

## ЛИТОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ ПЕСКОВ ПРОЯВЛЕНИЯ КАМБУЛАТ (СТАВРОПОЛЬСКИЙ РОССЫПНОЙ РАЙОН)

С. В. Бондаренко, А. С. Коротких, А. И. Трегуб

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2011 г.

**Аннотация.** Повышение извлекаемости полезных компонентов из россыпей при получении титан-циркониевого концентрата является важнейшей актуальной проблемой не только при промышленном освоении на стадии подсчета запасов, так как «заниженные запасы» приводят к снижению стоимости лицензий на отработку россыпных объектов, а следовательно, к неэффективному пополнению государственного бюджета. Важнейшим фактором, определяющим значительные потери при получении черного концентрата, является существенно алевритовый состав продуктивных гранулометрических классов крупнейших россыпных объектов России. В статье приведены предварительные результаты по литологии, минералогии и технологическим свойствам рудных песков проявления Камбулат. Полученные результаты рекомендуется использовать при разработке схем получения черного концентрата как на стадии подсчета запасов, так и при промышленном освоении.

**Ключевые слова:** Ставропольский россыпной район, титан-циркониевые россыпи, технология обогащения, природные ресурсы

**Abstract.** Increasing the recoverability of mineral components of the placers in obtaining a titanium-zirconium concentrate is an important topical issue not only for industrial development at the stage of calculating the reserves as “depressed stocks” lead to a reduction in the cost of licenses for practicing alluvial sites, and consequently to an inefficient replenishment of the state budget. The most important factor in determining a significant loss in obtaining the rough concentrate is an essential part of productive silt grain-size classes of the largest alluvial sites in Russia. The paper presents preliminary results on the lithology, mineralogy and technological properties of ore sand area Kambulat. The results obtained are recommended for use in the development of schemes for the rough concentrate both on the stage of calculating the reserves, and in industrial development.

**Key words:** Stavropol placer region, titan-zirconium placer, technology enrichment, natural resources

### Введение

Повышение извлекаемости полезных компонентов из россыпей при получении титан-циркониевого концентрата является важнейшей актуальной проблемой федерального значения [1–8]. При изучении поведения россыпеобразующих минералов, прежде всего циркона, работами последних лет [9, 10] установлено, что значительная часть считавшегося ранее крайне устойчивого в гипергенных условиях циркона гидратируется и переходит в циртолит, который обладает меньшим удельным весом и меньшей механической прочностью. Недочет этого явления приводит к существенным потерям полезных компонентов в процессе получения титан-циркониевого концентрата. Вторым важнейшим фактором, определяющим значительные потери при получении черно-

вого концентрата, является существенно алевритовый состав продуктивных гранулометрических классов крупнейших россыпных объектов России. При размерности рудных компонентов менее 0,05 мм даже сверхтяжелые минералы, такие как золото и платиноиды, в больших количествах уходят в хвосты. Выявленные особенности обуславливают необходимость оптимизации способов обогащения, направленную на повышения выхода полезных компонентов, что является актуальной проблемой не только при промышленном освоении на стадии подсчета запасов, так как «заниженные запасы» приводят к снижению стоимости лицензий на отработку россыпных объектов, а следовательно к неэффективному пополнению государственного бюджета.

Изучение технологических свойств рудных песков для получения высокого выхода полезных компонентов проведено на примере извлече-

ния черного концентрата из песков проявления Камбулат, которое относится к Ставропольскому россыпному району. Ставропольский россыпной район в целом с общими ресурсами титан-циркониевых песков более 1,2 млрд м<sup>3</sup> являются надежной сырьевой базой для создания крупного горно-промышленного центра по многопрофильному производству высоколиквидной титановой и циркониевой товарной продукции [2, 11–13]. Россыпной участок Камбулат площадью около 100 км<sup>2</sup>, расположенный на территории Туркменского муниципального района Ставропольского края, выделен при поисково-оценочных работах ОАО «Кольцовгеология», выполняемых с 2008 г.

### **Литология рудных песков проявления Камбулат**

Литология песков проявления Камбулат была изучена по одному из пересечений в центральной части участка по канаве № 3, которой вскрыт продуктивный горизонт мощностью 4,5 м, а также надрудные и подрудные пески (рис. 1). Песок светло-серый в верхней части и светло-желтый в нижней части разреза, тонко-, мелкозернистый, горизонтально-, косо-, мульдобразнослоистый, с включением естественного шлиха в массе породы и более концентрированного в горизонтальных прослоях, подчеркивающих косо- и мульдобразную слоистость вмещающих песков.

Учитывая преобладающий тонко-, мелкозернистый состав продуктивных песков, а также значительное количество алевритового (< 0,05 мм) компонента, изучение рудных песков и выделение черного концентрата с целью последующей оптимизации технологии извлечения проводилось по методике, исключающей даже минимальные потери тяжелых минералов. Методика выделения включала: 1) взвешивание до и после квартовки; 2) квартовку; 3) мокрую расситовку по семи классам; 4) сушку; 5) взвешивание по классам; 6) деление в бромформе по классам без предварительного обогащения; 7) промывку в спирте; 8) сушку черного концентрата; 9) взвешивание тяжелой фракции – черного концентрата; 10) количественный минералогический анализ.

По данным полученным при проведении гранулометрического анализа построены кривые распределения (рис. 1) и кумулятивные кривые (рис. 2). Характер распределения гранулометрических классов по разрезу в целом неравномерный. Верхняя и нижняя части разреза (пробы 21-3-0; 21-3-8, а также проба 21-3-6) отличаются

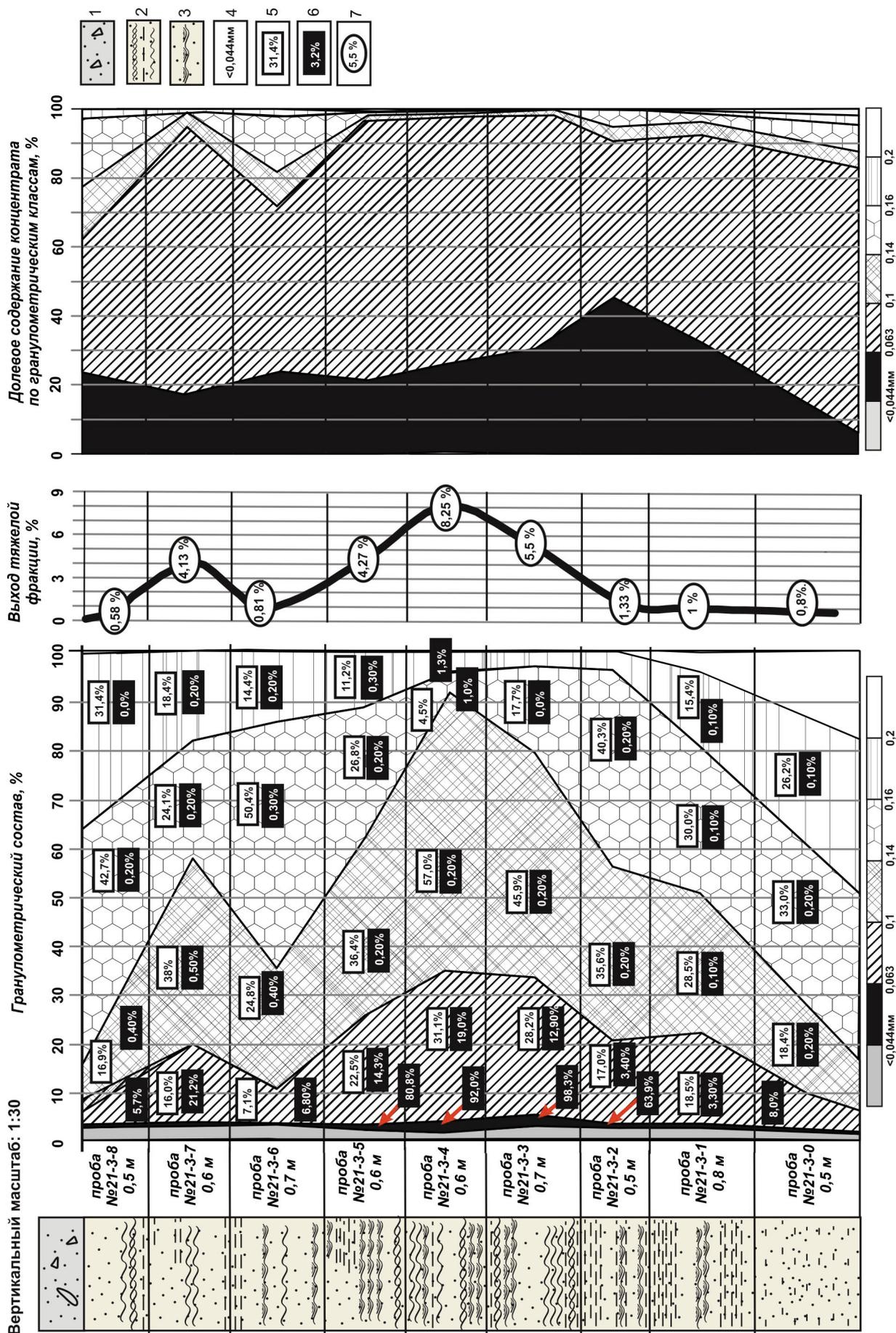
от средней части (продуктивный горизонт, пробы 21-3-1 – 21-3-7) преобладанием фракций +0,2 мм; -0,2+0,16 мм; -0,16+0,14 мм. Для центральной части разреза характерен сдвиг в сторону более мелких фракций, с максимальным преобладанием гранулометрического класса -0,14+0,1 мм в пробе 21-3-4 (57 %), где более крупные классы практически отсутствуют. Второй явно выраженный пик класса -0,14+0,1 мм соответствует пробе 21-3-7 (38 %). Аналогичная закономерность прослеживается и на кумулятивных кривых (рис. 2).

Вероятно, данный характер распределения гранулометрических классов объясняется формированием линз, в соответствии с гидродинамическими условиями обогащенных более тонкими фракциями, по разрезу. Пески хорошо сортированы (коэффициент сортировки  $S_o = 1,05–1,1$ ).

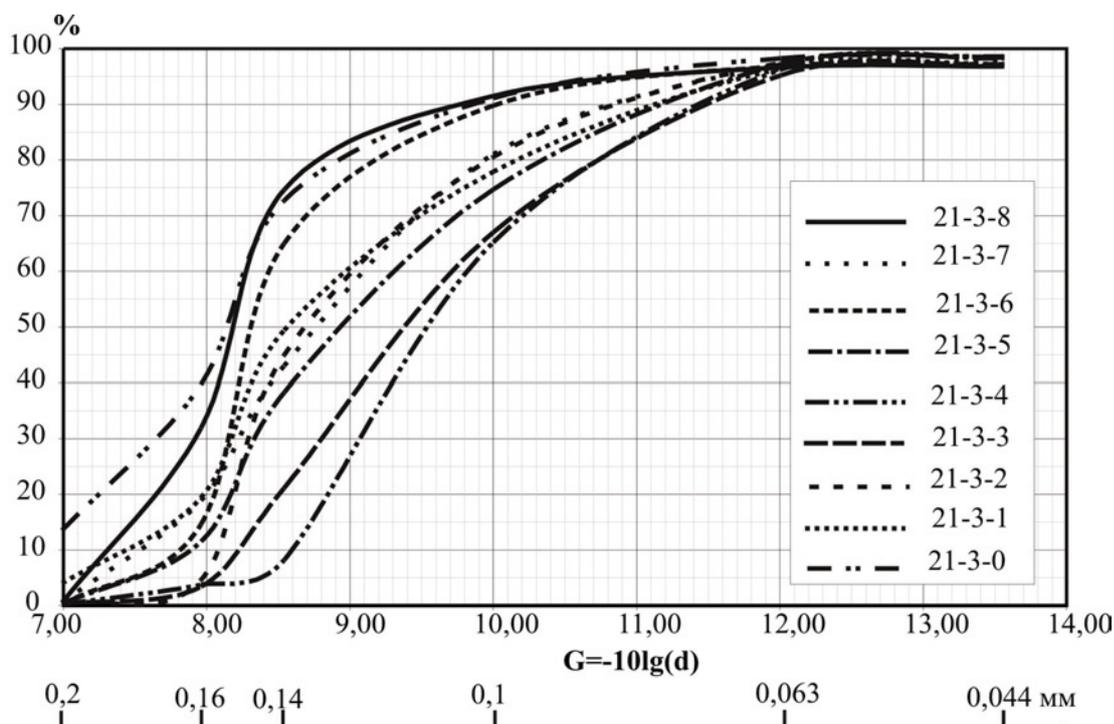
Анализ распределения рудных минералов относительно семи гранулометрических классов: 1) +0,2; 2) -0,2+0,16; 3) -0,16+0,14; 4) -0,14+0,1; 5) -0,1+0,063; 6) -0,063+0,044; 7) -0,044 показал, что в рудном пласте (7 проб с 21-3/1 по 21-3/7) основная часть рудных компонентов (96–98 %) в виде черного концентрата находится в пятом (-0,1+0,063) и шестом (-0,063+0,044) гранулометрических классах, на долю которых приходится от 5 до 35 весовых % (рис. 1). Среднее содержание черного концентрата на всю опробованную мощность (5,5 м) составляет 51,814 кг/м<sup>3</sup>, а на рудный пласт (4,5 м) 62,382 кг/м<sup>3</sup>, среднее содержание в наиболее продуктивной части рудного пласта (2,4 м) 115,389 кг/м<sup>3</sup>.

Минералогический анализ тяжелой фракции проб по гранулометрическим классам показал, что основная доля приходится на минералы: ильменит (20–55 %), рутил (5–18 %), сфен (5–10 %), лейкоксен (5–15 %), циркон (5–21 %), дистен (10–55 %), турмалин (до 5 %).

Главные рудные минералы проявления Камбулат имеют следующие типоморфные признаки. Ильменит представлен двумя типами зерен: 1) угловатые неправильной формы, слабо окатанные, часто уплощенные; 2) округлые, хорошо окатанные (около 10 % от основной массы ильменита). В основном агрегаты черного цвета, но за счет процесса лейкоксенизации ильменит приобретает буроватый оттенок. Зерна рутила имеют вытянутую форму, реже представлен не окатанными обломками неправильной формы, цвет варьируется от красноватого до оранжево-желтого, зерна полупрозрачные, имеют стеклянный блеск. Циркон проявления Камбулат представлен в большей час-



**Рис. 1.** Кривые распределения гранулометрических классов и тяжелой фракции в рудных песках проявления Камбулат: 1 – делювий, представленный песком с многочисленными обломками песчаников и суглинков, мощность от 0,2 м до 1,5 м и более; 2 – песок светло-серый в верхней части и светло-желтый в нижней части канавы, тонко-мелкозернистый, горизонтально-, косо-, мульдобразнослоистый. Вскрытая мощность слоя 5,2 м; 3 – песок аналогичный с включением естественного шлиха в массу породы и более концентрированного в горизонтальных прослоях, подчеркивающих косо- и мульдобразную слоистость вмещающих песков. Вскрытая мощность рудного пласта 5,2 м; 4 – гранулометрические классы (-0,044 мм; +0,044-0,063 мм; +0,063-0,1 мм; +0,1-0,14 мм; +0,14-0,16 мм; +0,16-0,2 мм; +0,2 мм); 5 – процентное содержание фракции в пробе; 6 – выход тяжелой фракции относительно гранулометрической фракции; 7 – содержание тяжелой фракции в пробе



**Рис. 2.** Кумулятивные кривые песков продуктивного участка:  $d$  – конечный диаметр фракции; 21-3-8 – номер пробы

ти окатанными прозрачными зернами розового цвета, реже встречаются обломки кристаллов гиацинтового типа. Доля циртолитизированных разновидностей незначительна и составляет не более 10 % от объема всех цирконов. Лейкоксен характеризуется угловатыми слабо окатанными (реже не окатанными) зернами неправильной формы. Цвет лейкоксена меняется от коричневого до практически белого. Поверхность лейкоксена гладкая, участками корродированная, коричневые агрегаты имеют металлический блеск, белые – матовый. Дистен наблюдается в виде удлиненных прозрачных с слегка голубоватым оттенком призматических зерен (слабо окатанные).

Соотношение главных рудных минералов вне зависимости от гранулометрических классов относительно постоянно, за исключением дистена, содержание которого в более тонких фракциях (-0,1+0,044 мм) меньше 15 % и увеличивается до 25–35 % в более крупной фракции (-0,16+0,1 мм),

циркона (до 21 %), максимальное количество которого отмечается в классе -0,063+0,044 мм и ильменита, содержание которого прямо пропорционально содержанию дистена – 45 % в гранулометрическом классе -0,063+0,044 (рис. 3).

Таким образом, гранулометрический и минералогический анализы рудных песков проявления Камбулат показали следующее: 1) характер распределения гранулометрических классов по разрезу неравномерен и говорит о смене гидродинамического режима формирования толщи рудных песков от более активного в подрудной части продуктивного горизонта к менее активному в рудном пласте и снова к более активному в его надрудной части; 2) анализ среднего минерального состава тяжелой фракции показал, что относительная доля ильменита во фракциях -0,063+0,044 мм и -0,1+0,063 мм содержится в одинаковых количествах (около 44 %) объема зерен ильменита (выше, чем во всей фракции – 44,2 %); в то время как

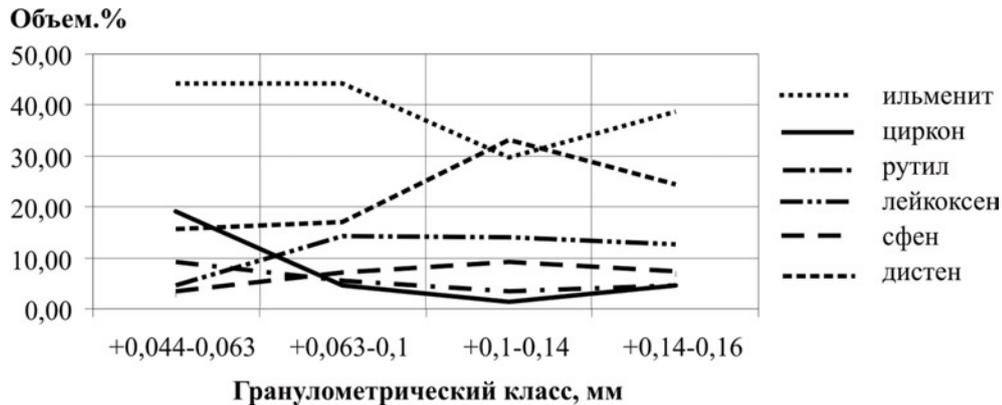


Рис. 3. Средний минеральный состав тяжелой фракции (канавка 3, участок Камбулат)

19,1 % зерен циркона сосредоточен в более тонком классе (в четыре раза больше, чем во фракции  $-0,1+0,063$  мм) и тоже касается и рутила – в классе  $-0,063+0,044$  мм 9,2 %, 5,4 % в  $-0,1+0,063$  мм; 3) от 60 до 98 % тяжелой фракции содержится в классах  $-0,1+0,044$  мм, причем доля тяжелой фракции в «рудных классах» меняется от 20–45 % ( $-0,063+0,044$  мм) до 60–80 % ( $-0,1+0,063$  мм), в сумме достигая 98 %; 4) типоморфные признаки рудных минералов (преимущественно угловатые не окатанные или слабо окатанные зерна) свидетельствуют об относительно близком источнике сноса материала и накоплении при относительно слабыми волновыми колебательными движениями среды, на что также указывает наличие мультислойности.

### Технологические особенности рудных песков

Применяемые в настоящее время технологии по обогащению титан-циркониевого концентрата из россыпных месторождений были разработаны более сорока лет назад [14–21]. Они рассчитаны на извлечение указанных полезных компонентов из фракций песков крупнее 0,074 мм. Исходя из этого рассчитывались, главным образом, и запасы титан-циркониевого сырья, а содержания рудных минералов в тонких фракциях не учитывались. В этой связи понятие «извлекаемый запас» применительно к россыпным объектам, прошедшим ГКЗ, автоматически выводит из подсчета более мелкие фракции. Технология извлечения полезных компонентов при получении чернового концентрата далека от совершенства и требует дальнейших исследований. С этой целью были осуществлены предпосылки разработки технологии извлечения полезных компонентов из тонких фракций. Для чего был изучен характер влияния скорости восходящего потока воды на особенности концент-

рации полезных компонентов и гранулометрических классов.

Общий принцип, лежащий в предлагаемой технологии, базируется на законе Стока, согласно которому, что скорость падения ( $U$ ) сферической частицы имеет непосредственное отношение к ее диаметру ( $d$ ). Эта связь выражается уравнением:  $d^2=18\eta U / (\rho - \rho')g$ , где  $\eta$  – вязкость жидкости,  $\rho'$  – удельный вес жидкости,  $\rho$  – удельный вес сферической частицы,  $g$  – ускорение силы тяжести [18]. Предлагаемая технология выделения чернового концентрата из тонких фракций за счет изменения скорости восходящего потока воды имеет большое преимущество над выделением рудных компонентов на концентрационном столе, где тонкая фракция практически не улавливается.

При проведении эксперимента было учтено, что значительная часть рудного компонента сосредоточена в гранулометрических классах  $-0,1+0,063$  мм и  $-0,063+0,045$  мм, а тяжелые минералы обладают близким удельным весом ( $3,8-4,5$  г/см<sup>3</sup>); температура постоянная (т.к. при поднятии или падении температуры вода на 1°С вязкость воды увеличивается на 2 % [18]). Рудные пески (навеска 50 гр., проба 21-3-3) исследовались в приборе, представляющем собой колонну, состоящую из трех цилиндров разного диаметра. К нижней части колонны (цилиндр наименьшего диаметра) подводится вода с регулируемым расходом. В сопряженных цилиндрах создаются условия с различной скоростью восходящего водного потока, позволяющего произвести классификацию по гранулометрическому составу, а также определить качественный и количественный состав чернового концентрата. В верхних частях каждого из цилиндров находятся трубки для стока. В процессе эксперимента изучались сливы со следующими скоростями восходящего потока:

0,4, 0,6, 0,69, 0,75, 1,0, 1,41 см/сек (соответственно 1, 2, 3, 4, 5 и 6 сливы). В результате эксперимента установлено, что при различных скоростях восходящего потока меняется не только гранулометрический состав, но и качественная сторона черного концентрата. Экспозиция промывки осуществлялась до полной гранулометрической дифференциации в течение от 10 до 25 минут.

Дифференциация продуктивного песка (первоначальная навеска составила 50 гр.) происходила на следующие составляющие части. При скорости 0,4 см/сек в слив удаляется 1,6 %, при скорости 0,6 см/сек около 16 %, при скорости 0,69 см/сек – ~ 20 %, при скорости 0,75 см/сек – ~ 28 %, при 1,0 см/сек – ~ 27 % и при скорости 1,41 см/сек – чуть более 6 %. При этом в каждом сливе закономерно меняется гранулометрический состав (рис. 4).

В 1 сливе (скорость восходящего потока 0,4 см/сек) отсутствуют фракции +0,14 и +0,1. Доминирующей фракцией (~ 78%) является -0,1+0,063, при этом на фракцию -0,063 - +0,045 приходится 15 %, а на фракцию -0,045 чуть более 7 %.

Во 2 сливе (скорость восходящего потока 0,6 см/сек) появляется фракция -0,14+0,1 (более 5 %), на долю фракции -0,1+0,063 приходится более 81 %, -0,063+0,045 – более 3 %, при этом содержание фракции -0,045 заметно уменьшается (~0,25 %).

В 3 сливе (скорость восходящего потока 0,69 см/сек) наблюдается заметное увеличение более грубой фракции -0,14+0,1 до 50 %, содержание фракции -0,1+0,063 уменьшается до 47 %, -0,063+0,045 ~ до 2 % и -0,045 до 0,19 %.

В 4 сливе (скорость восходящего потока 0,75 см/сек) большая часть черного концентрата приходится на фракцию +0,1 – более 83 %, на фракцию -0,1+0,063 – всего ~ 15 %, на фракцию -0,063+0,045 – менее 1 % и на фракцию -0,045- 0,14 %.

В 5 сливе (скорость восходящего потока 1,0 см/сек) появляется самая грубая фракция +0,14. Ее содержание составляет ~7 %. На долю фракции -0,14+0,1 приходится более 87 %, а на фракцию -0,1+0,063 – чуть более 4 %.

В последнем, 6 сливе (скорость восходящего потока 1,41 см/сек) увеличивается содержание фракции +0,14 до ~18 %, содержание фракции -0,14+0,1 незначительно уменьшается ~ до 82 %.

Важнейшей стороной дифференциации в восходящем водном потоке является качественное изменение черного концентрата. Так, если на его долю приходится около 5 % от общего веса пробы (50 гр.), то распределение в зависимости от скорости восходящего потока черного концентрата в соответствующих сливах следующее: 1 слив – 4,04 %; 2 слив – 17,75 %; 3 слив – 24,2 %; 4 слив – 24,4 %; 5 слив– 18,15 % и 6 слив – 8,46 %.

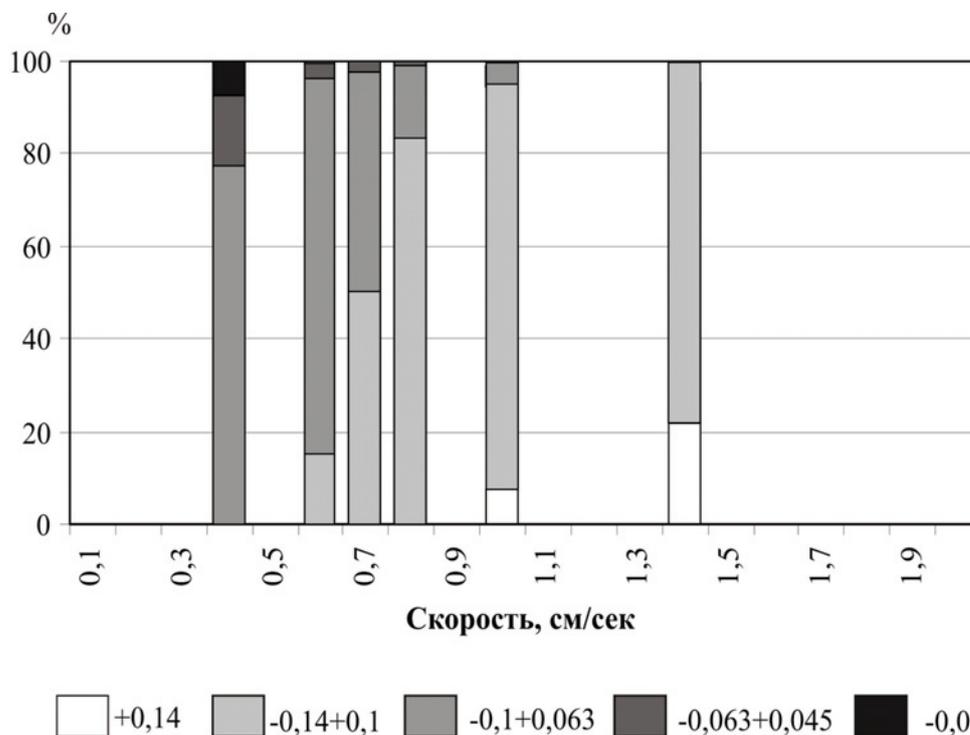


Рис. 4. Влияние скорости восходящего потока на распределение гранулометрических классов (продуктивный горизонт, проявление Камбулат): -0,14+0,1 – размерность фракции

В черновом концентрате каждого из сливов можно проследить закономерность распределения минералов, выраженную в заметном увеличении содержания циркона и рутила в сливах с наиболее мягким режимом. Циркон в рудной части проявления Камбулат чаще всего представлен окатанными зернами розового цвета. Преобладание такого циркона характерно для сливов, проводимых при небольших скоростях. При увеличении скорости наблюдается появление прозрачного циркона.

Для изучения сливов песков надрудной части (проба 21-3-8) проявления Камбулат применялись те же скорости восходящего потока, что и для исследования сливов песков рудной части: 0,4; 0,6; 0,69; 0,75; 1,0 и 1,41 см/сек. Распределение гранулометрических классов можно проследить на рис. 5. Оно значительно отличается от картины распределения в рудной части проявления Камбулат (рис. 4).

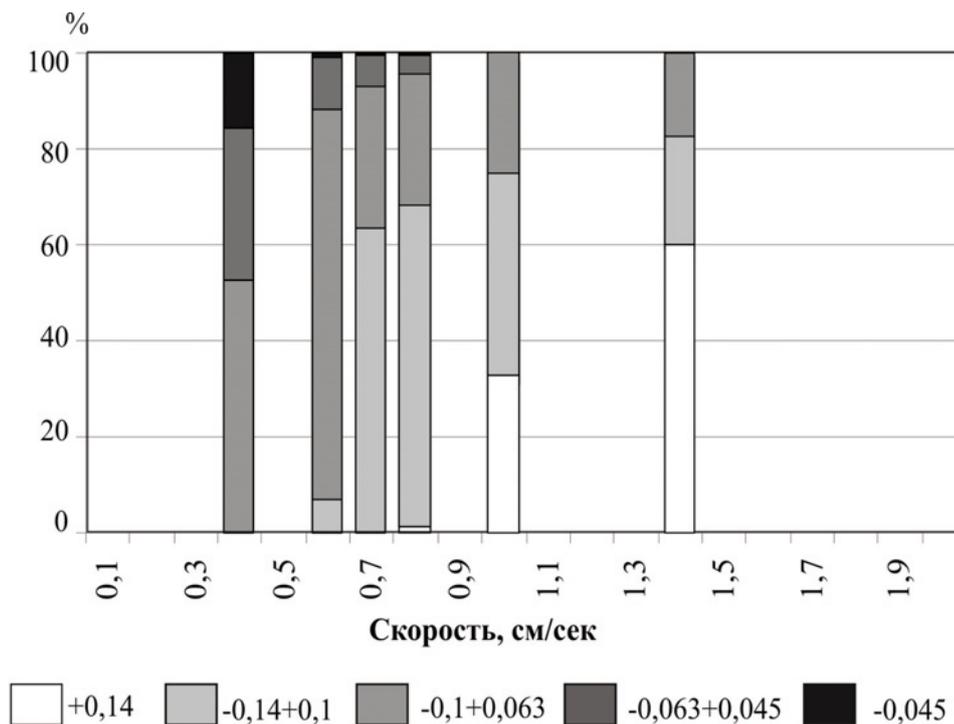


Рис. 5. Влияние скорости восходящего потока на распределение гранулометрических классов (надрудные пески, проявление Камбулат)

В 1 сливе более 50 % приходится на долю фракции  $-0,1+0,063$ . Дальше, 31,5 % занимает фракция  $-0,063+0,045$  и чуть более 15 % фракция  $-0,045$ .

Во 2 сливе появляется фракция  $+0,1$  (~7 %). Доминирующую позицию занимает фракция  $-0,1+0,063$  – 81,5 %. 10,5 % занимает фракция  $-0,063+0,045$  и примерно 1 % фракция  $-0,045$ .

Дальше закономерно увеличивается процентное содержание более крупных фракций. Так, в 3 сливе, содержание фракции  $+0,1$  увеличивается ~ до 63 %, а фракций  $-0,1+0,063$ ,  $-0,063+0,045$  и  $-0,045$  уменьшается соответственно до ~29 %, 6 % и до 0,6 %. В 4 сливе наблюдается появление фракции  $+0,14$  (~1,5 %). Дальнейшее распределение произошло следующим образом:  $0,14-0,1$  – чуть более 66 %,  $-0,1+0,063$  – ~27 %,  $-0,063+0,045$  – ~4 %,  $-0,045$  – 0,5 %. В 5 сливе содержание следующее:

$+0,14$  – более 30 %,  $-0,14+0,1$  – 42 %,  $-0,1+0,063$  ~ 25 %. В 6 сливе содержание фракции  $+0,14$  достигает более 57 %, а содержание фракции  $-0,14+0,1$  уменьшается до 40 %. В отличие от чернового концентрата рудной части, на долю тяжелой фракции в надрудной части приходится 2 %.

Распределение рудных компонентов в зависимости от скорости восходящего потока произошло примерно в равных частях: в 1 сливе – 11 %; во 2 сливе – 14,67 %; в 3 сливе – 12,84 %; в 4 сливе – 19,3 %; в 5 сливе – 19,3 % и в 6 сливе – 24,76 %.

Распределение минералов в тяжелых фракциях показано в табл. 4. Типоморфизм минералов практически не отличается от тех, что наблюдались в черновом концентрате рудной части.

На диаграмме распределения гранулометрических классов в подрудной части (проба 21-3-0)

проявления Камбулат (рис. 6) можно увидеть, что она резко отличается от гистограммы распределения в надрудной части и схожа с гистограммой распределения в рудной части проявления.

В 1 сливе отсутствуют фракции +0,14 и -0,14+0,1; содержание фракции -0,1+0,063 более 64 %, 0,063-0,045 – 23,5 % и -0,045 – ~11 %.

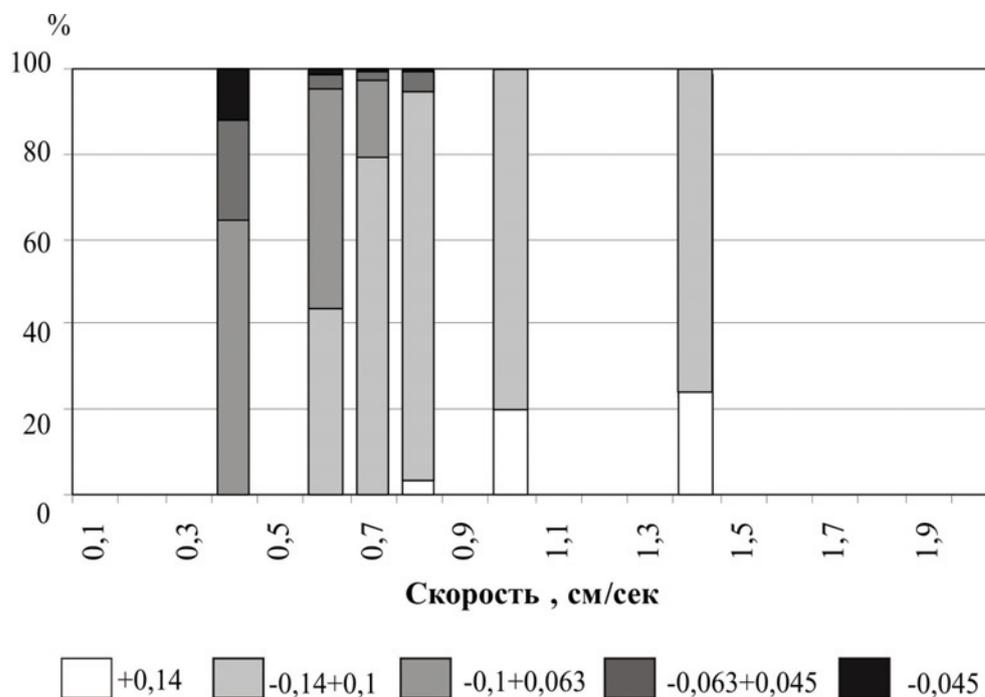


Рис. 6. Влияние скорости восходящего потока на распределение гранулометрических классов (подрудные, проявление Камбулат)

Во 2 сливе наблюдается появление фракции +0,1 и ее содержание достигает более 43 %. Около 52 % приходится на долю фракции -0,1+0,063, ~4 % занимает фракция -0,063+0,045 и чуть более 1 % – фракция -0,045.

В 3 сливе фракция +0,1 достигает значения 79 %, содержание фракции -0,1+0,063 уменьшается до 18 %, фракции -0,063+0,045 примерно до 2 % и фракции -0,045 – до 0,9 %.

В 4 сливе около 4 % занимает фракция +0,14. Доминирующая позиция -90 % у фракции -0,14+0,1, 5 % приходится на фракцию -0,1+0,063, 0,3 % – на фракцию -0,063+0,045 и 0,1 % – на фракцию -0,045.

В 5 и 6 сливах происходит увеличение содержания фракции +0,14 и уменьшение всех остальных. В 5 сливе: +0,14 – ~19 %, -0,14+0,1 – около 80 %, -0,1+0,063 – 1,3 %. В 6 сливе: +0,14 – 23 %, -0,14+0,1 – ~75 %.

Доля тяжелой фракции в подрудной части проявления Камбулат составляет 1,7 % от общего веса (50 гр.) Картина распределения в зависимости от скорости восходящего потока следующая: в 1 сливе черновой концентрат занимает 14,11 %, во

2 сливе ~ 15,3 %, в 3 сливе – 12,95 %, в 4 сливе – 18,93 %, в 5 сливе – 14,11 % и в 6 сливе чуть более 19 %.

Содержание черного концентрата в сливах во всех частях проявления подчиняется одной схеме: при увеличении скорости его содержание уменьшается. Максимум значения зафиксирован при самой низкой скорости (рис. 7).

Изучение технологических свойств рудных песков проявления Камбулат позволило выделить следующие закономерности: 1) при изменении скорости восходящего потока в сторону увеличения происходит закономерное и плавное уменьшение содержания мелких фракций и появление более грубых; 2) появление самых грубых фракций начинается при скорости 0,75 см/сек в подрудной и надрудной части проявления и при скорости 1,0 см/сек в рудной части; 3) процентное соотношение объема слива от общего веса в разных частях проявления различаются: в рудной оно постепенно возрастает с увеличением скорости восходящего потока, а затем резко уменьшается при самой высокой скорости (1,41 см/сек.); в надрудной и подрудной частях, напротив, при высокой

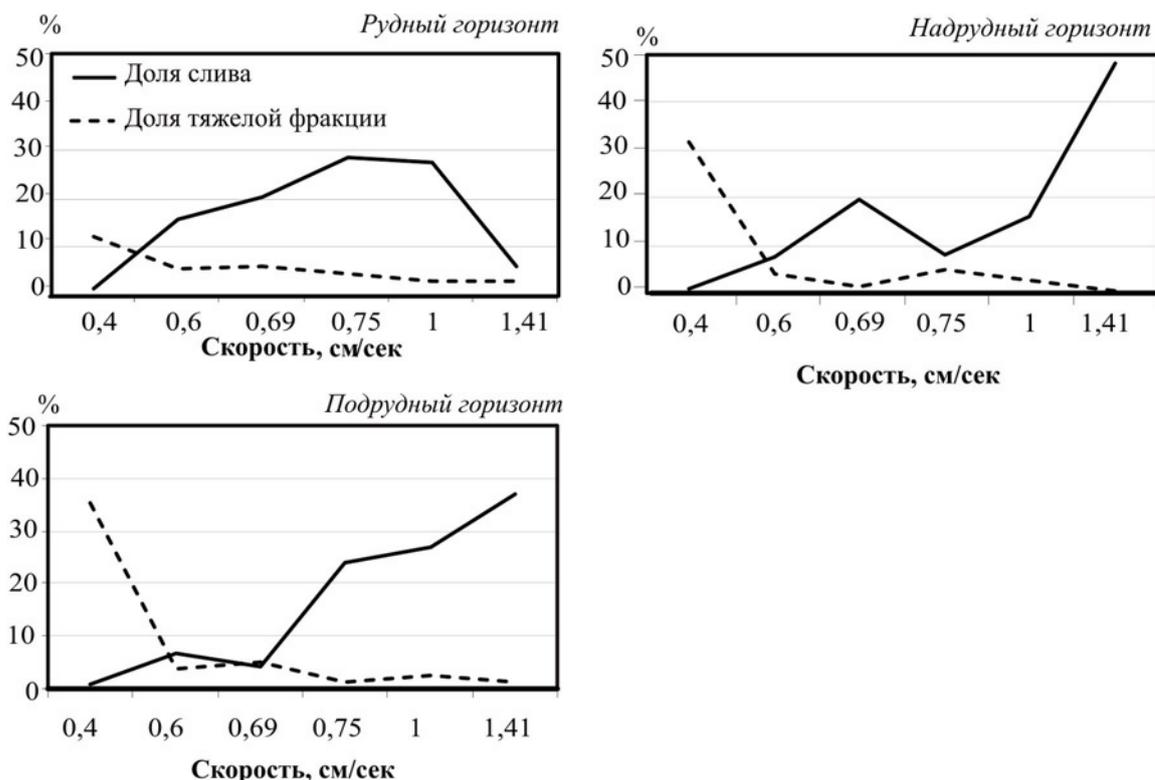


Рис. 7. Доля слива и тяжелой фракции в зависимости от скорости восходящего потока

скорости оно имеет максимальное значение. Важнейшей технологической стороной исследования является дифференциация минерального состава черного концентрата в сторону увеличения наиболее ценных компонентов (рутил, циркон) при более «мягком» режиме обогащения.

### Выводы

Проведенные комплексные исследования рудных песков проявления Камбулат, показали, что породы представлены тонко- мелкозернистым песком, а большая часть титан-циркониевых минералов приурочена к наиболее тонким гранулометрическим классам. Учитывая, что основные полезные компоненты концентрируются в гранулометрических классах  $+0,044-0,063$  и  $-0,1+0,063$  (до 98 % в сумме), а вес, приходящийся на указанные классы колеблется от 5 до 35 % (в наиболее продуктивной части от 20 до 25 %) представляется целесообразным перед обогащением удаление фоновой, безрудной части песков путем гранулометрической классификации с получением рудной части песков менее 0,1 мм. Такая методика позволяет получать более высокий выход черного концентрата на стадии подсчета запасов и обеспечивать более высокую стоимость муниципальных объектов.

На стадии разработки технологических линий, обеспечивающих максимальный выход тяжелой фракции из классов размерности  $-0,063+0,044$  мм предлагается обогащение в восходящем водном потоке с различной скоростью. Для рудных песков проявления Камбулат оптимальным скоростным режимом извлечения черного концентрата является установленная эмпирически скорость 0,4 см/сек.

Полученные результаты рекомендуется использовать при разработке схем получения черного концентрата как на стадии подсчета запасов, так и при промышленном освоении.

*Работа выполнена при финансовой поддержке по проектам № П-1331; № 16.740.11.0188 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы»*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Быховский Л. З. Освоение сырьевой базы титана-актуальная задача горной промышленности / Л. З. Быховский, Л. П. Тигунов, Л. Б. Зубков // Минеральные ресурсы России. – 2001. – № 4. – С. 25–36.
2. Патык-Кара Н. Г. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / Н. Г. Патык-Кара [и др.]. – М. : Научный мир, 1997. – 479 с.

3. *Металиди В. С.* Титан России. Минерально-сырьевая база / В. С. Металиди. – (<http://www.geoproject.com.ua/publ003.html>).
4. Титан: парадоксы и перспективы. (<http://www.gosnedra.com/data/Files/File/637.pdf>).
5. Обзор рынка циркониевого концентрата в СНГ. – М. : Инфо МАЙН, 2008. – 85 с.
6. *Левченко Е. Н.* Влияние вещественного состава на технологические свойства титан-циркониевых россыпей / Е. Н. Левченко // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 11. – С. 60.
7. *Башлыкова Т. В.* Использование новых методов и технологий при изучении комплексных редкометалльных песков / Т. В. Башлыкова [и др.] // Цв. металлы. – 2000. – № 5. – С. 8–12.
8. *Патык-Кара Н. Г.* Минеральные ассоциации титано-циркониевых песков месторождения Центральное (Восточно-Европейская платформа) / Н. Г. Патык-Кара [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 3. – С. 246–270.
9. *Золотарева Г. С.* Типоморфизм и типохимизм минералов титан-циркониевых россыпей Воронежской антеклизы как критерий реконструкции их формирования : автореф. дис. ... канд. г.-м. наук / Г. С. Золотарева. – Воронеж, 2009. – 23 с.
10. *Ненахов В. М.* Изменения типоморфических и типохимических свойств цирконов аксессуарных минеральных ассоциаций в ряду коренной источник – кора выветривания – россыпь / В. М. Ненахов, Г. С. Золотарева // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 2006. – № 2. – С. 141–148.
11. *Веремеева Л. И.* Северный Кавказ – перспективная для освоения титан-циркониевая провинция России / Л. И. Веремеева [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 3. – С. 35–40.
12. *Кременецкий А. А.* Ставропольский россыпной район – база нового социально-экономического проекта по добыче и переработке титанового и циркониевого сырья на Северном Кавказе / А. А. Кременецкий [и др.] // Разведка и охрана недр – 2007. – № 6. – С. 24–32.
13. *Быховский Л. З.* О проекте освоения Бешпагирского комплексного россыпного редкометалльно-титанового месторождения / Л. З. Быховский [и др.]. – (<http://www.avtonews.net/mineralnye-resursy-rossii-ekonomika-i-upravlenie>).
14. *Гурвич С. И.* Древние редкометалльно-титановые россыпи, методы их поисков и оценки / С. И. Гурвич, Л. Н. Казаринов, Н. В. Хмара. – М. : Недра, 1964. – 170 с.
15. *Металлургия редких металлов / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов.* – М. : Metallurgy, 1991. – 432 с.
16. *Шохин В. Н.* Гравитационные методы обогащения / В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин. – М. : Недра, 1993. – 265 с.
17. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения.* – М. : ФГУ ГКЗ, 2007. – 66 с.
18. *Мильнер Г. Б.* Петрография осадочных пород / Г. Б. Мильнер. – М. : Недра, 1968. – Т. 1. – 500 с.
19. *Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиции для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев).* – М. : ФГУ ГКЗ (Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р), 2007. – 49 с.
20. *Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики / под ред. О. С. Богданова.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 358 с.
21. *Полькин С. И.* Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов : учебник для вузов / С. И. Полькин. – М. : Недра, 1987. – 428 с.

*Воронежский государственный университет*  
*С. В. Бондаренко, старший научный сотрудник*  
*sw\_bondarenko@hotmail.com*  
*Тел. 8 (473) 220-89-26*

*А. С. Коротких, научный сотрудник*  
*Neslie@yandex.ru*  
*Тел. 8 (473) 220-89-26*

*А. И. Трегуб, профессор кафедры общей геологии и геодинамики*  
*sw\_bondarenko@hotmail.com*  
*Тел. 8 (473) 220-89-26*

*Voronezh State University*  
*S. V. Bondarenko, the senior scientific employee*  
*sw\_bondarenko@hotmail.com*  
*Tel. 8 (473) 220-89-26*

*A. S. Korotkih, the scientific employee*  
*Neslie@yandex.ru*  
*Tel. 8 (473) 220-89-26*

*A. I. Tregub, Professor, the Geology and Geodynamic Chair*  
*sw\_bondarenko@hotmail.com*  
*Tel. 8 (473) 220-89-26*