



DOI 10.22363/2312-8143-2022-23-2-165-173  
УДК 553.6

Научная статья / Research article

## Целесообразность попутной добычи фосфоритов и глауконитов при разработке титан-цирконовых россыпей месторождения Центральное

А.Ф. Георгиевский ✉, В.М. Бугина 

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

✉ geo.gaf@yandex.ru

### История статьи

Поступила в редакцию: 15 февраля 2022 г.

Доработана: 23 апреля 2022 г.

Принята к публикации: 12 мая 2022 г.

### Ключевые слова:

фосфоритная мука, фосмелиоранты, рудные пески, обогащение, технологические пробы, выход, извлечение, фосфориты, гранулометрические классы, глаукониты

**Аннотация.** С целью максимально полного использования россыпного месторождения Центральное в Тамбовской области проведено изучение технологических проб из вскрышных пород и хвостов обогащения титан-цирконовых руд, в которых в виде примеси присутствуют рассеянные полезные фосфоритовые и глауконитовые минералы. Пробы весом по 300 кг подвергались мокрому и сухому грохочению, самоизмельчению, гравитационному разделению, а также магнитной сепарации. Выделенные фосфатные и глауконитовые фракции и их концентраты исследовались с помощью обычной и электронной микроскопии, изучались методами рентгеновского, химического и количественного спектрального анализа. В результате получены детальные данные по вещественно-структурным особенностям минералов, их взаимоотношениям и обогатительным характеристикам. Это в свою очередь позволило наметить возможные направления дополнительного использования руд месторождения Центральное в виде попутно получаемых из них фосфоритовых и глауконитовых концентратов. Для их агрохимической оценки поставлены вегетационные опыты, показавшие высокую эффективность наработанных концентратов, применение которых в сельском хозяйстве в форме минеральных удобрений и мелиоранта ведет к увеличению растительной массы зерновых культур на 25–26 %. Поскольку запасы фосфатов и глауконитов оцениваются в 17 и 6 млн т соответственно, в случае освоения месторождения появляются дополнительные резервы, способные существенно снизить себестоимость строительства горнодобывающего предприятия.

### Для цитирования


Георгиевский А.Ф., Бугина В.М. Целесообразность попутной добычи фосфоритов и глауконитов при разработке титан-цирконовых россыпей месторождения Центральное // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 2. С. 165–173. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-2-165-173>



## The rational for associated mining of phosphorites and glauconites in the development of titanium-zircon placers at the Tsentral'noye deposit

Alexey F. Georgievskiy  , Viktoriya M. Bugina 

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

 geo.gaf@yandex.ru

### Article history

Received: February 15, 2022

Revised: April 23, 2022

Accepted: May 12, 2022

### Keywords:

phosphorite meal, phosphate flour, phosphoric ameliorants, ore sands, enrichment, technological samples, output, extraction, phosphorites, granulometric classes, glauconites

**Abstract.** In order to maximize the use of the Tsentral'noye placer deposit in the Tambov region, a study was made of technological samples from overburden rocks and concentration tailings of titanium and zirconium ores, in which dispersed useful phosphorite and glauconite minerals are present as an impurity. Samples weighing 300 kg were subjected to wet and dry screening, self-grinding, gravitational separation, and magnetic separation. The isolated phosphate and glauconite fractions and their concentrates were studied using polarizing and electron microscopy, X-ray, chemical, and quantitative spectral analyse. As a result, detailed data on the material and structural features of minerals, their relationships and enrichment characteristics were obtained. This, in turn, made it possible to outline possible directions for the additional use of the ores of the Tsentral'noye deposit in the form of phosphorite and glauconite concentrates obtained from them. For their agro-chemical evaluation, vegetative experiments were carried out, which showed the high efficiency of the accumulated concentrates, which in agriculture in the form of mineral fertilizers of the ameliorant leads to an increase in the plant mass of grain crops by 25–26 %. Since the reserves of phosphates and glauconites are estimated at 17 and 6 million tons respectively, if the deposit is developed, additional reserves appear that can significantly reduce the cost of building a mining enterprise.

### For citation

Georgievskiy AF, Bugina VM. The rational for associated mining of phosphorites and glauconites in the development of titanium-zircon placers at the Tsentral'noye deposit. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022;23(2):165–173. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-2-165-173>

### Введение

После распада Советского Союза в России возник острый дефицит в титановом сырье. Его потребности покрываются за счет поставок титановых концентратов с территории Украины. Вместе с тем Россия обладает собственными минеральными ресурсами, по запасам и качеству не уступающими ведущим странам мира (Китай, Бразилия, ЮАР). Руды образуют как коренные, так и россыпные месторождения, в том числе расположенные в экономически освоенных регионах. Примером является древняя морская россыпь Центрального месторождения в Рассказовском районе Тамбовской области. По составу она комплексная. Кроме ильменита, рутила и циркона, рудные пески включают также фосфаты и глаукониты. Месторождение открыто в середине прош-

лого века и после геологоразведочных работ отнесено к десятку наиболее крупных мировых объектов россыпных титановых руд. Несмотря на это в течение многих лет оно оставалось консервированным, поскольку в Советском Союзе на Украине уже действовали несколько горнодобычных комбинатов, которые удовлетворяли спрос на титановые продукты. На современном этапе неоднократно ставился вопрос о необходимости освоения Центрального месторождения. Особенно активно эта тема обсуждается сегодня, поскольку на федеральном уровне принято решение о целесообразности его отработки. Однако в условиях современного рынка реализация этого решения является крайне сложной задачей. Важное значение приобретают факторы, способные улучшить экономические показатели по перера-

ботке рудных песков. К таким факторам относятся попутная добыча и использование фосфоритов и глауконитов, заключенных в титан-циркониевых рудах и в породах их «вскрыши». *Цель работы* – показать возможности обогащения и практического использования глауконитовых и фосфоритовых продуктов, попутно добываемых при разработке титан-циркониевых руд Центрального месторождения.

## 1. Методы и материалы

Фактическим материалом для исследований послужили данные изучения двух технологических проб весом по 300 кг. Одна из них (№ 51; 3,7 %  $P_2O_5$ ) характеризует верхний, а вторая (№ 53; 0,98 %  $P_2O_5$ ) нижний фосфоритоносные горизонты. Изучение пробы № 53 выполнено на технологических продуктах, оставшихся в отвальных хвостах титан-циркониевых песков после их обогащения.

Для изучения проб проводился гранулометрический рассев материала, с последующим разделением его с помощью центрифужного анализа на составные части. Полученные фракции исследовались обычной и электронной микроскопией, рентгеновским, химическим и количественным спектральным анализами. Для этих целей использовались следующие приборы: оптический микроскоп ПОЛАМ Л213М, стереоскопический микроскоп С13, дифрактометр ДРОН-4, спектрометр ЛИЭС, электронный микроскоп ЭМВ-100АК, сепаратор СИМ-1, грохот типа ГИСЛ-62А, шаровая мельница МШР, классификатор типа КСН-1.5, магнитный сепаратор типа 6ЭРМ-35/315, гидроциклон типа ГЦ-500. Анализы выполнялись в лабораториях ГИГХС, РУДН, РГГРУ.

## 2. Результаты и обсуждение

Месторождение Центральное локализуется в 2–20 м от дневной поверхности среди горизонтально залегающих верхнемеловых песков. Фосфориты и глаукониты являются попутными компонентами титан-циркониевых руд и образуют два соприкасающихся горизонта, разделенных поверхностью размыва. Нижний сеноманский горизонт приурочен к кровле рудного пласта. Непосредственно перекрывающий его верхний сантонский горизонт вместе с четвертичными отложениями относится к вскрышным породам. Мощность каждого из них в среднем равна 1 м.

В обоих случаях глауконит и фосфориты представлены рассеянными в песках зернами и конкрециями [1–7]. Суммарные запасы фосфоритов оценены по категории  $C_2$  и составляют 17 млн т фосфоритового концентрата со средним содержанием 14,3 %  $P_2O_5$ . Ориентировочные запасы глауконитового концентрата оцениваются в 6 млн т<sup>1</sup> [8].

Руды обоих горизонтов представляют собой рыхлые светлоокрашенные кварцевые пески с характерными блесками слюды, точечной вкрапленностью глауконита и разрозненными фосфоритовыми стяжениями разного размера. В целом сантонские пески, в отличие от нижнего горизонта, более тонкие, с существенной примесью связывающего глинисто-цеолитового вещества (12,9 %), глауконитовые (13 %) и слюдистые (7 %). Кроме того, в них больше фосфоритов (12 %), обладающих более высоким качеством (22,4 %  $P_2O_5$ ).

Пески нижнего (сеноманского) горизонта кварцевые (83 %), обеднены фосфатами (3 %; 9–15 %  $P_2O_5$ ), глауконитом (4,6 %) и слюдами, но обогащены тяжелыми минералами (4 %). Содержание полевых шпатов, как и в верхнем горизонте, составляет 4 %.

Руды-пески состоят из (80–90 %) тонких классов (–0,25 мм). Основная масса фосфатных образований связана с крупными классами (> 2 мм), где сосредоточено 60–70 % извлекаемого  $P_2O_5$ . Заметное количество фосфатов концентрируется также в классе –0,15+0,1 мм и –0,04 мм. Однако низкие содержания полезного компонента (1–2 %  $P_2O_5$ ) делают такие классы не перспективными для практических целей. Таким образом, на Центральном месторождении фосфат наблюдается в форме доминирующего крупнокускового материала и подчиненных зерен псаммитовой размерности. Крупный фосфоритовый материал состоит из непереотложенных и перемытых конкреций-желваков, мелкой гальки и остатков органической природы. Непереотложенные желваки характерны для фосфоритового сантонского горизонта, а разнообразный перемытый материал – для сеноманского уровня.

Общее содержание  $P_2O_5$  в рудах определяют фосфоритовые желваки – конкреции. Морфоло-

<sup>1</sup> Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Тамбовской области на 01.01.2018 г. СПб.: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018; Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016–2017 годах». М.: ФГБУ ВИМС; Минерал-Инфо, 2018. 370 с.

гия их различна, но преобладают неправильно изометричные стяжения размером 5–8 см. Более крупные из них имеют причудливую конфигурацию с характерными выступами и наростами. Конкреции меньшего размера – со следами окатывания. Обычно они покрыты желтовато-серым налетом порошкообразного фосфата, зачастую маскирующего природную коричневую окраску. Макроскопически конкреции шероховатые, крепкие, плотные, состоят из желвачков, которые неоднократно цементировались фосфатом поздних генераций. Последний на сколе и в шлифах устанавливаются по чередованию темных и светлых участков с резко различными структурно-текстурными особенностями. Внутри конкреций встречаются слепки мелких пеллеципод, а на поверхности – отверстия от камнеточцев. Также нередко извилистые ходы илоедов, заполненные тонкозернистым песком. Часть ходов по стенкам инкрустированы иголочками цеолитов. Отдельные стяжения (10–15 %), особенно вымытые из сеноманских отложений, выветрены. Они имеют белую окраску, мучнистый излом и распадаются при легком сжатии.

В шлифах конкреции сложены изотропным фосфатом, который цементирует глауконит-кварцевый материал. Последний концентрируется пятнами, полосами, разрозненными включениями. Иногда они окружены раскристаллизованными тонкими фосфатными оторочками. В целом характерен базальный тип цемента с устойчивым преобладанием фосфата над терригенным кварцем, так что количество  $P_2O_5$  в стяжениях достигает 20–25 %. Это существенно отличает сантонские образования от сеноманских фосфоритов, часто низкокачественных, с массовой долей  $P_2O_5$ , равной 9–15 %. Из других примесей в фосфоритах присутствуют глауконит (1–5 %), полевой шпат (1–2 %), редкие зерна тяжелых минералов. Также отмечаются обломки микрокварцитов, гнезда глинистого вещества и органические остатки. Последние развиты незначительно, но после фосфатных стяжений, образуют второй морфологический тип обособлений фосфата в рудах Центрального месторождения. Различаются макро- и микроостатки. Первые накапливаются в классе +7 мм. Среди них диагностируются ядра раковин гастропод и пеллеципод, фрагменты фосфатизированных губок. Иногда сохраняются целые кубки губок размером 15–20 см. Фосфатные микроостатки представлены копролитами,

псевдоморфозами по фораминиферам, радиоляриям и спикулам губок; встречаются также обломки костей рыб. В отличие от крупных классов, где остатки организмов не имеют практического значения, в песках на них приходится основной объем фосфатов. Наиболее обычны копролиты размером 0,04–0,25 мм. Форма копролитов сферическая, чечевицепоподобная или в виде укороченных палочек. Окраска различная: от черной и синей до белой и желтой; поверхность матовая, гладкая либо шероховатая; многие из них имеют стекловатый облик. Сложены копролиты изотропным фосфатом, нередко перекристаллизованным до апатита. Таким образом, устанавливается четыре модификации фосфата: изотропный скрытокристаллический, кристаллический радиально-лучистый, кристаллический апатитоподобный, изотропный порошковидный гипергенной природы. *Изотропный фосфат* слагает большую часть всех фосфатных образований. Средний показатель преломления 1,559–1,605; удельный вес 2,85 г/см<sup>3</sup>. *Радиально-лучистый фосфат* образует каемки (0,01–0,02 мм) вокруг различных неоднородностей в фосфоритовых конкрециях. Показатель преломления минерала 1,603–1,605; двупреломление – 0,005–0,007; удельный вес 2,85 г/см<sup>3</sup>. Другие параметры двух отмеченных разновидностей фосфата: «а» = 9,323–9,334 Å; «с» = 6,899–6,896 Å;  $CO_2/P_2O_5 = 0,155–0,176$ ;  $F/P_2O_5 = 0,094–0,11$ ; содержание  $P_2O_5$  в обогащенных фракциях – 29,2–32,35 %. По данным [9–13], приведенные показатели характерны для минерала курскита. *Изотропный порошковидный фосфат* образует налеты на конкрециях, а также отмечается среди пелитового материала класса –0,04 мм. Дисперсные размеры частиц, их срастания с другими минералами не позволяют выполнить корректно замеры величины показателя преломления и определить рентгеноструктурные параметры вещества. Однако фосфатная природа частиц доказывается реакцией с раствором молибденовокислого аммония. *Апатитоподобный фосфат* – последняя установленная в рудах модификация фосфатного минерала. Он довольно широко представлен в песках во фракции удельного веса 2,8–3,0 г/см<sup>3</sup>, где слагает песчинки, копролиты и другие мелкие органические остатки. В иммерсионных препаратах наблюдаются переходы от фосфатных зерен, изотропных и частично перекристаллизованных, до превращенных в монокристаллы апатита, целиком угасающих при вра-

щении столика микроскопа. Одновременно фосфатные частички становятся полупрозрачными, а их окраска изменяется до голубой и синей. Попутно с апатитовыми зёрнами обнаружены пластинки и кристаллики фиолетового флюорита. Такая минеральная ассоциация свидетельствует о перекристаллизации изотропного фосфата во фторапатит, сопровождающейся частичной потерей фтора. Последний после незначительной миграции кристаллизовался в виде флюорита. Данные кристаллооптического и рентгеноструктурного анализов подтверждают апатитовую природу минерала. Его показатель преломления – 1,623–1,627; параметры элементарной ячейки: «а» = 9,349–9,37 Å; «с» = 6,868–6,896 Å. В [10; 14] показано, что переход курскита во фторапатит достигается при глубоком катагенезе и метаморфизме. Геологическая позиция Центрального месторождения, слабо литифицированная (сыпучая) консистенция песков, вмещающих фосфориты, не позволяет связывать перекристаллизацию курскита с катагенетическими процессами. Очевидно, существуют и другие факторы, вызывающих трансформацию фосфатных минералов. Можно предположить агрессивное воздействие на пески древних гипергенных растворов, следы которых фиксируются в рудах в виде выветрелых фосфоритовых образований, измененных полевых шпатов и слюд. Вероятно, под воздействием таких растворов часть фосфатного вещества переотлагалась в форме налетов порошкообразного фосфата. Другая часть испытала структурную перестройку с переходом в апатит. Способность гипергенных растворов изменять структуру фосфатных минералов показана в [15; 16].

Обогатительная способность руд зависит от их физического состояния, вещественных, структурно-текстурных и минералого-петрографических особенностей [10–12]. Фосфоритовые руды Центрального месторождения представлены рыхлыми песками с рассеянными плотными фосфоритовыми образованиями. Как показали гранулометрические исследования и распределение пятиокси фосфора по фракциям, богатый фосфатом материал концентрируется в крупных классах. Такие особенности руд делают эффективной в качестве первой технологической операции отсев бедных фосфатами тонких классов. Анализ возможных вариантов отсева показал, что оптимальным является рассев руды по классу +0,5 мм для верхнего и +2,0 для нижнего фосфоритовых

горизонтов. Эти варианты максимально удовлетворяют по полноте извлечения фосфатов, сохраняя при этом качество концентратов на уровне продуктов, применимых в народном хозяйстве. При организации рассевов в промышленных масштабах важной практической задачей является оценка технологичности грохочения без привлечения промывки руды. С этой целью поставлены опыты по ситовке руд верхнего горизонта «сухим» и «мокрым» способами. При сухом расसेве происходит резкое падение качества концентрата и других параметров обогащения. Причины кроются в высоком содержании в составе пробы дисперсных глинистых и цеолитовых минералов. Их наличие на поверхности фосфоритового материала ведет к «огрубению» гранулометрического состава и резкому загрязнению отсеянных концентратов не фосфатными примесями. Таким образом, обязательным условием обогащения фосфоритов Центрального месторождения является промывка руды. Мытые фосфоритовые концентраты состоят из конкреций и обломков песчаников, количество которых оценивается от 21 (проба № 51) до 30 % (проба № 53). Учитывая значительную разницу в прочностных свойствах фосфоритов и песчаников, для дальнейшего обогащения концентратов были проведены опыты по избирательному разрушению песчаников в условиях самоизмельчения руды с последующим отсевом ее мелких классов. Тридцатиминутная окатка руд приводит к разрушению песчаников, в результате чего в концентратах после отсева мелких классов содержание пятиокси фосфора повышается на 3 %. Однако положительный эффект от такой технологической операции нивелируется потерями в извлечении фосфата, которые достигают 51 %. Для получения фосфатных продуктов, пригодных для производства растворимых удобрений, требуется очистка концентратов от разубоживающих примесей, заключенных внутри фосфоритовых конкреций. Достигнув этого можно только после их разрушения и раскрытия нефосфатных минералов. Первостепенную технологическую важность здесь приобретает тонина дробления концентрата и способность отмеченных минералов обособляться в самостоятельных зёрнах. По данным изучения шлифов, минимальное количество сrostков будет формироваться при тонине помолы 0,1 мм, что определяется размером в конкрециях минеральных вкраплений. Степень раскрытия мине-

ралов и способность фосфоритов к глубокому обогащению оценивается гравитационным разделением дробленного материала при центрифугировании его в тяжелых жидкостях. Проведенные опыты показали, что фосфат присутствует во всех фракциях, но наиболее богат им материал плотностью  $-3,0+2,85 \text{ г/см}^3$  (23–25 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Однако и здесь не удается достигнуть удовлетворительной очистки фосфата, поскольку он на 25–30 % загрязнен посторонними примесями в виде фосфатных сростков с глауконитом и кварцем. Вместе с тем проведенные исследования показывают, что получить высококачественные фосфатные продукты на уровне 28–29 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  возможно, но для этого в исходном сырье содержание пятиоксида фосфора должно быть не менее 21–22 %. При ориентации на такое сырье в переработку будут вовлекаться лишь 50 % извлекаемых фосфатов одного только верхнего фосфоритового горизонта, поэтому практическая реализация такого варианта маловероятна. В связи с этим

важно оценить возможность использования в народном хозяйстве непосредственно самих мытых фосфоритовых концентратов.

Поскольку фосфоритовые концентраты Центрального месторождения не пригодны для получения растворимых удобрений, то целесообразно изучить возможность их использования в качестве фосфоритной муки. Как известно, на кислых почвах такое удобрение соперничает по эффективности с суперфосфатом. Учитывая это, проведены опыты по получению фосмуки обычного (0,18 мм) и тонкого (0,1 мм) помола. Исследования велись с использованием шаровой мельницы типа роальганг. Как видно из таблицы фосфоритная мука обычного и тонкого помола Центрального месторождения по содержанию лимонно-растворимой  $\text{P}_2\text{O}_5$  не уступает концентратам разрабатываемого Верхнекамского месторождения (таблица). Следовательно, она может быть использована в качестве минерального удобрения.

#### Сравнительная характеристика технологических продуктов Центрального и Верхнекамского месторождений

Месторождение	Вид фосмуки	Содержание, %	
		$\text{P}_2\text{O}_5$ (общая)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (лимонно-растворимая)
Центральное (проба № 51)	Стандартная	20,13	7,3
	Тонкая	20,13	7,5
Центральное (проба № 53)	Стандартная	14,3	6,95
	Тонкая	14,3	7,1
Верхнекамское [10]	Стандартная	22,5	6,2
	Тонкая	22,5	6,5

#### Comparative characteristics of technological products of the Tsentral'noye and Verkhnekamskoye deposits

Deposit	Phosphate meal category	Phosphorus dioxide content, %	
		$\text{P}_2\text{O}_5$ (total)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (citrate-soluble)
Tsentral'noye deposit (sample No 51)	Standart	20.13	7.3
	Fine	20.13	7.5
Tsentral'noye deposit (sample No 53)	Standart	14.3	6.95
	Fine	14.3	7.1
Verhne-Kamskoe deposit [10]	Standart	22.5	6.2
	Fine	22.5	6.5

Что касается второго полезного компонента – глауконита, он наблюдается во всех гранулометрических классах в форме различных зерен, псевдоморфоз и микроконкреций размером 0,01–0,5 мм, чаще 0,07–0,15 мм в диаметре. Устанавливаются две генерации, отличающихся по плотностным свойствам, магнитной восприимчивости, а также морфогенетическим признакам. Глауконит с плотностью  $2,75–2,85 \text{ г/см}^3$  концентрируется в рудах

нижнего горизонта. Представлен окатанными изометричными зёрнами и их обломками темно-зеленого, практически черного цвета, с глянцевидной поверхностью. В шлифах зерна буровато-зеленые с резко выраженным микроагрегатным погасанием. Минерал накапливается на электромагнитном сепараторе при силе тока 0,2А. По соотношению Fe и Al он относится к железистой разновидности ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 2,1$ ). По ре-

зультатам рентгеноструктурных исследований представляет собой высоко железистую гидрослюда поли типа 1М, содержащую 5 % монтмориллонитовых пакетов. Глауконит с плотностью  $2,6-2,75 \text{ г/см}^3$  типичен для верхнего фосфоритового горизонта. Наблюдается чаще всего в форме светлоокрашенных микроконкреций и псевдоморфоз по чешуйкам слюд. Микроконкреции имеют неправильно изометричную форму, гроздевидное строение. В шлифах характеризуется «лапчатой» конфигурацией и отчетливой агрегатной поляризацией. При взаимодействии с электромагнитными полями минерал сепарируется при силе тока 0,3–0,4А. По соотношению оксидов Fe и Al он рассматривается в качестве маложелезистой разновидности глауконита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,8$ ). По данным рентгеноструктурного анализа – это смешаннослойное слюда-монтмориллонитовое образование с упорядоченной структурой поли типа 1М, с 25–30 % набухающих слоев. С целью выяснения предельно возможных показателей сепарации на обесшламленных продуктах проведены опыты выделения глауконита из песков с использованием высокопроизводительного сепаратора «Боксмаг-Рапид» (Англия). Полученные результаты показывают, что выделенные магнитные фракции практически целиком сложены глауконитом. Из бедных глауконитом песков пробы № 53 в магнитную фракцию переходят только 20–27 % глауконита. Напротив, для пробы № 51 с повышенным содержанием минерала данный параметр не опускается ниже 80 %. Таким образом, перспективными для получения высококачественных глауконитовых концентратов являются пески верхнего горизонта, в то время как «хвосты» от промывки рудных песков нижнего горизонта для этих целей мало пригодны.

*Результаты агрохимической оценки фосфоритной муки верхнего и калийного глауконит-фосфорного мелиоранта нижнего горизонтов.* Исследования агрохимических свойств проводились в ходе вегетационных опытов с овсом на кислой (рН-4) серой лесной почве с низким содержанием подвижного фосфора (2,5 мг  $\text{P}_2\text{O}_5$  на 100 г почвы). Данные продукты применялись в качестве удобрений в виде порошка с размером частиц –0,18 мм. Полученные результаты свидетельствуют, что под влиянием внесенных в почву продуктов происходило заметное улуч-

шение условий фосфатно-калийного питания овса и интенсивный рост вегетативной массы растений (25 % – проба № 51; 26 % – проба № 53).

## Заключение

Для выяснения возможности безотходной отработки Центрального месторождения изучен вещественный состав, обогатимость и пути использования фосфоритов и глауконитов технологических проб № 51 и 53, характеризующих природные и техногенные руды рыхлых песков верхнего и нижнего фосфоритовых горизонтов. Руду верхнего горизонта, в отличие от нижнего, характеризует повышенное количество крупнокускового материала, более тонкий алевритопелитовый состав песчаной основной массы, обильная примесь глинисто-цеолитового вещества, пониженное содержание тяжелых минералов, увеличенная доля глауконита и лучшие качественные показатели фосфоритов. Основная масса фосфоритов накапливается среди крупнокускового материала в виде конкреционных стяжений, которые принято рассматривать в качестве фосфоритов желвакового типа. Другая (большая) часть фосфатов приурочена к песчаным гранулометрическим классам, где наблюдаются в форме фосфатизированных зерен копролитовой природы. Пески многокомпонентны и наряду с отмеченными минералами включают в себя цеолиты, монтмориллонит, мусковит, полевые шпаты.

Содержание пятиоксида фосфора в концентратах зависит от количества присутствующих в их составе обломков песчаников и от качества желваков. Этими двумя показателями объясняются резкие качественные различия концентратов руд нижнего (13 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и верхнего (18–20 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) горизонтов. Существует принципиальная возможность улучшения параметров концентратов за счет разрушения песчаников в ходе технологической «окатки» материала. Однако получаемые от данных операций результаты сводятся на нет из-за значительных потерь в извлечении  $\text{P}_2\text{O}_5$ . По основным параметрам рассматриваемые концентраты могут быть использованы как фосфорные удобрения в форме фосфоритной муки (проба № 51) и ее низкокачественных заменителей – фосмелиорантов (проба № 53). Проведен-

ными вегетационными опытами доказаны высокие агрохимические возможности тонкоизмельченной и обычной фосфоритной муки, а также фосмелиорантов. Получение глауконитов из хвостов обогащения возможно электромагнитной сепарацией после отсева пылевидных фракций. В результате обогащения выделены два концентрата с содержанием 87 и 62 % глауконита, которые характеризуют пески верхнего и нижнего горизонтов соответственно. В обоих случаях извлечение минерала невысокое. Хотя, как показали лабораторные опыты, резервы для улучшения показателей обогащения имеются. Обогащать нижние пески малоэффективно. Из многих существующих направлений использования глауконита проанализированы возможности применения полученных глауконитовых концентратов в качестве бесхлорного калийного удобрения. Выполненные вегетационные испытания показали высокую эффективность концентратов в роли такого удобрения.

#### Список литературы

1. Патык-Кара Н.Г., Гореликова Н.В., Бардеева Е.Г. К истории формирования титано-циркониевых песков месторождения Центральное в европейской части России // *Литология и полезные ископаемые*. 2004. № 6. С. 585–601.
2. Иконников Н.Н. Россыпные продуктивные формации осадочного чехла Русской платформы // VIII Съезд по геологии россыпей. Киев: ИГФМ АН СССР, 1987. С. 249–250.
3. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / под ред. Н.П. Лаверова, Н.Г. Патык-Кара. М.: Научный мир, 1997. 454 с.
4. Патык-Кара Н.Г., Левченко Е.Н., Стехин А.И., Барсегян В.В., Бочнева А.А., Чижова И.А., Андрианова Е.А., Дубинчук В.Т. Минеральные ассоциации титано-циркониевых песков месторождения Центральное (Восточно-Европейская платформа) // *Геология рудных месторождений*. 2008. № 3. С. 246–270.
5. Савко А.Д., Беляев В.И., Иконников Н.Н., Иванов Д.А. Титан-циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района. Воронеж: ВГУ, 1995. 147 с.
6. Савко А.Д., Дмитриев Д.А., Куролан С.А., Калаев В.Н., Шевырев Л.Т., Иванов Д.А., Девятова Т.А. Основы оптимального использования минерально-сырьевой базы Центрально-Черноземного района. Воронеж: ВГУ, 2018. 92 с.
7. Лаломов А.В., Ремизова Л.И. Основные направления создания импортонезависимой титановой и цир-

кониевой промышленности России // *Материалы XV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания*, 24–28 августа 2015 г. Пермь: ПГНИУ, 2015. С. 129–131.

8. Лаломов А.В., Бочнева А.А. Центральное, Лукояновское и Унечское месторождения цирконий-титановых песков как база для создания минерально-сырьевого центра и осуществления стратегии импортозамещения России // *Молодой ученый*. 2020. № 2. С. 333–341.

9. Бушинский Г.И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 307 с.

10. Блисковский В.З. Вещественный состав и обогатимость фосфоритовых руд. М.: Недра, 1983. 199 с.

11. Соколов А.С. Основные проблемы фосфатной геологии. Проблемы геологии фосфоритов. М.: Наука, 1991. 184 с.

12. Смирнов А.И. Вещественный состав и условия формирования основных типов фосфоритов. М.: Недра, 1972. 194 с.

13. Блисковский В.З., Минеев Л.А. Камни плодородия. М.: Недра, 1986. 213 с.

14. Красильникова Н.А. О флюорите в фосфоритах // *Литология и полезные ископаемые*. 1963. № 3. С. 141–144.

15. Георгиевский А.Ф. Карстовые фосфориты Юго-Восточных Саян. Современные инженерные технологии. М.: РУДН, 2004. С. 65–67.

16. Бугина В.М., Юдович Я.Э., Кемрис М.П. Литохимическая характеристика отложений карстовой фосфоритовой залежи Харанурского месторождения (Юго-Восточные Саяны) // *Вестник Института геологии Коми РАН*. 2016. № 8. С. 33–37.

#### References

1. Patyk-Kara NG, Gorelikova NV, Bardeeva EG. History of the formation of the Tsentral'noe titanium-zirconium sand deposit in the European part of Russia. *Lithology and Mineral Resources*. 2004;(6):585–601. (In Russ.)
2. Ikonnikov NN. *The productive placer formations of the Russian platform mantle*. Kiev: IGFM of the USSR Academy of Sciences; 1987. p. 249–250. (In Russ.)
3. Laverova NP, Patyk-Kara NG. *Placer deposits of Russia and other CIS countries*. Moscow: Nauchnyj Mir Publ.; 1997. (In Russ.)
4. Patyk-Kara NG, Bochneva AA, Chizhova IA, Andrianova EA, Levchenko EN, Stekhin AI, Barssegyan VV, Dubinchuk VT. Mineral assemblages of titanium-zirconium sands at the Central deposit, the east European platform. *Geology of Ore Deposits*. 2008;(3):246–270. (In Russ.)
5. Savko AD, Belyaev VI, Ikonnikov NN, Ivanov DA. *Placers of Titanium and Zirconium in Central Black Earth Region*. Voronezh: Voronezh State University; 1995. (In Russ.)



6. Savko AD, Dmitriev DA, Kurolap SA, Kalaev VN, Shevyrev LT, Ivanov DA, Devyatova TA. *Principles of the efficient mineral resource base using of the Central Black Earth region*. Voronezh: Voronezh State University; 2018. (In Russ.)

7. Lalomov AV, Remizova LI. Main directions of creation of import-independent titanium and zircon mineral resource industry of Russia. *Proceedings of the XV International Meeting on the Geology of Placers and Deposits of Weathering crust, 24–28 August 2015*. Perm: Permian State National Research University; 2015. p. 129–131. (In Russ.)

8. Lalomov AV, Bochneva AA. Tsentralnoye, Lukoyanovskoye and Unechskoye deposits of zirconium-titanium sands as a base for the creation of a mineral resource center and the implementation of the import substitution strategy of Russia. *Young Scientist*. 2020;(2):333–341. (In Russ.)

9. Bushinsky GI. *Lithology of Cretaceous deposits of the Dnieper-Donetsk depression*. Moscow: USSR Academy of Sciences; 1954. (In Russ.)

10. Bliskovsky VZ. *Material composition and enrichability of phosphorite ores*. Moscow: Nedra Publ.; 1983. (In Russ.)

11. Sokolov AS. *The main problems of phosphate geology. Problems of the geology of phosphorites*. Moscow: Nauka Publ.; 1991. (In Russ.)

12. Smirnov AI. *Material composition and conditions for the formation of the main types of phosphorites*. Moscow: Nedra Publ.; 1972. (In Russ.)

13. Bliskovsky VZ, Mineev LA. *Cropping power of stones*. Moscow: Nedra Publ.; 1986. (In Russ.)

14. Krasilnikova NA. About fluorite in phosphorites. *Lithology and Mineral Resources*. 1963;(3):141–144. (In Russ.)

15. Georgievskiy AF. *Karst phosphorites of the South-eastern Sayan Mountains. Modern engineering technologies*. Moscow: RUDN University; 2004. p. 65–67. (In Russ.)

16. Bugina VM, Yudovich YaE, Ketris MP. Lithochemical characteristics of karst phosphorites of Haranurskoe deposit (South-Eastern Sayans). *Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Russian Academy of Sciences*. 2016;(8):33–37. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**Георгиевский Алексей Федорович**, доктор геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0003-4835-760X, eLIBRARY SPIN-код: 1308-9195; georgievskiy-af@rudn.ru

**Бугина Виктория Михайловна**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-6492-6628, eLIBRARY SPIN-код: 8410-3861; bugina-vm@rudn.ru

#### About the authors

**Alexey F. Georgievskiy**, Doctor in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Business, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4835-760X, eLIBRARY SPIN-code: 1308-9195; georgievskiy-af@rudn.ru

**Viktoriya M. Bugina**, PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Business, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-6492-6628, eLIBRARY SPIN-code: 8410-3861; bugina-vm@rudn.ru