

ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ХАОСА

Г.Н. КАРОПА

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Введение. Теория хаоса – частная научная методология, использующая математический аппарат для описания поведения нелинейных динамических систем, которые при определенных условиях демонстрируют явление, известное в точных науках как хаос [1, 2, 3]. Эта относительно новая область научных исследований, использующая математические принципы и компьютерное моделирование, связывает философию, естествознание и теорию обучения, открывает новые пути познания мира природы, общества и человека [4, 5, 6].

Естественнонаучный смысл категории «хаос».

Понятие о хаосе зародилось в древнегреческой мифологии. Впервые хаос был описан поэтом Гесиодом в «Теогонии» как персонификация изначального состояния мира до появления чего бы то ни было. Он существовал задолго до возникновения упорядоченной Вселенной (Космоса). Хаос зародился прежде всего. Из Хаоса произошли: Гея (Земля), Никта (Ночь), Тартар (Бездна), Эреб (Мрак) и Эрос (Желание). Во времена Гесиода слово «хаос» означало не беспорядок, а скорее некоторую предельную пустоту [11].

В нашем житейском понимании хаос ассоциируется с бесконечным беспорядком и крайней неупорядоченностью. Однако в науке хаос достаточно упорядочен и подчиняется определенным законам, важнейшими из которых являются саморазвитие и системная дифференциация [1, 7, 10].

В научной литературе раскрывается множество значений понятия «хаос». Например, в большинстве космогонических теорий хаос – это первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность материи и пространства, которая противоположна порядку [11].

В физико–математических науках хаос – это не беспорядок, но более высокая степень порядка, где организующими звеньями являются бессистемность и случайность (в противоположность строгой причинно–следственной детерминации). С точки зрения современных научных представлений, хаос постоянен, а стабильность временна [6, 7].

В линейном (причинно–следственном) мире, изучаемом современным естествознанием, причина и следствие однозначно предсказуемы. В реальном мире, описываемом теорией хаоса, прямых и однозначных отношений между причиной и единственно возможным следствием не существует [7, 9, 10].

Хаос – это сверхсложная (сверхусложненная) структура, из которой возникают структуры менее сложного порядка, что, по нашему мнению, является проявлением закона системной дифференциации [10]. Развитие хаоса всегда идет от одной структуры к другой. Согласно второму началу термодинамики, это движение происходит от более сложной структуры к менее сложной структуре. При этом первоначальное количество энергии остается постоянным, но при переходе от одной структуры к другой качество энергии снижается [6, 7].

Основные принципы и понятия математической теории хаоса.

С точки зрения методологии науки, теория хаоса представляет собой, по сути, некоторую научную парадигму, предполагающую новую модель восприятия и объяснения мира природы и общества [4, 6, 7].

Термин «теория хаоса» широко используется в философской и научно–популярной литературе. Физики и математики обычно рассматривают данное учение в качестве специального раздела теории динамических систем, оперируя понятием «динамический хаос» [1, 2, 6, 7].

Современная математическая теория хаоса исходит из представлений о том, что:

– хаос является самоорганизующейся нелинейной динамической системой, в которой действуют определенные закономерности (самоорганизация, эволюция, системная дифференциация и др.), ведущие данную систему от состояния хаоса в состояние некоторой структурной упорядоченности (порядка);

– поведение нелинейной динамической системы является случайным даже в том случае, если модель, описывающая систему, носит строго детерминированный характер;

- сложные динамические системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий и небольшие изменения «на входе» ведут к непредсказуемым последствиям «на выходе»;
- динамическая система работает в сторону главного изменения как результат небольших, «на входе» – часто просто игнорируемых событий;
- хаотические системы, несмотря на внешнюю неупорядоченность, на самом деле, все же подчиняются некоторой закономерности (закону) и, следовательно, являются достаточно упорядоченными [3, 7, 9].

Классическая линейная парадигма предполагает поиск ведущих причин развития системы в факторах, которые лежат не внутри данной системы, а в тех факторах, которые находятся за ее пределами. Примером простого линейного объяснения является следующее положение, раскрываемое в одном из авторитетных учебников по педагогике: «Развитие личности *целиком* (курсив наш – ГК) определяется овладением общественным опытом, основу которого составляют научные знания, умения и способы творческой деятельности, их мировоззренческая и морально–эстетическая направленность» [8, с. 142].

Теория хаоса, не игнорируя факторов внешней среды, постоянно бросающей системе свои вызовы, акцентирует внимание именно на внутренних механизмах развития всякой динамической системы [1, 6, 7]. Таким образом, теория хаоса не противоречит классическим линейным парадигмам, но она идет дальше последних, открывая новые горизонты исследовательской мысли. Рассмотрим основные понятия современной теории хаоса.

Понятие «нелинейные динамические системы». Динамическая система, которая классифицируется как хаотическая, должна обладать следующими свойствами: во–первых, она должна быть нелинейной; во–вторых, она должна быть чувствительной к начальным условиям; в–третьих, она должна иметь свойство топологического (пространственного) смешивания.

Линейные системы, изучаемые современным естествознанием, являются строго детерминированными и, следовательно, они, как правило, не бывают хаотичными. Однако в реальной жизни мы чаще всего сталкиваемся не с научными абстракциями, а именно с неравновесными хаотическими системами.

Примерами нелинейных динамических систем, изучаемых науками о Земле, являются: атмосфера, гидросфера, биосфера, адиабатический процесс, астеносферные течения, биологические популяции, ПТК (природно–территориальные комплексы) и др.

Одно из самых успешных применений теории хаоса в географических и геоэкологических науках связано с использованием законов динамических систем для раскрытия зависимости прироста численности населения от величины его плотности. Сегодня теория хаоса может быть применима практически во всех естественнонаучных исследованиях, где необходимо предсказать некоторое «конечное» состояние развития какого–либо процесса, учитывая его «исходное» состояние [3, 7].

Понятие «чувствительность к начальным условиям» и «эффект бабочки». Чувствительность к начальным условиям в нелинейной системе означает, что: во–первых, все точки, первоначально близко приближенные между собой, в будущем будут иметь значительно отличающиеся траектории; во–вторых, произвольно небольшое изменение текущей траектории на начальных этапах развития может привести к значительному изменению в ее будущем поведении. Именно эти два свойства определяют суть понятия «чувствительность к первоначальным условиям» [3, 6, 7].

В теории хаоса чувствительность к начальным условиям известна как «эффект бабочки», который в формулировке климатолога Э. Лоренца звучит как несколько, на первый взгляд, «странный» вопрос: «Может ли взмах крыльев в лесах Бразилии вызвать торнадо в Техасе?». Взмах крыльев бабочки символизирует мелкие изменения в первоначальном состоянии системы. Но этот «взмах», по мнению Лоренца, теоретически может вызвать цепочку событий, ведущих к крупномасштабным (глобальным) изменениям. Если бы эта бабочка не хлопала своими крыльями, утверждал Лоренц, то траектория развития системы «биосфера – атмосфера» была бы совсем другой [9].

Начальное состояние динамической системы не может быть задано математически абсолютно точно. Но вместе с тем всегда существует возможность определения вероятностного нахождения системы в некотором предполагаемом или реальном пространстве [9].

Понятие «топологическое смешивание». Топология (от греч. *topos* – место) – это раздел математики, изучающий топологические свойства фигур, то есть такие свойства, которые не изменяются при любых деформациях, производимых без разрывов и склеиваний (более точно – при взаимно однозначных и непрерывных отображениях) [12, с. 1352]. В естествознании топологиче-

ское смешивание означает такую схему расширения системы, когда одна ее область в какой-то стадии расширения накладывается на любую другую область. В результате такого наложения формируется некоторая многомерная пространственная структура. В географии, например, топологическое смешивание обнаруживается в таких явлениях, как природно-территориальный комплекс, географическая оболочка и т. п. К сожалению, понятие «топологическое смешивание» не получило существенного развития в науках о Земле.

Логистическое отображение – принцип развития хаотической системы, определяющий изменение количественной характеристики данной системы (например, численности населения) с течением времени. В научной литературе логистическое отображение часто приводится в качестве иллюстрации того, как хаотическое поведение может возникать из очень простых нелинейных динамических уравнений. Согласно принципам логистического отображения, простые природные формы (фактически – фракталы) (вулканы, облака, горы, холмы и т. д.) могут быть воспроизведены посредством повторяющихся функций (то есть действия некоторых объективных законов) [1, 2, 7].

Понятие «бифуркация». Бифуркация (от лат. bifurcus – раздвоение) – процесс качественного перехода от состояния равновесия к состоянию хаоса через последовательное изменение периодических точек. При бифуркации происходит качественное изменение свойств системы (катастрофический скачок), в результате которого количество стремительно переходит в качество. Момент скачка происходит именно в точке бифуркации. Хаос (определенность) чаще всего возникает через бифуркацию (нарушение определенности). Состояние системы в момент бифуркации является крайне неустойчивым и бесконечно малое воздействие может привести к критическому выбору дальнейшего пути движения.

Бифуркации возникают при переходе системы от состояния видимой стабильности и равновесия к состоянию неравновесия и динамического хаоса. В природе примерами таких переходов являются: образование дыма в процессе горения вещества, переход воды из одного агрегатного состояния в другое, излияние магмы на земную поверхность и образование лавы и др.

С помощью механизма бифуркаций можно в общих чертах предсказать характер движения, возникающего при переходе системы из одного состояния в качественно новое состояние, а также обозначить область существования системы и оценить ее устойчивость.

Понятие о фракталах. Фрактал (лат. fractus – дробленный, сломанный, разбитый) – термин, означающий сложную геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре в целом. Другими словами, фрактал – это некоторая геометрическая фигура, определенная часть которой повторяется снова и снова, изменяясь не в сути, но лишь в размерах. Отсюда следует важнейший принцип теории хаоса – принцип самоподобия фракталов [2]. Все фракталы подобны самим себе, то есть они схожи на всех уровнях развития природы. В природе существует много типов фракталов. Однако все они проявляют хаотическое поведение. В этом отношении фрактал может рассматриваться как единица анализа хаотического поведения нелинейной динамической системы.

Основоположником в изучении фракталов является франко-американский математик и экономист Б. Мандельброт, который в середине 1960-х гг. разработал то, что впоследствии назвал фрактальной геометрией природы [2]. Мандельброт исходил из положения о том, что тот, кто отталкивается от линейной перспективы, никогда не будет видеть реального мира и тем более не сможет успешно действовать в реальной многомерной среде. Он утверждал, что для того чтобы успешно действовать в какой-либо социальной среде, необходимо познать структуру этой среды. Совокупность фракталов, по мнению Мандельброта, образует структуру той или иной сферы человеческой деятельности [2].

Важнейшее свойство всех фракталов – дробность. Фактически все, что на первый взгляд кажется случайным и неправильным, но неоднократно повторяется в природе или обществе, может быть фракталом. Повторяемость – признак проявления той или иной закономерности. Следовательно, сам факт наличия фрактала – свидетельство действия какой-то закономерности. В природе, по Мандельброту, примерами типичных фракталов являются облака, изгибы русел рек, ареалы расселения растений и животных, очертания гор, холмов и т. п. [2]. Идея фрактальности природы нашла применение в современных физико-географических исследованиях [14].

Понятие «самоорганизация». Самоорганизация – процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счет внутренних факторов, без внешнего непосредственного специфического воздействия окружающей среды. Изменение внешних условий чаще всего оказывается не причиной, а всего лишь стимулирующим началом. Роль среды в процессах саморазвития сводится к то-

му, что среда постоянно «бросает» системе свои вызовы. Основным результатом самоорганизации является появление единицы следующего качественного уровня.

В 1952 г. английский математик и один из основателей теории искусственного интеллекта А. Тьюринг опубликовал работу «The Chemical Basis of Morphogenesis», в которой на примере морфогенеза математически описал процесс самоорганизации живой природы. Морфогенез, по Тьюрингу, связан с наследственностью и развивается под воздействием таких химических и физико-химических факторов, как диффузия, активация и деактивация. Тьюринг показал, что морфогенез возникает из-за изменений в клеточной структуре или из-за взаимодействий клеток в тканях. В процессе морфогенеза клетки сходных типов «сортируются», системно дифференцируются, а затем собираются в кластеры (некоторые схожие системы) с тем, чтобы максимизировать свои контакты с клетками того же типа (агрегация). Согласно Тьюрингу, морфогенез – классический пример самоорганизации живой природы [7].

Математическая теория хаоса и проблемы современного естествознания.

Методологическая ценность теории хаоса заключается в том, что она предлагает новую парадигму, новые методы анализа и обнаружения скрытых закономерностей там, где систему ранее считали случайной и никаких закономерностей в ее поведении прежде не искали, полагая, что их там просто не существует.

Теория хаоса в той или иной форме находит применение во многих научных дисциплинах. В наши дни идеи, принципы и положения теории хаоса используются в математике, физике, географии, биологии, информатике, психологии и др.

Например, в физической географии теория хаоса применима в исследовании таких явлений, как погода и климаты земного шара, циклоны и антициклоны, океанические течения и волновые процессы, формирование русел рек и др. [6, 11]. Эти нелинейные процессы могут изучаться на методологической основе теории хаоса.

В природе и обществе хаотическое поведение наблюдается в движении планет и спутников Солнечной системы, изменении магнитного поля Земли и других астрономических тел, динамике численности населения земного шара, формировании социально-экономических и природно-ресурсных потенциалов тех или иных стран или регионов.

Современные научные гипотезы, объясняющие происхождение и развитие Солнечной системы, исходят из основных положений теории хаоса.

Небулярная гипотеза Канта–Лапласа утверждает, что Солнце и планеты Солнечной системы образовались из некоторой разреженной, медленно вращавшейся туманности (небулы), состоявшей из хаотично двигающихся частиц газа и пыли. В центре этой туманности возникло Солнце, а на периферии – планеты.

Космогоническая гипотеза Шмидта–Лебединского доказывает, что все тела Солнечной системы образовались из медленно вращавшегося газово-пылевого облака, в котором газ составлял свыше 90% общей массы. При движении в Галактике это протопланетное облако оказалось в таких условиях (гравитация, температура и др.), при которых нарушилось внутреннее равновесие массы облака и оно стало сжиматься. Первоначально хаотическое движение частиц стало упорядоченным. В последующем это протопланетное облако приобрело дискообразную и спиральную форму. В центре сконцентрировалась наибольшая масса; в ней повысилась температура, что обусловило возникновение ядерных реакций. Так сформировалось Солнце. В меньшей периферийной массе образовались спиральные кольца, сгущение вещества которых привело к образованию планет. Полагают, что Солнечная система возникла около 10 млрд. лет назад [6].

Основные положения современной теории хаоса нашли применение в метеорологии при объяснении теплового режима атмосферы и формировании климатов земного шара. Представление об адиабатическом (адиабатном) процессе лежит в основе ведущих научных метеорологических концепций.

Адиабатическому процессу принадлежит важнейшая роль в тепловом режиме атмосферы. Адиабатическое нагревание и охлаждение воздуха происходит в одной массе, без обмена теплом с другими средами.

При опускании из верхних слоев тропосферы (или же по склонам гор) воздух из разреженных слоев поступает в более плотные слои, молекулы газа хаотически сближаются, их соударения усиливаются, и кинетическая энергия движения молекул переходит в тепловую. Воздух нагревается, не получая тепла ни от других воздушных масс, ни от земной поверхности. Адиабатическое нагревание наиболее ярко выражено в тропических широтах, в которых нагревание воздуха сопровождается его иссушением, что в итоге приводит к образованию обширных пустынь.

В восходящих токах воздух, наоборот, адиабатически охлаждается. Из плотной нижней атмосферы он неупорядоченно поднимается в разреженную верхнюю тропосферу. При этом плотность его уменьшается, молекулы одна от другой хаотически удаляются, сталкиваются реже. Тепловая энергия, полученная воздухом от нагретой поверхности, переходит в кинетическую энергию, тратится на механическую работу и на расширение газа.

В физической географии известно явление раздвоения реки на две ветви, которые в дальнейшем не сливаются, а впадают в различные бассейны (например, река Ориноко в Южной Америке). Это явление, определяемое термином «бифуркация», возможно только на нечетко выраженных водоразделах. В современных географических науках бифуркация рек описывается преимущественно на основе линейных причинно–следственных связей. Привлечение теории хаоса к познанию этого уникального явления способно углубить наше представление о внутренних механизмах развития речных русел и долин.

К сожалению, в современной науке не получила глубокого исследования такая чрезвычайно актуальная проблема, как создание и организация деятельности логистических центров, занимающихся разработкой эффективных схем (путей, маршрутов) передвижения информации, сырья, материалов, денежных ресурсов и финансовой прибыли. Теории хаоса в этой связи представляется весьма полезной научной методологией. Очевидно, создание и организация деятельности логистических центров – перспективная область применения математической теории хаоса в экономико–географических исследованиях.

Проблемы естественнонаучного образования с точки зрения математической теории хаоса. Математическая теория хаоса призывает ученых–педагогов и учителей–практиков отказаться от упрощенного понимания процесса обучения вообще и обучения предметам естественнонаучного цикла в частности. Она позволяет осмыслить процесс развития личности ребенка в системе категорий инновационного мышления и сформулировать ряд требований и условий, предъявляемых к процессу обучения в современной общеобразовательной школе и высшем учебном заведении.

Основное требование, предъявляемое математической теорией хаоса к педагогической деятельности, заключается в том, что обучение должно носить личностно–ориентированный характер и должно быть направлено на раскрытие творческого потенциала личности. Другими словами, в процессе обучения необходимо создавать условия для всемерного развития и саморазвития личности. Соответственно, фронтальные подходы, изначально ориентированные на некоторого «среднего» ученика, должны уступать место индивидуальным подходам, предполагающим строгий учет и последовательную реализацию психолого–возрастных и индивидуальных особенностей личности каждого школьника или студента. «Одной из важнейших задач современной общеобразовательной школы, – справедливо утверждают психологи, придерживающиеся концепции развивающего обучения, – является обеспечение условий для развития личности каждого ученика на основе знания и учета его возрастных и индивидуальных особенностей» [15, с. 5].

В реальном процессе обучения следует исходить из принципа системной дифференциации, который утверждает, что 1) развитие когнитивных структур в онтогенезе идет по пути их прогрессивного усложнения; 2) более развитые, сложные, высоко расчлененные и иерархически упорядоченные когнитивные структуры, допускающие широкий, глубокий, многоаспектный и гибкий анализ и синтез окружающей действительности, развиваются только из более простых, диффузных, глобальных или плохо расчлененных структур путем их постепенной дифференциации [10].

Теория и практика обучения должны носить творческий характер и ориентироваться на всемерное развитие интеллекта и продуктивного мышления. В процессе обучения необходимо больше внимания уделять творческому мышлению и приложению знаний к реальным ситуациям.

Линейное строго детерминированное причинно–следственное мышление не предоставляет достаточных условий для развития инноваций и творчества.

Трехмерное визуальное восприятие является необходимым условием успешного обучения. Однако в реальном учебном процессе чаще всего используется двумерное пространство (книга, таблица, атлас, тетрадь, экран компьютера и т. п.), что существенно снижает качество процесса обучения. Визуализация информации – процесс создания образов в воображении – основной ключ к академическим успехам в обучении.

Чувственные образы могут быть сформированы не только через зрительный канал восприятия, но и через другие модальности. Для гармоничного развития ребенка необходимо научить его по-разному осмысливать учебный материал (логически, образно, интуитивно).

В реальной школьной практике учитель должен обладать гибким стилем преподавания, включающим множество поведенческих реакций, воздействующих на зрительную, аудиальную и кине-

стетическую сенсорные системы. Только воздействуя на разные сенсорные системы, вызывая определенные положительные эмоции и переживания, можно добиться взаимопонимания и личностного контакта с каждым учеником [15].

Заключение. Изучение пространственных и функциональных понятий (например, «природный комплекс» (география), «экосистема» (биология) выходит за рамки традиционных линейных причинно-следственных подходов, а, следовательно, требует реализации качественно новой парадигмы учебного процесса. Теория хаоса, предоставляющая инновационный подход к изучению мира природы, общества и человека, может оказаться в этом отношении весьма полезной методологией.

В соответствии с основными положениями математической теории хаоса, в содержании естественнонаучного образования необходимо существенно увеличить удельный вес теоретических знаний, представленных элементами научных теорий, законами и закономерностями, гипотезами, прогнозами, ведущими мировоззренческими идеями и научными понятиями. Ведущая роль теоретических знаний в интеллектуальном развитии личности подтверждается не только основными положениями теории хаоса, но и психологической теорией развивающего обучения [15].

В содержании школьного и вузовского естественнонаучного образования должны получить глубокое раскрытие ведущие гипотезы и парадигмы современного естествознания, должны быть показаны противоречия между различными теориями и концепциями (например, между теорией геосинклиналей, концепцией литосферных плит и гипотезой расширяющейся Земли). При этом учащиеся должны четко дифференцировать категории «факт», «теория», «гипотеза», «прогноз».

Содержание современного естественнонаучного образования изобилует пугающими воображение детей перспективами глобального потепления климата, повышения уровня Мирового океана, разрастания озоновых дыр в атмосфере, всеобщей нищеты, голода и исчезновения всех живых существ. Не отрицая важности научного прогноза, необходимо постоянно подчеркивать вероятностный характер современных геоэкологических прогнозов. Изучение естественнонаучных прогнозов не должно вести учащихся в сферу отчаяния и пессимизма, тем более, что, как отмечают специалисты в области теории хаоса, неустойчивость многих явлений способна в один прекрасный день обернуться благом, поскольку неустойчивость означает, что желаемый эффект может быть достигнут очень малым возмущением [6, 7, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, А. П. Колебания, катастрофы, бифуркации, хаос / А. П. Кузнецов. – Саратов: Колледж, 2000. – 98 с.
2. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы; пер. с англ. / Б. Мандельброт. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 654 с.
3. Ахромеева, Т. С. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т. С. Ахромеева, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1992. – 544 с.
4. Каропа, Г. Н. Парадигмальные сдвиги и новые тенденции в экологическом образовании школьников / Г. Н. Каропа // Адукацыя і выхаванне. – 2009. – № 9. – С. 15 – 21.
5. Арнольд, В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
6. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой; пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
7. Turing, A.M. Mathematical Logic: Coll. works of A. M. Turing / A. M. Turing – Amsterdam: Elsevier, 2001. – 293 p.
8. Харламов, И.Ф. Педагогика: учебник / И. Ф. Харламов. – Минск : Універсітэцкае, 2000. – 560 с
9. Лоренц, Э. Долгосрочное и среднесрочное прогнозирование погоды: Проблемы и перспективы; пер. с англ. / Э. Лоренц, Л. Бенгтсон [и др.]. – М.: Мир, 1987. – 287 с.
10. Каропа, Г.Н. Принцип системной дифференциации и проблемы школьной географии / Г. Н. Каропа // Географія: Праблемы выкладання. – 2008. – № 6. – С. 3–12.
11. Каропа, Г.Н. История и методология географии: курс лекций / Г. Н. Каропа. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – 278 с.
12. Советский энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1980. – 1600 с.
13. Каропа, Г.Н. Биогеография с основами экологии: курс лекций / Г. Н. Каропа. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2010. – 316 с.
14. Мельник, М. А. Фрактальные закономерности форм рельефа (на примере эрозионного расчленения поверхности и извилистости рек): автореферат дис. ... канд. географ. наук: 25.00.25 / М.А. Мельник. – Томск, 2007. – 19 с.
15. Возрастные и индивидуальные особенности образного мышления учащихся; под ред. И.Я. Якиманской. – М.: Педагогика, 1989. – 224 с.

**PROBLEMS OF NATURAL SCIENCE AND NATURALISTIC
EDUCATION IN TERMS OF MATHEMATICAL THEORY OF CHAOS**

G.N. KAROPA

Summary

The article reveals the basic principles of the mathematical chaos theory, clarifies some of its concepts and categories, and considers the possibilities of its use in modern natural science, psychological and pedagogical research.

© Каропа Г.Н.

Поступила в редакцию 14 марта 2012 г.