

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ МИКРОФОТОГРАФИЙ  
КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ****<sup>1</sup>Безручко К.А., <sup>1</sup>Пимоненко Л.И., <sup>1</sup>Барановский В.И., <sup>1</sup>Гопкало В.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнической механики им Н.С. Полякова НАН Украины***ЦИФРОВА ОБРОБКА ВУГЛЕПЕТРОГРАФІЧНИХ МІКРОФОТОГРАФІЙ  
ЯК МЕТОД ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ****<sup>1</sup>Безручко К.А., <sup>1</sup>Пимоненко Л.І., <sup>1</sup>Барановський В.І., <sup>1</sup>Гопкало В.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***DIGITAL PROCESSING OF COALPETROGRAPHY PHOTOMICROGRAPHS  
AS A METHOD FOR SOLVING THE APPLIED GEOLOGICAL PROBLEMS****<sup>1</sup>Bezruchko K.A., <sup>1</sup>Pymonenko L.I., <sup>1</sup>Baranovskyi V.I., <sup>1</sup>Hopkalo V.V.**<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Аннотация.** Все геологические исследования регламентируются государственными или международными стандартами. Зачастую они требуют дорогостоящего оборудования, квалификации операторов, больших затрат времени и средств. В то же время, анализ публикаций в мировой научной геологической литературе показывает тенденцию все большего использования методов цифровой обработки фотографий, полученных с помощью оптической и электронной микроскопии. В данной работе показана возможность определения для углей степени углефикации, петрографического состава, восстановленности гелифицированного вещества и степени нарушенности (трещиноватости) путем использования цифровой обработки углепетрографических микрофотографий, полученных с помощью видеопетрографического комплекса: МБИ-11, НВ 200, программное обеспечение Scope photo в программах Jmicrovision и ImageJ. На примере использования ряда компьютерных программ по обработке микрофотографий, полученных в результате углепетрографических исследований, показана возможность решения конкретных геологических задач – определение степени углефикации, определение восстановленности гелифицированного вещества углей, подсчет петрографического состава углей, определение степени нарушенности углей. Объект исследований (цифровые микрофотографии) не подвержены влиянию времени, как физические препараты, что дает возможность их проверки и воспроизведения в любой лаборатории. Преимуществом предлагаемого метода является возможность проведения точечных измерений и значительно более широкий диапазон значений показателей (в случае  $R_0$  – в 100 раз), что повышает точность определений. Относительные показатели (между различными мацералами) позволяют нивелировать технологические погрешности измерений. Все результаты, полученные вышеприведенными методами, сравнивались с фактическими данными, полученными стандартизированными методами. Сравнение показало полную сходимость конечных результатов. Предлагаемые методы углепетрографических исследований могут быть использованы как вспомогательные, для экспресс-оценки ряда показателей при решении геологических задач, так и как самостоятельные, заменяющие трудоемкие и дорогостоящие стандартные методы.

**Ключевые слова:** уголь, петрографические исследования, оптическая микроскопия, микрофотографии, цифровая обработка.

Все геологические исследования регламентируются государственными или международными стандартами. Зачастую они требуют дорогостоящего оборудования, квалификации операторов, больших затрат времени и средств.

В то же время, анализ публикаций в мировой научной геологической литературе показывает тенденцию все большего использования методов цифровой обработки фотографий, полученных с помощью оптической и электронной микроскопии.

В данной работе показана возможность определения для углей: степени углефикации, петрографического состава, восстановленности гелифицированного вещества и степени нарушенности (трещиноватости) путем использования цифровой обработки углепетрографических микрофотографий, полученных с помощью видеооптического комплекса: МБИ - 11, НВ 200, программное обеспечение Scope photo [1] в программах Jmicrovision [2] и ImageJ [3].

**1. Определение степени углефикации.** Степень метаморфизма (углефикации) является основным классификационным параметром углей во всем мире [4]. Она определяется по показателю отражательной способности витринита ( $R^0$ ). Для определения этого показателя необходим оптический микроскоп с фотометром, полированный образец угля и специфическое иммерсионное масло, позволяющие достичь высокого увеличения изображений и уменьшения поля зрения для нивелирования неоднородности вещества (рис. 1).

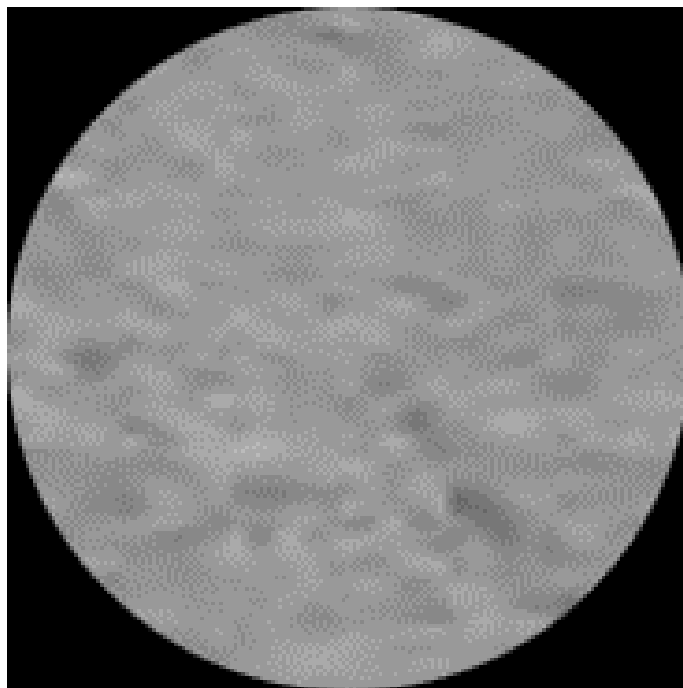


Рисунок 1 – Размер поля зрения микроскопа при определении показателя отражения витринита, 2 – 20 мкм, в зависимости от оборудования и метода определения (воздушная среда или иммерсия в масло)

Диапазон значений  $R^0$  в природном ряду от бурых углей до антрацитов составляет всего 2% (от 0,5 до 2,5), поэтому «перекрытия» показателей таковы, что точное определение марки проблематично, например: марка К –  $R_0 = 1,21 - 1,80$ , а марка ОС –  $R_0 = 1,30 - 1,90$ .

Наличие технических сложностей подобных измерений (оптические характеристики микроскопа и фотометра, освещенность помещения, характеристики напряжения в электросети, свежесть иммерсионного масла, выбор препарата, степень полировки) приводит к значительным расхождениям (до 0,54%) данных в разных лабораториях мира [5].

Использование программы Jmicrovision позволяет избежать большинства из этих проблем: диапазон изменения оттенков серого цвета, которым можно заменить отражательную способность составляет 0 (для черного) – 255 (для белого) в отличие от 0,5–2,5 для  $R_0$ ; замеры можно делать не с площади поверхности (2–20 мкм), а в точке, то есть получить значение оттенка одного пикселя изображения и, наконец, избежать технических несоответствий различных лабораторий можно заменив значение оттенка серого цвета витринита на отношение таких значений между витринитом и фюзинитом (инертинитом), значения для которого можно получить с той же микрофотографии (рис. 2).

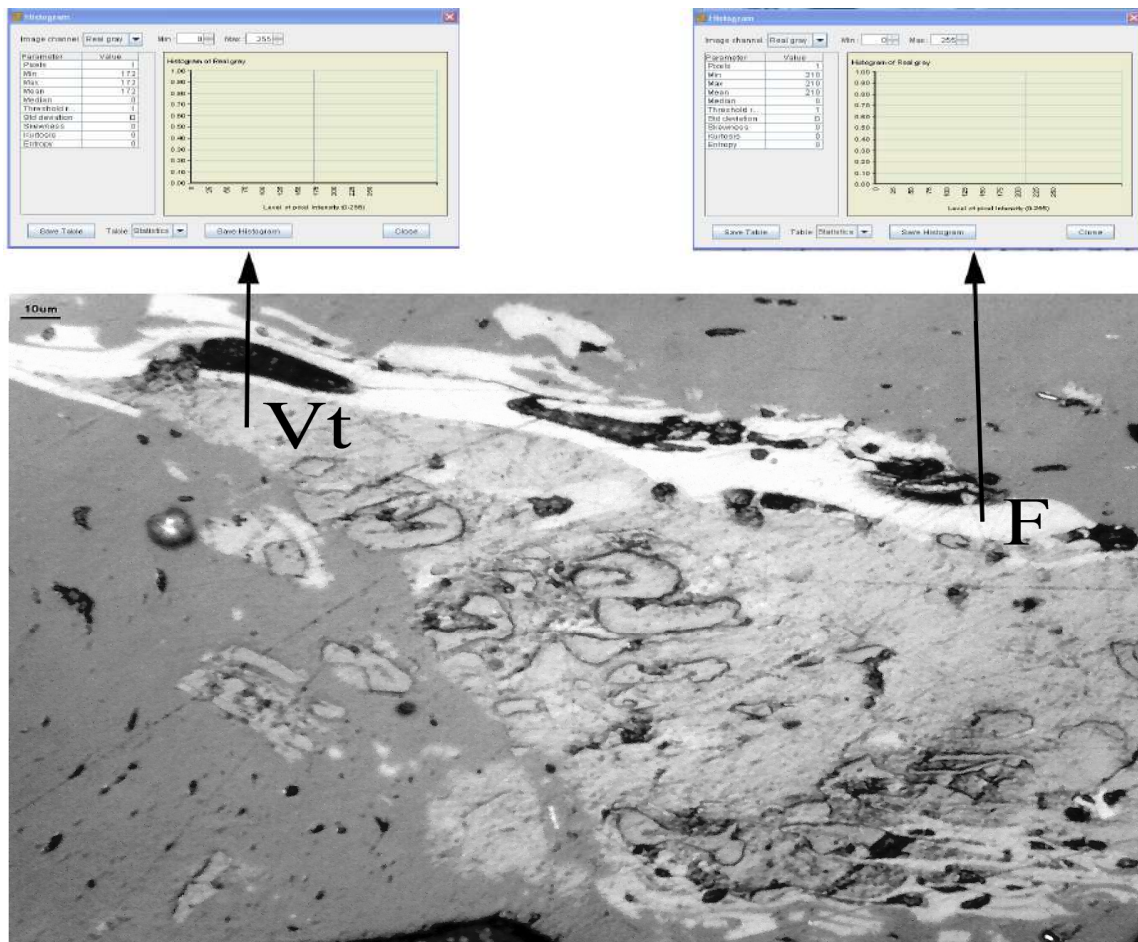


Рисунок 2 – Точечные значения оттенков серого цвета для витринита и фюзинита с одной микрофотографии

Для углей различных марок Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов рассчитаны показатели интенсивности оттенков серого цвета мацералов (ИС) и установлено, что в ряду метаморфизма они изменяются аналогично значениям отражательной способности витринита, но участки «перекрытия» между марками существенно меньше, что свидетельствует о большей точности определения степени углефикации данным методом [6].

## 2. Определение восстановленности гелифицированного вещества углей.

В той же программе (Jmicrovision) оттенки серого цвета можно мерять не в точке, а на произвольной площади (рис. 3).

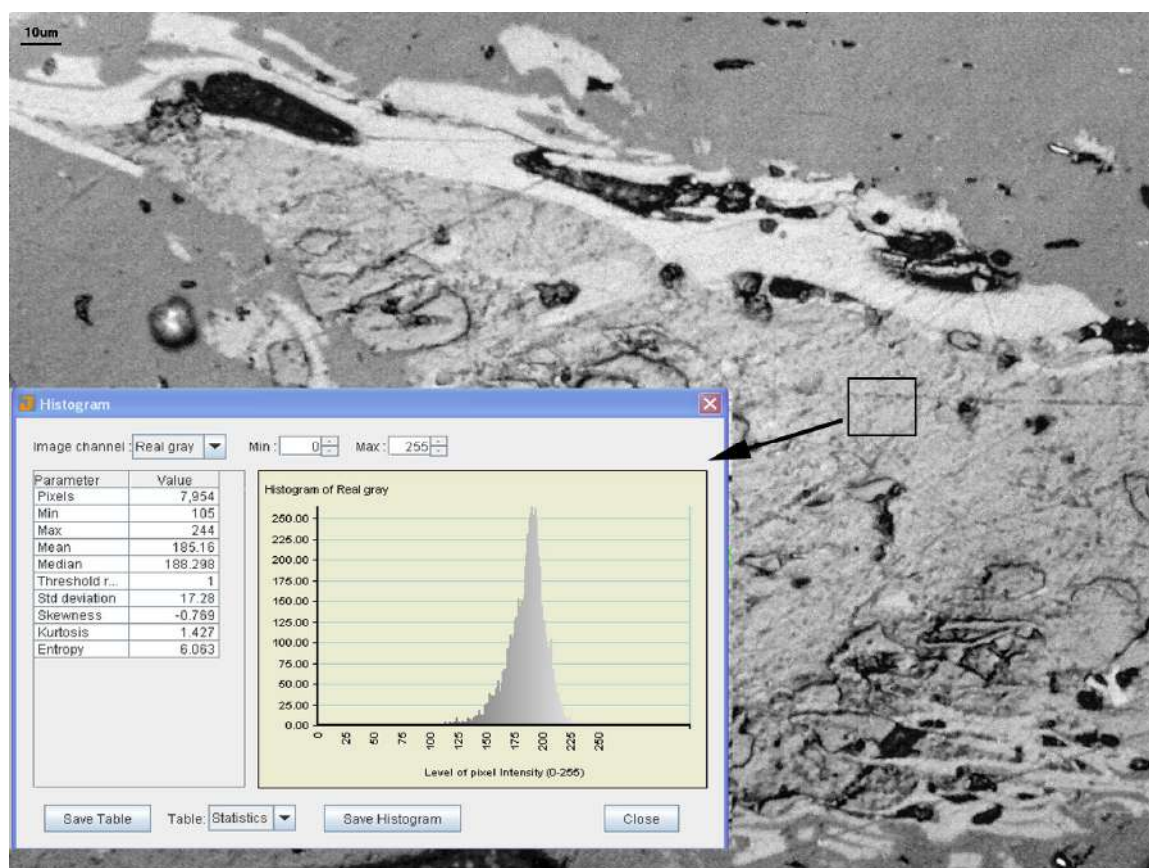


Рисунок 3 – замер оттенков серого цвета по витриниту на произвольной площади

Уголь «восстановленный» — условный термин для обозначения среди изометаморфных углей одного бассейна с одинаковым содержанием групп микрокомпонентов тех разностей, которые характеризуются повышенным содержанием водорода, повышенным выходом летучих веществ и смолы полукоксования, лучшей растворимостью в органических растворителях и лучшей спекаемостью.

При использовании предлагаемого метода достаточно проанализировать гистограмму распределения оттенков серого цвета, и чем больше эти значения отклоняются от среднего в сторону уменьшения, тем более восстановлен уголь.

**3. Подсчет петрографического состава углей.** Программа Jmicrovision позволяет так же производить подсчет петрографического состава углей (рис. 4).

Метод более производителен и нагляден, чем традиционный по стандарту. Необходимо сделать несколько фотографий, покрывающих все поля препарата и исключить из расчетов значения, попадающие на связующее вещество (шеллак - Gum).

За короткий срок можно идентифицировать мацералы в десятках тысяч точек (в отличие от требуемых по стандарту четырехсот), что несомненно увеличит точность подсчета, к тому же при выводе изображения на монитор в работе могут принимать участие несколько углепетрографов на случай проблем с идентификацией объектов.

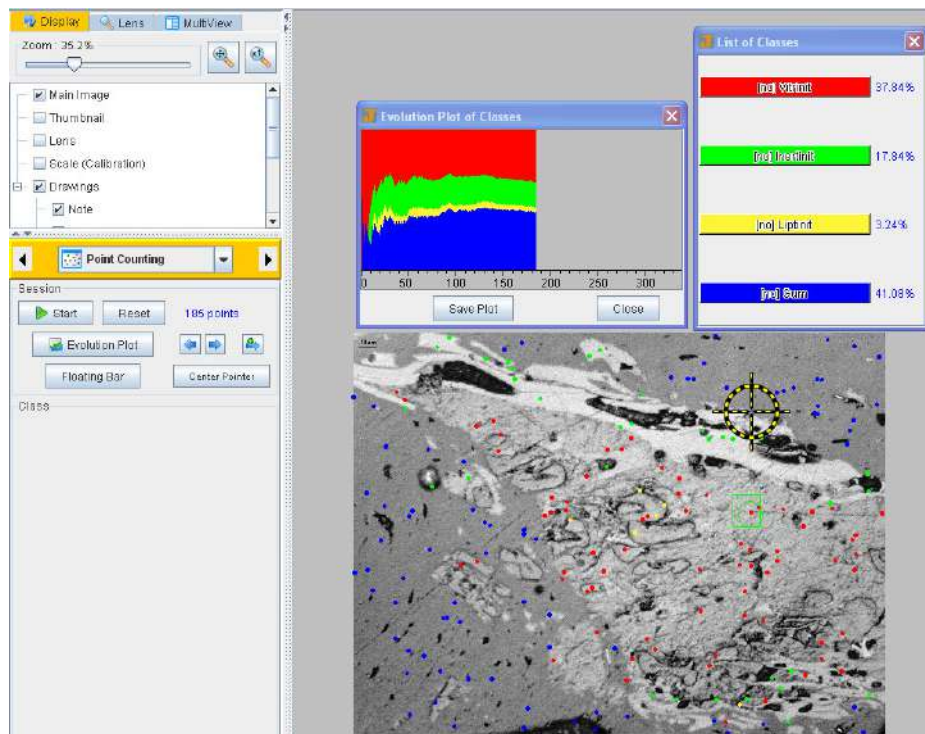


Рисунок 4 – Подсчет петрографического состава

**4. Определение степени нарушенности углей.** Обычно этот показатель определяют либо путем гранулометрического анализа продуктов разрушения углей ситовым методом, либо путем подсчета количества трещин на поверхности петрографических препаратов.

В первом случае необходимо специализированное оборудование для рассева измельченных частиц идентичным для всех проб способом. К тому же точность ситового анализа ограничена ввиду игловидной формы частиц некоторых микрокомпонентов группы инертинита (фюзинита), которые при диаметре в несколько микрон могут иметь длину в несколько миллиметров и при рассеве попадать в различные фракции крупности.

При подсчете трещин в петрографических препаратах трудно отделить природные трещины от технологических, эндогенные от тектонических.

С помощью программы ImageJ по микрофотографии, полученной с того же препарата (аншлиф-брикет), требуемого стандартами для углепетрографических исследований и использованного нами для работы с программой Jmicrovision, можно оценить распределение угольных частиц по крупности (по диаметру и площади), статистические показатели этого распределения и их фрактальную размерность (рис. 5).

Все необходимые процедуры по подготовке изображений к исследованию: выбор цветового режима, перевод изображения в бинарную модель, калибровка размеров, расстановка маркеров увеличения производятся в самой программе, которая является бесплатной, свободно распространяемой и постоянно совершенствуется сообществом исследователей. В ней можно решать как автоматизированные задачи, так и работать в ручном режиме с отдельными объектами.

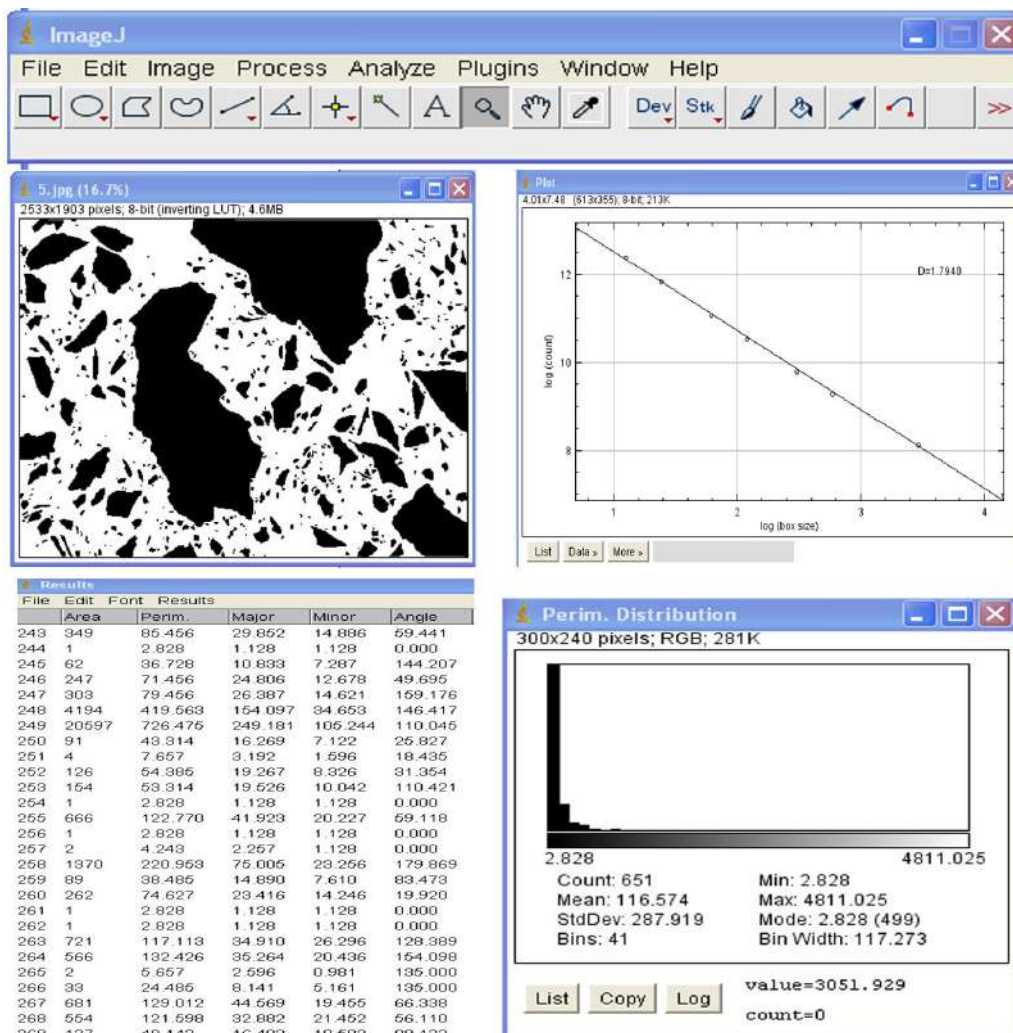


Рисунок 5 – Цифровая обработка микрофотографий в программе ImageJ

По предлагаемой методике по среднепластовым пробам угольных пластов шахт Донбасса, отобраным из ненарушенных участков, зоны тектонического нарушения и места выброса, определены показатели микронарушенности углей. Тесные корреляционные связи между показателями микронарушенности углей и фрактальной размерностью (0,70 – 0,76) свидетельствуют, что величина  $D$  характеризует интенсивность диспергирования углей и, следовательно, позволяет сравнивать между собой угли различных пластов или участков, отличающихся по степени нарушенности.

Кроме того путем передвижения предметного столика и замеров расстояний между кливажными трещинами по штурф-аншлифам угольных проб пластов  $m_3$  и  $l_4$ , которые составляли от 20 до 670 мкм, был выявлен волнообразный характер их чередования.

### Выводы

1. Все результаты, полученные вышеприведенными методами, сравнивались с фактическими данными, полученными стандартизированными методами. Сравнение показало полную сходимость конечных результатов.

2. Предлагаемые методы углетрографических исследований могут быть использованы как вспомогательные, для экспресс оценки ряда показателей при

решении геологических задач, так и самостоятельные, заменяющие трудоемкие и дорогостоящие стандартные методы.

3. Относительные показатели (между различными мацералами) позволяют нивелировать технологические погрешности измерений.

4. Преимуществом предлагаемого метода является возможность проведения точечных измерений и значительно более широкий диапазон значений показателей (в случае  $R_0$  – в 100 раз), что позволяет увеличить точность определения степени углефикации углей.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерная программа Scope Photo Image Software - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://labx.narod.ru/documents/scope\\_photo\\_image\\_software.html](http://labx.narod.ru/documents/scope_photo_image_software.html) – Загл. с экрана.
2. Компьютерная программа Jmicrovision - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jmicrovision.com/>. html. – Загл. с экрана
3. Компьютерная программа ImageJ - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. html. – Загл. с экрана
4. ASTM D388-18a, Standard Classification of Coals by Rank, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, [www.astm.org](http://www.astm.org)
5. Paul Hackley. Standardization of vitrinite reflectance measurements in shale petroleum systems: how accurate are my Ro data? Online Journal for E&P Geoscientists. April 7, 2014 Monday 1:20 P.M. AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, TX. <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2014/90189ace/abstracts/1841915.htm>
6. Bezruchko K.A., Pymonenko L.I., Balalaiev O.K., Baranovskyi V.I.. A new determination method for coal metamorphism degree // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. № 3. Pp. 5 –11. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/1>

#### REFERENCES

1. Computer program Scope Photo Image Software, available at: [http://labx.narod.ru/documents/scope\\_photo\\_image\\_software.html](http://labx.narod.ru/documents/scope_photo_image_software.html) (Accessed 22 January 2020).
2. Computer program Jmicrovision, available at: <https://www.jmicrovision.com.html> (Accessed 22 January 2020).
3. Computer program ImageJ, available at: <http://rsb.info.nih.gov/ij.html> (Accessed 22 January 2020).
4. ASTM D388-18a, Standard Classification of Coals by Rank, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2018), available at: [www.astm.org](http://www.astm.org)
5. Paul Hackley. (2014). Standardization of vitrinite reflectance measurements in shale petroleum systems: how accurate are my Ro data? [Online Journal for E&P Geoscientists]. AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, TX. Retrieved from: <http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2014/90189ace/abstracts/1841915.htm>
6. Bezruchko, K.A., Pymonenko, L.I., Balalaiev, O.K., Baranovskyi V.I.. A new determination method for coal metamorphism degree. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019, no. 3, pp. 5-11. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/1>

---

#### Об авторах

**Безручко Константин Андреевич**, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Пимоненко Людмила Ивановна**, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Барановский Владимир Игнатьевич**, магистр, младший научный сотрудник отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Гонкало Виталий Владимирович**, магистр, научный сотрудник отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

---

#### About the authors

**Bezruchko Kostiantyn Andriiovych**, Doctor of Geology (D.Sc.), Senior Researcher, Head of the Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Румоненко Людмила Іванівна**, Doctor of Geology (D.Sc.), Senior Researcher, Principal Researcher in the Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Барановський Володимир Ігнатович**, Master of Science, Junior Researcher in the Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Нопкало Віталій Володимирович**, Master of Science, Researcher in the Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Анотація.** Усі геологічні дослідження регламентуються державними або міжнародними стандартами. Зазвичай вони вимагають коштовного устаткування, кваліфікації операторів, великих витрат часу та засобів. В той же час, аналіз публікацій у світовій науковій геологічній літературі показує тенденцію все більшого використання методів цифрової обробки фотографій, отриманих за допомогою оптичної та електронної мікроскопії. В роботі показана можливість визначення для вугілля ступеня вуглефікації, петрографічного складу, відновленості геліфікованої речовини та міри порушеності (тріщинуватості) шляхом використання цифрової обробки вуглепетрографічних мікрофотографій, отриманих за допомогою відеооптичного комплексу: МБІ - 11, НВ 200, програмного забезпечення Scope photo в програмах Jmicrovision і ImageJ. На прикладі використання низки комп'ютерних програм з обробки мікрофотографій, отриманих в результаті вуглепетрографічних досліджень, показана можливість вирішення конкретних геологічних завдань - визначення ступеня вуглефікації, визначення відновленості геліфікованої речовини вугілля, підрахунок петрографічного складу вугілля, визначення міри порушеності вугілля. Об'єкт досліджень (цифрові мікрофотографії) не схильні до впливу часу, як фізичні препарати, що дає можливість їх перевірки та відтворення в будь-якій лабораторії. Перевагою запропонованого методу є можливість проведення точкових вимірів та значно ширший діапазон значень показників (у разі  $R_0$  - в 100 разів), що підвищує точність визначень. Відносні показники (між різними мацералами) дозволяють нівелювати технологічні похибки вимірів. Усі результати, отримані наведеними вище методами, порівнювалися з фактичними даними, отриманими стандартизованими методами. Порівняння показало повну збіжність кінцевих результатів. Запропоновані методи вуглепетрографічних досліджень можуть бути використані як допоміжні, для експрес оцінки низки показників під час вирішення геологічних завдань, так і як самостійні, замість трудомістких та коштовних стандартних методів.

**Ключові слова:** вугілля, петрографічні дослідження, оптична мікроскопія, мікрофотографії, цифрова обробка.

**Annotation.** All geological researches are regulated by the state or international standards. They often require expensive equipment and due operators' qualifications; besides, it is time-consuming and costly. Simultaneously, the analysis of publications in the world scientific geological literature demonstrates a tendency towards more often use of methods of digital photo processing with the help of optical and electron microscopy. This work shows the possibility of determining the coal ranks, petrographic composition, recoverability of the gelled substance, and the degree of disturbance (fracturing) by using digital processing of coal petrography photomicrographs obtained with the video optical complex: MBI-11, HB 200, Scope photo software in Jmicrovision and ImageJ programs. On the example provided by a number of computer programs for processing photomicrographs, obtained as a result of coal petrography researches, we showed the possibility of solving the specific geological problems: determining the coal ranks, determining recoverability of the gelled substance for coals, calculating the petrographic composition of coal, determining the degree of coal disturbance. An object of the study (digital photomicrographs) is not under the influence of time, like physical preparations, which makes it possible to verify and reproduce them in any laboratory. The advantage of the proposed method is the possibility of conducting point measurements and a significantly wider range of indexes values (in the case of  $R_0$  – by 100 times wider), which increases the accuracy of the determination. Relative indexes (between different macerals) allow leveling technological measurement errors. All results obtained by the above methods were compared with the actual data derived by standardized methods. The comparison showed complete convergence of the final results. The proposed methods for coal petrography researches can be used as auxiliary, for the rapid assessment of a number of indexes while solving geological problems, as well as independent, replacing the time-consuming and expensive standard methods.

**Keywords:** coal, petrographic studies, optical microscopy, photomicrographs, digital processing

Стаття надійшла до редакції 26.01.2020.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук О.В. Бурчаком