

4. Обуховская Т. Г., Кручек С. А., Пушкин В. И. и др. Девонская система // Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: Объяснительная записка. Мн.: ГП «БелНИГРИ», 2010. С. 98–114.
5. Плакса Д. П. Девонская (позднеэмско-франская) ихтиофауна Беларуси и её стратиграфическое значение. Мн.: ИГиГ НАН Беларуси, 2007. 23 с.
6. Решения Межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы с региональными стратиграфическими схемами (г. Ленинград, 1988). Девонская система. Л.: ВСЕГЕИ, 1990. 60 с. + 9 схем.
7. Родионова Г. Д., Умнова В. Т., Кононова Л. И. и др. Девон Воронежской антеклизы и Московской синеклизы. М.: Изд-во Воронеж. ун-та, 1995. 265 с.
8. Юрина А. Л. Флора среднего и позднего девона Северной Евразии. М.: Наука, 1988. 175 с.
9. Aboussalam Z. S., Becker R. T., Schultz H. P. The global Taghanic Biocrisis in the Upper Givetian (Middle Devonian) // Mid-Palaeozoic Bio and Geodynamics the North Gondwana – Laurasia Interaction. 2001. Vol. 1, N 2. P. 1.
10. Avkhimovich V. I., Tschibrikova E. V., Obukhovskaya T. G. et al. Middle and Upper Devonian miospore zonation of Eastern Europe // Bull. des Centres Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine. 1993. Vol. 17, N 1. P. 79–147.
11. Loboziak S., Streef M. Miospores in Givetian to Lower Frasnian sediments dated by conodonts from the Boulonnais // Rev. Palaeobotany and Palynology. 1980. Vol. 29. P. 285–299.
12. Loboziak S., Streef M. Miospores in Middle-Upper Frasnian to Famennian sediments partly dated by conodonts (Boulonnais, France) // Rev. Palaeobotany and Palynology. 1981. Vol. 34. P. 49–66.
13. Subcommission on Devonian Stratigraphy. Newsletter. 1987. N 4.
14. Turnau E., Narkiewicz K. Biostratigraphical correlation of spore and conodont zonation within Givetian and Frasnian of the Lublin area (SE Poland) // Rev. of Palaeobotany and Palynology. 2011. Vol. 164. P. 30–38.
15. Turnau E., Racki G. Givetian palynostratigraphy and palynofacies: new data from the Bodzentyn Syncline (Holy Cross Mountains, Central Poland) // Rev. of Palaeobotany and Palynology. 1999. Vol. 106. P. 237–271.

УДК: 542.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

В. Э. Кутырло¹, В. П. Самодуров², Ю. Н. Еленский¹

¹ ОАО «Белгорхимпром», ул. Киселёва 26а, 220029 Минск, Республика Беларусь; vital2000@tut.by

² Белорусский государственный университет, географический факультет, пр. Независимости 4,
220030 Минск, Республика Беларусь; vladimir_samodurov@tut.by

Введение. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS) является разновидностью рентгеноспектрального анализа химического состава твёрдых веществ, в том числе минералов. Метод основан на возбуждении атомов исследуемого образца рентгеновскими лучами, в результате чего атомы испускают собственное характеристическое рентгеновское излучение. Исследуя энергетический спектр характеристического излучения атомов, можно определить качественные и количественные характеристики химического состава геологических проб.

Прогресс в развитии аналитической базы исследования пород, руд и минералов способствовал созданию портативных полевых энергодисперсионных спектрометров, пригодных для геологоразведочных полевых работ. Большинство приборов этого класса предназначено для анализа химического состава металлов (сплавов). Данная работа посвящена обсуждению возможностей и особенностей использования в полевых условиях портативного энергодисперсионного анализатора Olympus Innov X Delta Premium DP-2000.

Объект исследования. Основным объектом исследований были калийные и калийно-магниево-магневые руды Старобинского, Петриковского и Гарлыкского месторождений. Калийные руды этих месторождений существенно отличаются по цвету и структурно-текстурным характеристикам. В некоторых случаях сильвиниты визуально не отличаются от вмещающих их каменных солей, поэтому использование полевого энергодисперсионного анализатора имело решающее значение для определения строения рудных горизонтов и содержания в них сильвина (рис.).

Метод и аппаратура полевых рентгеноспектральных исследований. Портативный энергодисперсионный анализатор Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 хранится в противоударном герметическом кейсе, удобном для транспортировки в полевых условиях. В комплект входит док-станция, которая служит для ежедневной градуировки прибора и заряда аккумуляторных батарей. Прибор снабжен пользовательским интерфейсом, позволяющим управлять работой прибора и выполнять из-

мерение химического состава геологических проб. Особенностью анализатора DELTA Premium состоит в том, что он имеет несколько режимов работы. Кроме стандартного режима анализа сплавов, в нём присутствуют режимы анализа почв и анализа геохимического состава геологических проб. Этот последний режим работы наиболее удобен для полевых геологических исследований.

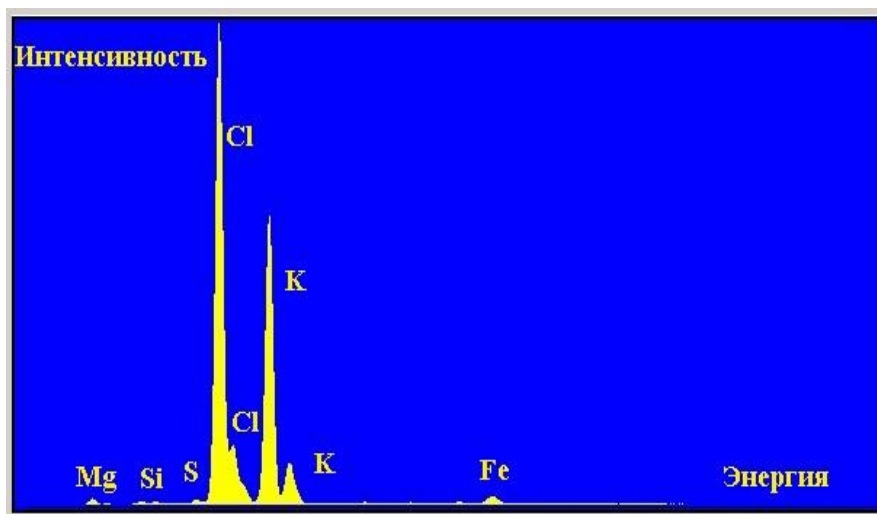


Рисунок – Есть сильвинит! Научный сотрудник ОАО «Белгорхимпром» А. А. Скуратов в подземной выработке Гарлыкского месторождения калийных солей (Фото Ю. Н. Еленского)

Металлы (сплавы) состоят в основном из тяжёлых элементов, поэтому эффективность их измерения достаточна для анализа в единых условиях, при одном ускоряющем напряжении рентгеновской трубки. Геологические пробы состоят в основном из лёгких элементов, а руды металлических полезных ископаемых – из тяжёлых. Лёгкие химические элементы определяют при низком ускоряющем напряжении трубки (10 кВ), а тяжёлые элементы – при высоком напряжении (40 кВ). Поэтому оптимальным режимом для полного геохимического анализа является двухлучевой метод, который предусмотрен в приборе Olympus Innov X Delta Premium DP-2000. Сначала определяются лёгкие элементы, а потом тяжёлые. Общий химический состав определяется из результатов этих двух измерений.

Лабораторные приборы этого типа работают в условиях вакуума, поэтому в них возможно измерение самых лёгких химических элементов. Однако в полевых приборах измерительное окно снабжено пролиновой защитной плёнкой, которая поглощает характеристическое рентгеновское излучение малых энергий. Поэтому энергодисперсионный анализатор Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 выполняет измерение химического состава пород, начиная с Mg. Более лёгкие элементы, включая Na, O, C и другие элементы определяются в совокупности как сумма лёгких элементов (LE). Эти особенности оказывают влияние на определение химического состава геологических проб.

Анализ калийных руд. Подавляющее большинство пород в природе представлено кислородсодержащими минералами. В составе магматических и метаморфических пород преобладают силикаты. В осадочных породах кроме силикатов, карбонатов и сульфатов в значительной мере присутствуют хлориды, распространённые в эвапоритовых формациях.

Из-за повсеместного преобладания кислородсодержащих минералов, химический состав геологических проб традиционно представляют в окислах, а не в содержаниях атомов. Из-за отсутствия кислорода в хлоридах окисная форма представления результатов химического анализа проб непригодна для солей. Портативный энергодисперсионный анализатор Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 представляет результаты химического анализа в атомной форме, так как предназначен в первую очередь для анализа металлов. Эта особенность данного прибора благоприятна для анализа химического состава калийных и калийно-магниевых руд. Для традиционного представления химического состава вмещающих несолевых пород необходим пересчет атомных содержаний в содержания окислов.

Портативный энергодисперсионный анализатор Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 является прибором локального анализа. Он анализирует химический состав поверхностей диаметром 10 мм, что намного меньше пространственного разрешения полевых гамма-радиометров. Это позво-

ляет исследовать состав отдельных элементарных слоёв в составе рудного пласта. С другой стороны, для количественного анализа валового состава руд необходимо соблюдать правила представительного отбора, квартования и гомогенизации проб. Анализ ведётся с плоской поверхности порошков проб после их помола до состояния пудры.

Опыт использования полевого энергодисперсионного анализатора Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 выявил также некоторые его недостатки. Прибор хранит информацию о замерах химического состава проб во внутренней памяти, но процедура экспорта этих данных на компьютер не предусмотрена в программном обеспечении. Требуется установка дополнительного драйвера для осуществления этой процедуры. Практика обработки результатов анализа прибора Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 показывает, что данные замеров необходимо экспортировать в двух видах – в виде табличных данных химического состава элементов и в виде данных записи спектров химического состава проб. Данные химического состава проб экспортируются в виде таблиц EXCEL, что способствует дальнейшей обработке результатов анализа. А данные записей спектров необходимы для представления результатов анализа в отчётной документации по полевым геологоразведочным работам. Пример спектра EDS представлен на рисунке, справа.

К сожалению, программное обеспечение прибора Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 не предназначено для создания графических изображений спектров высокого качества. Поэтому нами была разработана программа считывания табличных данных спектров химического состава и создания графических результатов замеров в стандартном виде, принятом в EDS-анализе (рис.).

С другой стороны, прибор Olympus Innov X Delta Premium DP-2000 имеет существенные преимущества по сравнению с другими портативными спектрометрами, предназначенными исключительно для анализа металлов. В геохимическом режиме работы, последовательно используя низковольтный и высоковольтный режим, прибор накапливает данные химического состава, как лёгких, так и тяжёлых элементов наиболее эффективным образом.

В результате, например, становится возможным надёжное определение Вг/Сl отношения в полевых условиях для отдельных слоёв в составе рудных горизонтов, а также в составе вмещающих пород. Этот геохимический показатель, как известно, является индикатором стадий галогенеза и изменяется закономерно от фазы формирования каменной соли – через стадии образования калийных и калийно-магниевого руд к бишофитам. Полевое массовое определение Вг/Сl отношения снижает трудоёмкие и затратные лабораторные определения этого коэффициента по отдельным образцам и впервые позволяет строить распределение Вг в разрезах.

Заключение. Современный этап развития аналитической базы анализа руд, пород и минералов характеризуется бурным развитием этого направления деятельности.

Портативные полевые энергодисперсионные спектрометры достигли высокого качества и надёжности, а те их модели, которые позволяют вести геохимический анализ геологических проб являются наилучшими разновидностями приборов этого класса. Значение этого подхода для геологоразведочных работ особенно возрастает для дисперсных руд и руд, не выделяющихся по структурно-текстурным характеристикам и цветности в составе вмещающих пород.

Между тем, химический состав руд и вмещающих пород не является полностью самодостаточным для определения их минералогического состава. Петрогенные химические элементы и микроэлементы входят в состав широкого круга различных минералов.

В практике использования энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора уже встречались случаи интерпретации Mg-содержащих калийных солей как карналлит. Рентгенодифракционный анализ этих образцов показал, Mg был сосредоточен в магнезите $MgCO_3$. Такие случаи показывают, что рентгенофлуоресцентный анализ не исключает другие современные методы исследований руд, пород и минералов, а, скорее, является одним из компонентов комплексного аналитического подхода всесторонних исследований геологических объектов.