

*А.Н. Павлов*

## **СТРУКТУРНЫЕ ИНВАРИАНТЫ В ПРИРОДЕ**

*A.N. Pavlov*

## **STRUCTURAL INVARIANTS IN THE NATURE**

*Термин «инвариантность» означает стабильность на фоне каких-то общих и разнообразных флуктуаций. Инвариантность фундаментальна. Она, так или иначе, связана с исследованием структур. Для экологии поиски инвариантов исключительно важны, поскольку экология — это наука о структуре природы.*

*Ключевые слова: косная и живая материя, Земля, космос, форма, организация вещества, целостность, инвариантность.*

*The term invariance signifies the stability against a background of some general and various fluctuations. Invariance is a fundamental notion. In any event it is connected with structure investigations. For ecology the explorations of invariants is an extremely important task, because ecology is the science of the structure of our Nature.*

*Key words: inert and alive matter, Earth, Cosmos, form, organization of the substance, integrity, invariance.*

Сотри случайные черты — и ты увидишь:  
мир прекрасен...

*А. Блок*

Термин «инвариантность» означает устойчивость, неизменность. При этом речь идёт о стабильности на фоне каких-то общих и разнообразных флуктуаций. Инварианты — это своего рода метки, являющиеся маяками в штормовом море жизни. Без таких ориентиров было бы невозможно вчера отличить от сегодня, верх от низа, добро от зла и т.д. Мир воспринимался бы как вечный хаос. Инварианты являются основой видения мира и его понимания. Их создает и отыскивает наш разум.

В абсолютном пространстве и абсолютном времени инвариантными являются законы механики. Эта инвариантность опирается на идеологию дальнего действия, то есть на представления о мгновенности передачи сигнала, его неограниченной скорости. Релятивистская физика на скорость передачи сигнала уже накладывает ограничение. Инвариантной величиной становится скорость света в вакууме,  $C = 300$  млн м/с. С ней связана инвариантность интервала между событиями. В квантовой механике инвариантом выступает постоянная М. Планка, в современной хронологии — факт рождения Иисуса Христа, в этике христианства — 10 заповедей Ветхого завета и т.д.

Опорная роль общественно-религиозных инвариантов чётко проявляется в экстремальных условиях. Так, исследования по выживаемости в концлагерях показали, что наиболее стойкими оказывались представители крупных аристократических фамилий, а также люди, глубоко верующие. Первых никто и ничто не могло унижить и сломить,

потому что в них был заложен мощный генетический стержень. Они знали, что за ними стоят великие предки и этого никакие обстоятельства изменить не могут. Вторые знали, что с ними Бог, а всё остальное приходящее. Их судьба — это их крест, и они должны его пронести на свою Голгофу как Иисус — сын Божий. В этом они черпали силу.

Инвариантность всегда фундаментальна. Для триединого мира, являющегося предметом экологии, инварианты ещё не найдены и навряд ли это произойдет скоро. Однако по отдельным направлениям этого поиска уже сделано немало. Общность разработок состоит в том, что они, так или иначе, связаны с исследованием структур. Напомним, что **экология — это наука о структуре природы** [9, 10, 14, 16].

Сделаем краткий обзор основных достижений в этой области. **И начнём с горных пород как главной формы косной материи на Земле.** В основу их генетического распознавания положены структурные особенности, то есть специфика размещения в пространстве слагающих их минеральных веществ. Наверное, всем знакомы граниты. Это породы, состоящие преимущественно из полевых шпатов и кварца. Зёрна минералов обычно расположены в объёме образца изометрично, то есть более или менее равномерно, и могут быть крупными, средними или мелкими. В гнейсах, породах по вещественному составу близких к гранитам, но иного происхождения, в расположении зёрен наблюдается полосчатость, а сами зёрна могут быть вытянуты в одном направлении и т.д. Липариты — породы, по валовому химическому составу эквивалентные гранитам, но возникшие в других условиях кристаллизации магм, обладают уже другой, так называемой скрытокристаллической структурой, в которой зёрна минералов визуально не видны или вообще вместо полноценных зёрен существуют лишь их зародыши. Лавы полностью могут быть стекловатыми как хорошо застывший студень (рис. 1).

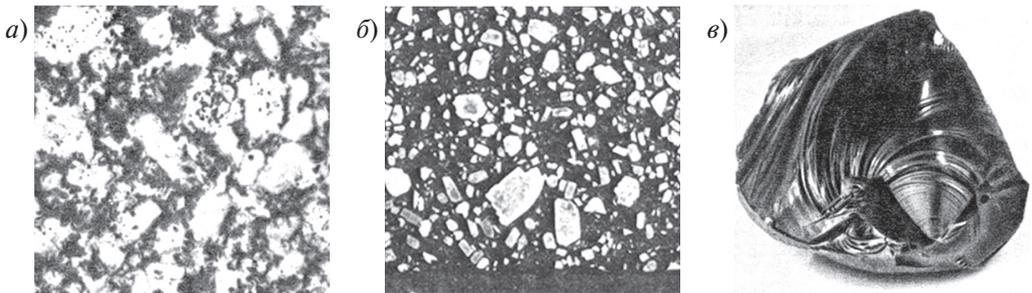


Рис. 1. Примеры структур нескольких типов изверженных горных пород:  
*а* — зернистая структура (гранит); *б* — порфировая структура (лава);  
*в* — стекловатая структура [обсидиан (вулканическое стекло)] [11]

Не вдаваясь в профессиональные и довольно сложные вопросы структурных особенностей горных пород [2], отметим только, что по ним созданы специальные атласы, иллюстрирующие огромное разнообразие этих природных тел. Наиболее полные атласы содержат изображение и описание многих тысяч типов структур [2].

Несколько особняком стоят обломочные нецементированные породы, такие как валуны, галька, гравий, песок и т.д. Особенность их состоит в том, что минеральные

зёрна в этих россыпях и скоплениях в пространстве породы не закреплены и могут своё положение менять. Именно это обстоятельство и является условием, благодаря которому обломки разной величины создают многочисленные и сложные смеси. Наверное, каждый представляет себе пляжи, барханы пустынь, песчаные обрывы речных берегов и т.д.

Главное, что нам хотелось бы здесь отметить, это использование структурного признака как устойчивого свойства, как **понятийного инварианта**, являющегося основой для описания, сравнения и выделения природных тел.

### Структура в качестве клейма

*По структурному признаку созданы и атласы облачности в метеорологии.* Как и в случае с породами, структура и форма облаков отражают их генезис и позволяют судить о происходящих в атмосфере процессах. Благодаря методам спутниковой метеорологии получены многочисленные изображения не только крупных облачных полей и вихрей, но и структурных особенностей самой облачности. Представление о них можно получить, например, из книги М.А. Германа «Спутниковая метеорология» [3].

Любопытно, что терминология при описании облачных структур у метеорологов во многом совпадает с терминологией, принятой у геологов, для описания структур горных пород. Например, облачные системы мезопроцессов раскладываются на элементарные составляющие, называемые текстурными. Говорят, что облачные элементы состоят из зёрен [3]. По особенностям их группирования различают следующие типы мезоструктур: полосную, ячеиковую, спиралевидную, геометрически неправильную и т.д.

Действительно, и в горных породах, и в облаках вещество находится в виде замкнутых геометрических форм. Ведь зёрна — те же капли, заполняющие отведённое им природой пространство. И зёрна, и капли сгруппированы в тела. Силы, их группирующие, различны. Но нас интересуют не силы, а форма.

**Форма** — это то, что способно оставаться, когда уже и нет тела. Может быть и больше: наверное, *в пространстве для данной формы всегда должно быть место, даже без тела.* Приведем пример.

Мы смотрим на небо и видим далекую звезду. Но на самом деле в тот момент, когда мы её видим, её там уже нет. Потому что за то время, за которое свет от звезды добежит до нас, наблюдателя, во Вселенной многое сместилось: и мы, и звезды (рис. 2). Что же тогда мы видим? Мы видим не звезду, а её форму, воплотившуюся в световом луче. **Видим форму без тела.** Вот в чём фокус нашего общения с миром.

Универсальность формы, как выражения общности, очень разных и даже генетически несопоставимых объектов можно подтвердить ещё двумя иллюстрациями (см. рис. 2 и 3).

Не правда ли, изображение на рис. 3 похоже на известные ячейки Бенара (диссипативные структуры)? На нём изображена поверхность Солнца. В результате того, что во внешних слоях энергия переносится из центра к поверхности в виде конвективных струй, формируется ячеистая структура. Горячие газовые струи,двигающиеся вверх, на фотографии светлые, холодные, опускающиеся вниз, — темные. По существу, изображение фиксирует как бы остановившийся процесс в кипящем котле. В масштабе этого рисунка диаметр Земли составил бы около 10 мм.



Рис. 2. Фотография участка неба, полученная при длительной экспозиции с помощью неподвижной камеры. Звезды, находящиеся вблизи экватора, оставляют прямые следы, а следы звезд, расположенных ближе к полюсам, слегка искривлены [4]

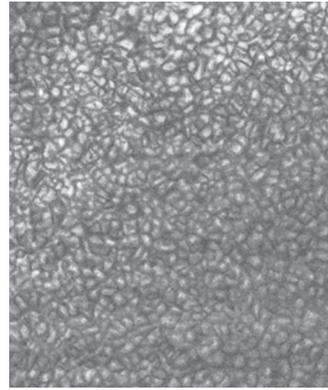


Рис. 3. Грануляция на поверхности Солнца (из книги Р. Киппенхана [5])

Рис. 4 изображает фотографию звездного неба, на которой галактики подобно каплям воды в облаках тоже собраны в группы разных масштабов, образуя при этом крупно-масштабную структуру Вселенной, названную специалистами *ячеисто-сетчатой*. Видите, даже названия совпадают. Конечно, размеры пустот в этой вселенской структуре колоссальны. Они составляют 30–40 мегапарсек (Мпс), что равно приблизительно  $10^{24}$  м. Представить эти расстояния человеку с его чувственной земной метрикой невозможно. Да этого и не надо. Если начать сравнивать с тем, что мы привыкли и умеем видеть, то окажется, что чувственно нами не воспринимается не только мир Вселенной, но и микромир. Например, диаметр ячеек в мезоструктурах облачности оценивается в 20–60 км. Это приблизительно в миллиард раз превышает размеры конденсирующихся капель и в десять тысяч миллиардов раз размеры молекулы воды. Об атомах уж и говорить нечего.

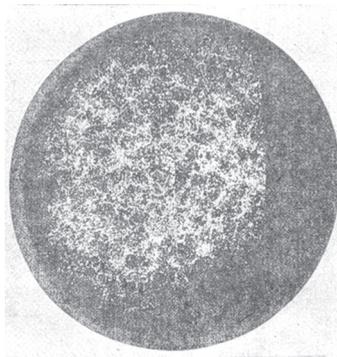


Рис. 4. Ячеистая структура крупномасштабного распределения галактик [15]

Сравнивать такие разномасштабные структуры удается лишь потому, что с помощью всевозможных инструментальных приёмов человек может *привести их к одному привычному для глаза и восприятия изображению: гигантское — уменьшить, ничтожно малое — увеличить.*

Приведём фотографии ещё двух структур — поперечных срезов сосны и берёзы (рис. 5, 6, 7).

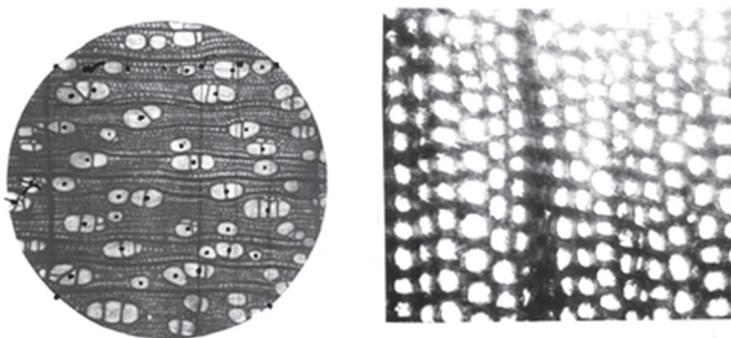


Рис. 5. Поперечные срезы берёзы (слева) и сосны (справа) [фото автора]

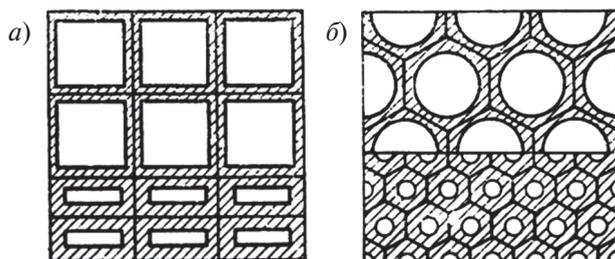


Рис. 6. Упрощённые структурные модели древесины (поперечный разрез) [12]:  
*a* — хвойные породы; *б* — лиственные породы

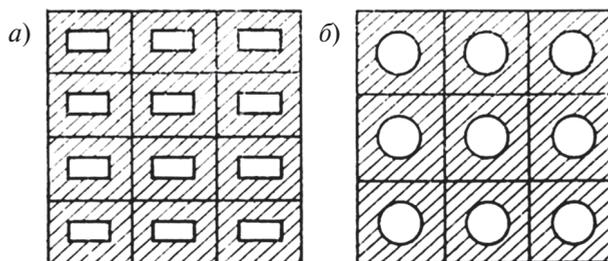


Рис. 7. Модели пористости древесины (поперечный разрез) [12]:  
*a* — хвойные породы; *б* — лиственные породы

Эти примеры из мира деревьев замечательны тем, что в стволах помимо живого вещества есть и вещество неживое. Древесные растения тем самым находятся как бы на стыке двух миров: живого и косного. Деревья растут на земле, в почвенном слое, являющимся продуктом разрушения горных пород. И именно здесь резонно поставить вопрос: *есть ли у живого и косного что-то общее, то общее, которое определяет их симбиоз*. Внешнее, хотя и примитивное, сходство среза сосны со срезом гранитов, среза березы со срезом глинистых сланцев наводит на мысль, что таким общим является структура, *структура как форма пространственной организации вещества*. Это как бы *генетический инвариант*, то есть то, что передаётся от неживого к живому, наследуется живым от косного. Если инварианты совпадают, «наследство» принимается, и живое развивается без особых проблем. Если инварианты не совпадают, то «наследование» не происходит, и живое либо развивается плохо, либо гибнет, отторгнутое структурно чуждой ему средой. Это предположение имеет под собой не только интуитивную основу, опирающуюся на внешнее сходство пространственных композиций вещества, но и прецедентную, основанную на зарегистрированных фактах.

Например, установленное влияние структуры воды на живые организмы в ряде стран уже воплощено в новые технологии кормления животных (устное сообщение). Наиболее благоприятными для их здоровья и развития являются талые воды, структура которых близка к структуре льда.

Согласитесь, что вопрос о структурной инвариантности живого и неживого имеет исключительно важное значение. Ведь в случае требований совпадения таких инвариантов задача сохранения и создания экологически устойчивых природных систем принципиально сводится к задаче *сохранения сложившихся структурных инвариантов внутри сообществ живой и неживой материи*.

В этом отношении очень интересны результаты исследований И. Лапидеса [8], показавшие, что минералы могли бы играть роль не просто сорбентов — концентраторов аминокислот, обеспечивая их селекцию и дальнейшую полимеризацию, но при этом могли бы выполнять и роль информационных матриц, способствуя синтезу упорядоченной последовательности аминокислот в протобелке. И. Лапидес считает, что геохимические процессы не только формируют реальную структуру минералов, но при этом и предопределяют на самых ранних стадиях абиогенеза (абиогенез — теория возникновения живых веществ из веществ неорганической природы) *характер и специфику будущих биологических процессов, а значит, и всего развития биосферы*.

Теория абиогенеза разделяется не всеми. Но если даже считать, что между живым и неживым нет приоритетов, что и то, и другое существовало всегда или появилось одновременно, то результаты И. Лапидеса своей важности не теряют. Пожалуй, они становятся ещё более привлекательными, поскольку при отрицании абиогенеза приходится согласиться, что *разные миры созданы по одному клише*.

И в этом есть логика. Ведь сообщество, *само сосуществование*, предполагает обязательность *общей компромиссной основы*. Там, где её нет, мир разваливается. Только существование *такого клише* позволяет сосуществовать живому с косным, разуму с душой и именно *это клише как инвариант формы обеспечивает целостность мира, его триединство*.

Надо признать, что *клише-инвариант* имеет математическую основу, то есть *инвариант не чувственный, а абстрактный*.

И это очень здорово. Здорово потому, что *в это клише попадает и наш разум, и информация, и дух.*

*Благодаря общности инварианта мы можем познавать мир.*

Когда мы говорим, что человек — часть природы, мы должны понимать, что эта часть сделана *по образу и подобию* и что так же, *по такому же образу и подобию, сделано в мире всё*. Именно поэтому одно из важнейших требований использования математики в естественных науках сводится к тому, чтобы формализация природного явления, его концептуальная модель, была адекватна аксиоматике математической модели. Иначе говоря, в основе решения задачи лежат поиски общего клише в природе, подсознании и разуме. И это обстоятельство для специалистов-экологов должно быть решающим.

Как найти математический инвариант для Мира в целом? Наверное, этого сегодня не знает никто. Можно ли его найти? Категорически утверждать, что да, значит брать на себя роль пророка. А это небезопасно. Мне кажется, что существуют достаточно перспективные пути таких поисков.

Один из них обозначен в названной работе И. Лапидеса. Это экспериментальные исследования структур минералов и белков с определёнными энергетическими возможностями, это поиски координирующих элементов структурных решёток минералов, играющих роль минералогического кодового слова.

Достаточно общие результаты, на наш взгляд, могут быть получены при исследовании структурных инвариантов седиментогенеза (седиментогенез — образование осадка как первой стадии формирования осадочных горных пород). Вопросы инвариантов седиментогенеза посвящена, например, вторая часть книги С.И. Романовского «Физическая седиментология» [13]. Суть этих исследований связана с обоснованием функций распределения частиц, составляющих осадок, по их размерам с последующей оценкой основных статистик (средних величин, стандартных отклонений и т.д.), которые и являются, в конечном счёте, основой для генетических реконструкций. Такие реконструкции представляют собой решение обратной задачи: восстановление по осадку обстановки и условий осадконакопления. Таким образом, здесь ищутся *статистические инварианты*: параметры, которые устойчиво согласуются (коррелируют) с гидродинамической обстановкой в бассейне осадконакопления.

В этом отношении может быть наиболее интересные результаты были получены Л. Костюком [7]. В отличие от большинства исследователей он занимался не линейной крупностью (размерами частиц осадков, выраженных в диаметрах сит, которые пропускают или задерживают частицы), а так называемой гидравлической крупностью — интегральной характеристикой, учитывающей помимо размера ещё и форму частиц, их шероховатость, плотность и т.д., то есть все те свойства, которые влияют на перемещение частиц в воде.

Оказалось, что для песчано-алевритовых отложений распределение массы осадка хорошо аппроксимируется логнормальным законом. Самым же главным оказалось то, что *коэффициент вариации ( $C_v$  — величина, характеризующая изменчивость признака) остаётся практически постоянным для любой выделяемой фракции крупности в интервалах 40–125 микрон и 160–1000 микрон. На границе же этих линейных фракций он менялся скачками.* Вот пример.

Была взята с помощью сит обобщённая фракция 40–100 микрон. Для неё оценивалась кривая распределения масс по гидрокрупности. Полученный при этом коэффициент вариации равнялся 24,5 %. Затем обобщенную фракцию разделили на 4 части: 40–50; 50–63; 63–80; 80–100 микрон. Для каждой из них в отдельности была выполнена прежняя аналитическая работа и получены свои коэффициенты вариации соответственно: 26,3; 25,1; 28,8; 24,6 %.

Интерпретация этого феномена, я думаю, может быть связана с гидродинамическими условиями в придонных слоях. Вероятно, пульсация скоростей, если бы они были измерены, показала бы тот же закон распределения и те же коэффициенты вариации. Мы не будем развивать эту тему далее, для нашего разговора сказанного достаточно. Коэффициент вариации характеризует неоднородность осадка по гидравлической крупности. И эта *неоднородность оказалась однородной для всей массы осадка*.

*Однородность неоднородности — вот в чём состоит инвариант.* Инвариантной же величиной оказался коэффициент вариации по гидравлической крупности.

Статистические инварианты рассматривались и для структуры древесины. При этом использовался весьма оригинальный подход. Он опирался на заданную аналогию между математическим описанием сложного турбулентного потока в простой среде проходных каналов и труб и простого ламинарного течения жидкости в очень сложной капиллярно-пористой структуре древесины [12].

Исследования показали, что такая аналогия правомерна, поскольку спектры турбулентных пульсаций параметров состояния жидкости и спектры размеров капиллярных пор водопроводящих путей древесины описываются одной и той же двухпараметрической зависимостью. Если сказать проще, то это означает, что *мгновенная фотография неоднородного ячеистого потока статистически похожа на неоднородную структуру древесины* (см. предисловие к книге [12]).

Заметьте важное обстоятельство: речь идет о схожести структур водного потока и среды движения, то есть генетически различных объектов. Кроме того, один из них движется. Этот подход по форме близок к разработкам статистических инвариантов рыхлых осадков, о которых шла речь выше. Определяющими факторами, формирующими инвариант, в этих случаях являются наиболее вероятные (модальные) значения параметров, а сопутствующими — спектры параметров вокруг модальных значений, строящихся по статистическим законам распределения вероятностей.

Существование *статистических инвариантов* у разных структур позволяет ставить задачу на раскрытие групп симметрии между различными инвариантами. Когда это удастся сделать, мы получим образец создания *общего инварианта мира*.

Этот инвариант будет представлять собою самостоятельную структуру. В качестве её элементов выступят частные статистические инварианты (горных пород, почв, водной среды, растений и т.д.). В единое же целое они будут связаны *группами симметрии*.

Ещё одно направление, которое может привести к построению *структурного инварианта триединого мира*, просматривается в работах, посвященных исследованиям агрегативности. Интересные результаты, в частности, были получены Ю.Л. Войтеховским [1], занимавшимся свойствами агрегативности горных пород на основе теории матриц и теории множеств. Он ввёл оригинальное понятие коэффициента

агрегативности. Этот коэффициент представляет собой безразмерное число, выражающее долю контактов зёрен двух определённых минералов по отношению к общему числу контактов зёрен в полиминеральной породе. Из этих коэффициентов он строит матрицу агрегативности. Её анализ показал, что все возможные варианты внутренних перестановок коэффициента сводятся друг к другу чётным числом перестановок столбцов и строк.

Поскольку существует численная характеристика матрицы, сохраняющаяся при таких преобразованиях (её детерминант), то автор приходит к выводу, что *совокупность агрегативных коэффициентов* однозначно определяет такой детерминант — число, *инвариантное относительно различных форм записи матрицы агрегативных коэффициентов*.

Полиминеральные породы будут описываться набором таких матриц — *группой матриц*, в которых *детерминант по-прежнему окажется инвариантной характеристикой группы*. При этом коэффициенты агрегативности трактуются как вероятности встречи различных типов межзерновых контактов в породе. Последнее обстоятельство выводит Ю.Л. Войтеховского на исследование возможности использования понятия энтропии К. Шеннона [1] в качестве функции состояния агрегативности и как меры статистической упорядоченности межзерновых контактов различных типов. *С её помощью предполагается корректное определение структуры горных пород как состояния, которое характеризуется минимумом энтропии. Такая постановка задачи делает число возможных структур конечным, зависящим только от числа слагающих породу минералов.*

Подчеркнем, что в основе всех этих разработок лежит представление о том, что *организация минерального агрегата есть его внутренняя форма. Организация структуры формируется на основе алгебры подстановок, которые замкнуты на инвариант.*

На наш взгляд, недостатком этих разработок с точки зрения возможных претензий на всеобщность является их сложность. Но в них есть и большая притягательная сила — построения на основе правил *абстрактной алгебры* (алгебры подстановок). Это перебор вариантов, ограниченный требованием минимизации информационной энтропии. Такой подход, может быть, наилучшим образом согласуется с *третьим законом экологии — природа знает лучше*. Действительно, никто, кроме природы, не знает, каким способом строятся структуры, то есть как происходит организация вещества в пространстве. Мы можем только перебирать варианты возможного и выставлять требования, оптимизирующие такой перебор. И, что очень важно, вся эта процедура поддается анализу и оценке.

Наш краткий обзор наиболее известных разработок в области описания структур как внутренних форм различных природных объектов, конечно, не претендует на полноту и глубину анализа этой проблемы. Мы только хотели познакомить читателя с сутью таких исследований, с тем чтобы представить себе возможный вид инварианта триединого мира [10]:

ГРУППЫ СИММЕТРИИ  $\Rightarrow$  ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ИНВАРИАНТЫ

(ряд материальный, ряд информационный, ряд духовный)



**ИНВАРИАНТ ТРИЕДИНОГО МИРА.**

**Литература**

1. *Войтеховский Ю.Л.* Проблемы Гильберта и аналитическая петрография // Минерал., 1999, № 2, с. 30–32.
2. *Герман М.А.* Спутниковая метеорология. — Л.: Гидрометеоздат, 1975. — 367 с.
3. *Данлоп С.* Азбука звёздного неба. — М.: Мир, 1990. — 238 с.
4. *Киппенхан Р.* 100 миллиардов солнц. Рождение, жизнь и смерть звёзд. — М.: Мир, 1990. — 295 с.
5. *Коммонер Б.* Замыкающийся круг. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 280 с.
6. *Костюк Л.А.* Анализ гидравлической крупности как основа реконструкции гидродинамических условий их образования (на примере белого моря): Автореф. дис. ...канд. геолого-минер. наук. — Л., 1989. — 20 с.
7. *Лапидес И.Л.* Реальная структура минералов — возможная информационная матрица в абиогенезе // Новые идеи в генетической минералогии. — Л.: Наука, 1983, с. 26–30.
8. *Музалевский А.А.* Экология. — СПб., 2008. — 599 с.
9. *Павлов А.Н.* Неразделимость и неслиянность // Учёные записки РГГМУ, 2008, № 7, с. 172–180.
10. *Павлов А.Н.* Справочное руководство к практическим занятиям по геологии. — СПб.: РГГМУ, 2004. — 54 с.
11. *Патякин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М.* Техническая гидродинамика древесины. — М.: Лесная промышленность, 1990. — 304 с.
12. *Романовский С.И.* Физическая седиментология. — Л.: Недра, 1988. — 240 с.
13. *Федоров М.П., Шилин М.Б., Горбунов Н.Е.* Экологические основы управления природно-техническими системами. — СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 505 с.
14. *Чернин А.Д.* Звёзды и физика. — М.: Наука, 1984.
15. *Шилин М.Б., Хаймина О.В.* Прикладная морская экология. — СПб.: РГГМУ, 2014.