УДК 552.5:543.42

А.Г.БОГАТЫРЕВА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*), *Россия*

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОНКОЗЕРНИСТОЙ ФРАКЦИИ КРАСНОЦВЕТНЫХ ТОЛЩ

Рассмотрены предварительные результаты исследований по расчленению красноцветных отложений по спектрофотометрической характеристике пигментирующей тонкозернистой фракции. Породы дифференцировались по спектрам отражения поверхности препарата, изготовленного осаждением тонкодисперсной составляющей из водной взвеси на стекло. Коэффициент отражения измерялся на оптическом спектрофотометре SPECORO 200 при различных углах наклона препарата к световому лучу. Как числовые характеристики цветовых параметров были использованы тангенсы угла наклона кривой коэффициента отражения в разных участках спектра и координаты цвета, приведенные в колориметрической системе *XYZ*.

The paper displays preliminary results of using the method of partitioning red-colored sediments on the base of spectrophotometric characteristics of their pigmenting fine-grained fraction. The rocks were differentiated by reflectance spectra of the surface of specimens prepared by precipitation of fine particles from water suspension on glass. The reflectance coefficients were measured with optical spectophotometer SPECORO 200 at various corners of the specimen inclination to a light ray. Tangents of the angle of slope of reflectance curve in different spectral regions and the color coordinates in the colorimetric system *XYZ* were used as numerical characteristics.

Красноцветные геологические формации широко распространены и давно исследуются. Проблема изучения этих отложений важна во многих отношениях потому, что красноцветы играют большую роль в геологическом строении осадочного покрова нашей планеты; они часто содержат разнообразные полезные ископаемые. В частности, это относится к вендским терригенным красноцветам, сформированным в субконтинентальной обстановке, имеющим наибольшую площадь распространения на севере Русской плиты (юго-восточное Беломорье) и вмещающим алмазоносные кимберлитовые трубки палеозойского возраста.

Расшифровка структуры красноцветных толщ венда в юго-восточном Беломорье необходима для выявления закономерностей размещения кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции, но затруднена сложностью расчленения и корреляции этих пород. Основная трудность при картировании связана с отсутствием в разрезе маркирующих прослоев или типичных ассоциаций слоев. При большой мощности толщ для них характерны монотонность состава и низкая фациальная устойчивость. Вендские красноцветы слабо охарактеризованы палеонтологически. Таким образом, для выяснения геологического строения в этом регионе выдвигается проблема сопоставления разрезов красноцветной толщи, возникает необходимость в усовершенствовании известных и разработке новых дополнительных методов их расчленения и корреляции.

При первичном описании керна скважин и обнажений красноцветные отложения достаточно хорошо визуально различаются по оттенкам красного цвета. Выявляется определенная закономерность и ритмичность в смене окраски отдельных разновидностей пород, что определяет возможность использования цветовых параметров для объективной характеристики красноцветных пород. Как известно, основные пигментирующие вещества представлены в тонкодисперсной фракции этих пород, окраска которой стабильна для конкретных слоев и пластов [1]. Исследования, проведенные по изучению

строения и распределения тонкодисперсных частиц железистых и глинистых минералов в породе, выявили первичность красноцветной окраски.

Эти обстоятельства стали предпосылкой для постановки специальных исследований, направленных на изучение тонкодисперсной фракции рентгенодифрактометрическим и спектрофотометрическим методами. В данной статье рассматриваются результаты, полученные спектрофотометрическим анализом.

Экспериментальная часть. В работе были использованы образцы из геологоразведочных скважин Ал-318к, П-3 и Б-13, пробуренных на территории Архангельской алмазоносной провинции и вскрывающих верхи вендских красноцветных отложений. Разрез по скважинам представлен преимущественно песчаниками, алевролитами, аргиллитами, переходные разности – алевропесчаниками. Текстуры пород преимущественно тонкослоистые с горизонтальной ориентировкой, реже встречаются отдельные косослоистые серии. Цвет большинства пород определяется в пределах красно-коричневых тонов: от желтовато-коричневого до вишнево-красного и темно-бурого. Часто встречаются фрагменты светло-зеленовато-серой окраски, связанной с проявлением вторичных глеевых процессов.

Образцы были отобраны из керна скважин примерно через 7,2 м, а также на границах слоев и пачек, выделенных по гамма-каротажу. Всего был взят 91 образец (исключались образцы, где в окраске глинистая фракция не имеет главной роли – известняки). Все образцы задокументированы, сфотографированы, снабжены литологическим описанием.

Для исследований была выбрана тонкодисперсная компонента пород, в которой содержатся основные пигментирующие вещества красноцветных толщ. Для выделения этой фракции образец истирался до порошкового состояния и смешивался с водой. После пятиминутного отстаивания отделялся неосевший остаток – тонкодисперсная взвесь в воде.

Препараты для спектрофотометрического анализа подготавливались в виде тонкого слоя тонкодисперсной фракции пород на стекле. Взвесь наливалась на стекло размером 3,0 × 8,0 см с каймой из липкой ленты. Кайма способствовала удержанию капли воды на стекле и равномерному распределению осаждающегося материала. Стекло ставилось на ровную горизонтальную поверхность, и далее при комнатной температуре раствор высыхал естественным путем в течение суток.

В качестве объективной характеристики цвета тонкодисперсной фракции выбран спектр отражения препаратов. Выполнены измерения цветовой характеристики глинистой фракции на оптическом спектрофотометре SPECORO 200 для всех образцов. Съемка проводилась при следующих условиях: непрерывная съемка в диапазоне от 380 до 900 нм со скоростью движения счетчика 0,5 с и с шагом 5 нм (погрешность 0,0000305 нм), размер щели 5,0 нм и параметры источника света – E 313-67 ASTM-evaluation (белый/желтый индекс).

В качестве эталона было взято зеркало, как поверхность, приближающаяся по характеру отражения к идеальному рассеивателю. Идеальным рассеивателем называется такая поверхность, которая полностью отражает всю падающую на нее лучистую энергию и при этом рассеивает ее равномерно по всем направлениям [3].

В результате измерений было установлено, что отражение световой энергии от поверхности происходит по весьма сложному закону и что коэффициент отражения зависит от угла падения светового потока и типа измеряемой поверхности. Съемка образца в одинаковых условиях, но при разных значениях угла падения светового потока (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90º) на поверхность образца, показала, что кривые спектра отражения выглядят совершенно поразному. Так были выбраны углы наклона образца 20 и 50º, при которых графики данных наиболее информативны для разных типов образцов (матовых – 20º и глянцевых – 50º).

Интерпретация и обсуждение результатов. Результаты съемки представлены в двух вариантах: в виде графика изменения коэффициента отражения от длины волны и

в виде координат *XYZ* стандартной колориметрической системы.

Экспериментально установлено, что любой цвет может быть получен путем смешения определенных количеств любых трех взаимно независимых цветов, т.е. таких цветов, которые не могут быть получены в результате смешения двух остальных: красного, зеленого и синего. Из этого следует, что для определения любого цвета необходимо и достаточно трех параметров [2].

Так, с целью увязки цвета образца с оценкой кривых коэффициента отражения *R* вычислялся тангенс угла наклона кривой по определенным участкам видимого спектра. За внутренние границы этих участков были взяты цветовые пороги зеленой части спектра, отвечающие длине волны 500-550 нм, и граница между желтой и красной частями спектра, отвечающая длине волны 600 нм, т.е. все полученные значения коэффициентов отражения исследуемого объекта были разбиты на четыре группы.

Полученные с использование спектрофотометра спектры отражения в видимой области (400-800 нм) характеризуются различным углом наклона кривой, тангенс которого и выбран в качестве числового показателя цветовой характеристики. При съемке с углом наклона образца 20º график кривой плавный с двумя перегибами (при 560 и 600 нм), коэффициент отражения меняется при длине волны 400 нм от 0,19 до 1,33 %, при 800 нм – от 0,5 до 3,12 % (рис.1). Тангенс угла наклона кривых определялся в четырех диапазонах: синем (400-505 нм), зеленом (505-550 нм), желтом (560-600 нм) и красном (600-800 нм).

Коэффициент отражения при съемке с углом наклона 50º меняется от 0,18 до 2,81 % при длине волны 400 нм и от 0,47 до 6,43 % при 800 нм (рис.2). Графики отдельных образцов (глянцевых, с блеском) при съемке с углом 50º отличаются пиком в интервале 505-560 нм (с максимумом при 540 нм) на плавной линии кривой. В данном случае тангенс угла наклона высчитывался в четырех диапазонах: синий (400-505 нм), зеленый (505-540 нм), желтый (560-600 нм) и красный (600-800 нм).

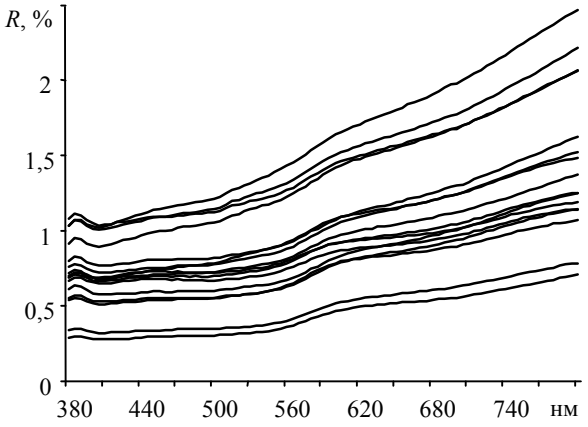


Рис.1. Кривые спектра отражения образцов из скв. Б-13, полученные при измерении с углом падения светового потока $i = 20^{\circ}$

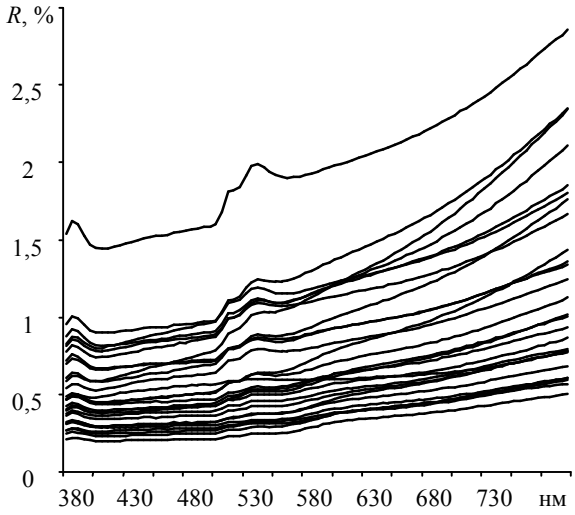


Рис.2. Кривые спектра отражения образцов из скв. П-3, полученные при измерении с углом падения светового потока $i = 50^{\circ}$

В программе Excel для каждого образца были построены четыре отдельные кривые по заданным интервалам спектра. С помощью функции «Линия тренда» получено уравнение, в котором первый множитель и является тангенсом угла наклона заданной линии. Значения тангенсов углов наклона кривых образцов из всех трех скважин (Б-13, АЛ-318к и П-3) вынесены на гистограммы с указанием интервала опробования (рис.3). Наиболее показательными оказались гистограммы двух диапазонов: красного и синего. В желтом диапазоне график слабо дифференцирован.

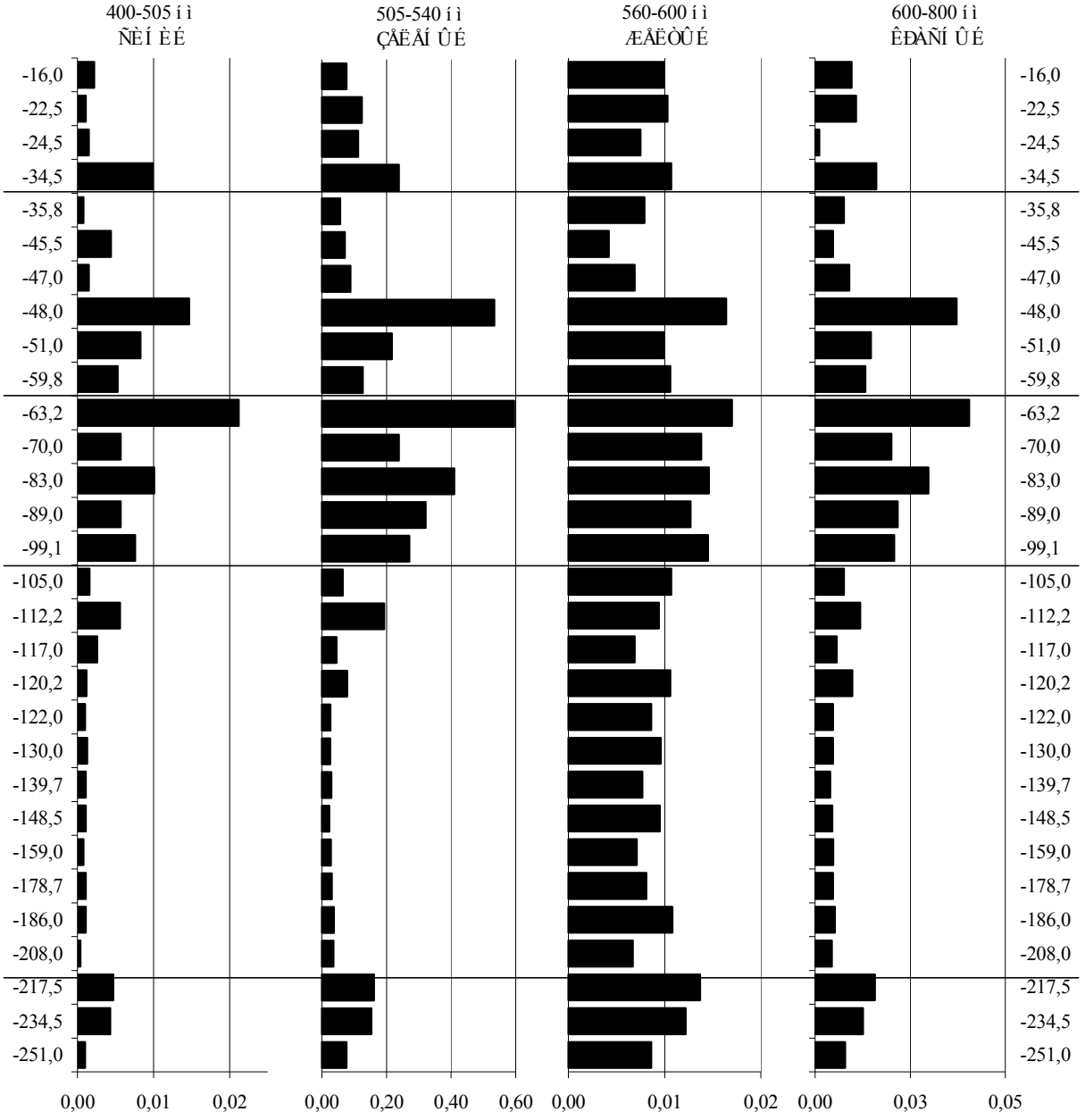


Рис.3. Расчленение разреза красноцветных отложений верхнего венда по скважине Ал-318к по данным тангенса угла наклона кривой спектра в различных диапазонах

При изучении разреза по гистограммам в скважине Б-13 условно можно выделить четыре пачки: две пачки с повышенными значениями в основании разреза и в начале, а между ними пачки с низкими значениями тангенса угла. В скважине Ал-318к условно выделяется пять пачек. Разрез скважины характеризуется невысокими значениями тангенса в нижней части разреза и повышенными в середине. Для скважины П-3 также специфично понижение значений внизу и повышение ближе к середине и в верхней части разреза. Здесь можно обозначить шесть небольших пачек.

Анализ выявил отчетливо проявленную дифференциацию пород по этим показателям с устойчивым выделением их более высоких значений во всех спектральных интервалах в средней части разреза и более низких значений в основании разреза.

Из существующих в настоящее время трех основных колориметрических систем

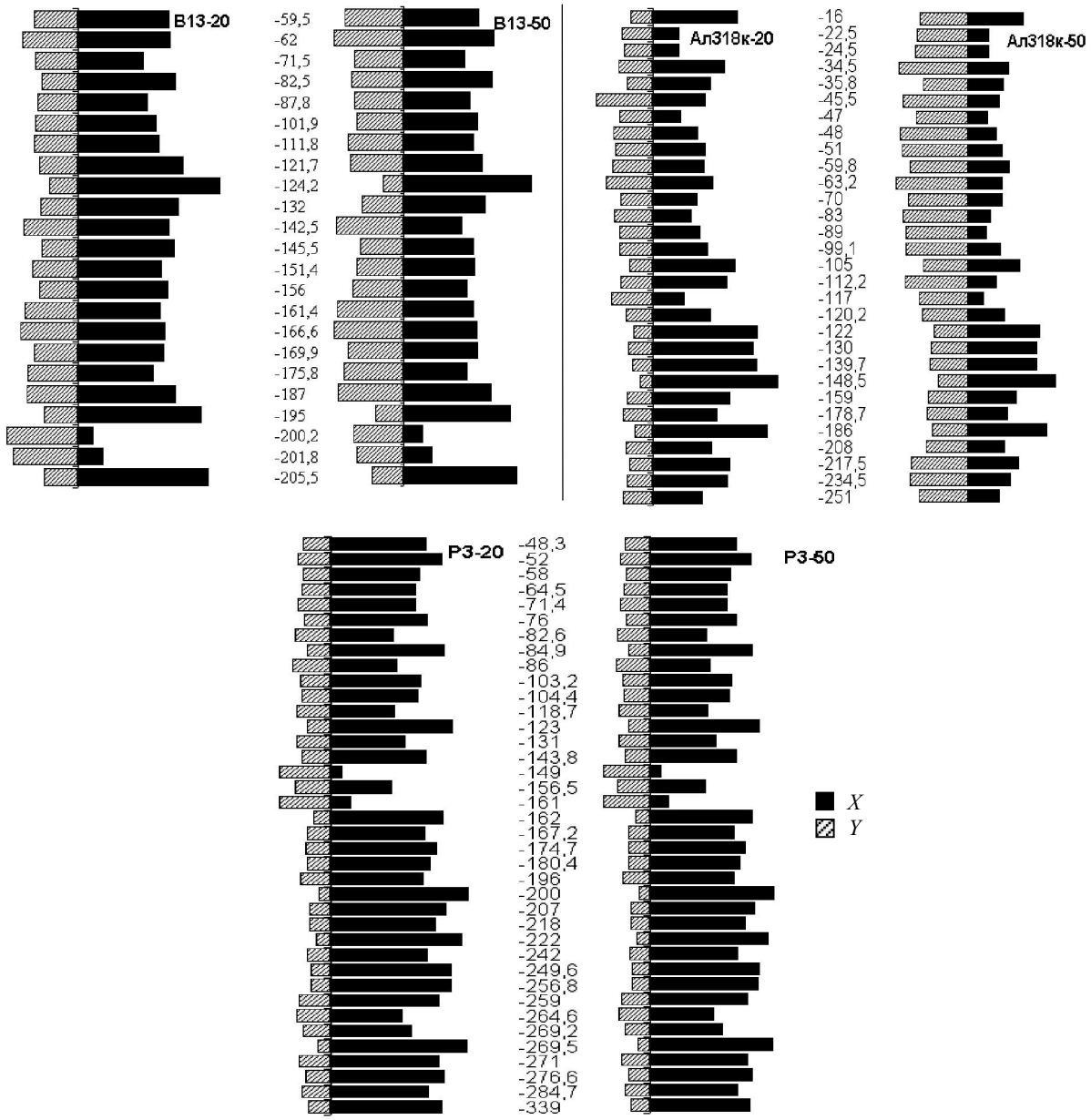


Рис.4. Диаграммы по координатам *X* и *Y* для скважин Б-13, П-3 и Ал-318к

(*Bλp*, *RGB* и *XYZ*) в практике геологических исследований используют преимущественно системы *Bλp* и *XYZ*.

В стандартной колориметрической системе *XYZ*, принятой в 1931 г. Международной комиссией по освещению (МКО), используется цветовой график в виде равнобедренного прямоугольного треугольника. В вершинах этого треугольника расположены условные (нереальные) цвета *X*, *Y*, *Z*, суммированием которых в соответствующих пропорциях можно получить все реальные цвета с любой насыщенностью и любым тоном. Для определения цветности потока достаточно определить только два коэффициента – обычно *x* и *y*; значение третьего *z* дополняет сумму первых двух до единицы [2, 3].

Дополнительно для анализа спектра отражения были взяты координаты цвета образца *X* и *Y*. Вынесение значений *X* и *Y* по интервалам опробования скважин Б-13, П-3 и АЛ-318к показало дифференциацию пород по этим показателям (рис.4). Причем гисто-

граммы, построенные по данным тангенса угла наклона кривой спектра отражения образца, и гистограммы, построенные по значениям *X* и *Y*, в принципе являются независимыми, но между ними существует сильная обратная линейная зависимость.

По полученным гистограммам отчетливо выделяется дифференциация пород, а также корреляция между данными спектрофотометрии и рентгена.

Выводы. Спектроскопические характеристики тонкозернистой фракции могут быть использованы для расчленения и корреляции разреза красноцветных отложений.

Результаты, полученные при исследовании спектра отражения красноцветных пород, открывают возможность разработки нового прикладного метода – спектрофотометрического картирования таких толщ. Ближайшей задачей является обобщение данных и анализ взаимосвязи между вещественным составом, спектрофотометрическими и рентгенодифрактометрическими характеристиками, разработка методов корреляции разрезов на основе рентгена и цвета пород и проверка такой методики на серии скважин в различных частях юго-восточного Беломорья.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лавров В.В.* Геологическая съемка в районах развития красноцветных отложений / В.В.Лавров, Л.С.Теплова, А.С.Кумпан. Л.: Недра, 1980. 179 с.

2. Основные сведения из светотехники и колориметрии. http://www.leds.ru/info.php

3. *Романова М.А.* Определение типового состава песчаных отложений с воздуха по их спектральной яркости. Методы измерения и геологическая интерпретация. Л.: Гостоптехиздат, 1962. 248 с.