

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОДЕЛИ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АФАНИТОВЫХ ФОСФОРИТОВ ОКИНО-ХУБСУГУЛЬСКОГО БАССЕЙНА И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ

А.Ф. Георгиевский

Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Для разработки методики поисков месторождений Окино-Хубсугульского бассейна выделены и охарактеризованы основные условия фосфоритообразования, отражающие комплекс обстановок, из которых складывается своеобразная модель формирования крупных месторождений. Рассмотрены факторы, влияющие на обогатимость фосфоритов, и предложен новый высокоэффективный, экологически чистый микробиологический метод их обогащения.

Ключевые слова: модель фосфоритообразования, Окино-Хубсугульский бассейн, обогатимость, биогеотехнология.

Разработка модели для крупных (более 50 млн т P_2O_5) залежей высококачественных (28% P_2O_5) фосфоритов заключается в выяснении специфических геологических условий (палеофациальных, палеотектонических, палеогеографических и др.), оказывающих влияние на развитие благоприятной обстановки для достаточно интенсивного фосфатонакопления, способного образовать мощную фосфоритовую толщу (формацию), продуктивные пачки и пласты.

Модельный подход к раскрытию условий формирования крупных залежей фосфоритов в настоящее время осуществлен для миоценового бассейна Флориды [9] и частично для нижнекембрийского каратауского бассейна в Казахстане [6]. В связи с эволюционным характером развития процесса фосфоритообразования [8], глобального распространения фосфоритоносных толщ и приуроченности их к различным геотектоническим структурам земной коры отмеченные выше модели, по всей видимости, не могут быть универсальными. Логичнее ожидать существование многих моделей, которые при сходстве основного «каркаса» существенно отличаются в деталях строения самих модельных «конструкций». Это обстоятельство приобретает принципиальное значение при изучении перспективных новых территорий.

В модели должны быть отражены:

- литолого-стратиграфический разрез и закономерности размещения в нем фосфоритных толщ, пачек и пластов;
- фациальные обстановки накопления фосфоритов и вмещающих их отложений (гидродинамические условия; соленость вод, их биопродуктивность, газовый и температурный режимы; поступление осадочного материала, его характер и скорость накопления; особенности рельефа морского дна);

— тектоническое строение палеобассейна и роль конседиментационных движений в формировании и локализации фосфоритовых залежей;

— основные палеогеографические параметры обстановки времени фосфоритообразования (положение древней береговой линии; конфигурация морского бассейна; источники сноса терригенного материала и пути его транспортировки; особенности палеоклимата);

— литологические типы фосфоритов и их особенности;

— роль диагенетических и более поздних вторичных процессов в формировании фосфоритов и вмещающих пород;

— геохимические показатели фосфоритов, их пластов, пачек, толщ;

— источник фосфора, механизм его накопления и условия сохранения;

— пострудная тектоника, обусловившая современную структуру месторождений и всего бассейна;

— влияние на качество и обогатимость фосфоритов вторичных процессов;

— возможные и наиболее перспективные технологии обогащения руд.

Фосфоритообразование в истории Земли было широко развито, поскольку фосфориты встречаются в отложениях от докембрийских до современных. Вместе с тем появление крупных месторождений высококачественных фосфоритов — явление довольно редкое и подчиняется стратиграфической приуроченности. Причина этого — создание в определенный отрезок времени благоприятной для фосфатонакопления палеогеографической и тектонической обстановки, а также изменения в составе морской воды и эвстатические колебания уровня моря.

На Сибирско-Азиатском континенте наибольшее развитие получило древнее фосфоритообразование в венде и нижнем кембрии, объединяемых в новейших стратиграфических работах в эдиакарскую систему [11]. Типичным примером эдиакарского фосфатонакопления является Окино-Хубсугульский бассейн (ОХБ), где положение в вертикальном разрезе фосфоритоносной формации соответствует так называемой главной последовательности отложений, выявленной Э.А. Егановым для подавляющего числа фосфоритовых месторождений [6].

В пределах ОХБ месторождения фосфоритов связаны с кремнисто-карбонатной формацией и приурочены к забитской (хэссенской) свите. Характерной чертой ее строения является цикличная структура, которая проявляется на фоне крупного трансгрессивно-регрессивного мегацикла, представленного внизу и вверху терригенно-вулканогенными и терригенными комплексами, а в середине — карбонатными толщами. Забитская свита принадлежит к трансгрессивному плечу мегацикла и локализуется между наиболее мелководными сархойскими вулканогенно-терригенными образованиями и наиболее глубоководными хужиртайскими известняками. Нижняя граница несет следы размыва и начинается базальными конгломератами. Верхняя граница менее четкая.

С тектонических позиций ОХБ является частью Тувино-Монгольского массива, который, по последним данным, рассматривается как «осколок» древнего субмегаконтинента Родиния, распавшегося около 750 млн лет назад [7]. В современной тектонической структуре массив принадлежит Урало-Монгольскому складчатому поясу, испытавшему воздействие нескольких тектонических эпох,

в результате чего было создано сложное складчато-глыбовое сооружение. В пределах палеомассива ОХБ занимал область внутреннего шельфа и развивался в режиме мегасинклинария, консолидация которого завершилась в каледонский этап тектогенеза [1]. На Харанурском месторождении выявлены конседиментационные разрывные нарушения, что свидетельствует о формировании фосфоритов на фоне дифференцированных тектонических движений. Сложный их характер обусловил разнообразные фациальные условия фосфатонакопления, а также основные особенности палеогеографических обстановок седиментационного бассейна.

Фосфориты месторождений ОХБ представлены несколькими генетическими группами и разнообразны по качеству, минеральному составу и структурно-текстурным особенностям. Ведущей группой являются седиментационно-диагенетические фосфориты.

Фосфориты накапливались на глубине от нуля до первых десятков метров в морском бассейне с нормальным газовым режимом, местами испытывавшем кратковременное слабое опреснение [4]. Отложившееся фосфатное вещество прошло сложную историю преобразования. По данным электронной микроскопии, оно представлено не менее чем пятью последовательно кристаллизующимися минеральными фазами, образующими ряд: гелеобразное вещество — лучистые сферолито- и веероподобные обособления игольчатых кристаллитов — призматические кристаллы, друзовидно заполняющие межсферолитовое пространство — агрегаты короткостолбчатых кристаллов, развивающихся по лучистым образованиям с сохранением и без сохранения реликтовых структур — длиннопризматические кристаллы с закономерно изменяющейся ориентировкой, образовавшиеся под воздействием стресса. Первые две минеральные фазы формировались в диагенезе, остальные — в катагенезе и при метаморфизме. В целом же фосфатное вещество характеризуется как фторапатит с переменным незначительным содержанием CO_2 в кристаллической решетке. В метаморфизованных фосфоритах в заметном количестве присутствуют тетракальциевый фосфат, а в фосфоритах коры выветривания — железофосфаты.

Фосфориты и другие породы фосфоритных пачек на фоне вмещающих отложений выделяются специфичным комплексом микроэлементов, который включает элементы — примеси, связанные с карбонатной (Sr, Mn), графито-сульфидно-алюмосиликатной (Zn, Pb, Cu, Ni, Ba, Cr, V, Ga, B, Ti, Th, U), железо-гидроокисной (Cu, Ni, Cr, V, Ga) и собственно фосфатной частью этих пород (PЗЭ, As, Sr, Ba, U). Фосфатонакопление сопровождалось повышенным по сравнению с кларками накоплением в осадках As, Sr, Ba, Cr, Mo и в какой-то степени Zn, Cu, Ni, B, причем интенсивное накопление в фосфатных осадках As (К.К. = 100) и Ba (К.К. = 220) являлось наиболее характерной особенностью осадочного процесса во время формирования фосфоритов [4].

Фосфоритоносный бассейн располагался в зоне влажного жаркого гумидного климата. Отличительной особенностью бассейна была высокая скорость осадконакопления (около 2,4 м за 1000 лет) [4], беспокойный тектонический режим, а также резко выраженные вторичные изменения фосфоритоносных отложений. Источником фосфора предположительно служили глубинные магматические эманации, постулавшие в бассейн по конседиментационным тектоническим нарушениям.

Обогащаемость фосфатных руд во многом определялась постседиментационными процессами преобразования фосфоритов, изменявшими их минеральный состав, структуры и текстуры. Руды месторождений ОХБ в основном относятся к труднообогащаемым, и при их отработке потребуются привлечение сложных комбинированных технологических схем, включающих суспензионные, флотационные и обжиговые способы извлечения фосфата. Полученные концентраты пригодны для кислотной переработки, но качество их невысокое, и это заметно ухудшает экономические показатели месторождений. Данная проблема в разной степени характерна для большинства фосфоритоносных бассейнов, в конечном итоге это определяет конкурентоспособность фосфатных концентратов на мировом рынке. Опыт показывает, что решение данной проблемы может быть достигнуто при разумном сочетании возможностей традиционных способов обогащения и принципиально новых технологических разработок. К последним относится биотехнологический метод обогащения фосфатного сырья, позволяющий использовать бедные руды, отвалы, а также хвосты обогатительных фабрик, которые традиционными способами не обогащаются [5; 3]. Он отвечает современным требованиям экологической безопасности, так как базируется на принципах замкнутого водооборота с регенерацией рабочих растворов. В рамках метода наметились несколько самостоятельных биотехнологических направлений. Некоторые из них достаточно хорошо апробированы и защищены патентами, другие требуют проведения дальнейших углубленных исследований.

Биофлотация основана на способности некоторых микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности (культуральных жидкостей) избирательно влиять на флотационные свойства отдельных минералов, что резко повышает селективность их извлечения. *Биосорбция* позволяет очищать фосфатные продукты от экологически опасных микроэлементов, которые извлекаются при биологической обработке фосфоритов и сорбционно поглощаются на биофильтрах при регенерации оборотных растворов. Применение этого метода при обогащении зернистых фосфоритов Узбекистана и Израиля позволило производить очистку концентратов от токсичных микропримесей U и Cd на 15 и 35% соответственно. В основе *био-конверсионного направления* лежит явление структурной перестройки фосфата, возникающее при воздействии на него культуральными жидкостями в условиях жестких режимов. В результате достигается частичное извлечение из кристаллической решетки фосфата изоморфной примеси CO_2 , что влечет за собой повышение качества концентратов. При *биоактивации* в фосфоритах увеличивается количество растворимой в лимонной кислоте P_2O_5 с 26% до 35% с пропорциональным возрастанием доли фосфатного вещества, способного непосредственно усваиваться растениями.

Биохимическое направление наиболее проработано. По этой технологии обогащение достигается селективным выщелачиванием из фосфатного сырья примесных полезных либо вредных компонентов. Из кремнистых фосфоритов Полярного Урала, содержащих 4—7% P_2O_5 , биовыщелачиванием с последующей аккумуляцией в форме преципитата извлекалось до 72% фторапатита. При обогащении карбонатных фосфоритов разных месторождений (в том числе Окино-Хубсугульского бассейна) извлечено 100% кальцита и до 95% доломита [5]. По ка-

честву и потребительским свойствам биоконцентраты фосфатов превосходят аналогичные продукты, получаемые традиционными технологическими методами. Потери P_2O_5 незначительны — меньше 1% для кальцитовых руд и 5—15% для доломитовых. Расчеты себестоимости свидетельствуют о рентабельности биохимического обогащения [5].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Беличенко В.Г.* Палеотектоническое районирование палеозойд юго-восточной части Восточного Саяна, Западного Хамар—Дабана и Прихубсугулья // Геология и геофизика. — 1985. — № 5.
- [2] *Бушинский Г.И.* Древние фосфориты Азии и их генезис. — М.: Наука, 1966.
- [3] *Георгиевский А.Ф.* Биотехнология фосфатного сырья // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2000. — № 1.
- [4] *Георгиевский А.Ф.* Условия формирования месторождений северной части Окино-Хубсугульского фосфоритоносного бассейна (Юго-Восточный Саян): Автореф. дисс. ... канд. г-м. наук. — М., 1991.
- [5] *Георгиевский А.Ф., Поташиник Б.А., Магер В.О., Финогенова Т.В., Авакян З.А.* Микробиологическое обогащение фосфоритов — технология XXI века // Горный вестник. Специальный выпуск. — 1996.
- [6] *Еганов Э.А., Светов Ю.И.* Каратау — модель региона фосфатонакопления. — Новосибирск: Наука, 1979.
- [7] *Ильин А.В.* Древние (эдиакарские) фосфориты. — М.: ГЕОС, 2008.
- [8] *Красильникова Н.А.* Фосфориты Сибири — закономерности геологического размещения и перспективы поисков: Дисс. ... докт. г-мн. наук. — 1966.
- [9] *Риггс С.Р.* Фосфоритовая седиментация на Флориде — модель фосфогенной системы. Геология месторождений фосфоритов. — М.: Мир, 1983.
- [10] *Семейкин И.Н., Колесников В.П., Белоголовов В.Ф., Храпаль Ю.И.* Геологическое строение и типы руд северной части Ухагольского месторождения (Восточный Саян) // Геология и геофизика. — 1976. — № 9.
- [11] *Knoll A., Walter M., Narbonne G., Christie-Blick N.* Three «Best Places» for Ediacaran period. — Episodes. — 2004. — V. 27. — P. 222.

THE ESSENTIAL IN A MODEL OF FORMATION CONDITIONS OF APHANITIC PHOSPHATE'S MAJOR DEPOSITS IN KHUBSUGUL BASIN AND THE NEWEST TECHNICS OF THEIR BENEFICATION

A.F. Georgievsky

Engineering Faculty

People's Friendship University of Russia

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

In order to find out a prospecting technique of Khubsugul basin, general conditions of phosphate formation are marked and described. They exhibit a complex of sedimentary environments, making some kind of major deposits' formation model. Factors affecting a phosphate concentrating are examined. A new high — efficiency and ecologically harmless microbiological beneficiating method is proposed for consideration.

Key words: phosphate formation's model, Khubsugul basin, beneficiation, biogeotechnology.