

Из неопубликованного наследия

УДК 550.34.013

В.В. Пикуль

ПИКУЛЬ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией проблем прочности глубоководной техники

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН*

Суханова ул. 5а, Владивосток, 690091, e-mail: marinapikul@mail.ru

## К аномальному деформированию горных пород

**Аннотация:** Представлена открытая автором закономерность высвобождения внутренней энергии межатомных связей в преддверии разрушения твёрдых тел. На основе открытой закономерности объяснены причины природных и биологических предвестников землетрясений, а также зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок. Представленная закономерность позволяет понять внутреннюю сущность аномальных явлений в горных породах, которая поможет уточнить постановки задач геомеханики и получить конкретные решения на базе классической механики сплошных сред.

**Ключевые слова:** горная порода, закономерность деформирования, внутренняя энергия, межатомные связи, эффект Пуассона, объёмные силы упругости.

### Введение

Целью настоящей статьи является ознакомление специалистов в области наук о Земле с открытой автором закономерностью деформирования твёрдых тел при сжатии в преддверии их разрушения [2]. Открытая закономерность позволила решить проблему приведения теории устойчивости оболочек в соответствие с экспериментальными исследованиями реальных оболочек, над решением которой учёные всего мира бились в течение целого столетия [3, 4]. В науках о Земле, в частности в геомеханике, также имеется ряд нерешенных проблем [1]. И хотя автор не является специалистом в области наук о Земле, некоторые из проблем геомеханики вызвали его интерес.

В 1972 г. по результатам исследований предвестников землетрясений было выявлено, что при сжатии образца горной породы до некоторого порогового напряжения продольные деформации среднего слоя образца с увеличением сжимающих напряжений уменьшаются, как это происходит с обычными материалами. Но при превышении порогового напряжения эти деформации неожиданно начинают увеличиваться: рост сжимающих напряжений, казалось бы, противоестественно вызывает увеличение продольных деформаций. При этом увеличение продольных деформаций среднего слоя образца сопровождается уменьшением его поперечных деформаций [1, 5].

В 1992 г. зарегистрировано открытие явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок [6]. Установлено, что вокруг подземных выработок на больших глубинах наблюдается появление разрушенных зон, повторяющих контур выработок, между которыми остаются неразрушенные участки. Подобный характер разрушения наблюдается и в направлениях, радиальных к контуру выработки [1].

В настоящее время идёт интенсивный поиск решения этих проблем [1]. Автор надеется, что открытая закономерность деформирования твёрдых тел в преддверии разрушения при сжатии поможет в решении накопившихся проблем в геомеханике и в науках о Земле в целом.

### Постановка проблемы

Открытую закономерность деформирования твёрдых тел [2] представим в следующем виде: в критическом состоянии твёрдого деформируемого тела, предшествующем его разрушению при сжатии, утрачиваются межатомные связи, которые удерживали упругие деформации, приобретённые твёрдым телом вследствие эффектов Пуассона и взаимного влияния угловых и линейных деформаций друг на друга. Утрата межатомных связей сопровождается высвобождением их внутренней энергии, которая преобразуется в потенциальную энергию рассматриваемых упругих деформаций и расходуется на работу по их полному сокращению.

Через коэффициенты Пуассона и коэффициенты взаимного влияния угловых и линейных деформаций друг на друга обеспечивается непосредственная связь между атомным строением твёрдого тела и его теоретическим представлением в виде сплошной среды. Дело в том, что в механику деформируемого твёрдого тела эти коэффициенты вводятся с помощью уравнений состояния, а их величины определяются путём испытания реальных образцов твёрдого тела, имеющих атомное строение.

В механике деформируемого твёрдого тела используются осредненные величины взаимодействия атомных частиц. Изменения взаимодействия атомных частиц в преддверии разрушения твёрдого тела при сжатии являются прерогативой физики твёрдого тела. Вследствие эффектов Пуассона и взаимного влияния угловых и линейных деформаций друг на друга сжатие твёрдого тела сопровождается растяжением и сдвигом в ортогональных направлениях и на ортогональных площадках. При разрыве межатомных связей, которые удерживают упругие деформации растяжения и сдвига, последние под воздействием сил упругости вызовут дополнительное обжатие и скручивание твёрдого тела. Эти силы упругости вводятся в механику деформируемого твёрдого тела в качестве внешнего воздействующего фактора, поскольку процесс высвобождения энергии межатомных связей выходит за рамки механики сплошных сред.

Применение открытой закономерности позволило автору решить задачу аномального деформирования среднего слоя образца горной породы при осевом сжатии, представленного на рис. 1, используя уравнения теории упругости анизотропного тела [2].

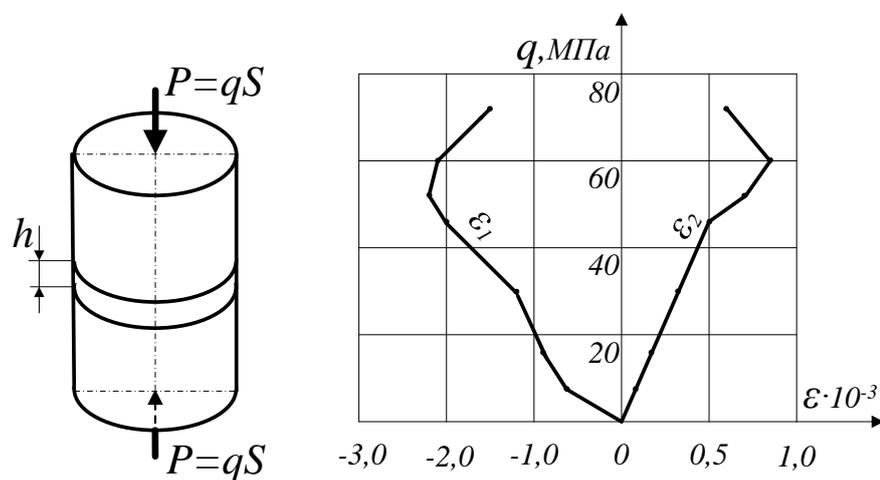
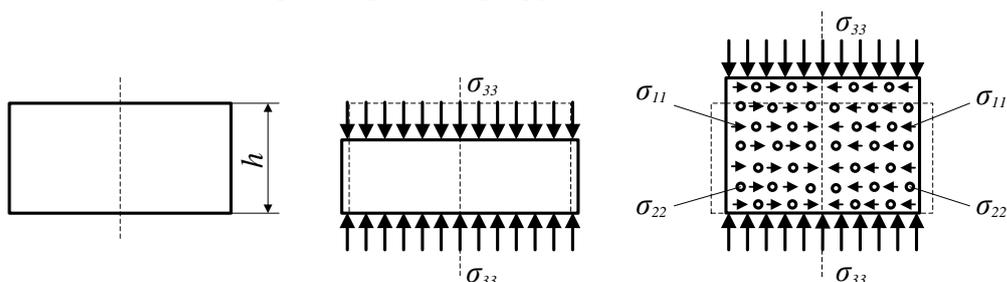


Рис. 1. Диаграмма деформирования среднего слоя  $h$  образца горной породы при сильном сжатии.

На рис. 1 представлена диаграмма деформирования среднего слоя сильно сжатого образца горной породы, на которой отчётливо проявляется аномальный характер его деформирования [1]. Используются следующие обозначения:  $h$  – толщина среднего слоя образца горной породы, в пределах которой произведено измерение продольных ( $\varepsilon_1$ ) и поперечных ( $\varepsilon_2$ ) деформаций;  $q$  – осевое давление на торцевые поверхности образца;  $S$  – площадь торцевой поверхности образца;  $P$  – равнодействующая осевого давления.

В статье [2] установлено, что аномальное деформирование среднего слоя образца горной породы происходит вследствие анизотропии горных пород. Сжатие изотропного образца происходит естественным образом: рост сжимающих напряжений сопровождается ростом сжимающих деформаций. При трансверсально-изотропной анизотропии в среднем слое образца горной породы при напряжениях в районе 70–80% от разрушающих напряжений высвобождается энергия межатомных связей, которая сопоставима с потенциальной энергией среднего слоя, накопленного в результате его деформирования внешним давлением.

На рис. 2 представлена схема нагружения и деформирования среднего слоя образца горной породы при сильном сжатии в преддверии его разрушения.



**Рис. 2. Схема нагружения и деформирования среднего слоя образца горной породы при сильном сжатии.**

На средний слой образца после высвобождения внутренней энергии межатомных связей действуют: в объеме тела – радиальные ( $\sigma_{11}$ ) и окружные ( $\sigma_{22}$ ) напряжения, которые уравниваются объёмными силами упругости, вызванными высвободившимися упругими деформациями растяжения, а в поперечных сечениях – осевые напряжения  $\sigma_{33}$ , вызванные осевым давлением на образец горной породы.

Высвобождаемая энергия межатомных связей  $U$ , радиальные  $\sigma_{11}$  и окружные  $\sigma_{22}$  напряжения в рассмотренном образце горной породы определяются следующими формулами [4]:

$$U = \eta \frac{\nu_3^2}{1-\nu} \frac{q^2}{E_3} V; \quad (1)$$

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = -\eta \frac{\nu_3}{1-\nu} q, \quad (2)$$

где  $\eta$  – отношение модуля упругости в плоскости изотропии  $E$  к модулю упругости в ортогональном (вертикальном) направлении  $E_3$ ,  $\eta = E/E_3$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона в плоскости изотропии;  $\nu_3$  – коэффициент Пуассона, характеризующий растяжение ортогональных линейных элементов горной породы при сжатии в плоскости изотропии;  $q$  – осевое давление на торцевые поверхности образца;  $V$  – объём среднего слоя образца, в котором обнаружено аномальное деформирование.

Подойдём к изучению результатов испытаний образцов горной породы при сильном сжатии (рис. 1) с позиций открытой закономерности высвобождения внутренней энергии межатомных связей. При этом учтём, что высвобождение внутренней энергии межатомных связей горной породы в преддверии разрушения при сильном сжатии возможно только в случае анизотропии её механических свойств [2].

### Результаты исследования

Для данного исследования существенное значение имеет резкий переход продольных деформаций  $\varepsilon_l$  от сжатия к растяжению при достижении порогового напряжения в районе 70–80% от разрушающих напряжений (кривые на рис. 1). С позиций открытой закономерности резкий пе-

реход от сжатия к растяжению возможен только в случае динамического высвобождения внутренней энергии утраченных межатомных связей. Но при динамическом воздействии неизбежно произойдет волнообразное деформирование твёрдого тела. Отсюда следует, что в преддверии разрушения горной породы, обладающей анизотропией упругих свойств, появляются волны деформаций и напряжений сжатия.

Волны деформаций и напряжений сжатия в преддверии разрушения любого участка горной породы нарушают равновесное состояние земной коры. Этим можно объяснить природные предвестники землетрясений. В то же время волны деформирования земной коры могут быть уловлены живыми существами – и этим могут быть объяснены биологические предвестники землетрясений.

Высвобождением внутренней энергии межатомных связей в преддверии разрушения горной породы можно объяснить и зональную дезинтеграцию горных пород вокруг подземных выработок. При подземной выработке нарушается равновесное состояние горной породы. Поверхность выработки освобождается от сжимающих напряжений, и горная порода вокруг выработки оказывается под внешним давлением вышерасположенной горной массы. На больших глубинах горная порода вследствие большого давления приобретает трансверсальную анизотропию. Поэтому в преддверии её разрушения должно произойти динамическое высвобождение внутренней энергии межатомных связей, которые удерживали упругие деформации растяжения, приобретённые горной породой вследствие эффекта Пуассона и взаимного влияния линейных и угловых деформаций друг на друга [2]. Динамическое высвобождение внутренней энергии межатомных связей сопровождается волнообразным деформированием горной породы, что неизбежно вызовет волны напряжений сжатия. При достижении в вершинах волн разрушающих напряжений появятся зоны разрушения горной породы, чередующиеся с зонами неразрушенного массива в подошвах волн. Волны напряжений  $\sigma_{11}$  вызовут дезинтеграцию горной породы, повторяющих контур подземных выработок, а волны напряжений  $\sigma_{22}$  – дезинтеграцию горной породы в радиальных направлениях.

Высвобождение внутренней энергии межатомных связей в преддверии разрушения горной породы способно не только объяснить аномальные явления в коре земного шара, но и позволяет получить вполне определенные решения теоретических и практических задач геомеханики. Для доказательства этого утверждения приведены результаты расчета высвобождаемой энергии межатомных связей в рассмотренном образце горной породы и напряжения, порожденные высвобождаемой энергией, см. формулы (1) и (2).

## Заключение

Понимание сущности аномальных явлений в горных породах позволяет уточнить постановку задач геомеханики, а непосредственное использование открытой закономерности – получить конкретные решения на базе классической механики сплошных сред.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузев М.А., Макаров В.В. Деформирование и разрушение сильно сжатых горных пород вокруг выработок. Владивосток: Дальнаука, 2007. 232 с.
2. Пикуль В.В. К аномальному деформированию твёрдых тел // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16, № 2. С. 93–100.
3. Пикуль В.В. Механика оболочек. Владивосток: Дальнаука, 2009. 536 с.
4. Пикуль В.В. Устойчивость оболочек // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 2. С. 81–87.
5. Томашевская И.С., Хамидуллин Я.Н. Предвестники разрушения образцов горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1972. № 5. С. 12–20.
6. Шемякин Е.И., Курленья М.В., Опарин В.Н. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок // Открытие. 1992. Бюл. № 1. № 400. С. 3.

THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE

## Mathematical modelling of mechanics problems

Pikul' V.

VLADIMIR PIKUL', Doctor of Physical and Mathematical Sciences, **Head of the Laboratory of Problems of Durability of the Deep-water Equipment**

*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS*

5a Sukhanov St., Vladivostok, Russia, 690091, e-mail: marinapikul@mail.ru

### The abnormal deformation of rocks

**Abstract:** The article presents the author's discovery: the regularity of the release of internal energy of interatomic bindings prior to the fracture of solids. On the basis of the discovered regularity the reasons are explained for the natural and biological precursors of earthquakes as well as those for the zonal rock breaking around underground mines. The presented regularity makes it possible to comprehend the inner essence of abnormal phenomena in rocks which will enable one to specify the formulated problems of geomechanics and to obtain concrete solutions on the basis of the classical continuum mechanics.

**Key words:** rock, regularity of deformation, internal energy, interatomic bindings, Poisson's effect, volume elastic forces.

#### REFERENCES

1. Guzev M.A., Makarov V.V. Deformation and destruction of strongly compressed rocks around developments. Vladivostok, Dal'nauka, 2007, 232 p. (in Russ.). [Guzev M.A., Makarov V.V. Deformirovanie i razrushenie sil'no szhatyh gornyh porod vokrug vyrabotok. Vladivostok: Dal'nauka, 2007. 232 s.]
2. Pikul' V.V. To abnormal deformation of solid bodies . Physical mesomechanics. 2013(16);2: 93-100. (in Russ.). [Pikul' V.V. K anomal'nomu deformirovaniju tvjordyh tel // Fizicheskaja mezomehanika, 2013. T. 16, № 2. S. 93-100].
3. Pikul' V.V. Shell mechanics. Vladivostok: Dalnauka, 2009. 536 c. (in Russ.). [Pikul' V.V. Mehanika obolochek. Vladivostok: Dal'nauka, 2009. 536 s.]
4. Pikul' V.V. Shells' stability // Problems of mechanical engineering and automation. 2012;2:81-87. (in Russ.). [Pikul' V.V. Ustojchivost' obolochek // Problemy mashinostroenija i avtomatizacii, 2012. № 2. S. 81–87].
5. Tomashevskaja I.S., Hamidullin Ja.N. Harbingers of destruction of samples of rocks. News of Academy of Sciences of the USSR. Physics of Earth. 1972;5:12-20. (in Russ.). [Tomashevskaja I.S., Hamidullin Ja.N. Predvestniki razrushenija obrazcov gornyh porod // Izv. AN SSSR. Fizika Zemli, 1972. № 5. S. 12–20].
6. Shemjakin E.I., Kurlenja M.V., Oparin V.N. The phenomenon of zone disintegration of rocks around underground developments. Discovery. 1992(1);400:3. (in Russ.). [Shemjakin E.I., Kurlenja M.V., Oparin V.N. Javlenie zonal'noj dezintegracii gornyh porod vokrug podzemnyh vyrabotok // Otkrytie. 1992, Bull. № 1, № 400, S. 3].