



УДК 553.641

Б. Е. ДВОСКИН, В. Э. КУТЫРЛО, А. А. РАЗВОДОВСКИЙ (ОАО «Белгорхимпром»)
Д. М. КУРЛОВИЧ, В. П. САМОДУРОВ (Белорусский государственный университет)

ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ФОСФАТНЫЕ ПОРОДЫ В СЕКТОРЕ РАНЧО-ЧИРИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАВАЙ (ВЕНЕСУЭЛА)



Б. Е. ДВОСКИН,
главный инженер
проекта



В. Э. КУТЫРЛО,
зав. сектором,
канд. геол.-минерал. наук



А. А. РАЗВОДОВСКИЙ,
младший научный
сотрудник



Д. М. КУРЛОВИЧ,
ведущий научный сотрудник,
канд. геогр. наук



В. П. САМОДУРОВ,
ведущий научный
сотрудник,
канд. геол.-минерал. наук

Рассмотрен опыт применения радиометрических исследований в секторе Ранчо-Чири месторождения Навай (Республика Венесуэла) с целью обнаружения фосфатных пород. Научно-техническое сопровождение геологаразведочных работ проводит ОАО «Белгорхимпром» в рамках сотрудничества с компанией Petroquimica de Venezuela.

Ключевые слова: радиометрические исследования, месторождение фосфоритов, мощность экспозиционной дозы, жидкокристаллический индикатор, картирование, буровые работы, запасы.

Введение

ОАО «Белгорхимпром» в рамках сотрудничества с компанией «Petroquimica de Venezuela» проводит научно-техническое сопровождение геологаразведочных работ на месторождении фосфатов Навай в северо-западной части Боливарианской Республики Венесуэла (рис. 1). В настоящее время на месторождении проведена предварительная разведка участка Ла-Линда и детальная разведка участка Лос-Монос. Разведанные геологические запасы фосфатов месторождения Навай составляют 69,9 млн т сырой руды (12,8 млн т в пересчете на P_2O_5). Для оценки запасов и прогнозных ресурсов с целью наращивания сырьевой базы будущего горно-обогатительного комплекса на неизученных в буровом отношении площадях выполнены радиометрические площадные исследования — гамма-съемка.

С целью доказательства возможности обнаружения гамма-съемкой в недрах фосфатных пород проведены опытные работы в секторе Ранчо-Чири, примыкающем с юго-запада к участку Ла-Линда. По степени изученности исследуемый сектор представлял собой по англо-американской геологической терминологии площадь «green hills/blue sky» — отсутствие каких-либо поисково-оценочных и разведочных работ (рис. 2, а).

При выполнении работ применялось лицензионное оборудование (радиометр МКС-PM1402М, навигатор GPSmap 76CSx, горный компас Brunton), а также программное обеспечение

(AutoCAD и стандартные модули геоинформационной среды ArcGIS).

Методика исследований

Радиометрические исследования объединяют методы, основанные на изучении естественной радиоактивности горных пород. Возможность применения радиометрии на объекте Навай обусловлена разной радиоактивностью руд и пород, тяготению к фосфатным породам радиоактивных элементов*. Так как возможная глубина радиометрии (в варианте гамма-съемки) невелика (до 1 м), объектом разведки в секторе Ранчо-Чири являлось картирование выходов фосфатных пород на земную поверхность.

Эффективность обнаружения выходов и обнажений продуктивного пласта с помощью гамма-съемки зависит не только от интенсивности фотонного излучения I_γ фосфатов, но и от уровня нормального фона $I_{н.ф.}$. Он обусловлен натуральным фоном радиоактивности перекрывающих рудное тело пород $I_{н.ф.п}$ и остаточным фоном за счет космического излучения и «загрязненности» прибора $I_{ост}$, т. е. $I_{н.ф.} = I_{н.ф.п} + I_{ост}$. Средний нормальный фон $I_{н.ф.}$ определялся на заведомо безаномальных участках по формуле

$$I_{н.ф.} = \sum_{i=1}^N I_{н.ф.i} / N, \quad (1)$$

где $I_{н.ф.i}$ — интенсивность фотонного излучения в любой i -й

* Геология месторождений фосфоритов, методика их прогнозирования и поисков / под ред. А. С. Зверева, А. С. Михайлова — М. : Недра, 1980. — 267 с.

точке из всех N точек, принятых для расчета нормального фона.

Аномалиями I_a в результате гамма-съемки ($\Delta I_{\gamma i} = I_{\gamma i} - I_{н.ф.}$) считались значения, в k раз превышающие среднее квадратическое отклонение $\sigma_{н.ф.}$ от нормального фона.

$$\sigma_{н.ф.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (I_{н.ф.i} - I_{н.ф.})^2}{N-1}}; \quad (2)$$

$$I_a \geq I_{н.ф.i} + k\sigma_{н.ф.}, \quad (3)$$

где k — коэффициент статистической достоверности.

Коэффициент может принимать значения от 1,5 до 3 в зависимости от изученности территории. Для сектора Ранчо-Чири месторождения Навай его приняли равным 1,5–2.

Плотность наблюдений при радиометрических исследованиях в секторе Ранчо-Чири определялась масштабом работ, геологическими и топографическими условиями изучаемой территории (пересеченностью, лесистостью, болотистостью и др.) и соответствовала «Инструкции по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках»**.

Перед началом полевых работ ежедневно проводилось тестирование и калибровка прибора. В режиме тестирования процессор проверял соответствие номера подключенного блока детектирования номеру, записанному в память процессора на предприятии-изготовителе. В режиме калибровки измерялась скорость счета импульсов радиационного фона. При этом процессор выполнял подсчет числа импульсов, поступающих из блока детектирования, а на аналоговой шкале в относительных единицах индцировалось время, прошедшее с начала калибровки. Заполнение шкалы означало окончание калибровки. Продолжительность калибровки зависела от величины фона. При уровне фона мощ-

ность экспозиционной дозы (МЭД) фотонного излучения, соответствующего естественному фону, время калибровки составляло не более 30 с для блока детектирования БД-01.

Процессор рассчитывал среднюю скорость счета импульсов за время калибровки N_{ϕ} и величину порога срабатывания P по формуле

$$P = N_{\phi} T_c + n\sigma, \quad (4)$$

где T_c — время счета в режиме поиска, равное 2 с; σ — среднеквадратичное отклонение величины, рассчитываемое по формуле для распределения Пуассона числа импульсов; n — число среднеквадратичных отклонений (коэффициент n).

Наземные измерения МЭД фотонного излучения в точках выполняли путем размещения блока детектирования на поверхности почвенно-растительного слоя или пород. В журнал гамма-съемки записывали средние значения из 2–3 отсчетов, выполняемых через интервал времени в режиме измерения.

В режиме измерения на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) через каждые две секунды выводилось значение МЭД, рассчитываемое по формуле

$$\text{МЭД фотонного излучения} = f(N_0),$$

где N_0 — среднее значение скорости счета импульсов, рассчитываемое за время измерения; $f(N_0)$ — полином, коэффициенты которого зависели от используемого блока детектирования.

В нижней строке на ЖКИ индцировался коэффициент вариации показаний (%), рассчитываемый с доверительной вероятностью 0,95. На аналоговой шкале индцировался МЭД фотонного излучения в долях от установленного порога, которые заносились в соответствующий журнал гамма-съемки.

Если измеряемая величина превышала установленный порог, прибор формировал звуковой или вибрационный сигнал.

Между точками наблюдений проводилось непрерывное «прослушивание» в режиме поиска при перемещении блока детектирования на высоте 10–20 см над поверхностью пород.

В режиме поиска процессор каждые 0,25 с подсчитывал импульсы, приходящие из блока детектирования, с сохранением в памяти суммы импульсов за 8 таких интервалов, т. е. за 2 с. При этом каждые 0,25 с число импульсов за последний (новый) интервал добавлялось к текущей сумме, а число импульсов за первый интервал вычиталось из суммы импульсов. Таким образом, число импульсов N_c , хранящихся в памяти

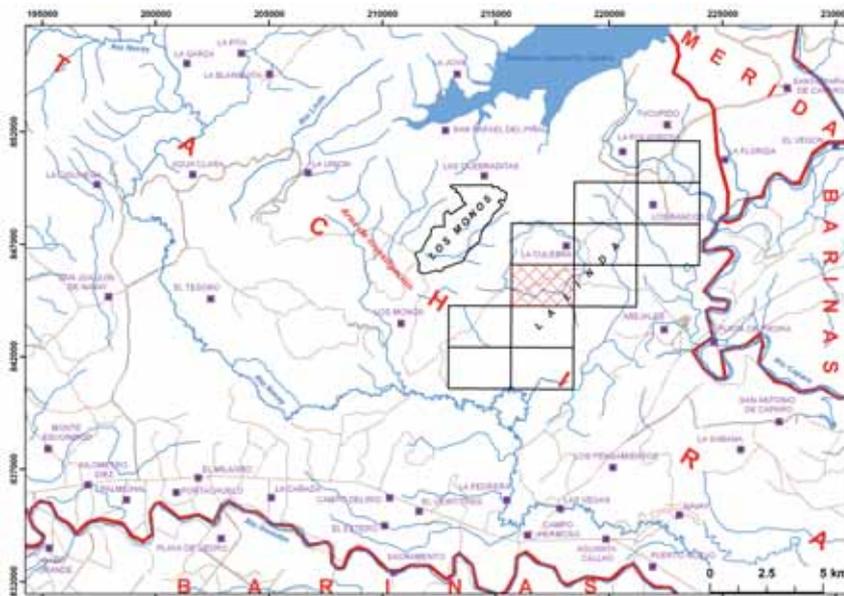


Рис. 1. Обзорная карта района исследований (штриховкой показан район исследования)

** Инструкция по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках. — Л., 1986. — 57 с.



Рис. 2. Опытные работы в секторе Ранчо Чири:

а — площадь «green hills/blue sky»; *б* — проведение гамма-съемки; *в* — бурение скважин; *г* — вскрытие фосфатной породы

процессора, обновлялось каждые 0,25 с. Текущее значение N_c каждые 0,25 с сравнивалось с порогом срабатывания Π .

Если текущее значение числа импульсов превышало пороговое значение, т. е. $N_c > \Pi$, включалась звуковая сигнализация. Частота следования звуковых сигналов возрастала с увеличением превышения N_c над Π .

В режиме поиска на ЖКИ индцировались текущие значения средней скорости счета в импульсах в секунду, а также коэффициент вариации показаний (%), рассчитанный с доверительной вероятностью 0,95.

Полевые исследования и их обработка и интерпретация

Полевые радиометрические исследования в секторе Ранчо-Чири выполнены в июне — августе 2010 г. Планировалось выполнить на площади более 2,52 км² 25 радиометрических профилей, отстоящих друг от друга на расстоянии 100 м. Расстояние между точками наблюдений на профилях составляло 20 м (рис. 2, б).

Однако в ходе полевых работ оказалось, что топографические условия являются весьма сложными (пересеченность рельефа, лесистость, обводненность и др). С учетом этого было принято решение провести комплексную гамма-съемку сектора Ранчо-Чири следующим образом:

- при прохождении маршрутов определить перспективные на радиоактивные аномалии площади;
- гамма-съемку по сети провести в пределах

перспективных на радиоактивные аномалии площадях.

Кроме того, в связи с невозможностью проведения измерений (густой лес, болото, крутой склон и т. д.), вместо данных по отдельным точкам на профилях использовалась информация дополнительных пунктов (точки наблюдений с префиксами *ad*, *p*, и *e*).

Общий объем измерений составил 584 точки наблюдения. В местах характерных обнажений фосфатных пород проводилась фотографическая съемка и отбирались штучные пробы.

По результатам гамма-съемочных работ в секторе Ранчо-Чири установлено, что аномалиями являются значения МЭД фотонного излучения, превышающие в полевых условиях 0,15–0,16 мкЗв/ч (при среднем нормальном фоне 0,06–0,07 мкЗв/ч). Согласно этому положению построены карты гамма-аномалий сектора Ранчо-Чири (рис. 3).

При изучении аномалий МЭД фотонного излучения была подтверждена их приуроченность к фосфатным породам и фосфоритам.

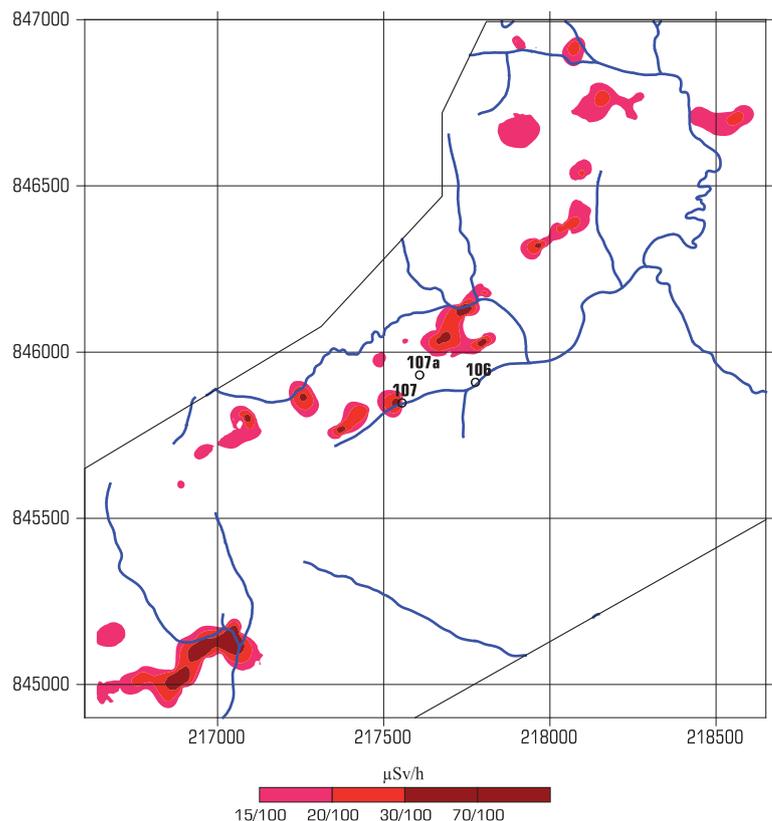


Рис. 3. Карта гамма-аномалий сектора Ранчо-Чири (аномалии с МЭД фотонного излучения более 0,15 мк³)

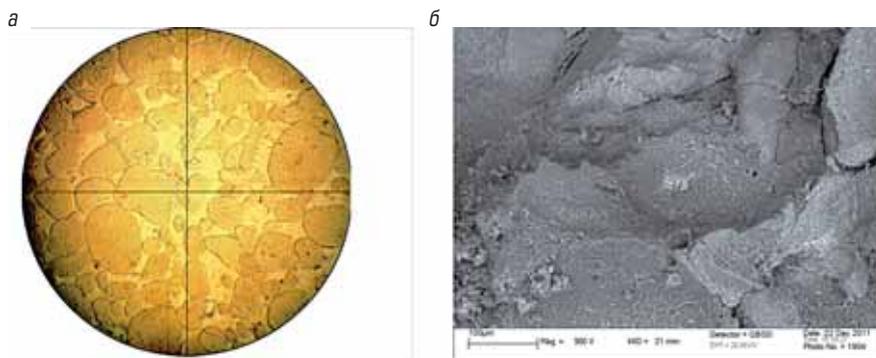


Рис. 4. Фосфатные породы, вскрытые в скважине LL-106:

a — фото шлифа без анализатора, размер поля зрения 1,65 мм; *б* — сканирующая электронная микрофотография (SEM), $\times 200$

Для подтверждения результатов гамма-съемочных работ и оценки запасов фосфатных пород в секторе Ранчо-Чири предполагалось пробурить 22 скважины глубиной 20–30 м (рис. 2, в).

Поисковые буровые работы (разбуривание гамма-аномалий)

В ноябре — декабре 2011 г. в секторе Ранчо-Чири пробурены три скважины LL-107а, LL-107 и LL-106 (рис. 2, г). В двух последних вскрыт продуктивный фосфатный пласт: в скважине LL-107 в интервале глубин 16,9–20,4 м; при бурении скважины LL-106 произошла авария — обрыв нижних секций буровой колонны с керноприемником, поэтому продуктивный пласт не был пройден на всю мощность.

Полезное ископаемое представлено фосфоритом — мелкозернистым кварц-коллофан-апатитовым песчаником. В обломочной части породы присутствуют зерна коллофан-апатита (0,1–0,8 мм), редкие фрагменты фосфатизированных органических остатков (0,1–0,6 мм), мелкозернистый кварц, единичные зерна полевых шпатов (рис. 4).

Зерна фосфата окатанные, доминирует размер 0,2–0,5 мм, практически без следов выщелачивания или с редкими мелкими пустотами — следами очень слабого выщелачивания. На периферии фосфатных зерен и в цементе — очень редкие мелкие

игольчатые выделения вторичного вавеллита. Содержание P_2O_5 достигает ~29 %, что дает право называть эту породу фосфоритом.

Согласно соответствующим анализам, фосфориты, вскрытые в секторе Ранчо-Чири, имеют хорошее качество и пригодны как для обогащения методом флотации (соотношение $CaO:P_2O_5$ не превышает 1,55), так и для прямого их использования в качестве фосфатной муки.

Выводы

По материалам радиометрических исследований на участке Ранчо-Чири месторождения Навай выделены аномалии МЭД фотонного излучения и определена их природа. Бурением скважин на выделенных участках вскрыт мощный продуктивный фосфатный пласт (3,5 м) при значительном содержании в нем P_2O_5 , что доказало эффективность проведения радиометрических работ с целью картирования распространения фосфатных пород. Продолжение буровых работ позволит оценить запасы фосфатных пород по системе РКЗ/ГКЗ.

Результаты исследований можно использовать с целью подтверждения прогнозных ресурсов по категориям R_1 и R_2 и запасов по категории C_2 в зонах, примыкающих непосредственно к разбуренным участкам Лос-Монос и Ла-Линда. **ГЖ**

Двоскин Борис Ефимович,

тел.: +375 (17) 334-79-37

Кутьрло Виталий Эдуардович,

Разводовский Александр Александрович,

тел.: +375 (17) 334-86-01

Курлович Дмитрий Мирославович,

тел.: +375 (17) 209-54-79

Самодуров Владимир Петрович,

тел.: +375 (17) 262-24-95

GEOLOGICAL EXPLORATION RADIOMETRIC OPERATIONS, DIRECTED ON PHOSPHATE ROCKS IN RANCHO CHIRI SITE OF NAVAY DEPOSIT (VENEZUELA)

Dvoskin B. E.¹, Chief Design Engineer, phone: +375 (17) 334-79-37

Kutyro V. E.¹, Head of Department, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

Razvodovskiy A. A.¹, Junior Researcher

Kurlovich D. M.², Leading Researcher, Candidate of Geographic Sciences

Samodurov V. P.², Leading Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

¹«Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

²Belorussian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Within the collaboration with Petroquimica de Venezuela company, «Belgorkhimprom» JSC carries out the scientific-technical accompaniment of geological prospecting works at Navay phosphate deposit in north-western part of Venezuela. Nowadays, La-Linda site is preliminary explored and Los-Monos site is details explored at the deposit. Radiometric areal study – gamma-survey – were carried out for estimation of reserves and forecast resources for the purpose of increasing of raw materials base of future mining-concentration complex at the areas, where the drilling operations were not carried out.

Anomalies of rate of exposure photon emission dose and their nature were defined at the Rancho Chiri site (Navay deposit), according to materials of radiometric researches. Thick productive phosphate layer (3.5 m) with considerable content of P_2O_5 was opened by wells' drilling at the chosen areas. This opening proved the efficiency of carrying out of radiometric operations for the purpose of mapping of spreading of phosphate rocks. Continuing of drilling operations allows to make an estimation of reserves of phosphate rocks, according to the system "Regional Commission for Mineral Reserves/State Commission for Mineral Reserves".

Results of researches can be used for the purpose of confirmation of forecast resources (according to R_1 and R_2 categories) and reserves (according to C_2 category) in the areas, directly joint to drilled Los-Monos and La-Linda sites.

Key words: radiometric researches, phosphorite deposit, exposure rate, liquid-crystal display, mapping, drilling operations, reserves.