

УДК 622.831.24.001

<https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.012>

## СИНЕРГЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ С МАССИВОМ ПОРОД

О.Е. Хоменко<sup>1\*</sup>, М.Н. Кононенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет «Днепровская политехника»,  
г. Днепр, Украина

\*Ответственный автор: e-mail: rudana.in.ua@gmail.com

## INTERACTION SYNERGETICS MINING WITH ROCK MASSIF

O.E. Khomenko<sup>1\*</sup>, M.N. Kononenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

\* Corresponding author: e-mail: rudana.in.ua@gmail.com

### ABSTRACT

**Purpose.** To find out the physical essence of the phenomenon of zonal disintegration of rocks around underground workings.

**Methods.** The main types of research adopted a synergistic methodological search and analysis of open thermodynamic systems in a unbalanced condition.

**Findings.** The physical essence of the phenomenon of zonal disintegration of rocks around underground workings as a phenomenon of zonal encapsulation by an array of underground workings is detected. The processes of formation of energy fields during the formation of protective capsules around underground workings are described. The principal approaches to the management of natural factors and the procedure for their use in underground mining technologies are proposed.

**Originality.** Underground digging call forth sine wave oscillations in energy gradients, forming a safety relief, which consists of a system of ring energy zones, the number of which increases with increasing depth and decreasing rock strength.

**Practical implications.** The deployment of the physical essence of zonal ensheath by an array of underground diggings made it possible to create prerequisites for describing the processes and using the laws that form this phenomenal phenomenon.

**Keywords:** rock pressure energy, stress-deformed state of the rocks, synergistic research methods, workings safety capsule, control methodological principles, geo-energy reservoir management plan

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Процессы, протекающие в горных породах, которые примыкает к подземной выработке, сегодня именуется как зональная дезинтеграция. Это физическое явление, которое активно проявляется вокруг естественных и

искусственных полостей в земной коре, где гравитационная составляющая напряжений приближается к пределу прочности пород на сжатие либо превышает его, что приводит к образованию кольцевых чередующихся зон разгруженных и разрушенных пород. Явление зональной дезинтеграции горных пород впервые было открыто в золоторудной шахте Южной Африки (1972) и далее – в СССР (1978), России (1992), Украине (2002, 2006) и так далее [1–3]. Различные аспекты явления изучали исследователи из Украины, России, Казахстана, Польши, Франции, США, Канады, Японии, ЮАР и других стран, и опубликовали значительное количество научных трудов [4].

Парадоксальность явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок, по мнению И.И. Кайдо, заключается в том, что оно противоречит представлениям классической механики горных пород о состоянии массивов, согласно которым невозможно движение фронта запределного деформирования от контура выработки вглубь массива с образованием зон упругого, упругопластического и пластического состояний [5]. Это инициировало появление гипотез, отвергающих физическую реальность данного явления на протяжении 20 лет с момента открытия. В 80-х годов прошлого столетия активно предлагались гипотезы и математические модели на основе механики сыпучих, сплошных и дискретных сред. Принципиальным недостатком исследований этого периода было абстрагирование от истинной структуры вещества и отсутствие учета протекающих физических процессов. Для устранения этих недостатков, начиная с 90-х годов, активно разрабатывались модели, учитывающие структуру массива методами мезомеханики, а также гипотезы, основанные на закономерностях периодического горного давления, автоволновых процессов, кластеризации вещества на макро- и наноуровнях, поверхностного натяжения жидкостей, образования фракталов, самосогласованного поля, градации «темной энергии» в «темной материи» и т.п. Безуспешные попытки описания физики этого явления, как с использованием методов механики, так и новых методов горной науки, еще более повысили необходимость развития синергетических методов исследования, отвечающих современным представлениям о взаимодействии материи и энергии в природе [6].

Противоречивость данного явления связана с многообразием форм его проявления. Анализ производственной информации по эксплуатации рудных месторождений Украины показал, что в упругих прочных породах (граниты, амфиболиты, кварциты) на глубинах свыше 1200 м (Криворожский бассейн) интенсивно формируются зоны разнонапряженных пород, что сопровождается образованием кольцевидных областей повышенной трещиноватости. В упругопластичных породах (мартитовые, гетитовые руды) на глубинах свыше 900 м (Криворожский бассейн) кольцевидные зоны пониженных напряжений разделяются интенсивно смятыми рудами. В пластичных породах (марганцевые руды, глины, суглинки) на глубинах до 350 м (Никополь-Марганецкий бассейн) активно развиваются процессы зональной конвергенции и дивергенции [7].

При сравнении условий проявления зональной дезинтеграции горных пород с геодинамическими данными, полученными на шахтах Украины, становится очевидным, что это явление не имеет связи с пределом прочности

пород на сжатие и, соответственно, с коэффициентом динамичности. Можно даже сказать, что формирование кольцевых энергетических зон вокруг выработок – это защитная реакция массива на образование полости, а все геодинамические процессы – это как раз разрушение зонально-энергетических систем, предохраняющих горную выработку от разрушения. По нашему мнению, систему защитных зон вокруг выработки целесообразно было бы назвать предохранительной капсулой, а сам феномен – зонального капсулирования подземной выработки. По причине долголетнего нераскрытия физической сущности данного явления, оно было признано исследовательской общественностью как одной из сложнейших научных проблем, не поддающееся описанию на базе современных представлений физики. Это одно из первых физических явлений, для описания которого требуются философское осмысление и разработка энергетической теории с привлечением аппарата синергетики, квантовой механики, проверки сходимости результатов моделирования на мега-, макро- и микроструктурных уровнях материальных тел и окружающих их физических полей [8].

## **2. ФОРМИРОВАНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ У ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ**

Впервые термин «синергетика» был введен в 1868 году английским физиологом Ч. Шеррингтоном, а в 1978 году Г. Хакен применяет термин «синергетика» для определения совместного действия атомов, молекул и более сложных структур. Синергетика им позиционировалась как новая дисциплина, возникшая на стыке физики, химии, математики, термодинамики, биологии, социологии, философии, астрономии и других фундаментальных и прикладных наук [9]. В 1983 г. Г. Хакен закладывает основы иерархии неустойчивости в самоорганизующихся системах [10]. В дальнейшем теория синергетики подхватывается широким кругом исследователей всего мира. С 1990 года резко возрастает интерес к теории синергетики, что объясняется высокой степенью ее универсальности, возможностью применения в любой области науки и объяснения многих, ранее не поддающихся анализу явлений и процессов. Иными словами, человечество оказалось на пороге нового системного диалога с природой [11].

И. Пригожин считает, что некоторые части Вселенной действительно могут действовать как механизмы. Таковы замкнутые системы, но они, в лучшем смысле, составляют лишь малую долю физической Вселенной. Большинство же систем, представляющих для нас интерес, открытые – они обмениваются энергией и веществом с окружающей средой. Это означает, что любая попытка описать их в рамках механической модели заведомо обречена на провал. Кроме того, открытый характер подавляющего большинства систем наводит на мысль о том, что в реальности повсеместно не господствуют порядок, стабильность и равновесие, а главную роль в окружающем нас мире играют неустойчивость и неравновесность [12].

На протяжении XIX века в центре внимания исследователей находилось конечное состояния эволюции. Термодинамика этого времени была равновесной. На неравновесные процессы исследователи смотрели как на второ-

степенные детали, возмущения, мелкие несущественные подробности, не заслуживающие специального изучения. В настоящее время ситуация полностью изменилась. Ныне известно, что вдали от равновесия могут спонтанно возникать новые типы структур. В сильно неравновесных условиях может осуществляться переход от беспорядка, теплового хаоса к порядку и наоборот. Могут возникать новые динамические состояния материи, отражающие взаимодействие данной системы с окружающей и влияющей на нее средой. Если не учитывать эти обстоятельства, то мы как бы недооцениваем окружающий нас мир, вследствие чего рано или поздно приходим к тупиковым ситуациям [12].

Анализ западного типа рациональности мышления показывает, что в течение последних 2,5 тыс. лет человеческий разум трансформировался дважды, что позволило выделить 3 эволюционных периода.

1. Античная эпоха (VIII век до н.э.): тип мышления – интуитивный, уровень методологического поиска – созерцающий, реализуемый методологический подход – прагматический, вид исследуемых систем – явные.

2. Новое время (середина XVII века): тип мышления – одноуровневый, уровень методологического поиска – директивный, реализуемый методологический подход – детерминированный, вид исследуемых систем – равновесные.

3. Современная эпоха (конец XX века): тип мышления – многоуровневый, уровень методологического поиска – синергетический, реализуемый методологический подход – эволюционирующий, вид исследуемых систем – неравновесные [13].

Буквально на наших глазах формируется «синергетический разум». Наиболее этот процесс ощутим в области методологии, где тот или иной тип мышления предстает как бы в рафинированном виде. Научный аппарат синергетики оказался весьма гибким и удобным для описания многих проблем, стоящих перед фундаментальными и прикладными науками. Синергетика разрушает многие привычные представления и поражает необычными подходами и моделями, которые раскрывают принципы и закономерности протекания процессов нелинейного и самоорганизующегося роста. А использование синергетических методов исследования (термодинамических, энтропийных и энергетических) открывает возможности адекватного описания горных ударов, внезапных выбросов газа, прорывов воды и других процессов перехода минерального вещества на новые энергетические уровни [14].

Применительно к исследованию феномена зонального капсулирования горных выработок можно выделить 2 основных вида движения: дезинтеграцию (дифференциацию, дивергенцию) и интеграцию (слияние, конвергенцию). Дифференциация – это отделение частей от целого. Возможны 2 способа дифференциации: путем изменения качества определенной области массива и создания поверхности раздела. Для исследуемого явления капсулирования присущи обе формы дифференциации. Интеграция – это слияние отдельных зон в общую капсулу. Это говорит о том, что официально принятый для описания феномена термин – зональная дезинтеграция массива является однобоким и не раскрывает целостной природы явления как в своем

названии, так и в используемых гипотезах и предлагаемых методах исследования.

### **3. РЕАЛИЗАЦИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ В ИССЛЕДОВАНИИ**

Логика развития научного познания предполагает движение исследований от интерпретации систем как жестко детерминированных, замкнутых геомеханических структур к их описанию в качестве открытых, многоуровневых, эволюционирующих от равновесного состояния к другому. Первоначально научный анализ осваивает равновесные процессы, протекающие в минеральном и другом веществе, поэтому, каким бы разнообразием не обладали методологические подходы исследователей, анализ ведется на одном и том же уровне. Реализуемый при этом тип мышления можно было бы, по аналогии с естествознанием, назвать «классическим». Попытки вырваться за пределы равновесных представлений характеризуют новый уровень методологического поиска, а тип мышления исследователя приобретает новый статус – «неклассический». Способность анализировать сильно неравновесные состояния материи свидетельствует о том, что исследователь поднимается на уровень «постнеклассической» науки. Развертывание постклассического естествознания связано с вовлечением в сферу научного анализа неравновесных областей исследуемых систем, чем и является массив горных пород, примыкающий к подземной выработке [15].

Для полного раскрытия процесса перехода минерального вещества в новое агрегатное состояние необходим принципиально новый исследовательский инструментарий, способный выявить не только общее, но и уникальное, неповторимое, ибо в перенапряженном состоянии любой из факторов может оказаться определяющим и, следовательно, традиционное деление факторов на существенные и несущественные становится неприемлемым. А случайности, которые тщательно изгонялись из научных теорий и считались побочными и не имеющими принципиального значения факторами, начинают играть основополагающую роль [16].

Синергетические методы исследования, являясь по своей сути системными, разрушают многие привычные представления и поражают необычными идеями. Налицо тенденция наступления нового периода, несколько напоминающего возникновение нового научного подхода в древней Греции или его возрождения во времена Галилея. Во-первых, синергетика открывает новые принципы суперпозиций, например, «сборку» многослойного массива горных пород из отдельных пластов. Объединение слоев не сводится к их простому сложению: имеет место перекрытие областей локализации структур с дефектом энергии. Целое уже не равно сумме частей. Во-вторых, синергетика дает знание о том, как надлежащим образом оперировать со сложными системами, одной из которых является зонально структурированный массив горных пород, и как эффективно управлять энергетическими потоками в предохранительных капсулах, формирующихся вокруг подземных выработок [15].

Оказывается, главное – не внешняя сила противодействия разрушению массива, а правильная точечная конфигурация воздействия на самоорганизующуюся защитную зональную структуру, формирующуюся вокруг подземной полости. Малые, но правильно организованные – резонансные воздействия на такие сложные системы чрезвычайно эффективны. Это свойство сложной организации структур было выявлено еще тысячелетия назад родоначальником даосизма Лао-Цзы и выражено в вечно озадачивающей нас форме: «Слабое побеждает сильное, мягкое побеждает твердое, тихое побеждает громкое и т.д.» В-третьих, синергетика раскрывает закономерности и условия протекания быстрых, лавинообразных процессов и процессов нелинейного, самоорганизующегося роста, какими являются горные удары, внезапные выбросы газа и прорыва воды [15].

Идеи синергетики еще практически не осмыслены представителями технических наук и весьма редко используются для анализа исследуемых объектов. Вместе с тем, они содержат мощный эвристический потенциал, овладение которым могло бы удержать исследователей от ошибок при создании новых технологий разработки месторождений полезных ископаемых и эффективного управления состоянием массива горных пород. Так, например, геомеханика изучает закономерности простейшей формы движения относительного перемещения тел в пространстве со временем, которые в значительной степени зависят от начальных условий. Термодинамика рассматривает явления, обусловленные совокупным действием огромного количества непрерывно движущихся молекул или других частиц, из которых состоят окружающие нас тела и закрытые системы. Благодаря очень большому количеству частиц беспорядочное движение приобретает новые качества: макроскопические свойства систем из массы частиц в обычных условиях не зависят от начального положения этих частиц, в то время как механическое состояние системы в значительной степени зависит от начальных условий. Синергетика же оперирует макроскопическими свойствами открытых систем, находящихся в уравновешенном, слабо уравновешенном и неуравновешенном состояниях. Следует подчеркнуть, что в уравновешенном состоянии система нуждается в меньшем объеме энергии и веществе, нежели в неустойчивом состоянии. В неустойчивых системах сильно развиты возбуждения и возмущения, которые в дальнейшей жизни систем играют решающую роль [17].

Согласно синергетической теории, когда на систему, например, массив горных пород, вмещающий подземную выработку, находящуюся в крайне неравновесном состоянии, действуют угрожающие ее структуре напряжения и деформации, наступает критический момент – система достигает точки перехода (бифуркации). В этой точке очень сложно предсказать, в какое состояние перейдет система. После выбора одного из многих возможных сценариев развития, например, формирование в предохранительной капсуле выработки дополнительной зоны баланса энергии, вновь вступают силы детерминизма. Одной из наиболее интересных особенностей динамического состояния вещества, отражающих взаимодействие данной системы с окружающей средой, является их согласованность. Система (предохранительная капсула выработки) ведет себя как единое целое и, как если бы она была вме-

стилищем дальнедействующих сил. Несмотря на то, что силы молекулярного взаимодействия являются короткодействующими, то есть действуют на расстоянии порядка  $10^{-8}$  см, система структурируется так, как если бы каждая молекула была «информирована» о состоянии системы в целом [8, 18]!

Так, например, на микроуровне под действием электрических полей формируются не только известные кристаллические и аморфные вещества, но также новые формы самоорганизации – фуллереноподобные наноболочки и многое др. Структуры в неравновесном перенапряженном состоянии становятся очень чувствительными как к внутренним (устойчивость крепи, вибрация механизмов, взрывные работы), так и к внешним (изменение напряженности и температуры, газо- и водонасыщенности массива) всевозможным возбудителям. Условно можно сказать, что в состоянии равновесия массив «слеп», тогда как в сильно неравновесных, перенапряженных, напряженно-деформированных состояниях он обретает способность «различать» слабые гравитационные, электромагнитные и электрические поля, и учитывать их в своем состоянии [19].

Сильно неравновесные системы могут быть названы организованными, так как усиление микроскопического возмущения, пришедшего в «нужный момент», приводит к выбору единственного пути из ряда возможных вариантов. В этих системах процессы самоорганизации соответствуют тонкому взаимодействию между случайностью и необходимостью, возмущениями и детерминистическими законами. Таким образом, вблизи точки перехода (бифуркации) в новое состояние устойчивости, основную роль играют мелкие случайные возмущения из внутреннего (подземная выработка) или внешнего (массив горных пород) уровня системы. Все рассматриваемые модели перехода через дезинтеграцию-интеграцию к новому энергетическому состоянию открывают перед исследователем неустойчивую структуру, в которой малые причины порождают большие следствия. Пользуясь методом дедукции, можно увидеть, что по синергетической модели развивается все что нас окружает. Исключением являются только те процессы, к которым человек приложил свою энергию, пытаясь стабилизировать и уравновесить среду своего обитания [20].

Эффект зонального капсулирования горной выработки относится к классу явлений, происходящих в массивах в критическом состоянии – переходном процессе от равновесного к неравновесному состоянию. Основной причиной формирования неравновесного состояния является насыщение системы энергией. В некоторой критической ее части энергонасыщенность минерального вещества инициирует формирование новых структур. Феноменальное явление зонального капсулирования подземной выработки горными породами реализуется при условии достижения механических напряжений, превышающих предел прочности на сжатие или растяжение [21].

«Классическое» научное мировоззрение утверждает, что повышенная энергонасыщенность порождает хаос – твердое тело плавится или сублимирует и становится жидкостью или газом, жидкость испаряется, молекулы распадаются на атомы, атомы теряют электроны и т.д. «Неклассическое» – энергонасыщенность порождает способность вещества к спонтанному повышению собственной степени упорядоченности и созданию новых форм

самоорганизации собственной структуры. Самоорганизация массива вокруг подземных выработок всегда протекает по неклассическому сценарию в зависимости от физических свойств горных пород, и под действием гравитации реализуются разнообразные структурные преобразования – формирование зон концентрации-разрядки напряжений, образование системы трещин, отрывов, сдвигов и смятия, развитие зон мелкодисперсных разрушений, разупрочнений, разгрузки, имеющих конкретные размеры, количество, форму и другие энергетические параметры состояния [22, 23].

#### 4. ВЫВОДЫ

Эволюция состояния открытой геосистемы, формирующей горную породу в гравитационном поле Земли, не происходит по классическим законам физики (геофизики), химии (геохимии), геологии или механики (геомеханики). Эта эволюция полностью подчинена и управляется законами синергетики, которая исключает частные и одноуровневые модели в формировании фундаментальных и прикладных законов. Поэтому любая предлагаемая теория процессов в массиве земных недр, описывающая вещественные тела и связанные с ними физические поля, должна учитывать единственное синергетическое свойство вещества – возрастание энтропии, являющееся следствием влияния внешнего мира, в котором системы развиваются по законам термодинамики [24].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шемякин, Е.И., Курленя, М.В., Опарин, В.Н., Рева, В.Н., Глушихин, Ф.П., & Розенбаум, М.А. (1992). *Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок*. Открытие № 400 СССР.
2. Кириченко, В.Я., Звягильский, Е.Л., Лишин, А.В., Усаченко, Б.М., & Халимендик, Ю.М. (2002). Явление образования перемещающихся нарушенных зон в напряженных горных породах. Открытие № 188. Украина.
3. Байсаров, Л.В., Ильяшов, М.А., Левит, В.В., Паламарчук, Т.А., Усаченко, В.Б., & Яланский, А.А. (2008). *Закономерность самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных подземных выработок*. Открытие № 318. Украина.
4. Khomenko, O., Kononenko, M., & Bilegsaikhan, J. (2018). Classification of Theories About Rock Pressure. *Solid State Phenomena*, 277, 157–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.277.157>
5. Кайдо, И.И. (2009). О природе явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок (гипотеза). *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, (1), 16–21.
6. Хоменко, О.Е. (2016). *Геоэнергетика подземной разработки рудных месторождений: монография*. Д.: НГУ.
7. Хоменко, О. Е., & Ляшенко, В. И. (2017). Повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии. *Безопасность труда в промышленности*, 7, 18-24.
8. Хоменко, О.Е. (2007). Синергетический подход к оценке прочностных свойств горных пород. *Науковий вісник НГУ*, (7), 29–31.
9. Хакен, Г. (1985). *Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах* (Vol. 423). М.: Мир.

10. Аршинов, В.И., & Князева, Е.Н. (1996). *Устойчивое развитие в изменяющемся мире*.
11. Пригожин И., & Стенгерс И. (1986). *Порядок из хаоса: новый диалог человека с Природой*. М.: Прогресс.
12. Хакен, Г. (1980). *Синергетика*. М.: Мир.
13. Хорольский, А. А., & Гринев, В. Г. (2018). Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых. *Геология и охрана недр*, 3, 68–75.
14. Khomenko, O. (2012). Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 44–54.
15. Хоменко, О.Е., Русских, В.В., Нетеча, М.В., Кононенко, М.Н., & Долгий, А.А. (2004). Синергетический подход в исследовании производственных процессов при добыче руд подземным способом. *Науковий вісник НГУ*, (7), 3–5.
16. Князева, Е.Н., & Курдюмов, С.П. (1994). *Законы эволюции и самоорганизации сложных систем*.
17. Князева, Е.Н., & Курдюмов, С.П. (1992). Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным. *Вопросы философии*, 12, 3–20.
18. Захарова, Л.М. (2018). Обґрунтування критерію близької й далекої взаємодій у процесі еволюціонування дисипативних структур у гірському масиві. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (54), 223–231.
19. Базаров, И. П. (1983). *Термодинамика*. М.: Высш. шк.
20. Хоменко, О.Е., & Владыко, А.Б. (2007). Синергетика в управлении состоянием массива горных пород. In *Форум гірників "Міжн. наук.-техн. конф. м. Дніпропетровськ: РВК НГУ* (pp. 67–71).
21. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Larionov, M., & Tereshchuk, R. (2017). Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 58–64.
22. Хоменко, О.Е., & Ляшенко, В.И. (2017). Геоэнергетические основы подземной разработки рудных месторождений. *Известия вузов. Горный журнал*, (8), 10–18.
23. Курленя, М. В., Миренков, В. Е., & Шутов, В. А. (2014). Особенности деформирования пород в окрестности выработки на больших глубинах. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, (6), 4–10.
24. Khomenko, O. Y., & Kononenko, M. M. (2019). Geo-energetics of Ukrainian crystalline shield. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 12–21. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/3>

## REFERENCES

1. Shemyakin, E.I., Kurlenya, M.V., Oparin, V.N., Reva, V.N., Glushikhin, F.P., & Rozenbaum, M.A. (1992). *Yavlenie zonal'noy dezintegratsii gornyykh porod vokrug podzemnykh vyrabotok*. Otkrytie No. 400, SSSR.
2. Kirichenko, V.Ya., Zvyagi'skiy, E.L., Lishin, A.V., Usachenko, B.M., & Khalimendik, Yu.M. (2002). *Yavlenie obrazovaniya peremeshchayushchikhsya narushennykh zon v napryazhennykh gornyykh porodakh*. Otkrytie No. 188. Ukraine.
3. Baysarov, L.V., Il'yashov, M.A., Levit, V.V., Palamarchuk, T.A., Usachenko, V.B., & Yalanskiy, A.A. (2008). *Zakonomernost' samoorganizatsii gruntovykh i porodnykh massivov vokrug protyazhennykh podzemnykh vyrabotok*. Otkrytie No. 318. Ukraine.
4. Khomenko, O., Kononenko, M., & Bilegsaikhan, J. (2018). Classification of Theories About Rock Pressure. *Solid State Phenomena*, 277, 157–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.277.157>

5. Kaydo, I.I. (2009). O prirode yavleniya zonalnoy dezintegratsii gorniyh porod vokrug podzemnyih vyirabotok (gipoteza). *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal)*, (1), 16–21.
6. Khomenko, O.E. (2016). *Geoenergetika podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy: monografiya*. D.: NGU.
7. Khomenko, O.E., & Lyashenko, V.I. (2017). Povyishenie bezopasnosti dobyichi rud na osnove ispolzovaniya geoenergii. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 7, 18–24.
8. Khomenko, O.E. (2007). Sinergeticheskiy podhod k otsenke prochnostnykh svoystv gorniyh porod. *Naukoviy visnik NGU*, (7), 29–31.
9. Haken, G. (1985). *Sinergetika. Ierarhii neustoychivostey v samoorganizuyuschisya sistemah i ustroystvah* (Vol. 423). M.: Mir.
10. Arshinov, V.I., & Knyazeva, E.N. (1996). *Ustoychivoe razvitie v izmenyayuschemsya mire*.
11. Prigozhin I., & Stengers I. (1986). *Poryadok iz haosa: novyy dialog cheloveka s Prirodoy*. M.: Progress.
12. Haken, G. (1980). *Sinergetika*. M.: Mir.
13. Horolskiy, A.A., & Grinev, V.G. (2018). Vyibor stsenariya osvoeniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. *Geologiya i ohrana nedr*, 3, 68–75.
14. Khomenko, O. (2012). Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 44–54.
15. Khomenko, O.E., Russkih, V.V., Netecha, M.V., Kononenko, M.N., & Dolgiy, A.A. (2004). Sinergeticheskiy podhod v issledovanii proizvodstvennykh protsessov pri dobyiche rud podzemnyim sposobom. *Naukoviy visnik NGU*, (7), 3–5.
16. Knyazeva, E.N., & Kurdyumov, S.P. (1994). *Zakonyi evolyutsii i samoorganizatsii slozhnykh sistem*.
17. Knyazeva, E.N., & Kurdyumov, S.P. (1992). Sinergetika kak novoe mirovidenie: dialog s I. Prigozhinyim. *Voprosy filosofii*, 12, 3–20.
18. Zaharova, L.M. (2018). ObGruntuvannya kriterlyu blizkoYi y dalekoYi vzaEmodly u protsesI evolyutsionuvannya disipativnih struktur u gIrskomu masivI. *Zbirnik naukovih prats Natsionalnogo girnichogo universitetu*, (54), 223–231.
19. Bazarov, I. P. (1983). *Termodinamika*. M.: Vyssh. shk.
20. Khomenko, O.E., & Vladyko, A.B. (2007). Sinergetika v upravlenni sostoyaniem massiva gorniyh porod. In *Forum glrnikIv "Mizhn. nauk.-tehn. konf. m. Dnipropetrovsk: RVK NGU* (pp. 67–71).
21. Babets, D., Sdvyzhkova, O., Larionov, M., & Tereshchuk, R. (2017). Estimation of rock mass stability based on probability approach and rating systems. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 58–64.
22. Khomenko, O.E., & Lyashenko, V.I. (2017). Geoenergeticheskie osnovyi podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy. *Izvestiya vuzov. Gorniy zhurnal*, (8), 10–18.
23. Kurlenya, M. V., Mirenkov, V. E., & Shutov, V. A. (2014). Osobennosti deformirovaniya porod v okrestnosti vyirabotki na bolshih glubinah. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, (6), 4–10.
24. Khomenko, O.Y., & Kononenko, M.M. (2019). Geo-energetics of Ukrainian crystalline shield. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 12–21. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/3>

**ABSTRACT (IN UKRAINIAN)**

**Мета.** Розкрити фізичну сутність явища зональної дезінтеграції гірських порід навколо підземних виробок.

**Методика.** Основні види досліджень це синергетичний методологічний пошук та аналіз відкритих термодинамічних систем у нерівноважному стані.

**Результати.** Розкрито фізичну сутність явища зональної дезінтеграції гірських порід навколо підземних виробок як феномен зонального капсулювання масивом підземних виробок. Описано процеси утворення енергетичних полів при формуванні запобіжних капсул навколо підземних виробок. Запропоновано принципові підходи в управлінні природними факторами та порядок їх використання в технологіях підземної розробки родовищ.

**Наукова новизна.** Підземна гірничавиробка викликає синусоїдальні коливання енергетичних градієнтів, що утворюють захисну капсулу, яка складається з системи кільцевих енергетичних зон, кількість яких зростає при збільшенні глибини та зниженні міцності порід.

**Практична цінність.** Розкриття фізичної сутності зонального капсулювання масивом підземних виробок дозволило створити передумови для опису процесів і використання закономірностей, які формують це феноменальне явище.

**Ключові слова:** енергія гірського тиску, напружений стан масиву, синергетичні методи дослідження, запобіжна капсула виробки, методологічні принципи управління, геоенергетичні технології розробки.

**ABSTRACT (IN RUSSIAN)**

**Цель.** Раскрыть физическую сущность явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок.

**Методика.** Основными видами исследования приняты синергетический методологический поиск и анализ открытых термодинамических систем в неравновесном состоянии.

**Результаты.** Раскрыта физическая сущность явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок как феномен зонального капсулирования массивом подземных выработок. Описаны процессы образования энергетических полей при формировании предохранительных капсул вокруг подземных выработок. Предложены принципиальные подходы в управлении природными факторами и порядок их использования в технологиях подземной разработки месторождений.

**Научная новизна.** Подземная горная выработка вызывает синусоидальные колебания энергетических градиентов, образуя предохранительную капсулу, которая состоит из системы кольцевых энергетических зон, количество которых возрастает при увеличении глубины и снижении прочности пород.

**Практическая ценность.** Раскрытие физической сущности зонального капсулирования массивом подземных выработок позволило создать предпосылки для описания процессов и использования закономерностей, которые формируют данное феноменальное явление.

**Ключевые слова:** энергия горного давления, напряженно состояние массива, синергетические методы исследования, предохранительная капсула выработки, методологические принципы управления, геознергетические технологии разработки.

#### **ABOUT AUTHORS**

Oleh Khomenko, Doctor of Technical Science, Professor, Dnipro University of Technology, Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

Maksym Kononenko, Candidate of Technical Science, Associated Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education, 19 Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: kmn211179@gmail.com