

УДК 553.98(477)

## ИНДИКАТОРЫ ПАЛЕОДАВЛЕНИЙ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

Баранов В.А.

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, 49005 г. Днепр, ул.  
Симферопольская, 2а, E-mail: [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru)

В статті представлені індикатори палеотиску для осадочних порід. Розроблений коефіцієнт пластичності (питомої порушеності,  $K_{пл}$ ,  $мм^{-1}$ ) та коефіцієнт відносної порушеності ( $K_{п}$ , %). Ці показники фіксують максимальні напруги, які витримали породи в зоні найбільшого стискування. Їх можна використовувати для визначення порушених зон, виділення підстадій катагенезу, стадіального аналізу. Для підвищення якості виділення мікрODEФОРМАЦІЙ розроблений метод бокового освітлення, суть якого викладена в статті.

Ключові слова: Палеотиск, індикатор, порушеність, пластичність, катагенез, включення.

В статье представлены индикаторы палеодавления для осадочных пород. Разработан коэффициент пластичности (удельной нарушенности,  $K_{пл}$ ,  $мм^{-1}$ ) и коэффициент относительной нарушенности ( $K_{п}$ , %). Эти показатели фиксируют максимальные напряжения, которые претерпела порода в зоне наибольшего сжатия. Их можно использовать для определения нарушенных зон, выделения подстадий катагенеза, стадийного анализа. Для повышения качества выделения микродеформаций разработан метод бокового освещения, суть которого изложена в статье.

Ключевые слова: Палеодавление, индикатор, нарушенность, пластичность, катагенез, включение.

The article presents the indicators of paleosuppression for sedimentary rocks. The coefficient of ductility (specific impairment,  $K_{pl}$ ,  $mm^{-1}$ ) and the coefficient of relative impairment ( $K_i$ , %) have been developed. These indicators fix the maximum stresses that the rock under the greatest compression has undergone. They can be used to identify disturbed zones, the selection of substages of catagenesis, and staging. To improve the quality of microdeformation, a lateral lighting method has been developed, the essence of which is set forth in the article..

Keywords: Paleosuppression, indicator, impaired, plasticity, catagenesis, inclusion

**Введение.**

В настоящее время существуют датчики и приборная база для определения давления в горных породах, в скважинах или горных выработках [1-4]. Тем не менее, существует проблема определения палеодавлений в осадочных породах, для определения коллекторских свойств, выполнения стадийного анализа и решения конкретной проблемы – стоит ли бурить глубже при поиске углеводородов или дальнейшее бурение бесперспективно. Известно [5,6], что с увеличением глубины и повышением литостатического давления пористость и проницаемость пород закономерно уменьшаются, но осадочные бассейны характеризуются вертикальными движениями как вниз, так и вверх. Таким образом, сильно уплотненная порода, с плохими коллекторскими свойствами может подняться на небольшие глубины, а верхние породы будут смыты. Как определить степень палеодавления (древнего

давления) и возможность нахождения в таких породах коллекторов? Ниже будут рассмотрены методы определения палеодавлений в осадочных породах с использованием природных индикаторов напряженного состояния пород.

Отправной точкой разработки таких методов можно считать выход небольшой брошюры В.И. Рыдника «Увидеть невидимое» [7]. В ней автор в популярной форме рассказывал о физике элементарных частиц, методах и приборах их изучения, а в конце книги написал следующее. «Ученые давно усвоили тот непреложный принцип, что свойства объектов всегда определяются их структурой, строением. Зная структуру, можно предсказывать свойства (это можно назвать прямой задачей). Исследуя свойства, можно попытаться понять структуру (это можно назвать обратной задачей)». Эта подсказка физиков позволила в дальнейшем развить такое научное направление как «структурирование минералов

и пород в разных условиях» [8]. Базовым постулатом этой работы стала очевидная парадигма об увеличении структурных неоднородностей в минералах и породах при ужесточении внешних условий – повышении давления и температуры. Иными словами, чем больше глубина залегания пород, тем выше давление и тем больше вероятность возникновения дислокаций, дефектов кристаллической решетки разных типов.

Для выполнения прямых исследований оптический метод является самым доступным и наиболее наглядным. Исследования в области петрографии, кристаллооптики, кристаллофизики основываются на этом методе. Используя различную аппаратуру и дополнительные устройства, можно получать обширную информацию о составе, строении, структуре, морфологии и типоморфных особенностях горных пород и минералов.

#### **Изложение основного материала.**

*Методика количественных исследований микродеформаций.*

Для успешного выполнения работ по определению палеодавлений и иных физико-механических свойств песчаников необходимы количественные измерения структурных дефектов породообразующих зерен кварца, являющихся наиболее прочным, каркасным и к тому же прозрачным материалом, в котором хорошо видны структурные неоднородности. Структурные микродеформации являются следствием тектонических процессов и регионального литогенеза, их количественный показатель отражает упруго-пластическое состояние породного массива и является индикатором эволюционного преобразования осадочных горных пород [9,10].

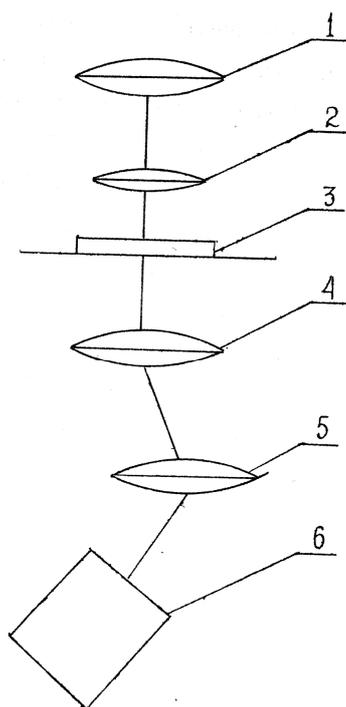
В качестве структурных микродеформаций количественному подсчету подвергались следы пластических деформаций на поверхности среза зерен в шлифах, которые представлены полосками Бёма, полосами и пластинками деформации, поясами деформации.

Подсчет проводился на оптическом микроскопе типа ПОЛАМ-Р111 с применением бокового освещения и счетного устройства ПМН-1. Суть метода бокового освещения состоит в том, что изменяется направление светового потока (рис.1). Для этого осветительная линза смещается от оси светового потока на  $3^\circ - 6^\circ$ , а с помощью осветителя, типа ОИ-37, световой поток направляется на осветительную линзу под углом  $10^\circ - 20^\circ$  к

горизонтальной плоскости симметрии осветителя.

Метод основан на явлении преломления и отражения светового потока в местах нарушения сплошности вещества. Прямой световой поток проходит свободное от дефектов однородное вещество с одинаковой плотностью и скоростью. При прохождении вещества с объемным дефектом, световой поток преломляется в месте расположения дефекта, происходит разделение светового потока на прямой, в бездефектном месте и преломленный в месте дефекта, отстающий от прямого на некоторую длину световой волны  $\Delta\lambda$ , этим объясняется наличие видимых дефектов при прямом освещении в виде темных точек и полос. При боковом освещении, на вещество (например, кварц) попадает только незначительная часть световых лучей; объемные дефекты, из-за многократного преломления световых лучей на их стенках, являются своеобразными концентраторами света и проявляются светлыми точками и полосками на фоне менее освещенного бездефектного поля вещества. При боковом освещении контрастно и полно выделяются различные газожидкие включения, полоски Бёма, полосы и пластинки деформации и другие структурные неоднородности.

При подготовке к выполнению измерений нужно произвести следующие операции: включить осветитель типа ОИ-37 в сеть, вывести анализатор (если он введен), исследуемый препарат (шлиф или плоско-параллельную пластинку) протереть спиртом-ректификатом и установить в препаратодоводитель типа СТ-11; добиться нужного контрастного освещения по описанной ранее схеме; одну из сторон препарата установить параллельно микрометрической линейке окуляра и закрепить в этом положении предметный столик микроскопа стопорным винтом; измерения лучше производить без светофильтров; общее увеличение микроскопа должно быть в пределах  $60^x - 100^x$ , при большем увеличении описанный эффект бокового освещения можно получить путем регулировки положения конденсора.



1 – окуляр; 2 – объектив; 3 – шлиф; 4 – конденсатор; 5 – осветительная линза; 6 – осветитель

**Рисунок 1 - Схема получения бокового освещения на микроскопе типа ПОЛАМ-Р111 с осветителем типа ОИ-37.**

Измерения проводятся в следующем порядке: линейным методом, как наиболее быстрым и удобным [11], подсчитывают число следов плоскостей скольжения ( $\Sigma N$ ) в зернах кварца, число просмотренных кварцевых зерен ( $\Sigma n$ ), пересекаемых микрометрической линейкой окуляра. Каждое кварцевое зерно просматривается при двух типах освещения - при одном поляризаторе и совместно с анализатором, при таком способе наиболее полно видны следы микродеформаций и кварцевые зерна хорошо отличимы от других минералов.

Подсчет проводится в кварцевых зернах только песчаников, так как алевролиты обычно не являются коллекторами для нефтяников или выбросонеопасными породами для горняков [3-6]. Следы микродеформаций учитываются при длине не менее 0,05 мм, соответствующей минимальному размеру зерен песчаной фракции 5-6]. При подсчетах необходимо помнить о аличии регенерационных каемок в зернах кварца (рис. 2). При боковом освещении регенерационный кварц и регенерационные каемки хорошо идентифицируются, они не подсчитываются.

Проведя указанные подсчеты в первом поле зрения, препарат передвигается с помощью препаратоводителя вправо или влево на длину поля зрения и проводятся подсчеты во втором поле, затем в третьем, пока не будет пройдена вся линия. Направление линии подсчета должно быть перпендикулярным слоистости (если она наблюдается), либо под углом к ней, чтобы получить средние числовые характеристики, не зависящие от текстурных признаков.

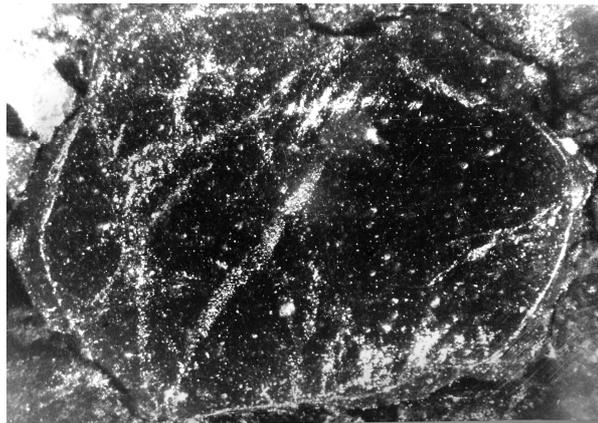
После проведения подсчетов определяется коэффициент пластичности по следующей формуле:

$$K_{пл} = (\Sigma N) / (\Sigma n \times \bar{d}), \text{ мм}^{-1}$$

где  $\Sigma N$  - суммарное число подсчитанных следов деформации;

$\Sigma n$  - суммарное число просмотренных зерен кварца;

$\bar{d}$  - средний размер обломочных зерен в породе, мм.



**Рисунок 2 - Каемки регенерационного кварца и полоски Бёма, Донбасс, шлиф, боковое освещение, увеличение 100<sup>x</sup>**

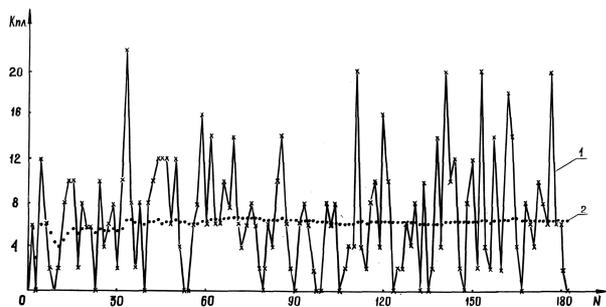
На основе изложенной методики был предложен «Способ определения выбросоопасности горных пород» [12].

Минимальное количество подсчитываемых кварцевых зерен определялось эмпирическим путем по методике, разработанной автором работы [13]. Согласно этой методике в шлифе подсчитывалось суммарное число полос скольжения в каждом просмотренном кварцевом зерне, значения заносились в графу. Параллельно, в соседнюю графу заносились значения накопленного среднего числа полос скольжения, которые изменялись в зависимости от количества просмотренных зерен. По мере увеличения числа последних, колебания

накопленного среднего значения все более суживаются и оно стабилизируется, приближаясь к истинному значению (рис. 3).

По результатам экспериментальных данных для достижения величины отклонения от средней в 5-8 % нужно просчитать 100-150 кварцевых зерен. Такая точность достаточна для получения значения ошибки в пределах 10 %, удовлетворяющей требованиям к таким расчетам.

Разработанный показатель можно назвать удельным коэффициентом нарушенности породообразующих зерен, он характеризует нарушенность минералов, указанный подход был применен для микроуровня, для макроуровня подобный подход был реализован в методиках, изложенных авторами, в работе [14].



1 – суммарное число полос скольжения в зерне; 2 - значения

**Рисунок 3 - Изменение накопленного среднего числа полос скольжения в зависимости от подсчитанного общего числа кварцевых зерен [13].**

Приведенный показатель имеет и свои недостатки, которые связаны со спецификой петрографических определений. В одном обломочном зерне могут быть десятки деформаций разной длины, ширины и степени контрастности, поэтому уровень точности определений в некоторой степени может зависеть от квалификации оператора, что часто наблюдается и для других измерений, особенно в плане точности. Понятно, что для ответственной работы нужно готовить оператора, обращая внимание на специфические нюансы, имеющиеся в разных приборах и методах измерений.

Для повышения степени надежности, достоверности получаемых результатов, а также, с целью уменьшения времени на подобные измерения и повышения

экспрессности, позже был разработан коэффициент относительной нарушенности  $K_n$ , %, который определяется по формуле:

$$K_n = (\sum m / \sum M) \times 100 \%$$

где  $\sum m$  суммарное количество породообразующих минералов со следами пластических микродеформаций;

$\sum M$  суммарное количество исследованных породообразующих минералов песчаной фракции.

Данный показатель предназначен для определения не удельного количества микродеформаций, а относительного количества нарушенных зерен в исследуемой породе и был реализован при разработке нового способа определения выбросоопасности горных пород, на который получено авторское свидетельство [15]. Данный показатель, как и предыдущий, фиксирует повышенные напряжения в породе в виде разного рода микронарушений, но указанный коэффициент показывает – сколько нарушенных зерен находится в исследуемой породе и объективно проявляет палеонапряжения, которые испытывала порода при максимальных погружениях или максимальных тектонических подвижках. Таким образом, его можно применять при исследованиях региональных закономерностей литогенеза вообще и катагенеза, в частности, особенно средней подстадии катагенеза, в которой формируются углеводороды и которую в разные времена и разные авторы выделяли как главную фазу образования углеводородов [16,17].

Кроме этого, показатель хорошо зарекомендовал себя при выявлении нарушенных зон тем, что его значения увеличиваются на фоне средних значений для исследуемых отложений в соответствии со степенью напряжений, которые испытала порода. Данное положение логично и его можно легко описать на таком примере. Представьте себе лед или стекло, в общем, прозрачный предмет, который претерпел удар тяжелым предметом, сила удара относительно определяется количеством микротрещин, которые мы, в данном случае, можем фиксировать под микроскопом. Поскольку нарушенные зоны могут быть прямыми подводными каналами углеводородов, устанавливая там перфорированные трубы, мы можем добывать углеводороды, конечно, если они там есть.

Разработанный показатель был использован для определения степени катагенеза пород

[18,19], а также, совместно с пористостью, для установления границ выбороопасности [20], что является актуальным как для горняков (только со средней подстадий катагенеза связаны выбросы песчаников), так и для нефтяников, поскольку коллекторские свойства пород существенно зависят от того, на какой палеоглубине они были. Современная глубина редко совпадает с палеоглубиной, поэтому, зная историю формирования коллекторов, можно судить об их свойствах. В этой связи, глубина 5 км, не является общей догмой предела существования коллекторов, учитывая тот факт, что в ДДВ на глубинах в 3 км буровики обнаружили рыхлые отложения [21], то есть, таких глубин могут достигать отложения диатомита.

**Выводы.** В настоящее время есть различные приборы, позволяющие установить давление на глубине в шахте или скважине, но для определения палеонапряжений в горных породах, приборы отсутствуют. Тем не менее, в последнее время разработаны и апробированы в разных осадочных бассейнах коэффициенты удельной и относительной микронарушенности обломочных зерен горных пород, позволяющие определять степень преобразования пород под действием повышенных напряжений, как регионального давления, так и тектонических воздействий. С помощью разработанных показателей можно восстанавливать историю образования и преобразования пород, судить об их коллекторских и физико-механических свойствах, поскольку эти параметры связаны между собой, прогнозировать указанные свойства и перспективность или отсутствие таковой для глубокого бурения и добычи углеводородов.

1. Турчинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И. и др. *Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок.* – Л.: Наука, 1978. – 256 с. 2. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. *Разработка руд на больших глубинах.* – М.: Недра, 1982. – 292 с. 3. Любимов Н.И., Носенко Л.И. *Справочник по физико-механическим параметрам горных пород рудных районов.* – М.: Недра, 1978. – 285 с. 4. Herget G. *Ground stress determination in Canada // Rock Mechanics,* 1974. - №6. – P.53-64. 5. Озёрская М.Л., Подоба Н.В. *Физические свойства осадочного покрова территории СССР.* – М.: Недра, 1967. – 772 с. 6. Багрянцева К.И. *Трещиноватость осадочных пород.* – М.: Недра, 1985. – 256 с. 7. Рыдник В.И. *Увидеть*

*невидимое.* – М.: Энергоиздат, 1981. – 184 с. 8. Баранов В.А. *Структурні перетворення пісковиків Донбасу і прогноз їх викидонебезпечності / Автореф. дис... д-ра. геол. наук: 04.00.16 / НГА України – Дніпропетровськ, 2000. – 36с. 9. Ржевский В.В., Новик Г.Я. *Основы физики горных пород.* – М.: Недра, 1978. – 390 с. 10. Рац М.В. *Неоднородность горных пород и их физических свойств.* – М.: Наука, 1968. – 110 с. 11. Вахромеев С.А. *Руководство по минераграфии.* – М.: Госгеолгиздат, 1950. – 198 с. 12. А.с. 1463936 СССР, МКИ Е 21 F 5/00. *Способ определения выбороопасности горных пород / В.Е. Забигайло, В.В. Лукинов, В.А. Баранов, Н.И. Пимоненко, В.И. Суворцев.* – 4 с. ил.; Оpubл. 07.03.89, Бюл. №9.13. Салтыков С.А. *Стереоскопическая металлография.* – М.: Металлургия, 1970, С.206-207. 14. Нагорный Ю.Н., Нагорный В.Н. *Важнейшие вопросы методики тектонического анализа мощностей угленосных формаций / Сб. научн. тр. НГА Украины, №6, Т.1. Геология полезных ископаемых.* – Днепрпетровск: РИК НГА Украины, 1999. – С. 14-20 15. А.С. №1752982 СССР, МКИ Е 21 F 5/00. *Способ определения выбороопасности горных пород / В.Е. Забигайло, В.В. Лукинов, В.А. Баранов / Оpubл. 07.08.92., Бюл. №29. 16. Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. *Геология и геохимия нефти и газа: Учебник / Под ред. Б.А. Соколова.* – М.: МГУ «Академия», 2004. – 415 с. 17. *Справочник по литологии / Под ред. Н.Б. Вассоевича, В.Л. Либровича, Н.В. Логвиненко, В.И. Марченко.* – М.: Недра, 1983. – 509 с. 18. *Патент України, №31482 А, МПК 6 Е 21 С 39/00. Спосіб встановлення ступеню катагенезу порід / В.А. Баранов (Україна).* – Оpubл. 15.12.2000., Бюл. Промисл. власність, №7-11. 19. Баранов В.А. *Новый показатель степени катагенеза углеводородных пород Донбасса // Геотехническая механика.* – 1998. – №5. – С. 138-143. 20. Пат. 5280 Україна, МКИ Е 21 F 5/00. *Спосіб визначення меж викидонебезпечності порід / В.А. Баранов, В.В. Лукинов (Україна).* – 5 с. ил.; Оpubл. 28.12.94, Бюл. №7-1. 21. *Игнатченко Н.А., Зайцева Л.Б., Иванова А.В. Петрология углей карбона Днепровско-Донецкой впадины.* – К.: Наук. думка, 1979. – 136 с.**

Поступила в редакцію 11.04.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О.Є., докт. техн. наук, проф. Райтер П.М.