

ские условия их формирования [8]. Значения K1 подтверждают наличие криохрона (для обр. 19–45,0 м коэффициент равен 60, поэтому химическая зрелость глины меньше из-за похолодания) и термохрона (для обр. 15–39,5 м коэффициент равен 17, следовательно, степень химической зрелости глины выше по причине некоторого потепления). Для переходной зоны и алевролита (неоген) указанный коэффициент составляет 9–18, что является критерием для отделения четвертичных глин от регионального субстрата.

По величине Z_c (8–23) глины и «неогеновая зона» отличаются слабым загрязнением. Среди токсичных микроэлементов глин очень высокий коэффициент концентрации имеет As (5,3), превышают кларковые содержания Pb и V (1,5–1,8), минимальный коэффициент отмечается для Ni. Для «неогеновой зоны» коэффициенты концентрации почти для всех токсичных микроэлементов менее единицы, исключение составляют As (7,7) и Pb (1,8). Таким образом, коэффициенты концентрации токсичных микроэлементов также являются критерием отделения глинистой толщи от регионального субстрата, но общим признаком оказывается высокая концентрация мышьяка.

В результате сопоставления индикаторных отношений микроэлементов глинистой толщи скв. 45-б (K1–K7) с исследованными ранее озёрными глинами других объектов (глинистые осадки оз. Байкал – Q₃₋₄ в интервале 0,0–100,0 см; палеоген-неогеновые глины из района г. Биробиджана; неогеновые глины цоколя террасы р. Сооли, Приморье) установлено их заметное сходство, поэтому можно предположить, что наши глины, вероятнее всего, относятся к озёрным образованиям. Добавим, что изучение параметров микроструктуры этих глин (метод «Микроструктура») и их сопоставление с указанными объектами также подтвердили нашу гипотезу относительно их озёрного генезиса (обнаружены признаки сходства).

Выводы. Впервые полученные результаты исследований химического и микроэлементного состава отложений скв. 45-б (интервал 18,0–62,0 м) явились критериями границы между четвертичными глинами и их региональным субстратом (неоген), отражающими климатические условия формирования толщи. Признаками озёрного генезиса глин могут быть относительно стабильный химический состав, обогащение органикой и окисным Fe, обеднение Ca, высокие концентрации As, Pb и V, а также черты сходства с озерными глинами других изученных объектов.

1. Иващенко Ю. К. Палеогеоморфология депрессионных морфоструктур юга дальнего Востока. М.: Наука, 1978. 131 с.
2. Интерпретация геохимических данных / Е. В. Сляров, Д. П. Гладкочуб, Т. В. Донская и др. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
3. Короткий А. М., Гребенникова Т. А., Караулова Л. П., Белянина Н. И. Озёрные трансгрессии в позднекайнозойской Уссури-Ханкайской депрессии (Приморье) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 4. С. 53–68.
4. Короткий А. М., Караулова Л. П., Троицкая Т. С. Четвертичные отложения Приморья. Стратиграфия и палеогеография. Новосибирск: Наука, 1980. 234 с.
5. Лукашёв В. К. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Мн.: Наука и техника, 1972. 320 с.
6. Никольская В. В. Некоторые данные о палеогеографии озера Ханка // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1952. Вып. 51. С. 215–225.
7. Павлюткин Б. И., Ханчук А. И. Новые данные о возрасте озера Ханка, Дальний Восток России // Докл. АН. 2002. Т. 382, № 6. С. 826–828.
8. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.

УДК: 553.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКСТУР ПОРОД ПО ДАННЫМ ЦИФРОВОЙ ПЕТРОГРАФИИ

В. П. Самодуров, В. Э. Кутырло, Е. А. Василёнок

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

Введение. Структурно-текстурные характеристики пород являются важнейшими индикаторами условий их формирования. Известно, что в магматических породах преобладают массивные текстуры, а в осадочных породах – слоистые. В метаморфических породах также широко распространены на-

правленные текстуры – сланцевые, полосчатые, лепидобластовые, нематобластовые. Структурные характеристики пород, описывающие размеры и формы минеральных зёрен в её составе могут быть исследованы количественно на основе подходов цифровой петрографии. Современное программное обеспечение для обработки цифровых научных фотографий позволяет выделять границы зёрен, выполнять классификацию минералов, определять их размеры, периметры, площади минералов в шлифах, вычислять их сферичность, выполнять статистические расчёты структурных параметров. Определение количественных текстурных параметров пород не столь однозначно и требует дополнительных исследований. *Целью данной работы* является разработка методического подхода для определения количественного параметра направленной текстуры пород.

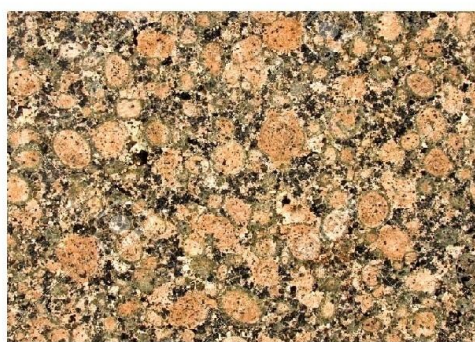
Методический подход. Анализ текстур снимков дистанционного зондирования и, в частности, фотографий пород, является активно развивающейся областью цифровой обработки изображений. К настоящему времени оформились несколько подходов анализа текстур пород по цифровым фотографиям. Основными из них являются статистические методы, геометрические методы анализа текстур и методы цифровой обработки сигналов. Не останавливаясь на всем многообразии подходов, отметим, что обсуждаемый здесь метод анализа текстур пород является одним из методов цифровой обработки сигналов. Он основан на анализе 2d – Фурье преобразования цифровых изображений (FFT – Fast Fourier Transform).

Фурье преобразование является одним из важнейших методов анализа цифровых изображений. Этот метод преобразует распределение волн цветности изображений прямого пространства в синус- и косинус-волны обратного пространства частот. Фурье-преобразование FFT применяется для анализа, фильтрации, восстановления и сжатия изображений. В минералогии Фурье-преобразование широко используется в дифракционных методах исследований атомных структур минералов. Дифракционная картина рентгеновских лучей или электронов как раз является частотным обратным пространством, отражающим расположение атомов в прямом пространстве структуры минерала. Частотное пространство называют обратным, так как направления расположения дифракционных максимумов ортогональны положениям атомных сеток в реальной структуре минералов, а расстояния дифракционных максимумов от начала координат обратны межатомным расстояниям.

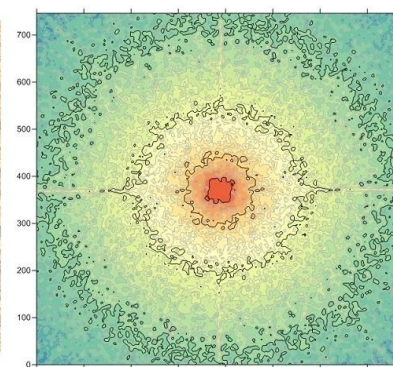
Существует несколько алгоритмов FFT. В данной работе используется обработка исходных цифровых изображений в программе ImageJ/Process/FFT. Частотное изображение FFT содержит в себе всю информацию об исходной фотографии, в том числе как информацию о структуре, так и о текстуре породы. Действительно, применяя операцию обратного преобразования Фурье можно из FFT-пространства получить исходное изображение без потерь его качества. Обратное частотное изображение содержит также краевые эффекты от прямоугольной рамки, ограничивающей цифровую фотографию. Этот эффект выражается в форме креста в пространстве FFT, перпендикулярного краям поля зрения цифровой фотографии.

Результаты. На рисунке представлены исходные цифровые фотографии пород (слева) и соответствующие им FFT-изображения (справа). Можно видеть, что обратное FFT-пространство является центросимметричным. В центре симметрии расположен пик максимальной амплитуды, а вокруг центра располагаются частотные волны разной формы, в зависимости от структуры и текстуры породы. Структурные параметры пород, отражающие размеры и форму минеральных зёрен влияют в основном на размер (длину волны). А текстурные характеристики – на ориентировку частотных волн в обратном FFT-пространстве. Таким образом, каждая изолиния здесь характеризует определённую структурную характеристику породы, а форма изолинии и её ориентировка характеризует положение данного структурного элемента в пространстве. Свойства обратного FFT-пространства наглядно проявляются на рис., б. Здесь максимум частотной волны перпендикулярен сланцеватости филлита – лепидобластовой метаморфической породы пара-ряда, первой ступени метаморфизма, зеленосланцевой фации. Наоборот, текстура разнотекстурного гранита-рапакиви (рис., а) является массивной, а частотные волны в обратном пространстве образуют равноудалённые от центра кольца.

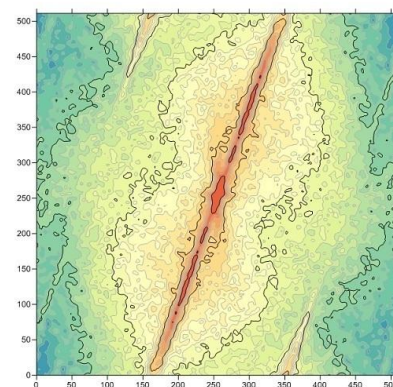
Можно ввести количественный параметр текстуры пород любого типа – осадочных, магматических или метаморфических: $T = a/b - 1$, где a – размер большой оси эллипса, а b – размер малой оси эллипса в обратном FFT-пространстве. В массивных породах эллипс вырождается в окружность $a = b$, и параметр текстуры в таких породах $T = 0$. В слоистых, сланцеватых, полосчатых, лепидобластовых, нематобластовых и других породах с направленной текстурой параметр $T > 0$.



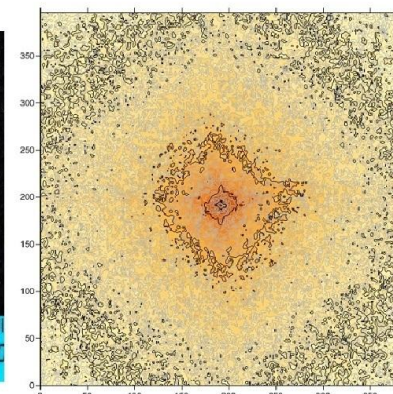
а



б



в



г

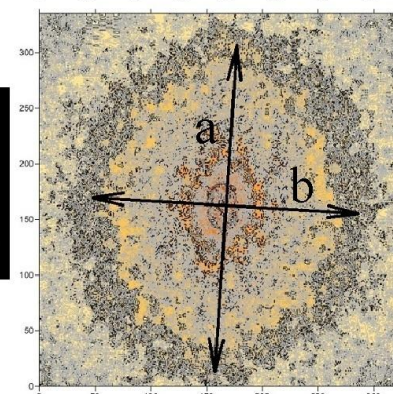


Рисунок – Тектурные характеристики пород в обратном пространстве FFT
а – гранит рапакиви, б – филлит, в и г – карналлит в двух ориентировках

В слоистых осадочных породах и лепидобластовых метаморфических породах значение параметра текстуры может существенно меняться в зависимости от ориентировки пород. Часто в плоскостях наложения таких пород индекс текстуры мал, что указывает на отсутствие направленности в ори-

ентировке пластинчатых микрокристаллов слоистых силикатов, составляющих основу глинистых пород. Наоборот, в поперечных разрезах индекс текстуры этих пород велик (рис., б).

В некоторых случаях индекс текстуры имеет существенное значение для определения условий формирования пород и их реологических свойств, определяющих условия эксплуатации полезных ископаемых. На рис., в, г показаны частотные волны в FFT-пространстве карналлита (карналлитолита) в двух ориентировках. Карналлит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ является пластичной солью, и при боковых (стрессовых) давлениях проявляет текстуры течения солей. Можно определить, что индекс текстуры в поперечном разрезе карналлита $T = 0,22$, что свидетельствует о процессах течения солей в породах подземной выработки.

Выводы. Фурье-преобразование цифровых фотографий геологических объектов позволяет определять количественный параметр текстуры пород. Преимуществом данного подхода является возможность количественного анализа текстур любых геологических объектов разного размера – цифровых фотографий обнажений, штуфов, аншлифов, шлифов, микрофотографий сканирующей электронной микроскопии и др. При этом, текстуры одного и того же объекта в разных масштабах могут существенно отличаться. Так, например, обнажение кварцитов может быть слоистым с плитчатой отдельностью, а текстура отдельного слоя – массивная. Возможности использования Фурье анализа цифровых фотографий геологических объектов не ограничивается данным методом, так как в обратном FFT-пространстве содержится вся информация об исходном объекте, включая информацию о его структуре.

УДК 550.4

АНТРОПОГЕННЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ: ГЕОХИМИЯ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Ш. Ж. Арынова

Томский политехнический университет, Институт природных ресурсов, пр. Ленина 30,
634050 Томск, Российская Федерация; bulatsoktoev@gmail.com

Постановка проблемы. Природные карбонатные образования (травертины, гейзериты, сталактиты, сталагмиты) широко применяются в науках о Земле для изучения различных геологических процессов (тектонической активизации, палеосейсмических и палеоклиматических событий и др.) [12, 14]. Изучение их химического (элементного и изотопного) состава позволяет реконструировать условия окружающей среды, при которых происходило формирование отложений [13]. Близкие к ним по составу и условиям образования карбонатные отложения можно встретить в системах подготовки, очистки и транспортировки воды, а также в теплонагревательных системах (чайники, кастрюли).

Принимая во внимание, что одной из основных форм нахождения многих химических элементов в низкоминерализованных водах, используемых для питьевого водоснабжения, являются карбонатные комплексы, то образующиеся при кипячении солевые отложения (накипь) с большой долей вероятности наследуют гидрогеохимические особенности воды. Это обусловлено процессами изоморфного замещения ионов Са в структуре кристаллической решетки Mg, Fe, Zn, Sr и другими химическими элементами, сорбции на поверхности образующихся карбонатных минералов. Тем самым, в результате этих процессов происходит формирование геохимической специфики образующихся карбонатных образований [3]. Для гидротермального карбонатообразования это достаточно хорошо известно [5, 7, 8 и др.], что положено в основу методов поисков месторождений полезных ископаемых с использованием гидротермальных карбонатных минералов [2, 6, 11]. По нашему мнению, формирующиеся солевые отложения в бытовой теплообменной аппаратуре, вероятнее всего, обладают такой же индикаторной информативностью [1, 4, 9, 10].

Материалы и методы. Сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (ТПУ) с учёными Бурятского государственного университета, Алтайского регионального института экологии, Павлодарского государственного педагогического института, Башкирского государственного университета собрана представительная база данных (более 1000 проб) по