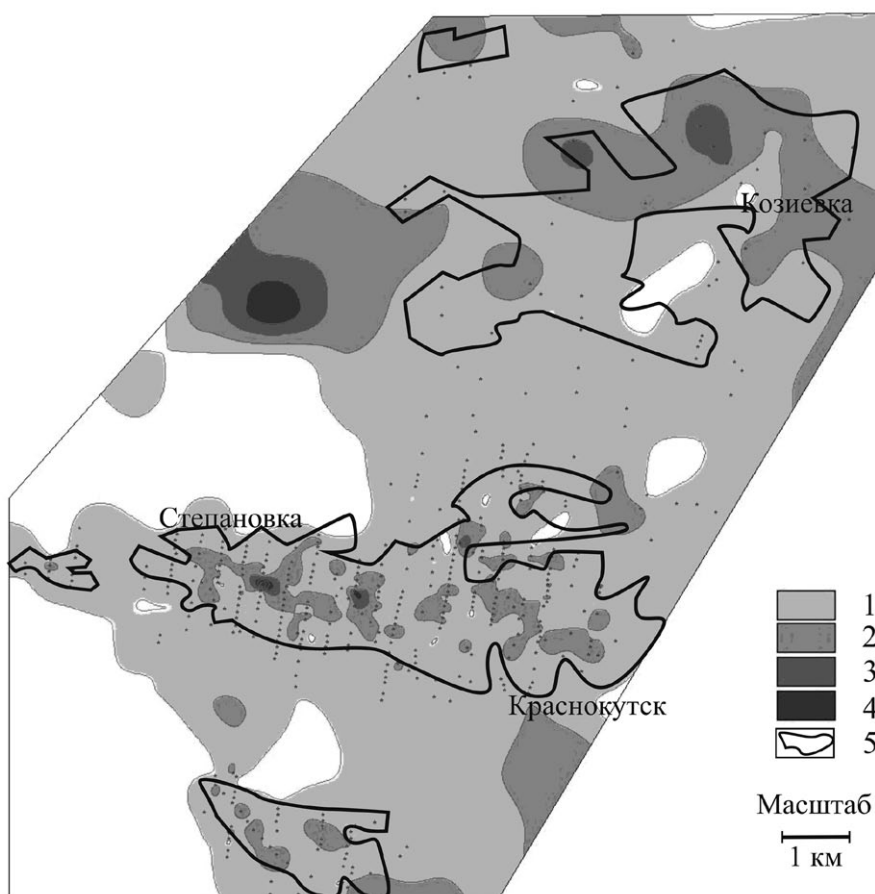
(раздувы, выклинивания рудных тел, связанные с фациальными и гидродинамическими условиями) и постседиментационный размыв образованной россыпи. Участки с увеличенной мощностью продуктивного горизонта, в основном, совпадают с контурами залежей, ранее выделенных И. С. Романовым [1976] (рис. 6).

Анализа профилей рудной толщи показывает, что она не является сплошным горизонтом, а представлена несколькими рудными телами и их сериями, общие контуры которых соответствуют ранее выделенным четырем залежам. В разрезе рудные тела представлены ритмичным чередованием серий слоев, в разной степени (интенсивной, умеренной и низкой) обогащенных рудными минералами. Мощность серий изменяется от нескольких сантиметров до 1 м. В пределах серий наблюдается слоистость более низкого порядка, обусловленная чередованием очень тонких (до нескольких миллиметров) слоев с разной насыщенностью рудными минералами. В разрезах отдельных россыпей руд-

ные тела образуют линзы, реже — линзовидные пласты мощностью 2–6 м (см. рис. 5), иногда прослеживающиеся на расстояние до нескольких километров. В плане рудные линзы представлены пятнами сложных очертаний, вытянутыми преимущественно в субширотном направлении.

Следует отметить, что приведенные особенности пространственного (по площади и в разрезе месторождения) распределения рудных тел практически полностью соответствуют теоретической модели россыпеобразования в условиях регрессии бассейна [Лаломов и др., 2010].

В связи с общей положительной оценкой промышленной значимости месторождения, для ранжирования участков по степени их перспективности нами рассматриваются следующие наиболее важные промышленные параметры: а) мощность и глубина залегания рудной толщи; б) площадное распределение содержания компонентов, в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; в) площадное распределение удельных запасов коллективного кон-



**Рис. 6.** Карта распределения мощностей рудной толщи Краснокутской россыпи. 1–4 — мощность рудной толщи, м: 1 — 0–10, 2 — 10–20, 3 — 20–30, 4 — более 30; 5 — контуры рудных залежей, по [Романов, 1976].

концентрата, в  $\text{кг/м}^2$ ; г) площадное распределение “условного ильменита” (УИ),  $\text{кг/м}^3$ . Последний параметр является экономическим мультипликативным показателем, оценивающим разную значимость минеральных компонентов в экономическом балансе месторождения. Коэффициенты, с которыми разные компоненты входят в показатель УИ, могут варьировать в зависимости, в первую очередь, от рыночной стоимости конкретных минеральных концентратов и, в некоторой мере, от технологических свойств: 1 — для ильменита, 1–5 — для лейкоксена, 5–7 — для рутила и циркона [Лаломов и др., 2010; Левченко, 2011]. Показатель УИ является повышенным для Краснокутской россыпи: при не очень высоком валовом выходе коллективного концентрата, его состав характеризуется высокими содержаниями циркона и рутила, которые входят в состав УИ с повышающими коэффициентами.

Так, по данным [Титановые ..., 1967, с. 498, табл. 5.8], выход концентрата Краснокутской россыпи —  $33 \text{ кг/м}^3$ , при содержании измененного ильменита  $10.4 \text{ кг/м}^3$ , рутила  $6.5 \text{ кг/м}^3$ , лейкоксена  $1.3 \text{ кг/м}^3$  и циркона  $7.8 \text{ кг/м}^3$ , т.е. рутил и циркон составляют 48% концентрата по весу.

В пересчете на УИ их значимость возрастает до 83%. Примерно такие же значения получены по данным минералогического анализа состава продуктивного пласта россыпи, проведенного в ИГЕМ РАН (табл. 3). Таким образом, минеральный состав коллективного концентрата и разная экономическая стоимость его компонентов, выраженная в показателе УИ для Краснокутской россыпи имеет важное значение.

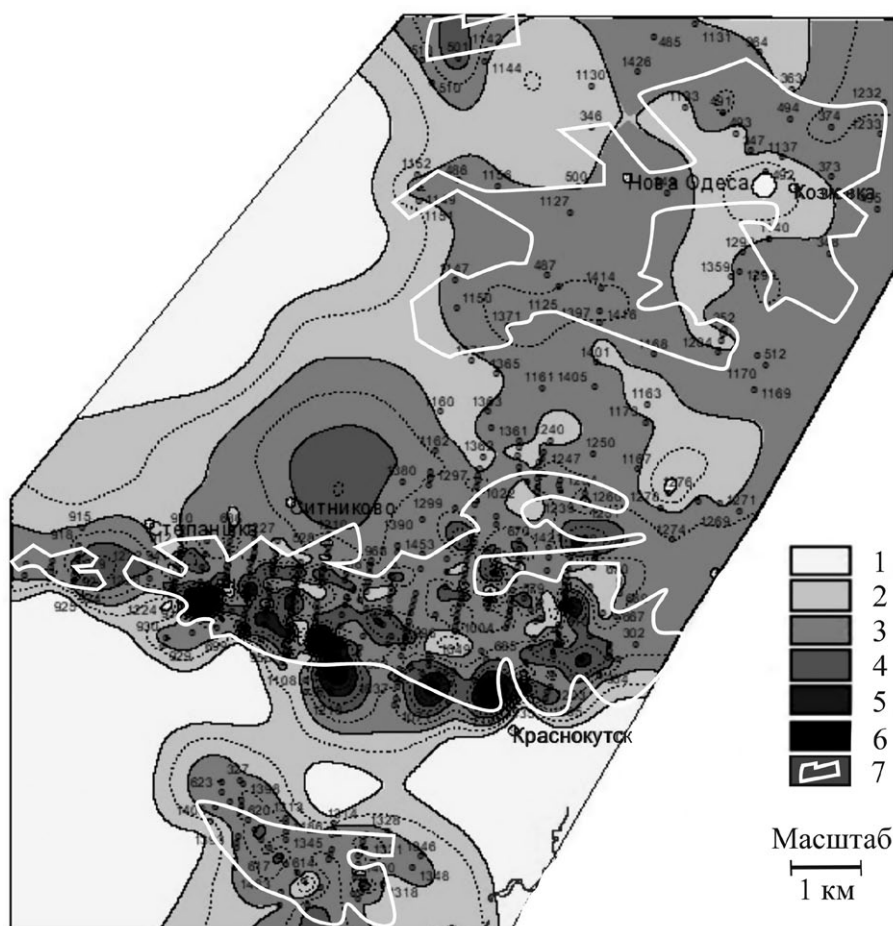
Выделенные параметры не всегда одинаково влияют на промышленный потенциал россыпей. Так, возрастание мощности рудного пласта может сопровождаться увеличением запасов, но, одновременно, и уменьшением содержания рудных компонентов в породах и т.д. Поэтому для оценки их суммарного эффекта необходима разработка алгоритма подсчета единого мультипликативного показателя, что позволит создать компьютеризированную цифровую систему оценки перспективности россыпных редкометалльно-титановых объектов.

Распределение в пределах рудного пласта россыпи выхода коллективного концентрата из пород в среднем, показано на рис. 7. Размеры

**Таблица 3.** Минеральный состав тяжелой фракции в отложениях верхней и средней подсуит новопетровской свиты (по данным минералогического анализа лаборатории ИГЕМ РАН)

Отложения	аллювиально-дельтовые		прибрежно-морские		эоловые	
	%	$\text{кг/м}^3$	%	$\text{кг/м}^3$	%	$\text{кг/м}^3$
Выход т.ф.*	100	15.5	100	112.0	100	47.2
Ильменит**	36	5.6	33	37.0	31	17.1
Лейкоксен	7	1.1	5	5.6	15	8.3
Рутил	22	3.4	28	31.4	23	12.7
Анатаз	зн	<0.15	1	1.1	зн	<0.55
Брукит	н.о.	н.о.	зн	<1.1	н.о.	н.о.
Циркон	18	2.8	22	24.6	18	9.9
Циркон метамиктный	2	0.3	2	2.2	2	1.1
Монацит	н.о.	н.о.	0.5	1.0	зн	<0.55
Бадделеит	зн	<0.15	зн	<1.1	зн	<0.55
Ставролит	5	0.8	2	2.2	н.о.	н.о.
Турмалин	2	0.3	1	1.1	2	1.1
Кианит	3	0.5	2	2.2	4	2.2
Силлиманит	5	0.8	4	4.5	5	2.8
Топаз	н.о.	н.о.	зн	<1.1	н.о.	н.о.
Корунд	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	зн	<0.55

Примечание. \*т.ф. — тяжелая фракция; \*\*лейкоксенизированный ильменит и псевдорутил; зн — “знаки”, содержание минерала менее 1%; н.о. — минерал не обнаружен.



**Рис. 7.** Карта распределения выхода коллективного концентрата из песчаных пород (в среднем), кг/м<sup>3</sup>. 1 — <1; 2 — 1–10; 3 — 10–20; 4 — 20–30; 5 — 30–40; 6 — >40; 7 — контуры рудных залежей, по [Романов, 1976].

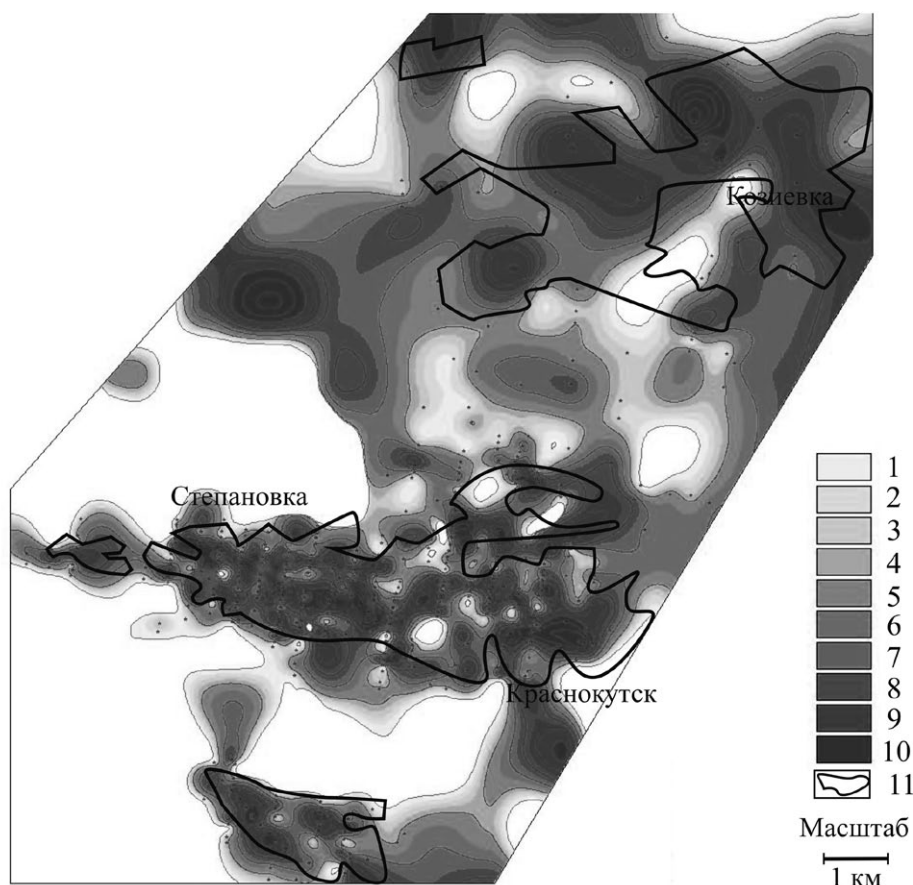
выделенных участков следующие: Козиевский (северная зона повышенных концентраций) — 8.5×2.7 км; Центральный — 8.0×1.8 км и Степановский — 1.4×0.4 км (центральная зона); Южный — 2.8×1.0 км (южная зона). Эти участки характеризуются субширотной ориентацией, что соответствует общей модели прибрежно-морского россыпеобразования в данной части седиментационного бассейна [Кравченко, Хрущев, 2015].

Карта распределения удельных запасов коллективного концентрата (рис. 8) показывает абсолютные значения объемного веса (кг) определенных градаций запасов на единицу площади (м<sup>2</sup>). В пределах полигона выделяют те же зоны: протяженная субширотная максимальных значений (отвечает Центральному участку), ограниченная субизометрическая максимальных значений (Южный участок) и две зоны повышенных значений (протяженный субширотный — Козиевский участок, который включает

две линзы повышенных значений в центральной и восточной частях, а также ограниченная зона Степановского участка). Согласно карте, преобладающая часть запасов с градациями более 20 кг/м<sup>2</sup> относится к Центральному участку [Кравченко, Хрущев, 2015].

Таким образом, на основании полученных данных можно предложить комплекс критериев для сравнительной оценки разных участков месторождения с целью определения очередности их освоения. Он включает следующие картографически отображаемые параметры: мощность и глубина залегания рудной толщи; распределение содержания рудных компонентов, “условного ильменита”, а также удельных запасов коллективного концентрата [Кравченко, 2015] по площади месторождения. По оценкам приведенного комплекса критериев предлагается следующий ряд приоритетных участков (в порядке снижения приоритета): Центральный — Южный — Степановский — Козиевский.





**Рис. 8.** Карта распределения удельных запасов коллективного концентрата.

1–10 — содержание коллективного концентрата, кг/м<sup>2</sup>: 1 — 0–10, 2 — 10–20, 3 — 20–30, 4 — 30–40, 5 — 40–60, 6 — 60–80, 7 — 80–100, 8 — 100–140, 9 — 140–200, 10 — более 200; 11 — контуры рудных залежей, по [Романов, 1976].

### МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУДНОЙ ТОЛЩИ И ТИПОМОРФИЗМ РОССЫПЕОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Минеральный состав тяжелой фракции определялся под биноклем (аналитик А. В. Григорьева). Отобранные монофракции ильменита, лейкоксена, рутила и циркона исследовались на растровом электронном микроскопе JSM 5610 LV (Япония), оснащённом энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 (Великобритания) в лаборатории ИГЕМ РАН (около 200 фотографий и определений состава, аналитик Л. О. Магазина).

Минеральный состав рудного горизонта в целом довольно однообразен и является типичным для редкометалльно-титановых россыпей, хотя и имеет свои особенности. Повышенные содержания рутила и циркона, по сравнению с другими аналогичными россыпями региона, связаны,

по-видимому, с влиянием кристаллических пород Воронежского массива.

Легкая фракция представлена, в основном, кварцем (90–100%), с примесью полевых шпатов и редких чешуек мусковита. Коэффициент окатанности кварцевых зерен размерностью 0.25–0.30 мм составляет 40–60%.

Минеральный состав отложений весьма зрелый: на долю главных россыпеобразующих минералов, наиболее устойчивых при выветривании и транспортировке (измененного ильменита — лейкоксена, рутила и циркона) приходится более 80% тяжелой фракции (см. табл. 3). К второстепенным устойчивым (содержание более 1%) относятся ставролит, кианит, силлиманит, дистен и турмалин; еще реже встречаются анатаз, брукит, монацит, бадделиит, топаз. Содержание неустойчивых минералов (эпидот, амфиболы, пироксены, хлорит и др.) оценивается в знаковых количествах.

### *Измененный ильменит — лейкоксен*

По данным минералогического анализа, содержание измененного ильменита в Краснокутской россыпи составляет 31–36% тяжелой фракции отложений, что соответствует его содержанию в редкометалльно-титановых россыпях Южно-Русской провинции [Цимбал, Полканов, 1975]; в россыпях Днепровско-Донецкой впадины содержание ильменита составляет 30–60% тяжелой фракции отложений. Измененный ильменит встречается в виде неправильных угловатых и угловато-окатанных зерен, реже — обломков кристаллов с неровной, шероховатой поверхностью.

Лейкоксен, по данным минералогического анализа, составляет 5–15% тяжелой фракции отложений. Зерна лейкоксена округлые, удлиненно-округлые, лепешковидные, неправильные угловатые. Поверхность зерен гладкая или шероховатая, часто глянцевая или фарфоровидная. Окатанность зерен возрастает при движении вверх по разрезу залежи. Встречаются псевдоморфозы лейкоксена по ромбоэдрическим или таблитчатым кристаллам ильменита.

В связи с тем, что гипергенное превращение ильменита в лейкоксен происходит постепенно, важным показателем процесса лейкоксенизации является соотношение  $TiO_2/(FeO + Fe_2O_3)$ , или коэффициент выщелачивания ( $K_v$ ). Теоретическое значение  $K_v$  для неизмененного ильменита — 1.1, для псевдорутила ( $Fe^{3+}_2Ti_3O_9$ ) — 1.5, для измененного (лейкоксенизированного) в разной степени ильменита — 1.5–5.0, к собственно лейкоксенам относятся продукты изменения ильменита с  $TiO_2/(FeO + Fe_2O_3) > 5$  [Цимбал, Полканов, 1975; Иоспа, 2012].

По данным исследования на энергодисперсионном спектрометре, проведенного в лаборатории ИГЕМ РАН и определениям значения  $K_v$ , чистые ильмениты в россыпи отсутствуют, 9% минералов ряда ильменит — лейкоксен относится к псевдорутилу, 70% — к ильмениту различных степеней лейкоксенизации, 21% — к лейкоксену и вторичному рутилу, причем примерно половина лейкоксенов была визуально идентифицирована как ильменит. Употребляя далее термин “ильменит” мы будем иметь в виду псевдорутил и измененный лейкоксенизированный ильменит с  $K_v$  менее 5.

Относительное количество конечных продуктов изменения ильменита — лейкоксена и вто-

ричного рутила, увеличивается вверх по разрезу по мере развития гипергенных процессов в системе “промежуточный коллектор” (аллювиально-дельтовый комплекс) — “зона россыпеобразования” (прибрежно-морской комплекс) — “зона переработки россыпи” (эоловые отложения). Также, по данным РФА, увеличивается общее для тяжелой фракции отношение  $Ti/Fe$ : от 2.47 — в аллювиально-дельтовых до 2.55 — в прибрежно-морских и 2.70 — в эоловых отложениях.

Среди лейкоксенов можно выделить разновидности с умеренным содержанием кремнезема — до 2% (53% выборки) и повышенным — до 2–23% (47% выборки).

Строгого соответствия между степенью лейкоксенизации ильменита и морфологией отдельных зерен не наблюдается, тем не менее, в эоловой толще в заметном количестве присутствуют средне и хорошо окатанные зерна лейкоксена. Угловатые, неокатанные и слабоокатанные кристаллы псевдорутила и слабо лейкоксенизированного ильменита наиболее характерны для аллювиально-дельтовых отложений (рис. 9, табл. 4).

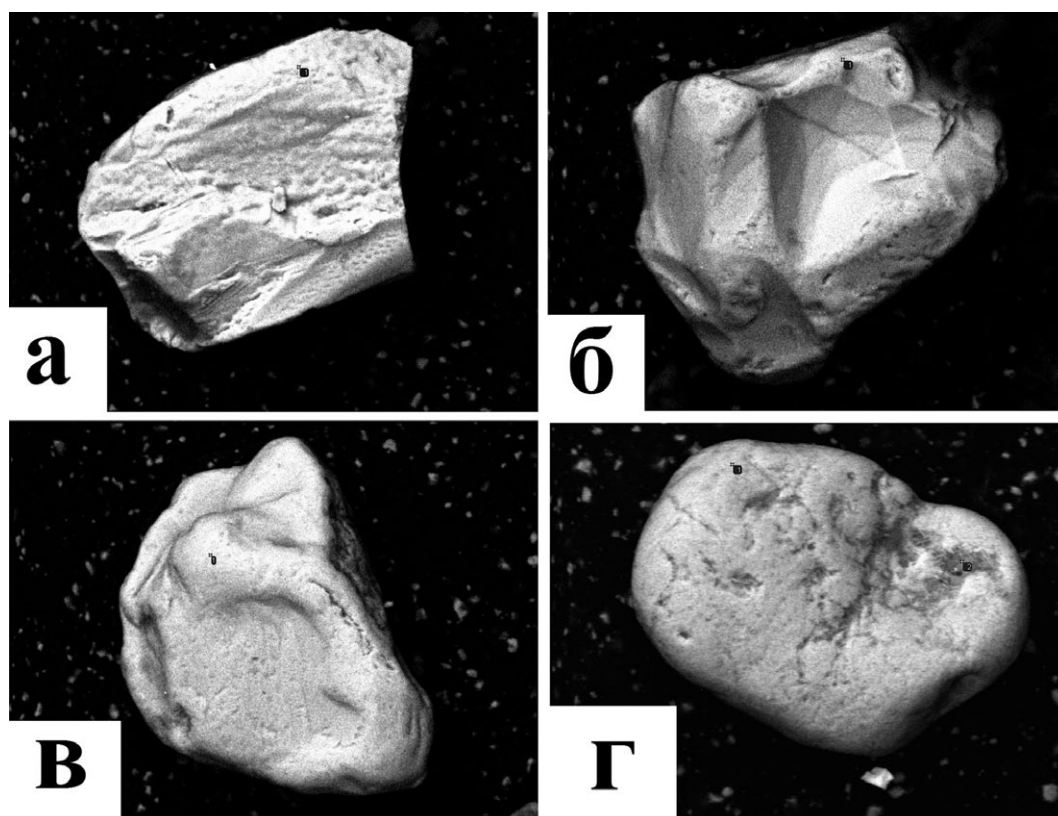
### *Рутил*

Содержание рутила в тяжелой фракции отложений Краснокутской россыпемещающей толщи составляет 22–28% (см. табл. 4). Он представлен преимущественно угловатыми и слабоокатанными обломками кристаллов (около 50% рутилов), идиоморфными слабоокатанными кристаллами преимущественно призматического габитуса (около 30%) и среднеокатанными зернами, слабо сохраняющими свою первичную обломочную или кристаллографическую форму (20%) (рис. 10).

Содержание  $TiO_2$  меняется от 94.1 до 99.3% (в среднем 97.0). В рутиле постоянно присутствуют железо ( $\Sigma Fe$  до 1.74%) и  $SiO_2$  до 1%. Характерными элементами-примесями в рутиле являются ванадий (0.24–0.85%, среднее по 16 опр. — 0.58%) и ниобий (0.05–0.78%, среднее — 0.19%).

### *Циркон*

Содержание циркона в исследованных пробах составляет 18–22% минерального состава



**Рис. 9.** Морфологические типы измененного ильменита — лейкоксена Краснокутской россыпи: угловатый обломок кристалла псевдуртила из аллювиально-дельтовых отложений,  $K_B = 1.67$  (а); среднеокатанные зерна измененного ильменита из прибрежно-морских отложений с  $K_B = 2.7$  (б) и с  $K_B = 4.8$  (в); хорошо окатанные зерна лейкоксена из эоловой толщи,  $K_B = 36.6$  (г).

**Таблица 4.** Изменения степени окатанности и выщелачивания измененного ильменита — лейкоксена в фациальных комплексах Краснокутской россыпи

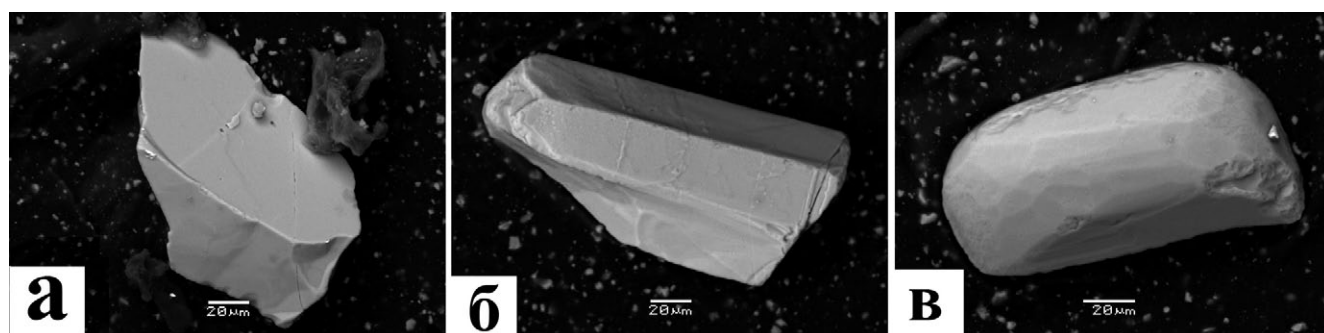
		Фациальные комплексы		
		аллювиально-дельтовый	прибрежно-морской	эоловый
Коэффициент окатанности		1.8	1.9	2.1
TiO <sub>2</sub> (%)	мин-макс	59.2–96.3	62.4–95.7	59.9–89.8
	среднее	71.2	72.1	73.0
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	мин-макс	3.10–36.0	2.54–29.5	1.25–35.4
	среднее	20.6	20.8	20.4
$K_B$	мин-макс	1.6–31.1	2.2–37.6	1.7–63.2
	среднее	7.3	8.0	10.5
Количество анализов		24	20	22

Примечание. Коэффициент окатанности рассчитан по пятибалльной шкале от 0 (неокатанные) до 5 (идеально окатанные).

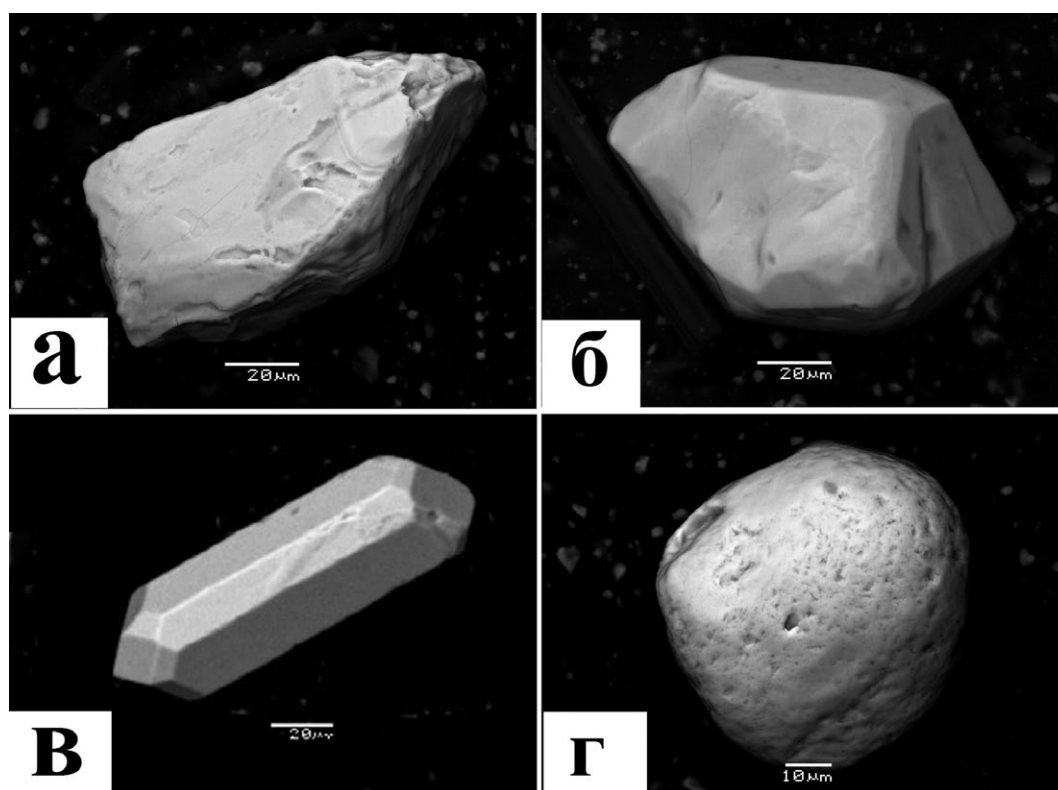
тяжелой фракции. Преобладают призматические и удлиненно-призматические зерна циркона средней степени окатанности, с коэффициентом удлинения (КУ) 1.5–2.9 (48%), 16% цирконов представлены изометричными зер-

нами, 13% — удлиненными игольчатыми формами, 23% — осколками кристаллов различной степени окатанности. Около 45% идиоморфных зерен и обломков кристаллов имеют низкую степень окатанности, что может косвенно ука-





**Рис. 10.** Морфологические типы зерен рутила Краснокутского метеорождения: угловатые слабоокатанные обломки кристаллов (а), идиоморфные слабоокатанные кристаллы преимущественно призматического габитуса (б), среднеокатанные зерна (в).



**Рис. 11.** Морфология зерен циркона. Слабоокатанные обломки (а), идиоморфные изометричные слабоокатанные зерна (б), удлиненные призматические зерна (в), хорошо окатанные обломки и идиоморфные кристаллы (г).

зывать на относительную близость источника и умеренную гидродинамическую активность среды транспортировки и россыпеобразования. Предположительно источником этих цирконов является область Воронежского массива. Зерна циркона средней степени окатанности (40%) и изометричные зерна высокой степени окатанности (15%) имеют более длительную историю транспортировки и переотложения (рис. 11).

Из элементов-примесей в цирконе встречаются: гафний — 0.77%, стронций — 0.38%, то-

рий — 0.13%, гадолиний — 0.1%, тербий — 0.1%, церий — 0.095%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краснокутская редкометалльно-титановая россыпь входит в группу месторождений южного фланга Восточно-Европейской россыпной мегапровинции, к которой относится крупнейшая Сомотканская (Малышевская) россыпь — главный источник титанового и циркониевого

сырья бывшего СССР и стран СНГ. Исчерпание запасов Саянско-Камчатской россыпи делает актуальным исследование других перспективных россыпей этого региона, в том числе и Краснокутской.

Как и другие аналогичные месторождения юга Восточно-Европейской платформы, месторождение относится к миоценовой эпохе россыпеобразования. Формирование россыпи связано с фазами стабилизации береговой линии на регрессивном этапе существования бассейна Субпаратетиса, что определило характерное ступенеобразное строение рудного тела. На фоне общей повышенной металлоносности бассейна, промышленные шлиховые концентрации тяжелых минералов локализовались на участках нарушения монотонности вдоль берегового переноса обломочного материала. Такими участками могли служить аллювиально-дельтовые комплексы, обеспечивавшие регулярное поступление металлоносного материала в зону прибрежно-морского обогащения и служившие структурно-седиментационными ловушками россыпей.

Анализ площадного распределения усредненного содержания полезных компонентов и особенностей распределения их удельных запасов на базе цифрового структурно-литологического моделирования позволил дать оценку промышленной значимости россыпи, выделить первоочередные участки отработки и рекомендовать этот метод для применения на аналогичных объектах.

В минеральном составе Краснокутской россыпи выделяются две ассоциации: дальнеприносная, характеризующая общую металлоносность провинции и поступающая в россыпь через систему промежуточных коллекторов (30–50% тяжелых минералов), и ближнего сноса, связанная, скорее всего, с кристаллическими породами Воронежского массива (50–70%). Гипергенные изменения наиболее отчетливо проявлены в минералах группы ильменит — лейкоксен. Дальнейшие результаты изучения типоморфизма основных рудных минералов Краснокутского месторождения позволяют детализировать модель россыпеобразования на данном участке, оценить стадийность осадконакопления и типы питающих провинций, что даст возможность прогнозировать не только россыпную металлоносность региона, но и минералого-технологические свойства выявляемых россыпей.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке российско-украинских грантов РФФИ № 12-05-90413-Укр\_а и 14-05-90420 Укр\_а (руководитель — академик Н.П. Лавёров), а также гранта РФФИ 18-05-00113 (руководитель — д.г.-м.н. А.В. Лаломов) и программы ФНИ № 0136-2018-0020.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас “Геология и полезные ископаемые Украины”. Масштаб 1:5000000 / Под ред. Л.С. Галецкого. Киев: НАН Украины, Министерство экологии и природных ресурсов, 2001. 168 с. (Атлас “Геологія і корисні копалини України”. Масштаб 1:5000000 / Під ред. Л.С. Галецького. Київ: НАН України, Міністерство екології та природних ресурсів, 2001. 168 с.)

Зосимович В.Ю., Куличенко В.Г., Савронь Э.Б. Субпаратетис Восточной Европы // Геол. журнал. 1989. № 6(249). С. 95-97.

Иоспа А.В. Лейкоксенизированный ильменит титано-циркониевых россыпей // Молодой ученый. 2012. № 3. С. 156-159.

Кравченко Е.А. Литостратиграфические расчленения отложений новопетровской свиты на площади Краснокутского месторождения титан-циркониевых руд // Тектоника и стратиграфия. 2015. Вып. 42. С. 90-96. (Кравченко О.А. Літостратиграфічне розчленування відкладів новопетрівської свити на площі Краснокутського родовища титано-цирконієвих руд // Тектоніка і стратиграфія. 2015. Випуск 42. С. 90-96).

Кравченко Е.А. Структурно-литологическая геолого-генетическая модель Краснокутского месторождения титан-циркониевых руд / Автореф. дисс. ... кандидата геол. наук: специальность 04.00.21. — “Литология”. Киев: НАНУ, 2016. 20 с. (Кравченко О.А. Структурно-літологічна геолого-генетична модель Краснокутського родовища титано-цирконієвих руд / Автореф. ... наук. ступеня канд. геол.н.: спеціальність 04.00.21. — “Літологія”. Київ: НАНУ, 2016. 20 с.)

Кравченко Е.А., Хрущев Д.П. Моделирование титан-циркониевых россыпей на примере Краснокутского месторождения // Сборник научных трудов Украинского государственного геологоразведочного института. 2015. № 3. С. 104-115. (Кравченко О.А., Хрущев Д.П. Моделювання титан-цирконієвих розсипів на прикладі Краснокутського родовища // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. 2015. № 3. С. 104-115).

Лаверов Н.П., Гожик П.Ф., Хрущев Д.П. и др. Цифровое структурно-литологическое геолого-динамическое моделирование месторождений тяжелых минералов. Киев, М.: Институт геологических наук НАНУ, 2014. 236 с.

Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М. и др. Литолого-фациальное районирование и титан-циркониевая

металлоносность Мансийской и Северо-Сосьвинской площадей Зауральского россыпного района // Литология и полез. ископаемые. 2010. № 4. С. 370-382.

Лаломов А. В., Таболич С. Э. Локальные геолого-динамические факторы формирования комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых минералов. М.: ГЕОС, 2013. 224 с.

Левченко Е. Н. Научно-методическое обоснование минерально-технологической оценки редкометалльно-титановых россыпей / Автореф. дисс. ... доктора геол.-мин. наук. М.: ВИМС, 2011. 49 с.

Патык-Кара Н. Г. Минерагения россыпей: типы россыпных провинций. М.: ИГЕМ РАН, 2008. 528 с.

Романов И. С. Геология и условия образования циркониево-титановых россыпей Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Наукова думка, 1976. 174 с.

Титановые и титано-циркониевые россыпи Украинской ССР. Киев: Академия наук УССР, Министерство геологии УССР, 1967. 710 с.

Цымбал С. Н., Полканов Ю. А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.

Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

## STRUCTURAL-LITHOLOGICAL GEOLOGICAL-GENETIC MODEL AND MINERAL COMPOSITION OF KRASNOKUTSKAYA RARE-METAL-TITANIUM PLACER DEPOSITS (UKRAINE)

E. A. Ganja<sup>1, \*</sup>, A. V. Lalomov<sup>2,3, \*\*</sup>, A. V. Chefranova<sup>2</sup>, A. V. Grigor'eva<sup>2</sup>, L. O. Magazina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine,  
O. Honchar str. 55 b, Kyiv, 01054 Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry,  
Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi per. 35, Moscow, 119017 Russia

<sup>3</sup> Perm State National Research University,  
Bukireva str. 15, Perm, 614990 Russia

\*E-mail: oag2909@gmail.com

\*\*E-mail: lalomov@mail.ru

Received July 27, 2018

The conditions of the occurrence, structure, material composition and controlling factors of Krasnokutsky rare-metal-titanium placer deposit localized in the Miocene sediments of the North-Eastern slope of the Dnieper-Donets basin are investigated. Distinguished lithofacies complexes (alluvial-deltaic, coastal and shallow marine, aeolian) correspond to the Lower (Aquitanian), Middle (Burdigalian) and Upper (Langhian) members of Novopetrovskaya Formation of Miocene. Placer bodies are localized in the littoral marine-coastal complexes of Middle Novopetrovskaya subformation. Placer-forming process is related to phases of stabilization of the shoreline of the regressive phase of the Sub-Paratetic basin. Main search and forecasting criteria for the identification of promising sites within the Kharkiv-Sumy placer-bearing zone are stabilization of the shoreline in the Middle Novopetrovskaya time simultaneously with development of transverse thereto alluvial-deltaic structures that supply weak mineralized sediments. Also, the deltaic ledge breaking the monotony coastal migration and playing the role of structural-sedimentary traps. The developed digital structural-lithological model of the Krasnokutskoye mineral deposit allows us to offer a set of criteria for comparative evaluation of different placer-bearing areas in order to determine the order of their development. The mineral composition of productive deposits is typical for the placers of the region and for rare-metal-titanium placers as a whole; the increased content of rutile and zircon, which rise the industrial value of placers of this zone, are associated with the influence of crystalline rocks of the Voronezh massif.

**Keywords:** placers, ilmenite, zircon, Subparathetis.

DOI: 10.31857/S0024-497X20196540-556