

УДК 551.31/.35

РИТМИЧНОСТЬ НАДСОЛЕВОЙ ВЕРХНЕДЕВОНСКОЙ ТОЛЩИ ПЕТРИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ ПО ДАННЫМ ФОТОГРАММЕТРИИ КЕРНА СКВАЖИН

В. П. САМОДУРОВ¹⁾, В. Э. КУТЫРЛО¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Проведено исследование ритмичности сероцветной сульфатно-карбонатно-глинистой верхнедевонской толщи Петриковского месторождения калийных солей на основе данных фотограмметрии керна скважин. Для выделения ритмопачек использованы цветовые параметры пространства HSV и коэффициенты цветности пород в цветовом пространстве RGB. Построены диаграммы цветности пород в геологических разрезах, и выделены ритмопачки на изучаемых интервалах глубин. Изучено строение регионального маркирующего туфогенного горизонता, и показано его значение для корреляции разрезов. Использование количественных исходных параметров цветности пород позволяет применять математические расчеты параметров ритмичности, автоматическое расчленение и корреляцию разрезов сероцветных формаций.

Ключевые слова: фотограмметрия керна скважин; параметры цветности пород; диаграмма цветности геологического разреза.

Образец цитирования:

Самодуров В. П., Кутырло В. Э. Ритмичность надсолевой верхнедевонской толщи Петриковского месторождения калийных солей по данным фотограмметрии керна скважин // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 53–63.

For citation:

Samodurov V. P., Kutyrla V. E. Rhythmicity of Petrikov deposit Upper Devonian overlying bed by the core photogrammetry. *J. Belarus. State Univ. Geogr. Geol.* 2018. No. 1. P. 53–63 (in Russ.).

Авторы:

Владимир Петрович Самодуров – кандидат геолого-минералогических наук; доцент кафедры динамической геологии географического факультета.

Виталий Эдуардович Кутырло – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры инженерной геологии и геофизики географического факультета.

Authors:

Vladimir P. Samodurov, PhD (geology and mineralogy); associate professor at the department of dynamical geology, faculty of geography.

vladimir_samodurov@tut.by

Vitali E. Kutyrla, PhD (geology and mineralogy), docent; associate professor at the department of engineering geology and geophysics, faculty of geography.

vital2000@tut.by

RHYTHMICITY OF PETRIKOV DEPOSIT UPPER DEVONIAN OVERLYING BED BY THE CORE PHOTOGRAMMETRY

V. P. SAMODUROV^a, V. E. KUTYRLO^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: V. P. Samodurov (vladimir_samodurov@tut.by)

In the paper the rhythmicity in the stratum sequences of the gray-colored geological bed is analyzed using core photogrammetry. Upper Devonian sedimentary column of Petrikov potash deposit was studied as a subject of inquiry. Color space HSV and some color coefficients of RGB-space were used for the rock cyclicity estimation. Rock color diagrams were calculated and rhythmicity in the sedimentary column has been allocated. Stratification of the tuff marker has been studied and its usage for the rock correlation is shown. Quantitative initial data of the color parameters are the advantage factors for the further math calculations of the different parameters of the quantitative lithostratigraphy.

Key words: well core photogrammetry; rock color parameter; geological cross section color diagram.

Введение

Фотограмметрия – научно-техническая дисциплина, цель которой – определение различных характеристик объектов по их фотоизображениям. В настоящее время фотограмметрия (фотодокументация) керна является неотъемлемой частью геологической документации скважин. В связи с развитием информационных технологий возникла возможность создания цифровой литостратиграфии, основанной на использовании количественных цветовых характеристик керна скважин, получаемой методом фотограмметрии в наземных условиях.

Основной объект исследования – надсолевая верхнедевонская толща Петриковского месторождения калийных солей, представленная в основном сероцветными сульфатно-карбонатно-глинистыми породами. Эта толща интересна с точки зрения оценки ее водозащитных свойств при эксплуатации месторождения калийных солей. Поэтому задачами ее изучения являются не только свойства основных типов пород, но и их распределение в разрезе, выделение ритмопачек и маркирующих горизонтов для корреляции геологических разрезов. Верхнедевонская надсолевая толща может также служить тестовым геологическим объектом для определения возможностей цифровой литостратиграфии применительно к сероцветным толщам. Эффективность этого метода для красноцветных толщ была показана ранее [1; 2].

Исходные данные и методы исследований

Исходными данными для проведенного анализа служили цифровые фотографии керна скважин, полученные в полевых условиях при естественном рассеянном освещении. Фотографирование пород выполнено непосредственно в ящиках для хранения керна. Вариации освещения влияют на цветовые параметры, поэтому в ведущих геолого-разведочных компаниях (*British Petroleum, Exxon Mobil Corporation, Royal Dutch Shell* и др.) применяется фотографирование керна с использованием специализированных фотографических систем, сконструированных именно для исследования керна. Образец предварительно разрезается вдоль, и производится сканирование плоской поверхности в разных диапазонах длин волн. Кроме цифровых RGB-фотографий, в видимой области спектра применяется мультиспектральная аппаратура с несколькими полосами в инфракрасной области, которая обычно захватывает спектральный диапазон 450–2500 нм. Иногда также керна фотографируется в ультрафиолете, что дает возможность определять флюоресценцию некоторых пород. В дистанционном зондировании все больше появляется гиперспектральной аппаратуры, позволяющей получить спектральные данные в видимой и инфракрасной области. Этот подход дает возможность идентифицировать многие минералы. Однако в области исследования керна скважин гиперспектральная аппаратура в настоящее время широко не используется.

Цифровой формат цветных фотографий делает возможным длительное хранение изображений геологических объектов без потери их качества. Это позволяет визуально опознавать породы разных скважин, пробуренных в разные годы, выделять маркирующие горизонты, может служить основой для расчленения и корреляции разрезов и т. д. Более высокий уровень использования фотограмметрии связан с построением диаграмм цветности пород в геологических разрезах, аналогичных диаграммам других методов геофизических исследований скважин (ГИС). Этот подход активно продвигается американ-

скими исследователями [3]. Еще один уровень использования фотограмметрии связан с определением количественных параметров литостратиграфии и базируется на количественных данных первых двух этапов данного подхода.

Сравнение параметров ГИС с параметрами цветности керна скважин выявляет основную разницу этих методов – высокую разрешающую способность цифровых фотографий. Фотографии (размером более 4000 пк в формате *BITMAP*) полного ящика с керном размером 1 м имеют разрешение 0,25 мм/пк. Однако фотографирование керна частями по 20 см позволяет различить зерна минералов при разрешении 0,05 мм/пк. Данный способ используется при изучении структуры пород, но для целей цифровой литостратиграфии подходит разрешение 1 мм/пк или даже меньше. Такие высокие разрешения недоступны методам ГИС, кроме того, они «не видят» микрослоистости пород.

Другое неоспоримое преимущество цифровой литостратиграфии – возможность представления цифровых фотографий керна совместно с диаграммами цветности в изучаемом разрезе. Это способствует зрительному восприятию пород и интерпретации диаграмм цветности, пониманию причин ритмичности, выделению маркирующих горизонтов, расчленению и корреляции разрезов. Являясь наземным дистанционным методом зондирования, данный метод обладает еще одним преимуществом – возможностью уточнения типа пород, детального изучения их вещественного состава и структурно-текстурных характеристик отдельных образцов тех разновидностей пород, которые выделяются методами фотограмметрии. Можно сделать вывод о том, что фотограмметрия не заменяет детальные физико-химические исследования, но эффективно показывает распространение данных, полученных по отдельным образцам, на их положение и распределение в разрезе.

Основными недостатками цифровой литостратиграфии являются требования к минимальным потерям керна в процессе бурения и высокому качеству фотографирования, часто выполняемого в полевых условиях. Наилучшие условия, как это было показано выше, соблюдаются в камеральных условиях с применением специализированного оборудования.

Для компьютерного анализа цветности руд, минералов и пород пригодны разные цветовые пространства (RGB, HSV, CIELAB, CMYK, XYZ и др.). Большинство из них являются трехкомпонентными пространствами, а некоторые – четырехкомпонентными. В данной работе используются два цветовых пространства – RGB и HSV. Цифровые фотографические системы, как известно, основаны на применении трехкомпонентного цветового пространства RGB, однако оно неудобно для интуитивного видения человека. В данном случае больше подходят цветовые пространства HSL, HSV, HSB и HSI. В них H является тоном цвета и принимает значения от 0° до 360° аналогично азимуту буссоли. Измеряется тон в градусах. Насыщенность (S) варьируется от 0 до 1 (или в процентах от 0 для нейтральных (сероцветных) изображений до 100). Нейтральные (серые) цвета в пространстве RGB характеризуются равенством $R = G = B$.

Человек способен различить 150–160 оттенков тона H, около 25 градаций насыщенности и до 64 градаций величины яркости (V). Визуально породы любого цветового тона H с насыщенностью $S < 10\%$ кажутся серыми, а при значении $S > 15\%$ они приобретают заметный оттенок. Известно также, что и яркость влияет на другие параметры цветности пород. В светлых ($V > 85\%$), а также в темных породах ($V < 15\%$) визуальное определение тона затруднено, в результате чего цветовой тон многих пород становится неопределенным. Наоборот, компьютерный анализ вариаций тона, насыщенности и величины яркости позволяет классифицировать сероцветные породы со слабыми оттенками.

Цвет пород

Породы являются природными минеральными ассоциациями, и их цвет определяется цветом их компонентов. Размер минеральных зерен в различных породах сильно варьируется. Встречаются осадочные породы с размерами кристаллов более 5 см (например, каменная соль). Однако большинство осадочных пород состоят из кристаллов размером 0,001–0,5 мм. Минералы с размерами зерен выше разрешения фотографии видны на ней и при анализе цветности влияют на параметр тона H как отдельная составляющая, а дисперсные минералы не видны, но оказывают влияние на обобщенные параметры цветности породы. Таким образом, дисперсные минералы можно рассматривать как пигменты, определяющие общий цвет породы.

Наиболее распространенным химическим элементом, окрашивающим минералы, является железо. Оксиды железа – очень сильные хромофоры красного цвета – и вызывают резкое увеличение насыщенности. Как известно, геологические процессы, вызывающие окисление минералов, меняют цветность пород, например, в корах выветривания материнские породы зеленых оттенков становятся красными. Среди окислов железа наиболее распространен гематит – Fe_2O_3 . Гематит кристаллизуется в виде пластинчатых и игольчатых микрокристаллов, часто размером менее 0,001 мм, и поэтому

он попадает в глинистую фракцию пород. На цифровых фотографиях кристаллы гематита как дисперсного минерала не видны, однако даже незначительные примеси гематита вызывают заметную окраску пород.

Закисное железо принадлежит к группе минералов зеленого цвета. Зеленые оттенки имеют многие глины, основные составляющие которых – иллиты, хлориты, некоторые смектиты. Эти минералы не являются такими сильными хромофорами, как окислы железа, и незначительно увеличивают насыщенность цвета. Однако содержащие их в значительном количестве породы выделяются на диаграммах цветности достаточно четко. Существуют породы и других цветов, но они встречаются реже, и часто природа их окраски остается до конца не выясненной. В результате из-за преобладающего влияния и широкого распространения в осадочных породах окислов железа тон Н осадочных пород сосредоточен в красном секторе (20–50°) цветового круга, что обуславливает невысокую чувствительность данного тона для классификации осадочных пород.

Большее значение для классификации сероцветных осадочных пород имеют показатели S и V. Насыщенность определяет содержание хромофоров в составе породы, в том числе и природных красителей красного цвета. Величина яркости характеризует отражательную способность. Этот параметр зависит от эффектов отражения минералов, входящих в состав породы. Поэтому даже в сероцветных формациях различные карбонатные, глинистые и сульфатные породы существенно отличаются по отражательной способности, что позволяет классифицировать эти разности и исследовать ритмичность строения таких формаций.

На рис. 1 представлены параметры H, S и V сероцветных пород надсолевой верхнедевонской толщи Петриковского месторождения. Образцы 1 и 4 – мергели светло-серые, образец 2 – мергель со слабым бурым оттенком, образец 3 – мергель доломитовый, светло-серый. Малая цветовая насыщенность указывает на отсутствие в породе хромофоров. При $S < 5\%$ цветовой тон становится неопределенным, так как его дисперсия резко возрастает. Образец 2, наоборот, имеет заметный буроватый оттенок, в котором $S = 25\%$, дисперсия тона здесь минимальна.

Таким образом, породы серого цвета практически не поддаются визуальному анализу цветности, но могут быть исследованы методами фотограмметрии. Для анализа цветности пород серого цвета лучше всего подходит цветовое пространство HSV. Истинно серыми можно считать породы с минимальной насыщенностью, которая является хорошим их индикатором в геологических разрезах, так как породы с показателем $S < 2,5\%$ встречаются редко. Величина яркости – самый чувствительный цветовой параметр. Комплексное использование всех трех параметров цветности представляет собой основу цветовой литостратиграфии.

В связи с существенным влиянием окислов железа на цветность пород для построения диаграмм цветности красноцветных формаций большую эффективность показали коэффициенты цветности в пространстве RGB. Они особенно удобны, так как не требуют пересчетов при переводе в другие цветовые пространства. Наибольшую чувствительность имеет гематитовый индикатор R/B-1, принимающий значение 0 в породах серого цвета (в них $R = B$) и максимальные значения – в красноцветных породах. Иногда используются и другие коэффициенты цветности (G/B-1, R/G, R/V и пр.).

Особенности анализа цветности керна скважин

Керн скважин является наиболее подходящим исходным материалом для цифровой литостратиграфии. Важное условие здесь – извлечение его в полном объеме, без потерь. Разрезание керна вдоль и фотографирование его плоской поверхности на специальной аппаратуре в видимой и инфракрасной области спектра является наиболее качественным методом фотодокументации, однако и цифровые фотографии исходного керна также подходят для анализа цветности пород.

Цифровые снимки керна скважин имеют ряд особенностей. Благоприятным фактором является то обстоятельство, что поверхность керна не имеет глубоко расчлененного рельефа, за исключением щелей между отдельными кусками. Это исключает негативные эффекты, возникающие на грубозернистых поверхностях на затененных участках. Керн слабо сцементированных пористых пород и брекчий, наоборот, часто имеет глубокий рельеф, который вносит некоторые искажения в определение параметров цветности. Щели между отдельными кусками керна можно ликвидировать, сдвигая изображение с применением программ его обработки. Также на результаты анализа цвета оказывает влияние цилиндрическая форма керна. При ярком дневном освещении фотографии керна в ящиках имеют полосу повышенной яркости в середине снимаемого объекта, обусловленную эффектом отражения света, и затененные участки у стенок ящиков. Влияния отраженного света на керна цилиндрической формы можно избежать, проводя анализ цветности в полосе средней освещенности, где преобладает диффузное рассеяние света, несущее основную информацию о цвете пород.

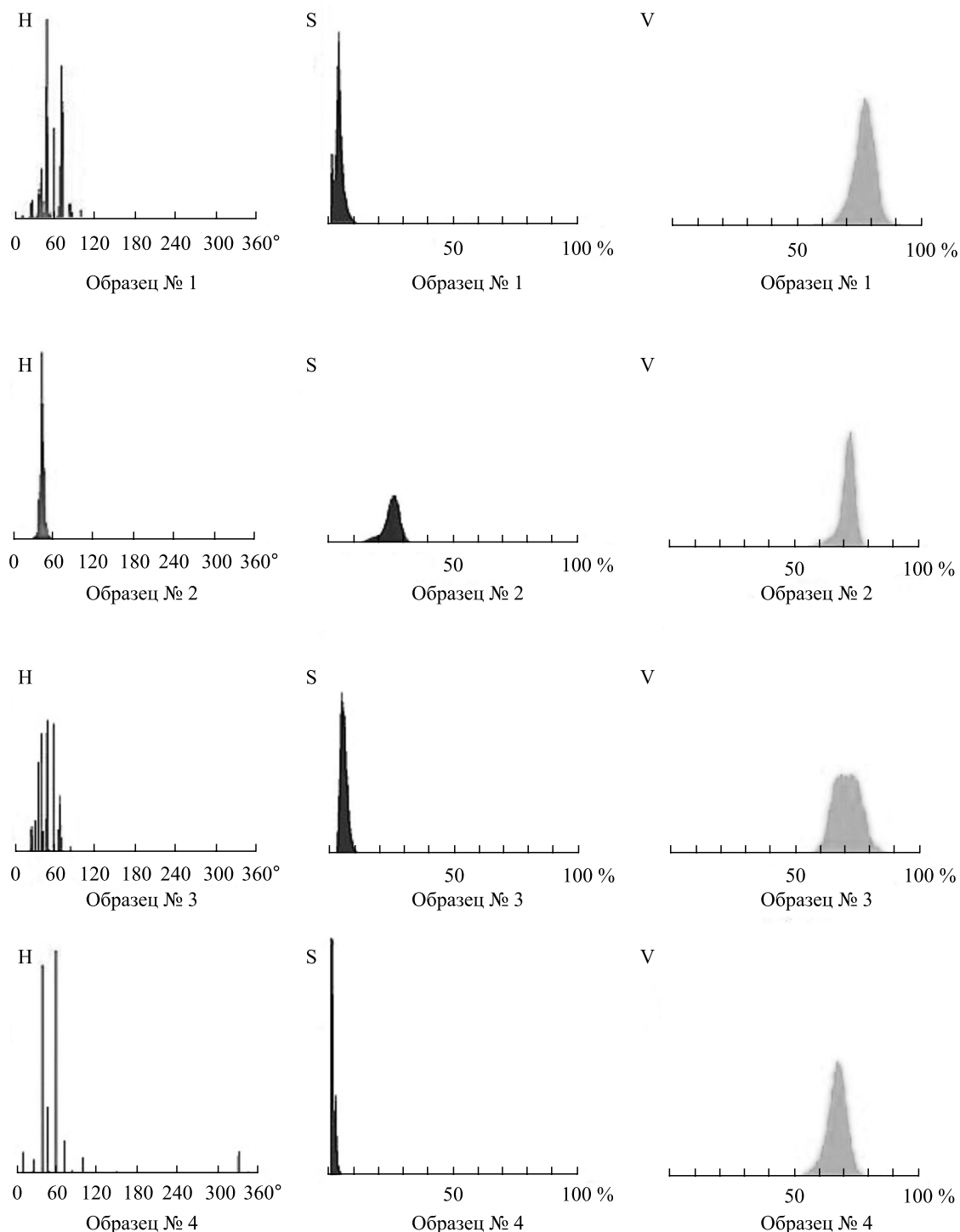


Рис. 1. Параметры H, S, V сероцветных пород глинисто-мергелистой толщи

Fig. 1. H, S, V parameters of the gray colored rocks of the clay-marl stratum

Можно заметить, что сухой и влажный керн имеют разный вид, в том числе и на цифровых фотографиях. Результаты сравнения параметров цветности сухого и влажного керна представлены на рис. 2. Влажный керн повышает насыщенность цифровых изображений, в данном случае максимум насыщенности сместился с 7 до 12 %. Величина яркости, наоборот, существенно уменьшилась: с 70 до 37 %, а распределение яркости стало двумодальным. Значение тона не изменилось: максимум в обоих случаях составляет 40°, но дисперсия тона в сухом керне значительно выше, чем во влажном. В результате можно сделать вывод о том, что цифровые фотографии влажного керна имеют преимущество над фотографиями сухого керна. Эти особенности фотограмметрии учитываются на этапе фотодокументации керна скважин.

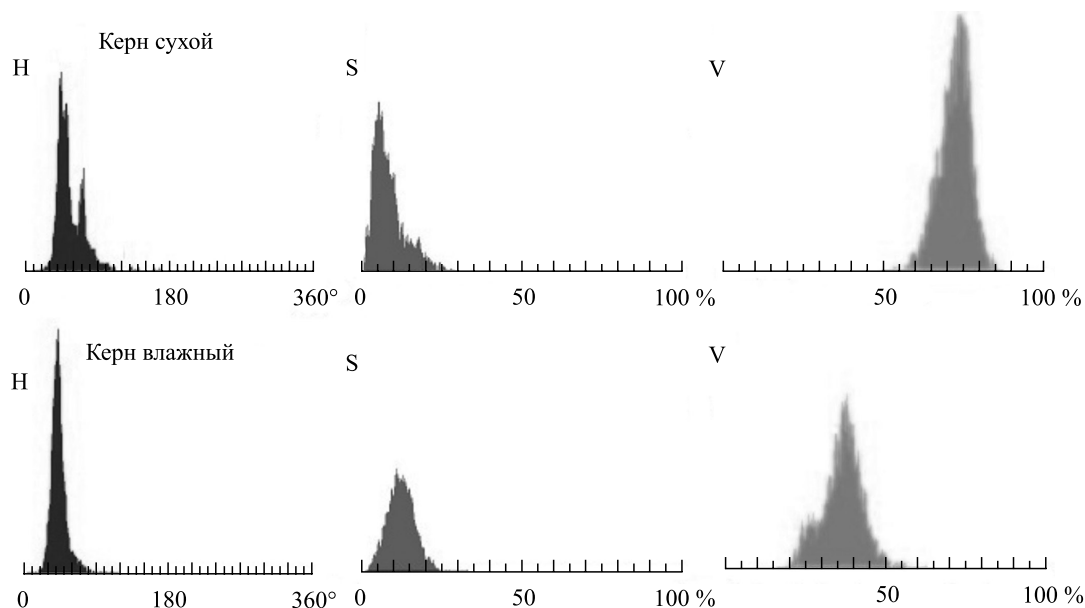


Рис. 2. Параметры цветности H, S, V сухого и влажного керна

Fig. 2. H, S, and V parameters of the dried and wet core

Диаграммы цветности пород в геологических разрезах

Диаграммы цветности пород наглядно демонстрируют количественные параметры распределения пород по разрезу скважин. Эти диаграммы могут храниться в цифровых форматах в базах данных, аналогичных LAS-файлам ГИС. В настоящее время диаграммы цветности являются единственным методом непрерывного представления физических параметров керна по разрезу скважин. Все остальные современные физико-химические методы анализа выполняются по отдельным образцам керна, и их результаты не могут быть представлены в виде непрерывного распределения по геологическому разрезу.

Эффективность построения диаграмм цветности красноцветных формаций, продемонстрированная ранее, не вызывает сомнений [1; 2], но возможности цифровой литостратиграфии сероцветных формаций к настоящему времени не определены. На рис. 3 проведено сравнение эффективности выделения пород и ритмопачек в красноцветных и сероцветных формациях.

Диаграмма цветности сильвинит-карналлитового пласта мощностью 2,70 м (см. рис. 3, слева) представлена гематитовым индикатором R/B-1. Для сравнения здесь же показана диаграмма гамма-каротажа (ГК). Основное отличие фотограмметрии – очень высокое разрешение цифровых фотографий. При сравнении диаграмм видно, что гамма-каротаж не может выделить отдельные слои в составе рудных пластов, так как его аппаратное окно составляет около 0,5 м. В результате маломощные слои сильвинита проявляются на диаграмме ГК в виде широкого максимума умеренной интенсивности. Параметры цветности, наоборот, выделяют все слои в литологическом разрезе. Это помогает детализировать строение рудных пластов, сделать оценку качества руд.

На рис. 3 (справа) представлено распределение величины яркости в интервале глубин 486,65–488,70 м (мощность – 2,05 м) надсолевой верхнедевонской толщи скважины 1Д Петриковского месторождения калийных солей. Здесь можно видеть переход от нижней пачки, сформированной в обстановке стабильного осадконакопления, к верхней, в которой отмечается мелкая ритмичность. В пачках с пассивными периодами формирования осадков преобладают глинистые породы. Они отличаются пониженной величиной яркости и потому хорошо отмечаются на диаграммах цветности. Карбонатные и сульфатные породы, как правило, более светлые, поэтому их ритмичность контрастно выделяется на диаграмме распределения величины яркости. Здесь, в отличие от диаграмм ГИС, четко видны элементарные слои, которые выглядят монотонными кривыми с незначительными вариациями ГИС-параметров.

Ритмичность надсолевой толщи Петриковского месторождения

Надсолевая верхнедевонская толща Петриковского месторождения калийных солей представляет интерес с точки зрения оценки ее водозащитных свойств при эксплуатации месторождения. Поэтому, кроме изучения основных типов пород, возникают задачи исследования распределения пород в разрезе, выделения маркирующих горизонтов для корреляции разрезов, установления однотипных литологических пачек, изучения ритмичности и др. Эта толща рассматривается также, потому что она сероцветная, что делает ее подходящей для оценки возможностей цифровой литостратиграфии.

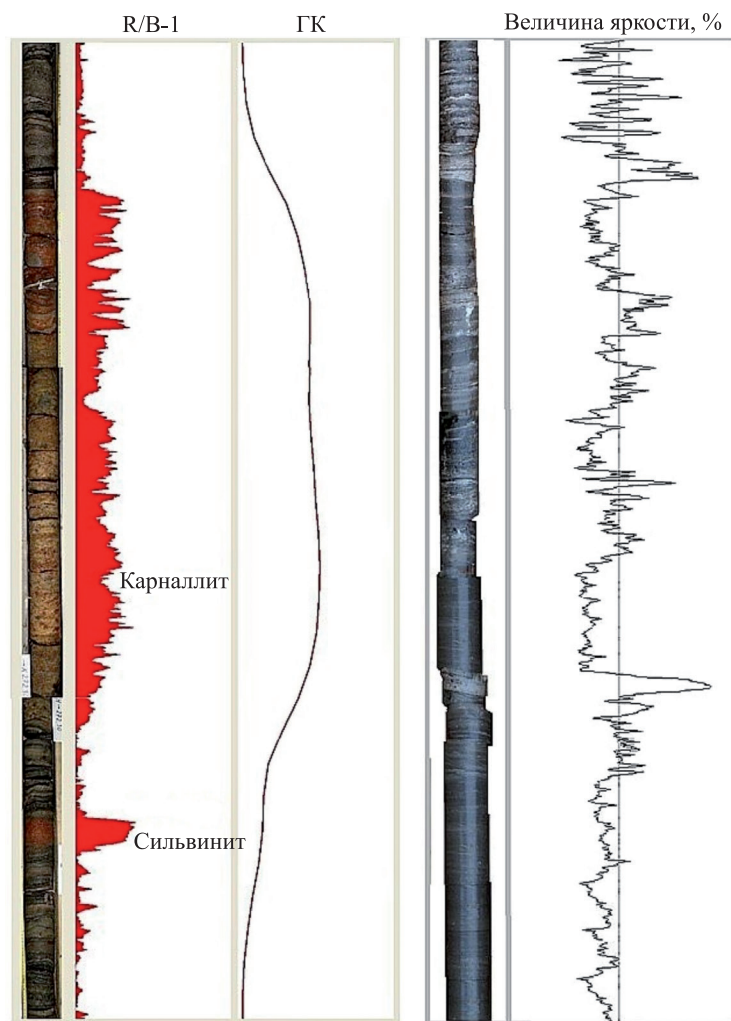


Рис. 3. Сопоставление диаграмм гематитового индикатора R/B-1 и ГК в сильвинит-карналлитовом пласте (слева) и диаграмма распределения величины яркости в разрезе скважины Петриковская 1Д глубиной 486,65–488,70 м (справа)

Fig. 3. Comparison of the hematite indicator R/B-1 curve and the gamma-ray logging in the sylvinit-carnallite bed (at the left) and V diagram in the well Petricov 1D, depth 486,65–488,70 m (at the right)

На рис. 4 представлена диаграмма величины яркости в скважине Петриковская 1Д на интервале глубин 486,40–502,60 м (мощность – 16,20 м). Исходные цифровые фотографии ящиков с керном имели разрешение 0,25 мм/пк, но в процессе анализа были уменьшены до разрешения 1 мм/пк. Несмотря на существенное сжатие исходных фотографий, все отдельные слои хорошо выделяются в изучаемом интервале глубин, а диаграммы количественных показателей H, S, V были сохранены в базе данных цветности пород. Темноцветные глинистые ритмопачки, сформированные в спокойной обстановке осадконакопления, выделены синим цветом, а сульфатно-карбонатные ритмопачки, возникшие на этапах тектонической активизации формирования бассейна седиментации, – красным. Сопоставляя фотографии керна скважин и диаграмму величины яркости, можно видеть, что основные ритмопачки могут быть определены визуально по керну, но в случаях частого переслаивания мелких ритмов исследование ритмичности становится неоднозначным. Именно поэтому в литологии ритмопачки выделяют от более крупных к мелким, и на каких-то этапах деления этот процесс прекращают. В значительной мере определение ритмопачек в традиционной литостратиграфии является индивидуальным, поэтому даже расчленение надсолевой верхнедевонской толщи Петриковского месторождения разными исследователями выполнено по-разному.

Методы математического анализа диаграмм цветности пород, в том числе выделения ритмопачек, к настоящему времени не разработаны, но аналогичные задачи решаются для диаграмм ГИС, и эти подходы могут быть применены для целей цифровой литостратиграфии. Таким образом, фотограмметрия керна скважин – эффективный способ выделения ритмопачек в геологических разрезах, в том числе в разрезах сероцветных формаций. Специфика фотограмметрии заключается в том, что данные цветности являются количественными, а значит, на их основе возможны количественные расчеты различных параметров, в том числе автоматическое расчленение и корреляция разрезов.

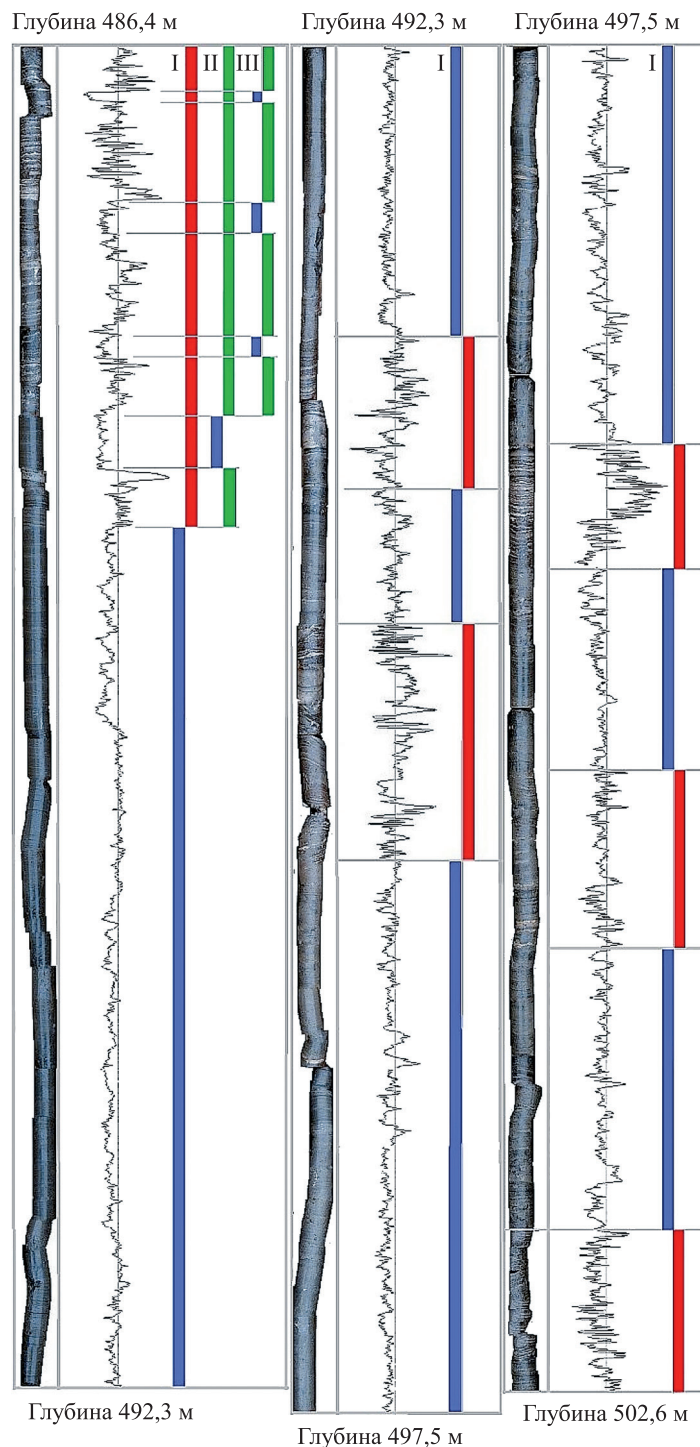


Рис. 4. Ритмопачки I, II и III порядка в скважине Петриковская 1Д
глубиной 486,40–502,60 м (мощность – 16,20 м) по параметру величины яркости

Fig. 4. Rock unit rhythmicity I, II and III orders in the well Petricov 1D,
depth 486.40–502.60 m (thickness 16.20 m) by the brightness value V

Строение маркирующего туфогенного горизонта по данным фотограмметрии

Региональные маркирующие горизонты – важнейшие метки, используемые для корреляции разрезов. Туфогенные пепловые горизонты являются наиболее надежными маркерами: они образовывались одновременно и распространялись по всей изучаемой территории. Количество туфогенных прослоев в разрезах скважин и их мощность заметно увеличиваются в восточной части Припятской впадины, но в западной части впадины на территориях Старобинского и Петриковского месторождений также отмечены туфы и туффиты [4–6].

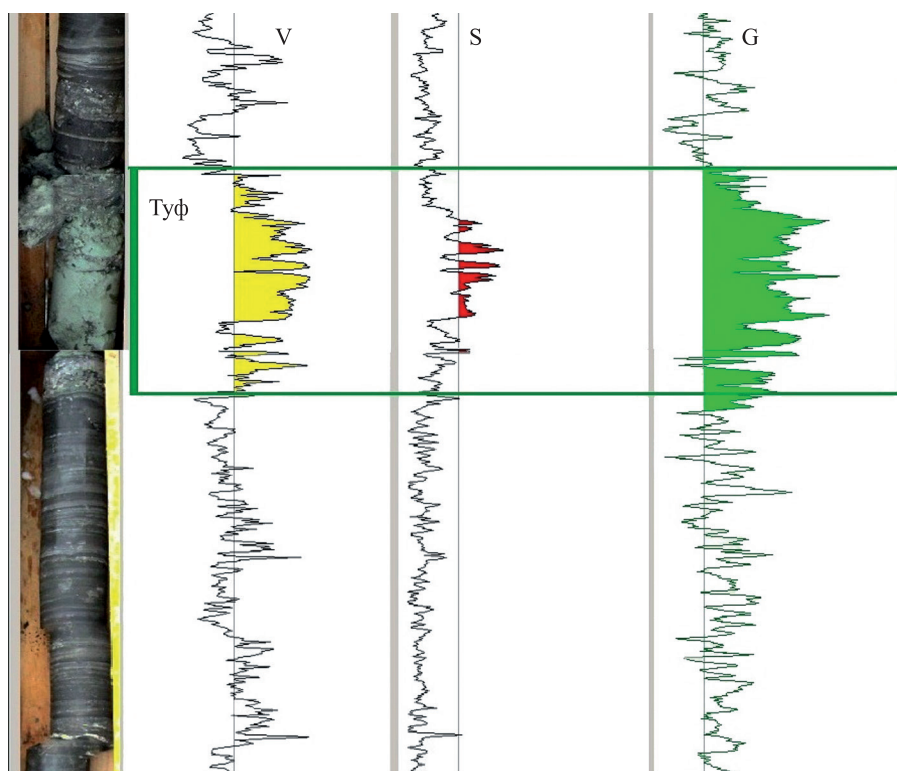


Рис. 5. Туфогенный маркирующий горизонт
в скважине Петриковская 1Д глубиной 485,70 м.

Здесь V – величина яркости пород, S – насыщенность, G – параметр зеленого цвета

Fig. 5. Tuff marker horizon in the well Petricov 1D, depth 485,70 m.

Here V – the rock brightness value, S – saturation, G – green color parameter

На рис. 5 представлены некоторые параметры цветности пород туфогенного маркирующего горизонта в скважине Петриковская 1Д глубиной 485,70 м. Диаграмма яркости выделяет темные и светлые породы относительно их среднего значения, отмеченного на этой диаграмме линией. Туфы и туффиты здесь светлее темно-серых нормально-осадочных пород. Диаграмма насыщенности, демонстрирующая градацию истинно серых и цветных пород, показана относительно уровня $S = 10\%$. Значение насыщенности всех нормально-осадочных пород – менее 10% , т. е. визуально являются серыми, за исключением туфа, который имеет заметный зеленоватый оттенок. Диаграмма параметра G показывает значения $G/B-1$ и связана с преобладанием зеленых оттенков вулканогенных пород. Таким образом, туфогенный пепловый горизонт хорошо выделяется как визуально в полевых условиях, так и с помощью фотограмметрических методов.

При анализе литостратиграфической ритмичности можно видеть, что туфогенный горизонт формировался не в виде одноактного вулканического действия, у него есть предварительная стадия, отражающаяся в текстурах подстилающих пород, а также стадия затухания вулканической активности, которая отражается в текстурах перекрывающих пород. Подстилающие породы имеют тонкослоистое (мощностью 1–10 мм) строение с горизонтально-слоистым залеганием. Подошва туфа является турбидитом вулканогенно-осадочных пород и связана с началом активной фазы вулканизма, которая сопровождалась землетрясением, вызвавшим цунами с перемешиванием донных осадков нормально-осадочных и вулканогенных пород. Массивный глинизированный туф составляет центральную часть этого горизонта. В перекрывающих породах можно видеть затухающую фазу вулканической активности. Здесь также присутствуют турбидиты и тонкослоистое переслаивание вулканогенных и осадочных пород. Совместное использование данных фотодокументации керна скважин и цифрового анализа цветности пород позволяет надежно выявить начало и конец активизации вулканической активности, определяющие литолого-фациальные условия бассейна седиментации.

Туфогенные горизонты в верхнедевонских отложениях обнаружены по всей территории Припятской впадины, а их число и мощность возрастают в восточном направлении. В западной части Припятской впадины туфогенные горизонты в составе надсолевой верхнедевонской толщи наиболее полно изучены в пределах Старобинского месторождения калийных солей. Здесь определены до восьми прослоев

туфов и туффитов мощностью от 2 до 45 см, но только один из них является маркирующим и наиболее мощным (10–45 см). Он расположен в верхах надсолевой толщи на границе нижней доломитово-мергельной (сланценосной) и верхней известково-глинистой пачки. Этот маркирующий туфогенный горизонт залегает на 180–350 м выше кровли соли, а в краевых зонах Старобинского месторождения он отсутствует по причине эрозии верхней части надсолевой верхнедевонской толщи.

На территории Петриковского месторождения маркирующий туфогенный горизонт расположен в нижней части разреза надсолевого девона. Мощность массивного глинизированного туфа в скважине Петриковская 1Д составляет 28 см и сравнима со средней мощностью маркирующего туфогенного горизонта Старобинского месторождения. Очевидно, что мощность туфов и туффитов отражает вулканическую активность в регионе осадконакопления. Заметно, что туфы и туффиты мощностью 1–3 см распределены внутри литологических пачек, а маркирующие туфы мощностью более 15 см, как правило, расположены ближе к границам литологических пачек. Это свидетельствует о том, что вулканические процессы являются индикаторами масштабной глубинной тектонической активизации в регионе осадконакопления, которая и определяла его литофациальные условия. По существу, последовательность пород туфогенного горизонта отражает сейсмограмму тектонической активности региона.

Заключение

Несмотря на то что цвет пород, наряду с их структурно-текстурными характеристиками, постоянно используется геологами-практиками в описаниях геологических разрезов, их количественный цветовой анализ не получил пока широкого распространения. Развитие данного научного направления тормозят некоторые негативные результаты изучения цвета пород и минералов. Определено, что цвет пород существенно меняется в зависимости от примесей-хромофоров, в результате чего одна и та же порода может иметь разные оттенки в разных месторождениях. Также очевидно, что корреляции пород по цветовым характеристикам ограничены локальными условиями, а сопоставления разрезов разных бассейнов невозможны. Подобные представления, однако, могут быть отнесены к любым другим литологическим критериям.

Наоборот, используемые в литологии вариации вещественного состава пород и их структурно-текстурных характеристик являются основой фациального анализа, так как эти параметры стабильны в пределах одной литолого-фациальной зоны. Это свойство аналогично понятию типоморфизма минералов, определяющему условия образования типоморфных минералов в данных физико-химических условиях. Для обоих случаев характерны вариации признаков в разных условиях образования пород и минералов и стабильность признаков в пределах единых условий их формирования.

Цифровая литостратиграфия – третий, заключительный этап в ряду фотограмметрия (фотодокументация) керн скважин – получение диаграмм цветности пород по разрезу скважин – количественная литостратиграфия бассейна осадконакопления. Использование количественных исходных параметров позволяет применять математические расчеты параметров ритмичности, автоматическое расчленение и корреляцию разрезов сероцветных формаций на этапе количественной литостратиграфии.

Библиографические ссылки

1. Самодуров В. П., Гречко А. М., Кутырло В. Э. Изучение фациальных особенностей и стадий галогенеза эвапоритовых формаций методом анализа цветности пород и минералов // Природ. ресурсы. 2014. № 2. С. 43–48.
2. Самодуров В. П., Кутырло В. Э., Витовец В. А. Строение, состав и ритмичность формирования первого калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей по данным цифрового анализа керн скважин // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования : материалы IX унив. геол. чтений (Минск, 3 апр. 2015 г.). С. 133–134.
3. Ellington Chromostratigraphy Services [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ellingtongeologic.com/chromostratigraphy.html> (дата обращения: 23.01.2018).
4. Петрова Н. С., Шабловская Р. К., Высоцкая М. С. Туфогенные глинистые породы калиеносных и надсолевых отложений Припятского прогиба // Литолого-фациальные и геохимические проблемы соленакопления. М. : Наука, 1985. С. 49–52.
5. Петрова Н. С., Шабловская Р. К. Новые данные о распространенности вулканокластических пород в отложениях верхнефаменской калиеносной субформации Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1986. Т. 30, № 5. С. 41–44.
6. Петрова Н. С., Шабловская Р. К. Вулканогенный материал в калиеносной субформации Припятского прогиба и связанный с ним комплекс микроэлементов // Проблемы минерагении платформенного чехла и кристаллического фундамента БССР. Минск : БелНИГРИ, 1986. С. 53–59.

References

1. Samodurov V. P., Grechko A. M., Kutyrlo V. E. [Evaporite beds facies and rock sequences study by the rock and mineral color analysis]. *Natural resources*. 2014. No. 2. P. 43–48 (in Russ.).
2. Samodurov V. P., Kutyrlo V. E., Vitovec V. A. [Starobin deposit first potassium bed structure, composition and rhythmicity by the drill core color analysis]. *Aktual'nye voprosy inzhenernoi geologii, gidrogeologii i ratsional'nogo nedropol'zovaniya* : proc. IX Univ. geol. contributions (Minsk, 3 April, 2015). P. 133–134 (in Russ.).
3. Elligton Chromastratigraphy Services. URL: <http://www.ellingtongeologic.com/chromastratigraphy.html> (date of access: 23.01.2018).
4. Petrova N. S., Shablovskaya R. K., Vysotskaya M. S. Tufogennye glinistye породы калиеносных и надсолевых отложений Припятского прогиба [Tuffogenic clay rocks of the potash and overlapping stratum of Prypiat Trough]. In: *Lithofacial and geochemical problems of salt formations*. Moscow : Nauka, 1985. P. 49–52 (in Russ.).
5. Petrova N. S., Shablovskaya R. K. Novye dannye o rasprostranennosti vulkanoklasticheskikh porod v otlozheniyakh verkhne-famenskoi kalienosnoi subformatsii Pripyatskogo progiba [New data on volcanoclastic rock distribution in the upper Famennian potash subformation of Prypiat Trough]. *Papers of the Natl. Acad. of Sci. of Belarus*. 1986. Vol. 30, No. 5. P. 41–44 (in Russ.).
6. Petrova N. S., Shablovskaya R. K. Vulkanogennyi material v kalienosnoi subformatsii Pripyatskogo progiba i svyazannyi s nim kompleks mikroelementov [Volcanogenic matter in the upper Famennian potash subformation of Prypiat Trough and related micro-element complex]. In: *Minerageny problems of the sedimentary cover and crystalline basement of BSSR*. Minsk : BelNIGRI, 1986. P. 53–59 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 19.01.2018.
Received by editorial board 19.01.2018.