

УДК 622.7

С.К. Мустафин¹, А.В. Рассказов²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа

²Российский государственный аграрный университет,
РСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

ФОСФОРИТОВЫЕ РУДЫ ЮЖНОГО УРАЛА КАК АГРОХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЁ: ГЕОЛОГИЯ, СОСТАВ, СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

Анализируются состояние и перспективы освоение ресурсов фосфоритовых руд как агрохимического сырья Российской Федерации. Характеризуются геологическое строение, состав руд и перспективы прогноза, оценки и комплексного освоения фосфоритовых месторождений Южно-Уральского фосфоритоносного бассейна.

Ключевые слова: минеральные удобрения, фосфоритоносный бассейн, микроэлементы, фосфориты, комплексное использование.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.138

Согласно прогнозам, мировое потребление P_2O_5 , содержащегося в фосфорной кислоте, удобрениях и других продуктах, увеличится с 47 миллионов тонн в 2019 году до 50 миллионов тонн в 2023 году. На Африку, Индию и Южную Америку приходится около 75% прогнозируемого роста, потребление P_2O_5 в США сохранится на уровне 4,0 - 4,5 млн тонн в год.[9].

Ресурсы фосфатного сырья мира представлены в основном экзогенными осадочными морскими фосфоритами Северной Африки, Китая, Ближнего Востока и США. Значительные эндогенные апатитовые фосфатоносные месторождения известны в Бразилии, Канаде, Финляндии, Российской Федерации (РФ) и Южной Африке.

Запасы фосфатов выявлены на шельфах и на подводных горах в Атлантическом и Тихом океанах.

По оценке экспертов мировые ресурсы фосфоритной руды составляют более 300 миллиардов тонн. Неминуемой нехватки фосфоритной руды не прогнозируется, однако отмечается, что заменителей фосфора в сельском хозяйстве нет [9].

Фосфор участвует во многих важных физиологических процессах, ускоряет развитие и созревание агрокультур. При оптимальном фосфорном питании зерновые созревают на 5-6 дней раньше, что важно для районов с коротким вегетационным периодом.

Фосфор смягчает действие на растения экстремальных погодных условий: улучшает перезимовку озимых культур, способствует экономному расходованию влаги и мощному развитию корневой системы, как следствие, повышает устойчивость растений к засухе.

Отмечается, что внесение 1 кг фосфора минеральных удобрений позволяет получить 5-6 кг зерна, 10-15 – картофеля, 5-6 кг сена и т.д.

Наряду со стратегическими видами минерального сырья, значимыми для экономики РФ являются апатитовые руды и калийные соли. В соответствии с положениями Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года по количеству и качеству балансовых запасов минерального сырья в РФ все значимые для экономики страны полезные ископаемые делят на три группы.

В первую группу входят полезные ископаемые, запасы которых при любых сценариях развития экономики удовлетворят необходимые потребности до 2035 года и в последующий период. В эту группу наряду с такими видами минерального сырья как: природный газ, медь, никель, олово, вольфрам, молибден, тантал, ниобий, кобальт, скандий, германий, платиноиды, железные руды, уголь, цементное сырье, включены важнейшие агрохимические виды – калийные соли и апатитовые руды. Отмечается, что запасы полезных ископаемых этой группы обеспечивают потребности страны на длительную перспективу, однако при этом ряд регионов РФ испытывает дефицит фосфорных руд и калийных солей (сельскохозяйственные районы Северного Кавказа, Центрального Черноземья и Поволжья [7].

Потребление минеральных удобрений в мире растет и, по оценкам International Fertilizer Industry (IFA), в 2018 г. составило 188 млн т в пересчете на все питательные вещества, из которых 45,3 млн т приходится на фосфорные удобрения [9].

Российская ассоциация производителей удобрений отмечала, что потребление удобрений отечественными сельхозпроизводителями 2018 г. стало рекордным за последние 25 лет выросло на 9% – до 3,4 млн тонн в действующем веществе (далее д. в.).

За десятилетие объем потребления удобрений вырос на 50%, в том числе за первое полугодие 2019 г. на российском рынке оно выросло на 18,2% г/г – до 2,2 млн тонн в пересчете на д. в. (на 14,1%, до 5,46 млн тонн в физическом весе).

Особенно выросли поставки на внутренний рынок РФ карбамид-аммиачной смеси (+36%), концентрированных фосфорных (+32% и комплексных удобрений (+22%) [3].

В мировой структуре минерально-сырьевой базы и добычи

фосфориты существенно преобладают над апатитовыми рудами (91% и 9%), в РФ же отмечается обратное соотношение между запасами фосфоритов и апатитов (18% и 82%), а в объемах добычи и производства фосфорных концентратов доля апатитовых руд составляет 95%. РФ вместе с США и Марокко по производству фосфатного сырья входила в тройку лидирующих стран, однако, по количеству вносимых удобрений (30 кг/га) уступала развитым странам в 35 раз. За последние годы выпуск апатитового концентрата сократился в 23 раза, внесение удобрений снизилось до критического уровня (до 5 кг/га), что наряду с комплексом других фактов привело к резкому падению урожайности и росту импорта продовольствия [8].

Состояние МСБ фосфатов РФ на 01.01.2019г. по фосфоритовым рудам характеризовалось запасами P_2O_5 по категориям А+В+С₁ - 216,8 млн т, категории С₂ – 246,4 млн т. При этом доля распределённого фонда фосфоритовых руд составляла соответственно 0,5% и 0,04%.

Прогнозные ресурсы фосфатного сырья представленного фосфоритовыми рудами оценены (P_2O_5 млн т): P₁ – 273,3; P₂-134,1; P₃-125,2.

В мировой сырьевой базе фосфора доминируют фосфоритовые руды осадочного происхождения - более трех четвертей разрабатываемых залежей приходится на руды зернистого типа (содержание P_2O_5 - 23–34%), формирующие гигантские фосфоритовые бассейны площадью в тысячи квадратных километров; подчиненное значение имеют фосфориты микрозернистого типа (20% P_2O_5).

Запасы отечественных фосфоритовых руд относятся к желваковому (конкреционному) типу и отличаются низким качеством, (10% P_2O_5) труднообогатимы и в настоящее время не разрабатываются.

Основу сырьевой базы фосфатных руд в РФ представляют уникальные по качеству апатит-нефелиновые руды (7,5–17,2% P_2O_5), локализованные в пределах Хибинского массива ультраосновных-щелочных пород на Кольском полуострове.

Большая часть произведённых в РФ фосфатных концентратов перерабатывается на собственных предприятиях с получением фосфорных и комплексных фосфорсодержащих минеральных удобрений. Импорт фосфоритового концентрата из Казахстана невелик и сохраняется на уровне 0,2–0,3 млн т., как и в предыдущие годы.

В пересчете на P_2O_5 производство этих удобрений в РФ до 2015 г. оставляло 3–3,2 млн т, а к 2018 г. выросло до 4 млн т. Спектр стран-импортёров этой продукции включает более 100 государств, из которых более половины продукции закупают Китай, Бразилия, Украина, США,

Эстония и ОАЭ. Основными экспортными продуктами являются комплексные трехкомпонентные удобрения (NPK), фосфат моноаммония (MAP) и фосфат диаммония (DAP).

В 2018 г. фермеры приобрели у отечественных производителей 3,1 млн т минеральных удобрений в пересчете на питательные вещества, что на 30% больше, чем в 2014 г. [4].

В истории Земли максимумы фосфоритообразования приходится на поздний докембрий-кембрий, пермь, поздний мел-палеоген и неоген. Периоды максимального фосфогенеза обусловлены выветриванием и эрозией магматогенных скоплений апатитов на суше и интенсивного масштабного сноса фосфора в смежные бассейны. Отчётливо выражена смена микрозернистых фосфоритов (докембрий-палеозой) зернистыми и желваковыми (мезозой-кайнозой).

Фосфоритов являются продуктом литогенеза морских осадков, сформировавшихся химическим, биохимическим и механическим путем; подчиненную роль играют остаточные и инфильтрационные.

Факторами обуславливающими образование и локализацию фосфоритов являются климатические, палеогеографические и фациально-литологические условия; крупнейшие скопления на океанических шельфах образованы в условиях мощного апвеллинга,

Среди промышленных скоплений (залежей) фосфоритов различают **микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные, галечниковые, а также рыхлые и каменные типы** в корах выветривания, связанные с определенными формациями горных пород. В мировом балансе запасов фосфоритов преобладают зернистые (свыше 60%), доля микрозернистых руд около 30%, а желваковых - около 7% [5].

По данным Роснедра запасы фосфоритовых руд учтены в рудах трех месторождений РФ и составляют по категориям А+В+С₁ 842 169 тыс. т, по категории С₂ – 1 215 337 тыс. т, забалансовые – 302 107 тыс. т. На Вятско-Камском месторождении (Кировская область) сосредоточено 47,7% общероссийских балансовых запасов фосфоритовых руд (58,6% Р₂О₅). Фосфоритовые руды Вятско-Камского месторождения представлены конкреционным (желваковым) типом, с невысоким содержанием Р₂О₅ (9,5-17,5 %, в среднем 12%). Это фосфатное сырьё является бедным, труднообогатимым и пригодно в основном для получения фосфоритной муки в качестве удобрения.

В распределенном фонде недр находится Суракайское месторождение Республика Башкортостан (РБ).

На территории Южно-Уральского фосфоритоносного бассейна

(ЮФБ), занимающего площадь южной части Предуральского прогиба, в пределах субмеридиональной полосы шириной более 60 км и длиной свыше 500 км. Здесь известны 62 фосфатопроявления 5 типов фосфоритов (кластический, конкреционный, пластовый, нептунических даек и покровов, кластоморфный), каждый из которых связан с определенной фациальной зоной Предуральского прогиба.

В пределах ЮФБ обогащены фосфором глубоководные глинисто-мергелистые осадки предфлишевой формации; сокращение мощностей благоприятствует накоплению фосфатного вещества. Отмечается сходство геохимической специализации фосфоритов ЮФБ с известной формацией Фосфория (США) по относительно высоким содержаниям U (Фосфория - 50-60 г/т, ЮФБ - до 64,7 г/т), (суммы REE 980-1550 г/т и 468-1430 г/т соответственно), Cu, Zn, Mo, Ni, Ba, Sr [8].

Фосфориты ЮФБ уступают американским лишь по содержаниям V, образующем промышленные руды на руднике Конда (Айдахо), где V совместно с Cr и Ni извлекают методом кислотной переработки.

Фосфория является одной из крупнейших формаций мира с промышленными месторождениями пластовых фосфоритов, урана, ванадия, редких земель и нефти [2].

Ашинское месторождение фосфоритов (Челябинская область) представлено тремя промышленными телами пластообразной формы, общей протяженностью в 1600 м, шириной от 10 до 350 м с непостоянной мощностью (от 1 до 77 м). Особенностью строения является локализация рудных тел в карстовых образованиях фосфоритизированных известняков и песчано-глинистый состав руд со стяжением различной размерности фосфоритов с обломками известняка. Месторождение эксплуатировалось карьером до 1972 года.

Запасы руды составляют более 3 млн тон с содержанием P_2O_5 - 24 %. Содержащие P_2O_5 от 20 до 35 % рыхлые руды составляют 80 % запасов, 20% составляют каменистые (известковые) руды с содержанием P_2O_5 - 8-10 %. Фосфат и глинистые минералы составляют 88% массы минерального сырья, 12% приходится на кальцит, гипс, гидроокислы железа и марганца, др. Фракции фосфорита менее 3 мм могут служить удобрением без размола.

С начала освоения и до 1979 на месторождении добыто около 500 тыс. т фосфоритов, затем объект был законсервирован по причине высокой радиоактивности минерального сырья. Проведенные в 1999 г. Челябинским санэпиднадзором исследования показали возможность безопасного ведения добычи и переработки ашинских фосфоритов.

Фосфориты на территории РБ выявлены на Селеукском

прочлени и Суракайском месторождении Предуральского краевого прогиба. Здесь известны Подгорненское, Верхнее-Муталовское, Новоникитинское мелкие месторождения с запасами 0,5–1,5 тыс. т.

Наиболее перспективным объектом ЮФБ является расположенное на территории РБ Суракайское месторождение фосфоритовых руд с балансовыми запасами категорий A+B+C₁ – 216 тыс. т, и забалансовыми – 52 тыс. т. фосфоритов.

В 2007 году лицензию на геологическое изучение, разведку и добычу фосфоритов Суракайского месторождения получило ООО «Суракай». Наиболее вероятным потребителем сырья Селеуковского и Суракайского месторождений может стать ЗАО «Минудобрения», ныне потребляющее фосфомуку из Казахстана. Наилучшими показателями качества обладают фосфориты Суракайского месторождения, которые хорошо усваиваются растениями в естественном виде (запасы категории C₁+C₂ составляют 3,7 млн. т с содержанием фосфора в руде до 24%). Запасы фосфоритов Суракайского месторождения составили по категориям C₁+C₂ 3,7 млн. т в т. ч. по C₁ – 3,0 млн т. с содержанием P₂O₅ в руде до 24%. Минеральное сырьё обладает хорошими показателями качества; фосфориты хорошо усваиваются растениями в естественном виде. Исследованиями установлено, что фосфориты месторождения Суракай содержат общих фосфатов на уровне 10% в пересчете на P₂O₅, из которых 70- 75% в усвояемой форме. Эффективно использование фосфоритов Суракай в качестве фосфорного удобрения в виде фосфоритной муки. Бедные по содержанию основного полезного компонента (10% P₂O₅) фосфориты, содержат Ti – 0,2%, Mn – 0,2%, Sr – 0,15% . В фосфоритах содержание F находится на уровне 1,3-1,4%; присутствуют карбонаты металлов и органические вещества. Гранулометрический анализ минерального сырья показал, что основная часть фосфорита представлена частицами размером 20-90 мкм.

Фосфориты Суракай отличает высоким содержание лимоннорастворимых фосфатов, достигающее 70-75% от общего количества фосфатов в сырье, что позволяет применять их в качестве удобрения в виде фосфоритной муки без химической активации. Повышенное содержание железа (Fe₂O₃ – 7,6%) и 55-56% нерастворимого остатка определяют непригодность фосфоритов Суракай сырья для получения экстракционной фосфорной кислоты.

Наиболее вероятным потребителем сырья Суракайского месторождения может стать АО «Мелеузовские минеральные удобрения», потребляющее фосфомуку месторождения Каратау (Казахстан) [1].

Для фосфоритовых руд Селеукского проявления вмещающими породами являются отложения ассельского (фосфоритоносного мощностью 30-100 м) и сакмарского ярусов раннепермского возраста. Угол падения слоёв толщи 12-15°, азимут 240-265°. Полезная толща представлена Нижней, Средней и Верхней фосфоритовыми пачками, общая мощность которых 0,8 - 4,4 м. Пачки представлены тонким переслаиванием карбонатно-кремнистого фосфорита, полосчатого доломита, органогенного, окремненного, реже афанитового известняка.

Линзообразных по морфологии прослоев фосфоритов, в Верхней пачке 3-4, в Средней и Нижней пачках - 11-12; мощность небольшая и невыдержанная - от 2 до 77 см. Среднее содержание P_2O_5 в прослоях составляет 15-17 %, достигая по отдельным пробам 25 %; среднее содержание P_2O_5 по проявлению - 8 %.

Мощность безрудных прослоев органогенных доломитов, афанитовых известняков достигает 4 м и более. Перекрывающие фосфоритоносную серию рыхлые породы мощностью 1,5-6,0 м представлены глиной с обломками известняков, доломитов, аргиллитов и кремнистых пород. Перекрывающие коренные породы вскрыши - известняки, доломиты и алевролиты имеют мощность 6 - 29 м. По падению мощность перекрывающих пород возрастает от 10 до 39 м.

Запасы и прогнозные ресурсы фосфоритовых руд Селеукского проявления подсчитаны в количестве 69,4 млн т, (P_2O_5 - 5,6 млн т), включая запасы категории C_2 забалансовые по Северному участку -14,4 млн т, (P_2O_5 - 1,2 млн т); прогнозные ресурсы фосфоритов категории P_1 по Южному участку составляющие 55,5 млн т, (P_2O_5 - 4,4 млн т).

В 2004 г. запасы Северного участка утверждены по категории C_2 в забалансовой группе учёта - 14,4 млн т руды и 1,2 млн т P_2O_5 .

Специальным исследованием комплексности сырья месторождения фосфоритовых руд Каратау (Казахстан) в их составе установлено до 5-7% редкоземельных элементов, которые при сернокислотном вскрытии на 70% переходят в осадок сульфата кальция. Осадок представляющий отход производства минеральных удобрений - «фосфогипс» содержит фторид- и фосфат-ионы. Содержание редкоземельных элементов в составе фосфоритовых руд Каратау установлено на уровне следующих значений (%): иттрий (Y) - 0,007-0,15; иттербий (Yb) - 0,005-0,7; лантан (La) - 0,025-0,15; церий (Ce) - 0,05-0,3; гадолиний (Gd) - 0,002; неодим (Nd) - 0,04-0,05; самарий (Sm) - 0,01; европий (Eu) - 0,001; тербий (Tb) - 0,005; диспрозий (Dy) - 0,01; гольмий (Ho) - 0,001; эрбий (Er) - 0,01; лютеций (Lu) - 0,001; тулий (Tm) - 0,0001-0,10; празеодим (Pr) - 0,02, др. Содержание массовой

доли РЗЭ при вскрытии соляной кислотой – 36%, при вскрытии азотной кислотой – 27%; извлечение в концентрат относительно содержания в исходном минеральном сырье (фосфоритовой руде) достигает 75% [6].

Исследования вопросов прогноза, оценки и рационального освоения комплексных фосфоритовых руд региона Южно-Уральского фосфоритоносного бассейна актуальны сегодня и перспективны в будущем. Геологические аспекты обеспечения продовольственной безопасности сохраняют свою стратегическую значимость.

Библиографический список

1. Акбашева Ю.З., Шарипов Т.В., Кинзябулатова Г.С. Исследование состава и возможности переработки фосфоритов Суракаевского месторождения Республики Башкортостан. В сб. «Аграрная наука в инновационном развитии АПК». Часть I. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. – С. 11-16.
2. Бушинский Г. И. Формация Фосфория. Труды ГИН, вып. 201, 1969. 112 с.
3. Волкова А.В. Рынок минеральных удобрений – 2019. М.: Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 2020. – 52 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды РФ, 2019. – 426 с.
5. Зорина С.О. Стратиграфия месторождений полезных ископаемых.– Казань, 2017. – 60 с.
6. Масалимова Б.К., Садиева Х.Р., Матниязова Г.К., Цой И.Г. и др. Извлечение редкоземельных элементов из состава фосфоритов Каратау. Известия национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия Геологии и технических наук. №3. 2018. – С. 309-316.
7. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. М.: Минприроды РФ, 2019. – 27 с.
8. Яковлева Л.П. Южно-Уральский позднепалеозойский фосфоритоносный бассейн: геология, основные типы фосфатопроявлений, их связь с фациями, петрография и геохимия фосфоритов. Автореф. диссер. канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГ и Г им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, 2006. – 28 с.
9. Mineral commodity summaries 2020. Phosphate Rock. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2020. – P. 122-123.

PHOSPHORITE ORES OF THE SOUTH URALS AS AN AGROCHEMICAL RAW MATERIAL: GEOLOGY, COMPOSITION, STATE OF KNOWLEDGE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

S.K. Mustafin, A.V. Rasskazov

sabir.mustafin@yandex.ru

The state and prospects of development of phosphorite ore resources as agrochemical raw materials of the Russian Federation are analyzed. The geological structure, composition of ores and the prospects for forecasting, assessing and integrated development of phosphorite deposits of the South Ural phosphorite basin are characterized.

Keywords: phosphorites, phosphorite-bearing basin, mineral fertilizers, microelements, complex use.