



ФОСФОРИТОВЫЕ РУДЫ

Авторы: Н. И. Ерёмин

ФОСФОРИТОВЫЕ РУДЫ, природные скопления фосфатных пород (*фосфоритов*), по горнотехническим условиям и содержанию P_2O_5 пригодные для промышленной разработки. Фосфориты состоят в основном из скрыто- и микрокристаллической массы фосфатного вещества (минералы группы *апатита*), а также зёрен кварца, глауконита, кальцита, глинистых и других минералов. Часть фосфора в фосфатных минералах (фтор-апатит, франколит, курскит, гидроксил-апатит, карбонат-апатит) обычно изоморфно замещена углеродом; характерно присутствие изоморфного урана. Содержание P_2O_5 в фосфоритах не превышает 35%. Фосфориты большей частью являются морскими осадками, сформировавшимися путём химического и механического осаждения минерального вещества и биохимических процессов. Резко подчинённую роль играют остаточные и инфильтрационные образования в *корах выветривания*. Важнейшими факторами образования и существования фосфоритов являются тесно связанные климатические, палеогеографические и фациально-литологические условия. Палеогеографические реконструкции показывают, что крупнейшие скопления фосфоритовых руд возникали на океанических *шельфах* в условиях мощного *апвеллинга*, характерного для экваториального пояса Земли.

Месторождения фосфоритовых руд по запасам P_2O_5 (млн т) разделяются на весьма крупные (свыше 100), крупные (100–50), средние (50–10) и мелкие (менее 10). Среди промышленных скоплений (залежей) фосфоритов различают микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные, галечниковые, а также рыхлые и каменные в *корах выветривания*, каждые из которых связаны с определёнными формациями горных пород. В мировом балансе запасов фосфоритовых руд значительно преобладают зернистые фосфориты (до 60%), доля микрозернистых фосфоритов – около 30%, желваковых – около 5%; галечниковых – 3,5%, ракушечных – 1,5%. Одним из главных оценочных критериев качества фосфоритовых руд является массовая доля P_2O_5 . Содержание P_2O_5 (по массе) в зернистых рудах – 23–34%, микрозернистых – 20%, желваковых – 10%. Для желваковых фосфоритов, из которых путём простого помола получают удобрение, называемое «фосмукой», существенное значение имеет массовая доля P_2O_5 , растворимого в лимонной кислоте.

Зернистые фосфоритовые руды сложены округлыми фосфатными зёрнами (пеллетами, *оолитами* и др.) и фосфатными органогенными обломками размером от 0,1 до 10 мм, сцементированными скрытокристаллическими фосфатами (франколитом), кварцем, халцедоном, кальцитом и другими минералами. Содержание P_2O_5 (по массе) от 15–18% до 23–32%. Нередко в этих рудах в качестве попутных компонентов присутствуют уран и ванадий. Внешне зернистые фосфориты напоминают разнозернистые светлоокрашенные песчаники. Наиболее широко они развиты в крупнейшей *Аравийско-Африканской фосфоритоносной провинции*, где входят в состав верхнемеловых – палеогеновых карбонатных и терригенно-карбонатных формаций. Месторождения зернистых фосфоритовых руд состоят из 3–4 сближенных пластов мощностью от 0,5–1 м до 10–12 (редко до 30) м. Продуктивные отложения имеют пологое залегание и протяжённость в несколько десятков км. Руды легкообогатимы. Месторождения весьма крупные и крупные по запасам; типичные представители: Хуригба (Марокко), Бу-Краа (Западная Сахара), Джебель-Онк (Алжир), Джерой-Сардара (Узбекистан) и др. В них сосредоточена основная часть мировых запасов фосфатного сырья.

Микрозернистые фосфоритовые руды состоят из мельчайших (0,01–0,1 мм) фосфатных зёрен – оолитов, сцементированных фосфатно-карбонатным или фосфатно-кремнистым микрокристаллическим веществом. Главный фосфатный минерал – франколит, кроме которого, как в оолитах, так и в цементе присутствуют кварц, халцедон, кальцит, доломит, гидрослюда и другие минералы. Содержание P_2O_5 (по массе) от 14–16 до 24–25%; нередко отмечается до 0,2% U_3O_8 . Макроскопически эти руды разнообразны, по своему облику напоминают окремненные известняки, доломиты, яшмы, кремни и другие породы. Характерны для древних фосфоритоносных бассейнов (Саянский в России, *Каратауский фосфоритоносный бассейн* на юге Казахстана, Фосфория в США, Джорджина в Австралии и др.) в полях развития кремнистой и кремнисто-карбонатной осадочных формаций. Месторождения микрозернистых фосфоритовых руд венд-кембрийского и пермского возраста включают 1–6 фосфоритовых горизонтов мощностью до 25–30 м и протяжённостью до 10 км. Пласты руд смяты в складки с пологими и крутыми падениями крыльев и осложнены разломами. Месторождения крупные по запасам; типичные представители: Куньян (КНР); Мелроуз, Дуклак (США); Бурэнхан (Монголия); Дачис (Австралия); Чулактау, Аксай, Коксу, Жанатас, Кокджон (Казахстан).

Желваковые фосфоритовые руды состоят из *конкреций*, стяжений фосфатного вещества, фосфатизированных органических остатков размером 0,5–5 см, иногда до 15 см. Вмещающие отложения – глауконит-кварцевые пески, глины, аргиллиты. Иногда желваки (конкреции) сростаются, образуя фосфоритную плиту. По составу нефосфатных примесей выделяют глинистые и песчаные (кварцевые, кварц-глауконитовые) желваки. Фосфатные минералы – курскит, гидроксил-апатит, карбонат-апатит и др. Содержание P_2O_5 (по массе) в исходной руде 8–14%, в первичном концентрате (желваки) – 16–22%. Желваковые фосфориты – платформенные образования, связанные с терригенной глауконитовой формацией; наиболее широко развиты среди верхнеюрско-нижнемеловых осадочных толщ Восточно-Европейской платформы (*Вятско-Камское месторождение*, *Егорьевское месторождение* и др.). Месторождения образованы субгоризонтальными пластообразными и линзовидными залежами фосфоритов протяжённостью от нескольких км до нескольких десятков км. Мощность продуктивных тел от 0,1–0,25 до 2 м. Руды бедные и труднообогатимые. Крупные

месторождения (Вятско-Камское в России, Чилисайское в Казахстане) разрабатываются для производства фосфоритовой муки.

Ракушечные фосфоритовые руды характеризуются низким содержанием P_2O_5 (4–14%), однако легко обогащаются флотацией с получением концентрата (P_2O_5 до 32%). Их образование происходило в специфических палеогеографических и гидродинамических условиях путём накопления фосфатизированных *деприта* и раковин брахиопод в кварцевом песке. Ракушечные фосфориты широко распространены в Прибалтике (*Кингисеппское месторождение* в России; Равере, Тоолсе в Эстонии), где они приурочены к отложениям нижнего ордовика. Месторождения представлены протяжёнными, горизонтально залегающими телами мощностью от 1 до 12 м, выдержанными на десятки км.

Особо выделяются богатые галечниковые фосфоритовые руды. Они сложены окатанной галькой и гравием песчано-фосфатного вещества и фосфатизированных ископаемых остатков организмов. Содержание P_2O_5 в рудах может достигать 32–33%. Их образование связывают с разрушением и переотложением зернистых фосфоритов в озёрных пресноводных бассейнах. Классическим районом развития галечниковых фосфоритовых руд является Центральная Флорида в США, где пологие залежи фосфоритов пластообразной и лентовидной формы мощностью 7–9 м занимают площадь 18 км². Среднее содержание P_2O_5 (по массе) 15%, U_3O_8 – до 0,11%. Месторождения крупные и средние по запасам; являются основой фосфатно-сырьевой базы США – одного из ведущих мировых производителей фосфатного сырья. Типичные представители – месторождения Поулк, Ли Крик и др.

В гипергенных условиях коры выветривания при разрушении, растворении и выносе нефосфатных минералов происходит вторичное обогащение фосфоритов с образованием их рыхлых (остаточных) разновидностей, а при растворении и переотложении фосфатного вещества возникают каменистые (инфильтрационные и метасоматические) разновидности. Каменистые фосфориты – твёрдые и крепкие, внешне напоминают яшму, известняк, кремнь; залегают в виде обломков среди песчано-щебенистых пёстроокрашенных рыхлых фосфоритов. Рыхлые и каменистые фосфоритовые руды содержат 14–30% P_2O_5 (по массе), образуя площадные, линейные и карстовые залежи мощностью 10–40 м в приповерхностных частях фосфоритосодержащих карбонатных толщ. Мелкие и средние по запасам месторождения таких фосфоритовых руд имеются в России (Обладжанское, Телекское, Белкинское, Ашинское), США (Флорида, Теннесси) и других странах.

Природным источником фосфатов также являются комплексные песчаниково-зернистые фосфат-титан-циркониевые руды. Месторождения подобных руд установлены в верхнемеловых отложениях Днепровско-Донецкого бассейна (Унечское месторождение в Брянской области, Россия); их пологозалегающие пластовые залежи мощностью 0,3–5 м сложены комплексными фосфатными рудами с бедными и убогими содержаниями P_2O_5 (4–12% по массе), но с потенциально промышленными содержаниями попутных компонентов – ZrO_2 и TiO_2 , заключённых в зёрнах *циркона*, *ильменита* и *лейкоксена*, покрытых плёнками фосфатного вещества.

Незначительное место в общем балансе фосфатного сырья занимают «островные фосфориты» – крупные скопления *гуано* и пещерные продукты выделений морских птиц, приуроченные главным образом к островам (о. Рождества, Австралия; о. Науру, Океания, и др.) и прибрежным районам низких широт. Свежие экскременты содержат ок. 22% N и 4% P_2O_5 (по массе). В результате их быстрого разложения доля фосфата возрастает, а азота уменьшается. Современное гуано содержит 10–12% P_2O_5 , а выщелоченное – 20–32%. Минералогия гуано сложна: в слаборазложившееся гуано входят растворимый аммоний, щелочные оксалаты, сульфаты, нитраты, магниезиальные и аммоний-магниезиальные фосфаты; сильноразложившееся – состоит главным образом из фосфатов кальция – монетита H_4CaPO_4 , витлокита $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и др. Крупнейшие месторождения гуано имели первоначальные запасы в несколько сотен тыс. тонн; большинство их уже выработано. В последние десятилетия на западном побережье Северной Америки и Африки выявлен новый, потенциально перспективный источник фосфатного сырья – прибрежно-морские илы, обогащённые фосфором.

Фосфоритовые руды – основное сырьё для получения фосфатных и фосфатсодержащих (комплексных) удобрений (более 90% мировой добычи), а также для производства фосфорной кислоты, жёлтого фосфора, кормовых фосфатов и фосфатсодержащих химических соединений.

Литература

Киперман Ю. А. Агрономические руды и минеральные удобрения на рубеже XXI в. / Ю. А. Киперман, М. А. Комаров // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – Москва : РГ-Информ ; Росгеология, 1998. – N 4.

Карпова М. И. Минеральное сырьё. Фосфатные руды : [Справочник] / М. И. Карпова, А. И. Ангелов. – Москва : Геоинформмарк, 1998.

Фосфатные руды России : классификация, особенности состава и строения. – Казань : ЦНИИгеолнеруд, 2005. – (Труды Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых).

USGS : Mineral Commodity Summaries. Phosphate Rock Statistics and Information, 2020. – URL <https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information>.

О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году : государственный доклад / под ред. Е. А. Киселева. – Москва, 2019. – URL:

http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvenny_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/?sphrase_id=239904.