II. ФИЛОСОФИЯ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ В ОБЩЕЙ ПОСТНЕКЛАССИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ

DOI: 10.12737/6721

РАЗМЫШЛЕНИЯ О ПРИНЦИПАХ СИММЕТРИИ В ЭКОЛОГИИ

Г.С. РОЗЕНБЕРГ

Институт экологии Волжского бассейна РАН,
ул. Комзина, 10, г. Тольятти, Самарская обл., Россия, 445003

Аннотация. Рассмотрена возможность применения принципов симметрии в экологических исследованиях. Обсуждается связь свойств симметрии пространства и времени. История науки показывает, что симметрия позволяет объяснить многие явления и предсказать существование новых свойств Природы. При этом следует учитывать, что «между симметрией кристаллических многогранников и симметрией живых организмов существует коренное, глубокое различие. В первом случае мы имеем дело с выражением атомной структуры твёрдого вещества, во втором – со стремлением к организованности живого вещества, обособленно и раздельно существующего в чуждой ему косной среде биосферы».

Ключевые слова: симметрия, теоретическая экология, флуктуирующая асимметрия, масштаб, здоровье среды.

REFLECTIONS ON SYMMETRY PRINCIPLES IN ECOLOGY

G.S. ROZENBERG

Institute of Ecology of the Volga River Basin of the RAS,
st. Komzina, 10, Togliatti, Samara region., Russia, 445003

Abstract. The application of symmetry principles in environmental studies is considered. The relationship between the properties of space symmetry and time is discussed. The history of science shows that symmetry allows to explain many phenomena and predict the existence of new properties of the Nature. Therefore, the principal difference between symmetry of crystalline polyhedron and symmetry of living organism should be considered. In the case we deal with atomic structure of solid substance, in the second case we deal with achieving to organization of living substance isolated and separately existing in an alien and inert biosphere.

Key words: symmetry, theoretical ecology, fluctuating asymmetry, scale, health of environment.

Успехи физики XX в. обусловили не только проникновение в биологию физико-химических методов исследования объектов различных уровней биологической иерархии, но и определенное «навязывание» физического «образа мышления» при постановке и решении различных биологических задач. Естественно, что этот процесс оказал существенное влияние и на теоретическую биологию, которую со времени выхода в свет в 1943 г. работы Э. Шредингера [1] «Что такое жизнь? С точки зрения физика» до признания в начале 70-х годов равноправным системного подхода – в экологии, например [2], пытались строить по образу и подобию теоретической физики.

Для «научного метода физикализма» характерно сведение изучаемого целого к изучению его отдельных частей, отсутствие категории цели в объяснении явлений физического мира и синтез гипотезы с экспериментом. Эти «три кита» позволяют с

единой точки зрения рассмотреть структуру физических теорий и увидеть во многом сходный их «костяк». В наиболее полном варианте такой анализ проведен в работах И.В. Кузнецова [3-5], а также применительно к задачам инженерии [6] и путям построения теоретической биологии [7].

В структуре физической теории Кузнецов [4] выделял три главные части: «основание» теории, её «ядро» и «вершину». Каждая из этих частей охватывает определенную группу элементов (естественно, что выделение этих элементов, в известной мере, нечетко, однако каждый из них выполняет свою специфическую роль в общей структуре теории [8,9]).

Главнейшим структурным элементом «ядра» физических теорий является *система законов* – уравнений, задающих связь и характер изменения физических величин в пространстве и во времени. Каждая физическая теория опирается на характерную именно для нее систему уравнений: классическая механика – на законы Ньютона, электродинамика – на уравнения Максвелла, теория относительности – на уравнения Эйнштейна. Логическая завершенность системы законов свидетельствует о высокой степени разработанности теории (о широком охвате наиболее существенных сторон определенного специфического фрагмента действительности). В качестве особых элементов «ядра» теорий в физике Кузнецов [4] выделяет наличие *мировых постоянных*, *законы сохранения*, *принципы симметрии* и *законы связи новых и старых теорий*. В настоящей работе сосредоточим основное внимание на приложимости принципов симметрии в теоретической экологии.

«Само понятие симметрии сложилось при изучении живых организмов. По преданию, за несколько столетий до нашей эры (древнегреческий скульптор. – Г.Р.) Пифагор из Региума (ок. 570 – ок. 490 гг. до н. э.) создал понятие и само слово «симметрия» для выражения красоты человеческого тела и красоты вообще. Здесь были найдены ещё древними греками числовые законности, которые дальше и до сих пор не поддались охвату обобщающей математической мысли» [10].

Симметрия – категория, обозначающая процесс существования и становления в определенных условиях и в определенных отношениях между различными и противоположными состояниями явлений мира тождественных объектов. Это определение накладывает методологические требования: при изучении явления, события, состояния движущейся материи, прежде всего, необходимо установить свойственные им различия и противоположности, затем уже раскрыть, что в нем есть тождественного и при каких условиях и в каких отношениях это тождественное возникает, существует и исчезает [11,12]. Отсюда вытекают общие правила формирования гипотез:

- если установлено существование какого-то явления, состояния или каких-то их свойств и параметров, то необходимо предполагать и существование противоположных явлений, противоположных свойств и параметров;
- в свою очередь, необходимо далее постулировать, что между противоположными условиями в каких-то отношениях и условиях возникают и существуют тождественные моменты.

В этих двух правилах выражается применение понятия симметрии в конкретных исследованиях.

Асимметрия – категория, обозначающая процесс существования и становления в определенных условиях и в определенных отношениях между различными и противоположными состояниями явлений мира различий и противоположностей внутри единства, тождества, цельности явлений мира. Симметрия и асимметрия дополняют друг друга, и искать их нужно одновременно: в симметрии проявляется общность свойств, а в асимметрии – их различие. «*Согласно законам системной симметрии и системной асимметрии, входящим в общую теорию систем автора, абсолютно любая система абсолютно любой реальности – объективной, субъективной, объективно-субъективной, пустой – обязательно симметрична в одних и асимметрична в других отношениях*» [13].

Можно расширить понятие симметрии и назвать *группой симметрии* такие

преобразования пространства и времени, при которых форма записи уравнений или комбинации физических величин остаются неизменными. Именно в этом смысле говорят о симметрии физических законов.

Флуктуирующая асимметрия (англ. *fluctuating asymmetry*) представляет собой незначительные случайные отклонения от строгой симметрии в строении признаков, которые в норме обладают билатеральной симметрией (фактически, это форма изменчивости различий признаков между правой и левой сторонами, когда их значения нормально распределены вокруг нуля; например, для рыб – число лучей в парных плавниках, число чешуй в боковой линии и т. п.). Показатели флуктуирующей асимметрии используются в качестве меры стабильности индивидуального развития живых организмов и для оценки качества (здоровья) среды, они выступают «*главными характеристиками изменений гомеостаза [развития] с морфологической точки зрения*» [14].

Перспективы применения флуктуирующей асимметрии в системе биомониторинга требует разработки корректных методов количественной оценки её величины, обзор которых можно найти в целом ряде работ [15-21]. Число научных публикаций, посвященных флуктуирующей асимметрии, возрастает экспоненциально и сопровождается оживленной дискуссией (не всегда в «парламентских выражениях») как по методологическим проблемам, так и по методическим аспектам оценки стабильности (нестабильности) развития.

В этом контексте показательна, возникшая на страницах бюллетеня «Заповедники и Национальные парки», полемика по поводу издания группой В.М. Захарова практических рекомендаций для заповедников по использованию флуктуирующей асимметрии в целях оценки здоровья среды [17,22-26], аргументы которой «за» и «против» сведены в табл.

Эта *таблица* не требует комментариев. Разве что, приведу еще одну цитату: «*Некоторое удивление вызывает манера, в которой написана критическая заметка М. Козлова*[1]. *В ней неоднократно высказывается сожаление по поводу отсталости российской науки. По его мнению, у него, как у представителя финской науки, есть все основания для снисходительного тона старшего товарища. Вот несколько цитат: «Такое упрощение я считаю крайне опасным: оно наверняка приведет к публикации в российских изданиях целого ряда работ, которые с точки зрения мирового научного сообщества будут представлять собой «информационный шум»»; «этот метод, прочно укоренившийся в сознании российских биологов, в настоящее время на Западе практически не используется, а сравнение выборочных оценок флуктуирующей асимметрии проводится с применением дисперсионного анализа»; «к сожалению, проблема мнимых повторностей в экологических исследованиях, с которой западные ученые после вышеуказанной публикации успешно борются, остается совершенно неизвестной для российских ученых». Хотелось бы заверить, что не все так плохо в российской науке. Конечно, если нет доводов более серьезных, чем постулат «это хорошо, потому что так поступают на Западе», в качестве основного можно использовать и его, но нам это не кажется достаточно убедительным. На наш взгляд, использование любого метода – не мода или попытка встать в строй западных исследователей и минимально выделяться среди них, чтобы тебя приняли за своего, а сознательный выбор в соответствии с поставленной задачей*» [25].

Связь симметрии пространства и законов сохранения в физике была изложена немецким математиком Э. Нётер (Emmy Amalie Noether; 1882-1935), которая прида-

[1] В этой критической рецензии есть и такой пассаж [24]: «Результаты работ могут привести к ошибочным выводам и послужить основой для принятия необоснованных решений. Например, я могу легко доказать (при соблюдении всех условий, оговоренных в методическом руководстве), что любой (я подчеркиваю – любой!) источник выбросов не оказал отрицательного влияния на состояние окружающей среды». Замечу, что сам М. Козлов с коллегами, используя флуктуирующую асимметрию листьев березы извилистой сначала приходит к выводу о возрастании этого показателя с приближением к источнику загрязнения [32], а в последствии объясняет этот рост тем, что имела место «недостаточная точность замеров.., наложившаяся на уменьшение размера листа при приближении к комбинату. Увеличение относительной ошибки измерения было неверно истолковано нами как увеличение асимметрии» [24]. Доказать можно всё… Здесь выражу только сожаление, что М. Козлов не учел эффект масштабирования линейных размеров, что *обязательно* необходимо делать при использовании пластических признаков [26].

ла ей форму фундаментальной теории: однородность пространства и времени влечет законы сохранения импульса и энергии, а изотропность пространства – сохранения момента импульса и энергии. Иными словами, фундаментальность учения о симметрии (в физике) состоит в том, что каждому непрерывному преобразованию отвечает соответствующий закон сохранения. Установление связи между свойствами пространства и времени и законами сохранения выражается в *вариационном принципе.*

Таблица

«За» и «против» флуктуирующей асимметрии

Критические замечания М. Козлова [24]	**Ответ коллектива авторов практического руководства для заповедников «Здоровье среды: методика оценки» [25]**	**Комментарий Д.Б. Гелашвили [26]**
1	**2**	**3**
Особенно подкупает простота методики замеров и расчетов флуктуирующей асимметрии: создается впечатление, что эта работа может быть легко выполнена даже школьниками средних классов. Однако так ли все просто на самом деле? К сожалению, ответ на этот вопрос будет отрицательным. Рассматриваемое методическое руководство отражает оптимистичный взгляд на универсальность соотношения между неблагоприятным воздействием на организм и уменьшением устойчивости развития, которое проявляется в увеличении флуктуирующей асимметрии. К сожалению, эта точка зрения отражает ситуацию примерно десятилетней давности.	Методика в том виде, в котором она описана в нашем руководстве, предложена для решения практических задач для широкого применения её на ООПТ. В связи с этим она дана в упрощенном виде. Однако следует заметить, что допущенные упрощения абсолютно корректны. О том, что «оптимистический взгляд на универсальность соотношения между неблагоприятным воздействием на организм и уменьшением устойчивости развития, которое проявляется в увеличении флуктуирующей асимметрии» обоснован, свидетельствует наш многолетний опыт ведения экологического мониторинга в различных регионах России в популяциях, подверженных как химическим, так и радиационным воздействиям. При этом применялся не только морфологический, но и другие тесты, характеризующие состояние организма: цитогенетический, иммунологический, биохимический и физиологический подходы… Все эти показатели изменяются согласованно, что неудивительно, так как все они отражают состояние базовой характеристики состояния организма – гомеостаза.	Мы полностью солидарны с М. Козловым по поводу *кажущейся* (*здесь и далее – курсив автора. – Г.Р.*) простоты метода оценки флуктуирующей асимметрии (далее – *ФА*), предложенной группой В.М. Захарова, но не более того. Иллюзия простоты, жертвой которой стал М. Козлов, обусловлена тем, что авторы критикуемого им руководства отнюдь не ставили своей целью вооружить работников заповедников методом *выявления* и *обоснования* флуктуирующих признаков. Задача руководства скромнее – привить навыки практического пользования новым методом. Этому предшествовала многолетняя кропотливая научная работа группы В.М. Захарова, отраженная и обобщенная в многочисленных статьях, диссертациях, монографиях, хорошо известных отечественным и зарубежным исследователям.
В последние годы преобладает более осторожное, если не сказать скептическое, отношение к использованию флуктуирующей асимметрии для выявления стресса у животных и в особенности у растений. Названия некоторых дискуссионных статей говорят сами за себя: «Вальсирование с асимметрией» [27] и «Что асимметрия половых признаков говорит нам о стрессе?» [28].	В обзорной статье А. Палмера и К. Стробека [29], на которую, кстати, ссылается М. Козлов, упоминаются, по крайней мере, 14 иностранных исследователей, использующих аналогичный показатель.	Однако манипулирование читателем путем цитирования броских заголовков статей (например, «Вальсирование с асимметрией»…) вряд ли уместно. Кстати, и сам А. Палмер, являющийся признанным апологетом *ФА*, в своей работе [18] обсуждает 18 алгоритмов оценки *ФА*, но отнюдь не предает её анафеме. О необходимости совершенствования методов количественных оценок *ФА* шла оживленная дискуссия на 3-й Международной конференции «Здоровье среды» (22-23 мая 2001 г., Москва)… На этой же конференции выступал сам А. Палмер и другие специалисты.

Продолжение таблицы

1	2	3
Любое измерение признака содержит в себе некоторую ошибку. Следовательно, даже при замере идеально симметричного организма мы можем получить отличное от нуля значение флуктуирующей асимметрии. Очевидно, что ошибка измерения должна быть учтена в расчетах… а это достигается многократным (на практике – двух- либо трехкратным) проведением замеров. Данные замеров при этом не усредняются, а используются в дисперсионном анализе… Из этого анализа мы узнаём, достоверно ли отличие полученного нами значения флуктуирующей асимметрии от нуля, то есть имеем мы дело с истинным значением либо с помехой.	При разработке системы признаков для анализа стабильности развития для всех рекомендованных в нашем методическом руководстве объектов мы проводили анализ признаков на направленность асимметрии и антисимметрию. Как показали наши исследования, ни направленной асимметрии, ни антисимметрии для этих признаков не наблюдается.	Алгоритм стандартной процедуры оценки *ФА* изучаемого признака всегда начинается с *обязательной* проверки статистически значимого отличия от нулевого среднего (тест на ненаправленность и случайность флуктуаций). Этот этап необходим на стадии выбора, обоснования и верификации флуктуирующего признака. В методическом руководстве В.М. Захарова и сотрудников приведены признаки, для которых этот этап был выполнен в предшествующих работах! Кстати, выражение М. Козлова «идеально симметричный организм» является информационным шумом, поскольку в реальном мире идеальной симметрии не существует! [11].
Предложение авторов рассматриваемого здесь руководства суммировать (на первых этапах анализа данных!) значения флуктуирующей асимметрии для ряда признаков одного и того же объекта вызывает серьезные возражения. Если анализируемые признаки скоррелированы (как, например, разные промеры листовой пластинки березы), то замер нескольких из них не даст никакой дополнительной информации по сравнению с замером любого из них. Если же признаки изменяются независимо друг от друга, суммирование может привести к потере важной информации либо даже к ошибочным выводам: если один признак дает четкую реакцию, а девять других не отвечают на воздействие, усреднение окажет плохую услугу исследователю. Так что суммирование как способ «свертывания информации», если без него не обойтись, стоит применять только на завершающих этапах анализа, приводя при этом не только среднее значение, но и индивидуальные уровни асимметрии для каждого из изученных признаков в отдельности.	Нельзя надежно охарактеризовать стабильность развития организма, анализируя лишь один признак. При работе с одним признаком… велик элемент ошибки. Для характеристики организма в целом нам необходима выборка признаков. Использование интегральной характеристики позволяет сглаживать различия между чувствительностью признаков в разных выборках. А так как, в конечном счете, нас интересует стабильность развития не одной конкретной особи, а популяции в целом, мы используем среднюю величину для популяционной выборки… В принципе, при использовании нескольких признаков можно также просчитать и обобщенную дисперсию для выборки, однако такой подход достаточно сложен, и мы не можем рекомендовать его для широкого применения в практических целях [30]. Кроме того, существенным недостатком дисперсии как показателя является ее высокая чувствительность к сильно уклоняющимся вариантам. Важным преимуществом использования средней величины асимметрии является то, что на основе такого интегрального показателя возможно построение балльной шкалы для оценки степени отклонения стабильности развития от нормы, которая позволяет представлять результаты более наглядно.	Еще большее недоумение вызывает фраза: «если анализируемые признаки скоррелированы». Безусловно, скоррелированные признаки или их асимметрию использовать для оценки *ФА* нельзя. Но какое отношение это имеет к авторам руководства, которые рекомендуют *нескоррелированные* признаки листовой пластинки березы. Что касается «свертывания информации», то процедура суммирования (линейная) – один из распространенных подходов в индексологии. Мы предложили [19] новый подход математической процедуры, позволяющей с любой степенью точности определять *ФА*, заимствованный из кристаллографии и основанный на использовании так называемой свертки.

Продолжение таблицы

1	2	3
Трудно (скорее даже невозможно) согласиться с предложением авторов оценивать значимость различий между выборками по критерию Стьюдента. Этот метод, прочно укоренившийся в сознании российских биологов, в настоящее время на Западе практически не используется, а сравнение выборочных оценок флуктуирующей асимметрии проводится с применением дисперсионного анализа (ANOVA, или ANalysis Of VAriance)	Сравнение средних можно производить как с применением *t*-критерия Стьюдента, так и методом ANOVA, рекомендуемым М. Козловым. Если говорить о сравнении выборок, то оба подхода близки и могут быть выведены один из другого. Математически эти два теста эквивалентны [31]. Кроме того, главное назначение дисперсионного анализа состоит в оценке влияния определенных факторов.., хотя для работы с природным материалом для этого лучше использовать непараметрические критерии. Задача опубликованного нами практического руководства – обеспечить сбор данных по единой методике с использованием интегральных показателей асимметрии и оценить их отклонения от условно нормального состояния. Для этого использование *t*-критерия Стьюдента адекватно и корректно.	Совершенно непонятно, чем плох *t*-критерий Стьюдента, который может и должен применяться при *парных сравнениях* (независимо от географии и на Западе, и на Востоке). При множественных сравнениях следует, например, применять *поправку Бонферрони*. Что касается дисперсионного анализа, то теоретический анализ и наш опыт изучения *ФА* общественных насекомых… свидетельствует об эффективности многомерного дисперсионного анализа (MANOVA).
При оценке антропогенного воздействия на экосистемы особого внимания заслуживает выбор мест сбора материала. Подавляющее большинство работ подобного типа, публикуемых Российскими учеными, основываются на сравнении выборок всего из 3-5 мест сбора, расположенных к тому же вдоль одного (я подчеркиваю – одного) градиента загрязнения. Такой же методики придерживаются и авторы рассматриваемого руководства. К сожалению, эта методика в корне порочна, поскольку не позволяет отличить предполагаемое воздействие выбросов от влияния иных, не учтенных исследователем факторов среды… При этом для точечного источника желательно брать выборки, расположенные вдоль противоположно направленных трансект. Повышение числа выборок существенно повышает достоверность результата. Другими словами, различия между «воздействием» и «контролем» должны сравниваться с изменчивостью внутри каждой из этих групп.	С советом М. Козлова «внимательно подходить к выбору мест сбора материала» нельзя не согласиться. В нашей работе мы, как правило, анализируем выборки из мест, удаленных друг от друга не более чем на 20 км. Едва ли можно ожидать, что точки, удаленные друг от друга на такое расстояние, находятся под влиянием существенно различающихся климатических условий… Если мы сравниваем стабильность развития в двух точках, расположенных на разном удалении от источника загрязнения и, найдя различия, утверждаем, что стабильность развития в этих точках различна, то наше утверждение корректно… Такой подход обоснован, тем более что воздействие источника загрязнения часто носит направленный характер (в направлении господствующих ветров) и нет смысла искать эффект воздействия в противоположном направлении, как рекомендует М. Козлов.	В заключение не могу отказать себе в удовольствии еще раз процитировать М. Козлова: «Я считаю это направление весьма многообещающим, но лишь при условии тщательного сбора исходной информации и скрупулезного анализа полученных результатов» (с. 25). С этим выводом трудно не согласиться.

История науки показывает, что симметрия позволяет объяснить многие явления и предсказать существование новых свойств Природы. При этом следует учитывать, что «*между симметрией кристаллических многогранников и симметрией живых организмов существует коренное, глубокое различие. В первом случае мы имеем дело с выражением атомной структуры твёрдого вещества, во втором – со стремлением к организованности живого вещества, обособленно и раздельно существующего в чуждой ему косной среде биосферы*» [10].

Итак, свойства симметрии пространства и времени связывают и определяют, в том числе, и физические законы сохранения: с однородностью времени связан закон сохранения энергии, с однородностью пространства – сохранения импульса, с изотропией – сохранения момента импульса. Но «экологический мир» в современном представлении «видит» экологические системы гетерогенными и разно (много-) масштабными [33-35]. Действительно, абсолютно все заключения относительно экологической системы зависят от масштаба, в которой её изучают. Роль масштаба была ясна и раньше [36,37], но то был *реально* существующий масштаб реальных сообществ. В новой экологии произошло осознание того, что масштаб может быть связан не с природой, а с наблюдаемым паттерном, соответствие которого «реальности» – отдельный сложный вопрос. В рамках «теза – антитеза» (симметрия – асимметрия?) современной экологии [35] и в контексте связи симметрии с законами сохранения нас будут интересовать только два аспекта.

1. **Пространство перестало быть простым.** Пространство (как «реально-физическое», так и «абстрактно-нишевое») в классической экологии, в сущности, не отличается от геометрического евклидова пространства. Хотя еще в 20-х годах прошлого столетия В.И. Вернадским [38] было четко сформулировано положение о неравенстве реального пространства пространству евклидовой геометрии, особенно для живых систем. При этом он имел в виду совсем не те свойства пространства, которые сказались на кризисе его понимания в экологии 80-х годов. Здесь ключевыми оказались все те же понятия масштаба и гетерогенности.

2. **Время также перестало быть простым.** В новом экологическом мире оно неотделимо от пространства. Это можно проиллюстрировать простым примером. Хорошо известно, что в полупустыне экосистема представляет собой мозаику пятен нескольких типов растительности и почв, возникшую вследствие различной степени засоления. Казалось бы – типичный пример пространственной гетерогенности. Но каждое пятно проходит последовательно все стадии засоления–рассоления. Это циклический процесс, только скорости его (или фазы) в разных пятнах не совпадают. Итак, здесь наблюдается временна́я гетерогенность. Другой аспект – наблюдаемая структура экологической системы зависит от восприятия наблюдателем её пространственной гетерогенности, которая, в свою очередь, зависит от скорости перемещения наблюдателя относительно системы. С увеличением масштаба пространства увеличивается и масштаб времени [39,40]. Собственно говоря, сама мысль об интуитивном восприятии неразделимости пространства и времени в объектах всех естественных, особенно биологических, наук высказывалась, опять-таки, Вернадским [38]. Но в классической экологии полностью господствует ньютоновская идея абсолютного, независимого ни от чего времени. Существенно и то, что для разных элементов экологической системы (членов сообщества) масштаб времени специфичен и неодинаков, так же, как и масштаб пространства. Это накладывает такие же ограничения на правила классической экологии, как и масштабная гетерогенность пространства.

В данном контексте нелишне напомнить, что проблема биологического пространства и биологического времени во всем её объеме (с учетом симметрии законов живой природы) впервые была поставлена в выпусках «Проблем биогеохимии» и в «Биогеохимических очерках» еще В.И. Вернадским [41]. Но особо хочу назвать монографию Ю.А. Урманцева [42], в которой дана история изучения проявлений симметрии в природе и показано положение теории симметрии в диалектике и оригинальной общей теории систем. И очень актуальной продолжает оставаться высказанная еще 35 лет тому назад мысль автора о том, что «*...уже сейчас совершенно корректно можно утверждать, что* ***биологических пространств не одно, а огромное, возможно бесконечное, множество (выделено автором. – Г.Р.)…*** *При этом можно смело ожидать нарушения в таких пространствах – по крайней мере, в неоднородных и неизотропных – типа статистик*

(элементарных частиц), а также ***ряда физических законов сохранения (выделено мной. – Г.Р.),*** *связанных с признанием однородности и изотропности пространств, в которых они реализуются»* [42].

В заключении очень примечательно выглядит высказывание великого физика Нильса Бора: «Действительно, я думаю, мы все согласны с Ньютоном: самый глубокий фундамент науки – это уверенность в том, что в природе одинаковые явления наступают при одинаковых условиях», которое подошло бы данной работе в качестве эпиграфа, но было уже в таком качестве, к сожалению для меня, использовано более 30 лет тому назад [43]…

Литература

1. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики?.– М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1947.– 146 с.

2. Одум Ю. Основы экологии.– М.: Мир, 1975.– 740 с.

3. Кузнецов И.В. Взаимосвязь физических теорий // Вопр. философии.– 1963.– № 6.– С. 34–44.

4. Кузнецов И.В. Структура физической теории // Вопр. философии.– 1967.– № 11.– С. 86–98.

5. Кузнецов И.В. Избранные труды по методологии физики (на подступах к теории физического познания).– М.: Наука, 1975.– 296 с.

6. Vittikh V.A. Engineering theories as a basis for integrating deep engineering knowledge // Artificial Intelligence in Engineering.– 1997.– V. 11.– № 1.– P. 25–30.

7. Meyen S.V. On the structure of theoretical biology // Lectures in Theoretical Biology.– Tallinn: Valgus, 1988.– P. 15–21.

8. Розенберг Г.С. Конспект построения теоретической экологии // Изв. СамНЦ РАН.– 2003.– Т. 5.– № 2.– С. 189–206.

9. Розенберг Г.С. О путях построения теоретической экологии // Успехи совр. биол.– 2005.– Т. 125.– вып. 1. С. 14–27.

10. Вернадский В.И. О состояниях физического пространства. 1938. / http://vvvasilyev.narod.ru/Kulturol/Vernadski/PVPiS_5.htm.

11. Вейль Г. Симметрия.– М.: Наука, 1968.– 192 с.

12. Компанеец А.С. Симметрия в микро- и макромире.– М.: Наука, 1978.– 208 с.

13.Урманцев Ю.А. Симметрия и асимметрия развития // Сознание и физическая реальность.– 1997.– Т. 2.– № 2.– С. 80–83.

14. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., Пронин А.В. Методология оценки здоровья среды // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек.– М.: Наука, 2007.– С. 78–86.

15. Кожара А.В. Структура показателя флуктуирующей асимметрии σ_d^2 и его пригодность для популяционных исследований // Биол. науки.– 1985.– № 6.– С. 100–103.

16. Захаров В.М. Асимметрия животных.– М.: Наука, 1987.– 161 с.

17. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки.– М.: Изд. Центра экол. политики России, 2000.– 66 с.

18. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating Asymmetry Analyses Revisited.– Edmonton (Alberta, Canada): Univ. Alberta, 2001.– 77 p.

19. Гелашвили Д.Б., Солдатов Е.Н., Чупрунов Е.В. Меры сходства и разнообразия в оценке флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков // Поволж. экол. журн.– 2004.– № 2.– С. 132–143.

20. Коросов А.В. Специальные методы биометрии: Учеб. пособие.– Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007.– 364 с.

21. Зорина А.А. Нормальная изменчивость флуктуирующей асимметрии животных и растений: Дис. … канд. биол. наук.– Тольятти, 2009.– 184 с.

22. Захаров В.М. Здоровье среды: концепция.– М.: Центр экологической политики России, 2000.– 30 с.

23. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др. Здоровье среды: практика оценки.– М.: Изд. Центра экол. политики России, 2000.– 318 с.

24. Козлов М.В. Стабильность развития: мнимая простота методики (о методическом руководстве «Здоровье среды: методика оценки») // Заповедники и Национальные парки.– 2001.– № 36.– С. 23–27.

25. Стабильность развития: еще раз о мнимой и реальной простоте методики / Коллектив авторов практического руководства для заповедников «Здоровье среды: методика оценки» // Заповедники и Национальные парки.– 2002.– № 37-38.– С. 40-44.

26. Гелашвили Д.Б. Еще раз о стабильности развития // Заповедники и Национальные парки.– 2002.– № 37-38.– С. 45.

27. Palmer A.R. Waltzing with asymmetry: is fluctuating asymmetry a powerful new tool for biologists or just an alluring new dance step? // BioScience.– 1996.– V. 46, № 7.– P. 518–532.

28. Bjorksten T.A., Fowler K., Pomiakowski A. What does sexual trait FA tell us about stress? // Trends Ecol. Evol.– 2000.– V. 15.– P. 163–166.

29. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. of Ecol. and Systematics.– 1986.– V. 17.– P. 391–421.

30. Zakharov V.M., Pankakoski E., Sheftel B.I. et al. Developmental stability and population dynamics in the common shrew, *Sorex araneus* // Amer. Naturalist.– 1991.– V. 138.– № 4.– P. 797–810.

31. Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research.– N. Y.: Freeman, 1981.– 887 p.

32. Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J., Haukioja E. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // J. Appl. Ecol.– 1996.– V. 33. P. 1489–1495.

33. Simberloff D. A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism // Synthese (Springer Netherlands).– 1980.– V. 43, № 1.– P. 3–39.

34. McIntosh R. Concept and terminology of homogeneity in ecology // Ecological Heterogeneity / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett.– N. Y.: Springer Verlag, 1991.– P. 24–46.

35. Розенберг Г.С., Смелянский И.Э. Экологический маятник (Смена парадигм в современной экологии) // Журн. общ. биол.– 1997.– Т. 58, № 4.– С. 5–19.

36. Whittaker R.H., Levin S.A., Root R.B. Niche, habitat and ecotype // Amer. Naturalist.– 1973.– V. 107.– P. 321–338.

37. Whittaker R.H., Levin S.A. The role of mosaic phenomena in natural communities // Theor. Popul. Biol.– 1977.– V. 12.– № 2.– P. 117–139.

38. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста.– М.: Наука, 1988.– 520 с.

39. Kolasa J., Rollo C.D. Introduction: the heterogeneity of heterogeneity: a glossary // Ecological Heterogeneity / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett.– N. Y.: Springer Verlag, 1991.– P. 1–23.

40. Waltho N., Kolasa J. Organization of instabilities in multispecies systems: a test of hierarchy theory // Proc. National Acad. of Sci. USA.– 1994.– V. 91. P. 1682–1685.

41. Еськов В.М., Зимин М.И., Даниелян В.В. и др. Философия и науки о жизни. Детерминизм, стохастика и хаос (самоорганизация) в описании жизни // Сложность. Разум, Постнеклассика.– 2013.– № 1.– С. 24–37.

42. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии.– М.: Мысль, 1974.– 229 с.

43.Кудрин Б.И. Системный анализ техноценозов // Электрификация металлургических предприятий Сибири. Вып. 4.– Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1978.– С. 125–165.

References

1. Shredinger E. Chto takoe zhizn' s tochki zreniya fiziki?. Moscow: Izd-vo inostr. lit-ry; 1947. Russian.

2. Odum Yu. Osnovy ekologii. Moscow: Mir; 1975. Russian.

3. Kuznetsov IV. Vzaimosvyaz' fizicheskikh teoriy. Vopr. filosofii. 1963;6:34-44. Russian.

4. Kuznetsov IV. Struktura fizicheskoy teorii. Vopr. filosofii. 1967;11:86-98. Russian.

5. Kuznetsov IV. Izbrannye trudy po metodologii fiziki (na podstupakh k teorii fizicheskogo poznaniya). Moscow: Nauka; 1975. Russian.

6. Vittikh VA. Engineering theories as a basis for integrating deep engineering knowledge. Artificial Intelligence in Engineering. 1997;11(1):25-30.

7. Meyen SV. On the structure of theoretical biology. Lectures in Theoretical Biology. Tallinn: Valgus; 1988.

8. Rozenberg GS. Konspekt postroeniya teoreticheskoy ekologii. Izv. SamNTs RAN. 2003;5(2):189-206. Russian.

9. Rozenberg GS. O putyakh postroeniya teoreticheskoy ekologii. Uspekhi sovr. biol. 2005;125(1):14 27. Russian.

10. Vernadskiy VI. O sostoyaniyakh fizicheskogo prostranstva. 1938. / http://vvvasilyev.narod.ru/Kulturol/Vernadski/PVPiS_5.htm. Russian.

11. Veyl' G. Simmetriya. Moscow: Nauka; 1968. Russian.

12. Kompaneets AS. Simmetriya v mikro- i makromire. Moscow: Nauka; 1978. Russian.

13. Urmantsev YuA. Simmetriya i asimmetriya razvitiya. Soznanie i fizicheskaya real'nost'. 1997;2(2):80-3. Russian.

14. Zakharov VM, Krysanov EYu, Pronin AV. Metodologiya otsenki zdorov'ya sredy. Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya ravninnykh rek. Moscow: Nauka; 2007. Russian.

15. Kozhara AV. Struktura pokazatelya fluktuiruyushchey asimmetrii i ego prigodnost' dlya populyatsionnykh issledovaniy. Biol. nauki. 1985;6:100-3. Russian.

16. Zakharov VM. Asimmetriya zhivotnykh. Moscow: Nauka; 1987. Russian.

17. Zakharov VM, Baranov AS, Borisov VI, et al. Zdorov'e sredy: metodika otsenki. Moscow: Izd. Tsentra ekol. politiki Rossii; 2000. Russian.

18. Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating Asymmetry Analyses Revisited. Edmonton (Alberta, Canada): Univ. Alberta; 2001.

19. Gelashvili DB, Soldatov EN, Chuprunov EV. Mery skhodstva i raznoobraziya v otsenke fluktuiruyushchey asimmetrii bilateral'nykh priznakov. Povolzh. ekol. zhurn. 2004;2:132-43. Russian.

20. Korosov AV. Spetsial'nye metody biometrii: Ucheb. posobie. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU; 2007. Russian.

21. Zorina AA. Normal'naya izmenchivost' fluktuiruyushchey asimmetrii zhivotnykh i rasteniy [dissertation]. Tol'yatti; 2009. Russian.

22. Zakharov VM. Zdorov'e sredy: kontseptsiya. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii; 2000. Russian.

23. Zakharov VM, Chubinishvili AT, Dmitriev SG, et al. Zdorov'e sredy: praktika otsenki. Moscow: Izd. Tsentra ekol. politiki Rossii; 2000. Russian.

24. Kozlov MV. Stabil'nost' razvitiya: mnimaya prostota metodiki (o metodicheskom rukovodstve «Zdorov'e sredy: metodika otsenki»). Zapovedniki i Natsional'nye parki. 2001;36:23-7. Russian.

25. Stabil'nost' razvitiya: eshche raz o mnimoy i real'noy prostote metodiki / Kollektiv avtorov prakticheskogo rukovodstva dlya zapovednikov «Zdorov'e sredy: metodika otsenki». Zapovedniki i Natsional'nye parki; 2002. Russian.

26. Gelashvili DB. Eshche raz o stabil'nosti razvitiya. Zapovedniki i Natsional'nye parki. 2002;37-38:45. Russian.

27. Palmer AR. Waltzing with asymmetry: is fluctuating asymmetry a powerful new tool for biologists or just an alluring new dance step? BioScience. 1996;46(7):518-32.

28. Bjorksten TA, Fowler K, Pomiakowski A. What does sexual trait FA tell us about stress? Trends Ecol. Evol. 2000;15:163-6.

29. Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patternsyu Ann. Rev. of Ecol. and Systematics. 1986;17:391-421.

30. Zakharov VM, Pankakoski E, Sheftel BI, et al. Developmental stability and population dynamics in the common shrew, Sorex araneus. Amer. Naturalist. 1991;138(4):797-810.

31. Sokal RR, Rohlf FJ. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. N. Y.: Freeman; 1981.

32. Kozlov MV, Wilsey BJ, Koricheva J, Haukioja E. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact. J. Appl. Ecol. 1996;33:1489-95.

33. Simberloff D. A succession of paradigms in ecology: Essentialism to materialism and probabilism. Synthese (Springer Netherlands). 1980;43(1):3-39.

34. McIntosh R. Concept and terminology of homogeneity in ecology. Ecological Heterogeneity / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett. N. Y.: Springer Verlag; 1991

35. Rozenberg GS, Smelyanskiy IE. Ekologicheskiy mayatnik (Smena paradigm v

sovremennoy ekologii). Zhurn. obshch. biol. 1997;58(4):5-19. Russian.

36. Whittaker RH, Levin SA, Root RB. Niche, habitat and ecotype. Amer. Naturalist. 1973;107:321-38.

37. Whittaker RH, Levin SA. The role of mosaic phenomena in natural communities. Theor. Popul. Biol. 1977;12(2):117-39.

38. Vernadskiy VI. Filosofskie mysli naturalista. Moscow: Nauka; 1988. Russian.

39. Kolasa J, Rollo CD. Introduction: the heterogeneity of heterogeneity: a glossary. Ecological Heterogeneity / Ed. by J. Kolasa, S.T.A. Pickett. N. Y.: Springer Verlag; 1991. Russian.

40. Waltho N, Kolasa J. Organization of instabilities in multispecies systems: a test of hierarchy theory. Proc. National Acad. of Sci. USA. 1994;91:1682-5.

41. Es'kov VM, Zimin MI., Danielyan V.V. i dr. Filosofiya i nauki o zhizni. Determinizm, stokhastika i khaos (samoorganizatsiya) v opisanii zhizni. Slozhnost'. Razum, Postneklassika. 2013;1:24-37. Russian.

42. Urmantsev YuA. Simmetriya prirody i priroda simmetrii. Moscow: Mysl'; 1974. Russian.

43. Kudrin BI. Sistemnyy analiz tekhnotsenozov. Elektrifikatsiya metallurgicheskikh predpriyatiy Sibiri. Vyp. 4. Tomsk: Izd-vo Tomsk. un-ta; 1978. Russian.