Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.ХУШ, вып.2, 1975 г.

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ФОСФОРИТОВЫХ РУД КИНГИСЕППСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.И.БЕРЕСНЕВА, Г.П.ДУБАРЬ, Н.А.ГОЛЬДВИРТ

Доломитизация фосфоритовых руд повышает содержание MgO, что ухудшает качество руд и в ряде случаев переводит их в разряд некондиционных, забалансовых. Доломитизации подвержены отдельные локальные участки месторождения. Естественно, их желательно выявить в процессе проведения разведочных работ и исключить из числа балансовых запасов.

По генетическому признаку Кингисеппское месторождение относится к морским осадочным биохимическим месторождениям, возникшим за счет концентрации богатых фосфором раковин брахиопод Obolus в прибрежной части пакерортского (нижнеордовикского) моря. Раковины приурочены к разнозернистым пескам (от мелко- до крупнозернистых), залегающим в виде пластов платформенного типа мощностью до 5 м. В разрезе промышленного фосфоритового пласта выделяется несколько типов руд, отличных по гранулометрическому составу и содержанию $P_2O_5$ (табл. 1). Минералогический состав песков однородный и представлен в основном кварцем, раковинами Obolus, в меньшей мере зернами глауконита, полевых шпатов, доломита и пленками фосфата.

Залегают фосфоритовые руды практически горизонтально, с небольшим падением на юг, угол падения равен 10-15'. Поэтому пласт фосфоритов выклинивается на севере и постепенно погружается к югу. Неровности фундамента и ледниковая эрозия привели к изменению мощности промышленного пласта, вплоть до его полного размыва.

Как известно, морские осадочные биохимические месторождения, подобные Кингисеппскому, характеризуются широким распространением руд фосфоритов по площади, сравнительно хорошей выдержанностью по простиранию древней береговой линии и быстрым изменением качества вкрест простирания. Однако предшествующими геологическими исследованиями на месторождении указанные закономерности не подтверждены [3].

Таблица 1

Литологические типы фосфоритовых руд в разрезе промышленного пласта

| Свита | Слои | Мощность, м | $P_2O_5$, % | MgO, % | Тип руды |
|---|---|---|---|---|---|
| Тосненская | Песок крупно- и среднезернистый | 2,00 | 9-15 | 0,6-1 | Песок крупно- и среднезернистый серый и зеленовато-серый, иногда с рыжими пятнами, с отчетливой грубой косой и перистой слоистостью, с крепкими раковинами хорошей сохранности. В верхней части разреза пески иногда образуют прослой (до 0,1 м) слабосцементированного быстро выкрашивающегося песчаника. В отдельных местах, в песках, наблюдаются прослойки и линзочки глины. В средней и особенно нижней части слоя иногда отмечаются кальцитовые лепешкообразные конкреции и субконкреции серого и зеленовато-серого цвета от 2 до 20 см. Довольно часто встречаются песчано-доломитовые конкреции и плотные слои доломитизированных песчаников, редко доломитизированные песчаники - "столбы" |
| Ладожская | Песок среднезернистый | 1,70 | 4,60 | 0,5-0,9 | Песок среднезернистый, зеленовато-серый, хорошо отсортированный, с обломками и целыми раковинами, с четкой косой, перистой и волнистой слоистостью. Раковины окатаны или хрупкие выветрелые, располагаются по всему слою, реже - по наслоению. Отмечаются ходы илоедов, заполненные глауконитом. Встречаются песчано-доломитовые конкреции и плотные слои доломитизированных песчаников, сравнительно редко - монолитные доломитизированные песчаники - "столбы" |
| | Песок мелкозернистый | 0,50-0,90 | 3,30 | 0,50 | Песок мелкозернистый светло-серый, хорошо отсортированный, с редкими мелкими обломками раковин, с неясной горизонтальной слоистостью, иногда подчеркиваемой по плоскостям наслоения скоплениями тонких раковин в виде цепочек. Редко встречаются песчано-доломитовые конкреции и слои доломитизированных песчаников |
| | Детритусовый | 0-0,15 | 5,65 | - | Песок мелкозернистый с крупными раковинами (до 1,5 см) хорошей сохранности |

Изменение содержания $P_2O_5$ в разрезе толщи выражено четко и тесно связано с определенными литологическими типами песков (руд) в разрезе промышленного пласта (см. табл. 1). Поэтому основное внимание будет уделено изменению качества руд на площади месторождения. В основу ре-

Таблица 2

Доломитизированные типы фосфоритовых руд

| Порода | Тип руды | Мощность, м | Встречаемость | $P_2O_5$, % | MgO, % | $Fe_2O_3$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Доломитизированный монолитный песчаник | Монолитный крепкий доломитизированный песчаник вишневого цвета без видимых реликтов конкреций. Чаще залегает в виде сплошных пластообразных линз и прослоев, быстро выклинивающихся, реже в виде отдельных прослоев в разрезе. Поверхность песчаника обычно гладкая, с карманами и линзами, заполненными несцементированным песком. Песчаник быстро выклинивается по простиранию, переходя, видимо, в конкреционные образования | 0,5-5 | Редко | 2-6 (ср.значение 3,5) | 1,3-7,0 (ср. значение 3,8) | 1,30 |
| Доломитизированный конкреционный песчаник | Конкреции вишневого цвета. Цемент темно-вишневый железисто-доломитовый. Образуют слабо или плотно сцементированный песчаник, переходящий по простиранию в песчано-доломитовые конкреции | 0,5-3,5 | Довольно редко | 2-6 (ср.значение 3,5) | 1,3-7,0 (ср. значение 3,8) | 0,95 |
| Песчано-доломитовая конкреция | Встречается в серо-лиловых или вишневых среднезернистых песках, реже в мелкозернистых. Представлена аналогичными по цвету песками. Цемент железисто-доломитовый. Конкреции вишневого цвета различной интенсивности, в центре окрашены слабо (до серого цвета), по периферии - максимально. Конкреции овальные, крупные, размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Насыщенность конкрециями различна: от единичных до сплошных скоплений. Конкреции залегают в виде линз и прослоев различной протяженности: от 0,5 до 250 м и мощностью 0,1-3 м. Иногда конкреции переходят в конкреционные песчаники | 0,1-3 | Довольно часто | 3-6 (ср.значение 4,3 | От следов до 4,6 | 0,50 |

шения этой задачи положен большой фактический материал расчисток и колонкового бурения, полученный в течение многолетних разведочных и эксплуатационных работ.

По содержанию MgO также, как и $P_2O_5$, руды неоднородны (табл.2). По данным В.Г.Загураева [2], доломитизированные руды составляют 5-10% от всей рудной массы месторождения. Доломитизации подвержены отдельные локальные участки месторождения. Ориентировочно установлено, что в целом по месторождению содержание MgO в рудах увеличи-

вается с востока на запад и с севера на юг.

При изучении фосфоритовых руд Кингисеппского месторождения отчетливо наблюдается первичная и вторичная доломитизации. Со вторичной доломитизацией генетически и пространственно связано вторичное ожелезнение руд.

Следует отметить, что диапазон изменения фонового (диагенетического) содержания магния в одноименных типах фосфоритовых руд небольшой и остается в пределах допустимых кондиционных величин (см. табл. 1). Видимо, должна существовать зависимость между содержанием в рудах фосфора и диагенетического магния, которая является следствием изменения фациальной среды накопления оболовых песков. Наиболее отчетливо эта связь должна прослеживаться при изучении руд, залегающих вкрест простирания древней береговой линии моря. Напротив, пораженные вторичной доломитизацией руды характеризуются повышенным содержанием магния и железа (см. табл. 2).

Вторичную доломитизацию можно подтвердить тем, что:

1. Ориентировка слоистости и раковин *Obolus* сохраняется без изменения как во вмещающих песках, так и в доломитизированных песчаниках.

2. Минералогический состав вмещающих осадков (кварцевые рыхлые пески) и доломитизированных участков (кварцевые песчаники, скрепленные железисто-доломитовым цементом) тождественный.

3. Количество железисто-доломитового цемента уменьшается к центру конкреций, вплоть до полного исчезновения; в доломитизированных песчаниках, наоборот, уменьшается к периферии доломитизированных участков.

4. Зеленовато-бурый глинистый осадок присутствует в доломитизированных песчаниках в виде тонких горизонтальных и секущих прожилков. Видимо, этот пелитовый материал привнесен магнезиальными водами, поступающими сверху по трещинам и порам.

Источником вторичных магния и железа явились лежащие над промышленным пластом руд ожелезненные и доломитизированные известняки леэтского $O_1^{lt}$, волховского $O_1^{vl}$, кундского $O_1^{kd}$ горизонтов. Проникающие сверху воды выщелачивали эти известняки, вносили в подземную циркуляцию магний и железо и переотлагали их в отдельных участках оболовых песков в виде вторичного доломита и гидроокислов железа.

Максимальное число доломитизированных тел приурочено к хорошо пористым и проницаемым средне- и крупнозернистым пескам и локализуется на границе с мелкозернистыми фосфоритовыми рудами, поскольку последние труднопроницаемы и характеризуются меньшей пористостью. Поэтому количество "донных" доломитизированных песчаников намного превышает количество "срединных".

Существует связь между интенсивностью поражения доломитизацией промышленных руд и мощностью перекрывающего разреза вышележащих пород. По данным ~2000 проб был проведен анализ зависимости содер-

жания $MgO$ от мощности вскрыши на трех отработанных участках Кингисеппского месторождения. Установлено, что с увеличением мощности вскрыши содержание $MgO$ увеличивается.

Выявлена пространственная связь образования монолитных доломитизированных песчаников – столбов и доломитизированных плотных песчаников с трещинами северо-восточного и северо-западного простирания.

Для выявления закономерностей доломитизации по площади и изменения качества фосфоритовых руд обобщен материал многолетних данных опробования путем графических построений и применения тренд-анализа.

Значение изучаемого параметра

$$Z(x,y) = F(x,y) + \omega(x,y) \ ,$$

где $x,y$ – координаты точек наблюдения на плане (координаты центра соответствующего квадрата сети); $F(x,y)$ – закономерная составляющая изменчивости тренда; $\omega(x,y)$– случайные колебания и ошибки (в данном случае связанные с отбором и анализом проб или случайными колебаниями исследуемого параметра, обусловленного геологической природой залежи).

Исключить влияние ошибок, связанных с процессом опробования, можно усреднением значения параметра $Z(x,y)$ на некоторых локальных площадях, называемых Н.Н.Боронко [1] площадками трансформации. В данном исследовании площадками трансформации являются квадраты размером 200х200 м декартовой системы координат, нанесенной на план изучаемой площади. В каждом квадрате определяли четыре величины: среднее значение $Z_c$ (математическое ожидание процентного содержания $P_2O_5$ по всем скважинам, попавшим в квадрат); среднее значение содержания $P_2O_5$ по всем расчисткам $Z_p$ ; аналогичные величины для содержания $MgO$, $U_c$ , $U_p$ .

Изменчивостью содержаний внутри квадратов следует пренебречь, считая их однородными на данном уровне исследования. Найденные "средние" привязывали к центру квадрата, т.е. им приписывали соответствующие координаты $(x,y)$. По некоторым квадратам (выборочно) вычисляли одновременно меры разброса содержаний $P_2O_5$ и $MgO$ , размах $R_n$ и стандартное отклонение от среднего $\sigma_n$ .

Использование формул математической статистики для оценки средних и разброса показало статистическую независимость проб, расположенных на расстоянии $\geqslant 30$ м (по содержанию $MgO$). По найденным в квадратах средним фактическим значениям $Z_c$ , $Z_p$, $U_c$ , $U_p$ методом наименьших квадратов были вычислены уравнения линейного тренда (табл. 3) и составлены карты флуктуаций $\Delta(x,y)$ остаточного эффекта, обусловленного случайной изменчивостью.

На картах флуктуаций содержаний $P_2O_5$ выделяются значительные участки с максимумами $\Delta(x,y)$ и соседствующие с ними участки минимумов $\Delta(x,y)$. Для содержаний $MgO$ размещение флуктуаций по площади более равномерно. На основе анализа карт флуктуаций $\Delta(x,y)$ выделяются три зоны, различающиеся по характеру изменчивости $P_2O_5$ (см. табл. 3). Тренд-анализ позволил:

1. Выявить общую, хоть и очень слабую (0,25% на 1 км), тенденцию увеличения процентного содержания $P_2O_5$ в направлении с северо-востока на юго-запад азимут примерно равен 202-212°.

2. Выделить отдельные зоны, характеризующиеся несколько отличными от общей тенденции закономерными изменениями содержания $P_2O_5$.

3. Установить, что данные опробования по скважинам и расчисткам дают одинаковую картину изменчивости содержаний $P_2O_5$. Для содержаний MgO расхождения значительные.

4. Определить, что закономерные изменения MgO на всей площади практически отсутствуют. На общем, достаточно однородном, фоне выделяются спорадически размещенные по всей площади точки с высокими содержаниями MgO ( > 1%).

Проекция градиента на любое выбранное направление определяет скорость изменения функции $F(x,y)$ в этом направлении. Вычисленные в процессе исследования градиенты изменчивости $P_2O_5$ позволяют решить задачу о выделении условно однородных участков месторождения со стационарным характером процентного содержания $P_2O_5$. Если в пределах участка закономерные изменения $F(x)$ меньше случайных колебаний $\omega(x)$, то практически на таком участке $F(x) = \text{const}$. При отсутствии автокорреляции между единичными замерами совокупность значений $Z(x)$ можно рассматривать как случайную выборку и для оценки среднего и его характеристик (разброс, точность и пр.) использовать формулы математической статистики. Так как $\Delta F = \text{lgrad} F$, то из условия $\Delta F < 2\sigma$ протяженность участка со стационарным значением параметра

Таблица 3

Линейный тренд содержаний $P_2O_5$ и MgO

| Зона | Параметр | Тренд | Градиент изменчивости параметра | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Азимут, град. | Абсолютное значение на 0,2 км,% |
| Вся площадь | $Z_p$ | $Z_p = 7{,}330 - 0{,}0199x - 0{,}0467y$ | 202 | 0,051 |
| | $Z_c$ | $Z_c = 6{,}534 - 0{,}026x - 0{,}042y$ | 212 | 0,050 |
| | $U_p$ | $U_p = 0{,}512 + 0{,}0135x + 0{,}0037y$ | 74 | 0,014 |
| | $U_c$ | $U_c = 0{,}789 + 0{,}0094x + 0{,}0070y$ | 38 | 0,011 |
| I | $Z_p$ | $Z_p = 11{,}378 - 0{,}0032x - 0{,}5100y$ | 180 | 0,512 |
| | $Z_c$ | $Z_c = 7{,}023 + 0{,}369x - 0{,}506y$ | 144 | 0,640 |
| II | $Z_p$ | $Z_p = 8{,}370 + 0{,}206x - 0{,}046y$ | 102 | 0,207 |
| | $Z_c$ | $Z_c = 6{,}406 + 0{,}060x - 0{,}022y$ | 110 | 0,064 |
| III | $Z_p$ | $Z_p = 6{,}228 + 0{,}083x - 0{,}106y$ | 152 | 0,132 |
| | $Z_c$ | $Z_c = 6{,}381 - 0{,}025x - 0{,}138y$ | 190 | 0,139 |

по линии наибольшей изменчивости

$$l \leq \frac{2\sigma}{grad F} .$$

Для содержаний пятиокиси фосфора $\sigma = 1{,}2\%$ (среднее значение, вычисленное по ряду квадратов) $grad F = 1\%$ на 1 км (исключение составляет зона I, где имеем 3% на 1 км). Значит, в направлении наибольшей изменчивости (СВ–СЗ) протяженность условно однородных участков $l \leq \frac{2{,}4}{3}$ км. В других направлениях закономерная изменчивость ниже, поэтому квадраты 0,5х0,5 км можно считать практически однородными. В пределах таких квадратов число замеров, необходимое для оценки среднего значения $P_2O_5$ с данной точностью $\delta$ при определенной надежности $q$

$$n = \frac{t^2 q(m-1) v^2 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{2m}}\right]^2}{\delta^2} ,$$

где $t_q^2(m-1)$ - коэффициент Стьюдента, зависящий от надежности $q$ и числа предварительных замеров $m$, по которым был вычислен коэффициент вариации $v$; $\delta$ – заданная относительная погрешность в определении среднего, %.

Для содержаний пятиокиси фосфора $v \leq 20\%$, $m = 25$ при надежности 90%, $n = 20$ (пробы равномерно размещены по площади квадрата 0,5х0,5 км) обеспечат относительную погрешность в определении среднего значения $P_2O_5$ не более 10%. Число проб взято с некоторым запасом, так как условно однородные участки имеют площадь более 0,5х0,5 км. Такое число проб обеспечивается разведочной сетью 125х125 м.

Однородные по MgO блоки имеют значительно меньший размер. Для надежного определения MgO нужна сеть более густая, что требует проведения дополнительных исследований.

Литература


1. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. "Недра", 1971.

2. Загураев В.Г., Медведев П.А., Яковлева Г.Ф. Новые данные о доломитизации оболовой толщи Кингисеппского месторождения. "Промышленность горнохимического сырья и природных солей", 1968, вып. 1.

3. Загураев В.Г. Особенности геологического строения и обоснование методики эксплуатационной разведки Кингисеппского месторождения ракушечниковых фосфоритов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геол.-мин. наук. "Койт", 1973.