

# Эволюция машин: НОВЫЙ ВИТОК



**Андрей КОЛЕСНИКОВ,**  
кандидат философских  
наук, доцент

Образ эпохи нового времени, в которую мы живем, довольно прочно ассоциируется с машинной цивилизацией. Машины – основа нашего могущества и одно из основных средств господства над окружающей природой. Мы их конструируем, производим и совершенствуем. Но что, если на новом витке развития техники машины смогут самостоятельно «размножаться»? Можно ли преодолеть одно из ключевых различий между организмом и механизмом и создать машины, способные воспроизводить себе подобных и эволюционировать самостоятельно, без участия человека, подобно тому, как это делают живые организмы?

## Техногенная популяция

Понятно, что пока собирать себе подобных без помощи людей машины не могут. И, по сути, без активного участия человека они представляют собой всего лишь совокупность деталей. Хотя им и доступен целый ряд функций живых организмов: перемещаться в пространстве, летать, ездить, обрабатывать металл и древесину, вычислять и выполнять определенные алгоритмические последовательности действий. Например, кинетические скульптуры голландского мастера Тео Янсена могут самостоятельно ходить, причем делают они это удивительно похоже на людей. Но машины пока не в состоянии сами размножаться, подобно людям, муравьям или даже растениям.

На наш взгляд, следующим шагом на пути развития машин станет появление способности к самомодификации, которая откроет путь к отбору, адаптации и самостоятельной дарвиновской эволюции, а также управляемой человеком селекцией. Несомненно, это был бы качественно новый этап развития машин на гораздо более высокой ступени совершенства. Сейчас даже сложно представить, какого рода возможности и горизонты откроются перед человечеством, вооруженным саморазмножающейся и эволюционирующей техникой. В первую очередь такие машины будут использоваться в освоении космоса. Компактные космические аппараты смогут доставлять на поверхность иных планет единичные технические устройства, базовые прототипы. Далее машины начнут самостоятельно размножаться и эволюционировать, приспособляясь к местным условиям. Самопроизвольно растущая техногенная популяция в состоянии будет осуществлять на поверхности чужой планеты масштабную исследовательскую и преобразующую деятельность, к тому же постепенно становясь все эффективней и функциональнее.

Поскольку все новации в числе первых апробируются военными, сложно было бы ограничиться сугубо мирным применением обсуждаемого нового, пока сугубо гипотетического класса машин. В самых общих чертах контуры боевого применения самовоспроизводящихся эволюционирующих машин намечены в повести «Непобедимый» известного писателя-фантаста Станислава

## ОБ АВТОРЕ

### КОЛЕСНИКОВ Андрей Витальевич.

Родился в 1961 году в г. Риге (Латвия).

В 1984 году окончил Белорусский технологический институт имени С.М. Кирова (ныне – Белорусский государственный технологический университет).

С 1984 года работал в Институте генетики и цитологии АН БССР. С 1995 по 2000 год – учитель информатики гимназии № 5 г. Минска. С 2000 года – преподаватель информатики в Белорусском институте правоведения. С 2010 года – доцент кафедры управления информационными ресурсами Академии управления при Президенте Республики Беларусь.

Кандидат философских наук (1998), доцент (2005).

Автор свыше 130 публикаций, в том числе одной монографии.

Сфера научных интересов: философские вопросы естествознания и техники; синергетика; междисциплинарные исследования; проблемы образования; информатика и компьютерное моделирование; проблемы биологической эволюции; искусственный интеллект.

Лема. На основе такой техники возможно создание перспективных оборонительных систем, действующих по принципу роя, компенсирующего свои потери путем самовоспроизведения.

Саморазмножающиеся машины были бы весьма полезны и в мирных направлениях деятельности. Например, в процессе утилизации отходов или при поиске полезных ископаемых. Единичные механизмы могли бы перемещаться в свободном поиске по большим территориям, а при обнаружении признаков месторождения размножиться и многократно локально активизировать свою деятельность.

Сама постановка проблемы создания размножающихся машин сегодня становится возможной и представляется актуальной в связи со стремительным развитием новейших областей науки, таких как нанотехнология, в которой повсеместно используются самоорганизационные процессы молекулярного уровня, развитая в области синергетики теория самоорганизации, а также молекулярная биология, позволяющая заимствовать соответствующие механизмы самовоспроизведения в живой природе.

## Механизмы самовоспроизведения

Долгое время мыслители древности считали, что жизнь при подходящих условиях способна многократно самозарождаться. Важнейшими вехами в понимании принципов размножения было открытие клеточного строения живых организмов, а затем генетики. Благодаря развитию инструментальных методов исследования, прежде всего микроскопии, стало известно, что все живые организмы представляют собой гигантские системы, состоящие из микроскопических элементов, способных делиться обособленных пузырьков – клеток. Исключение составляют разве что вирусы – квазизивые объекты, которые могут размножаться, используя чужие живые клетки.

При обсуждении общих механизмов самовоспроизведения в живой природе целесообразно упомянуть работы И.В. Гете, посвященные метаморфозу растений и животных [1]. Основная идея его состояла в том, что все живые организмы построены

по принципу многократного повторения по сути одних и тех же структурных элементов. Их развитие происходит преимущественно путем многократного повторения одной и той же процедуры, инициирующей свое собственное повторение. Такой способ решения задачи в информатике получил наименование рекурсии, а алгоритмы, вызывающие сами себя, – рекурсивных. Характерной особенностью таких алгоритмов является их простота и компактность, однако они способны решать сложнейшие задачи, а в графическом виде – порождать чрезвычайно сложные объекты в области фрактальной геометрии. Последняя возникла в результате прогресса вычислительной техники и компьютерной графики, а также благодаря работам Бенуа Мандельброта, автора фундаментального труда «Фрактальная геометрия природы» [2]. С помощью фрактальной геометрии можно понять принципы организации, а также способы математического описания природных форм, которые пока существенно отличаются от форм традиционной техники, основанной на классической геометрии Эвклида.

Процесс индивидуального развития живых организмов до настоящего времени продолжает оставаться актуальной и не до конца исследованной научной проблемой. Вместе с тем принципиальный механизм морфогенеза на уровне знаний современной науки в общих чертах понятен. Значительный вклад в это внес в свое время математик и информатик Алан Тьюринг [3], предложивший концепцию морфогенов, специальных веществ, выделяемых клетками в окружающую среду. Предполагалось, что эти гипотетические вещества воздействовали на соседние клетки и локально изменяли их химическое окружение, приводя тем самым к клеточной дифференцировке. Данный процесс может быть наглядно проиллюстрирован при помощи модели клеточных автоматов, которые, в свою очередь, были предложены классиками научной информатики Дж. фон Нейманом и Конрадом Цузе. Клеточные автоматы – это игры, происходящие на клеточной поверхности. Наиболее известная из них под названием игра «Жизнь» была предложена Дж. Конвеем. Время в играх клеточных автоматов течет дискретными тактами. На каждом шаге дискретного вре-

мени соседние клетки обмениваются информацией о состоянии друг друга и тем самым определяют состояние друг друга в следующий момент времени. Клеточные автоматы различаются правилами взаимодействия ячеек. Они представляют собой дискретные аналоги дифференциальных уравнений в частных производных и в некотором роде абстрактную, упрощенную модель всей окружающей нас реальности. Появился даже термин – цифровая философия (Digital Philosophy) [4].

Наиболее наглядно самовоспроизводящиеся конфигурации можно продемонстрировать на примере клеточного автомата Фредкина. Правила его функционирования состоят в следующем. Клетка появляется в свободной ячейке, если количество ее соседей четное, и исчезает, если оно нечетное. Развивающийся по таким несложным правилам клеточный автомат размножает через определенное количество циклов любую исходную конфигурацию. Типичный пример приведен на рисунке 1.

Наглядно видно, что исходная конфигурация клеток, проходя ряд циклов трансформации, вновь порождает некоторое количество своих собственных копий. С точки зрения общего понимания сути процесса важно, что самовоспроизведе-

ние происходит в системе, состоящей из простых однотипных элементов, локально взаимодействующих по очень простым правилам. Значит, явление самовоспроизведения неких структур в кооперативных самоорганизующихся системах вполне возможно.

## Заглядывая в будущее

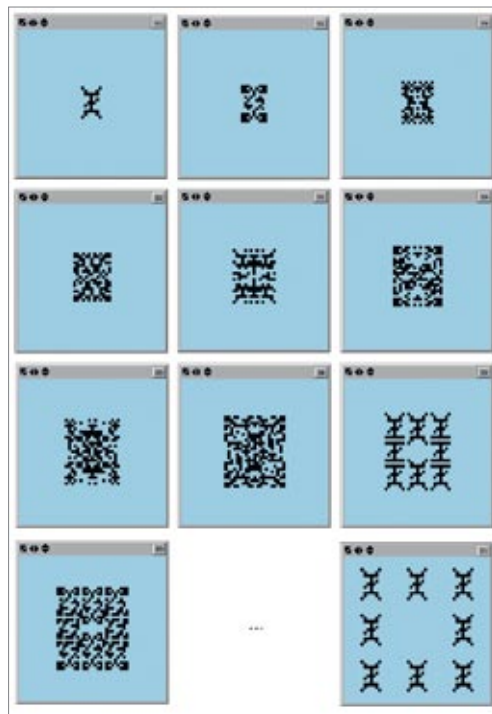
Наделять машины некоторыми свойствами, присущими лишь живым организмам, начали авторы научно-фантастической литературы, пик развития которой пришелся примерно на 1960–1970-е годы. На страницах произведений то и дело появлялись так называемые механозародыши, представляющие собой своего рода механические аналоги семян, из которых должны были рождаться и вырастать машины. Таковы металлические яйца-механозародыши из «Белого конуса Алаида» братьев Стругацких или специфические снаряды-семена стеклянного купола из «Эдема» Станислава Лема. Скорее отрицательный, пессимистический опыт создания и искусственной эволюции самовоспроизводящихся механизмов военного назначения был описан в рассказе Анатолия Днепровца «Крабы идут по острову». Вместе с тем идея, высказанная автором, заразительна и интересна.

Возникшая в научно-фантастической литературе XX века эмбриомеханика рассматривалась как очень далекая и призрачная перспектива. Уж очень фантастичной выглядела сама идея роста и размножения машин. В фантастике того времени рассматривался преимущественно вариант машин, собирающих свои копии, подобно станкам с программным управлением.

По-новому взглянуть на проблему создания размножающихся машин дает основание бурное развитие нанотехнологий [5]. В основе создания элементов нанотехнологических устройств уже лежит не столько ручное или механизированное прямое манипулирование деталями, но самоорганизация. Она является тем ключевым элементом, который позволяет говорить о самовоспроизведении машин как не о фантастической идее, а как о научной проблеме.

Способность к росту и самовоспроизводству обусловлена процессами самоупо-

► Рисунок 1. Самовоспроизводящиеся (размножающиеся) конфигурации в клеточном автомате Фредкина



рядочивания структур живой материи на атомно-молекулярном уровне организации. Молекулярные наноразмерные механизмы живой природы способны эффективно фиксировать, преобразовывать и нужным образом упорядочивать молекулярный материал непосредственно из окружающей среды. Живая материя являет собой удивительный пример самоструктурирования вещества. Желудь способен инициировать процессы молекулярных преобразований, приводящие к возникновению гигантского, растительного организма – дуба – прямо из земли, воздуха и солнечного света. Информация, закодированная в молекулах сложной органической начинки желудя, разворачивается и зримо воплощается в макроскопических формах внешнего облика растения.

Живые организмы, естественные биологические машины изготавливаются не на фабрике, а возникают в процессе морфогенеза. Никто свыше им не руководит, и он не нуждается во внешних силах в виде рабочих-сборщиков, которые устанавливали бы нужные детали будущего живого существа на нужное место. Для создания размножающихся машин важно понять и воспроизвести основной механизм морфогенеза.

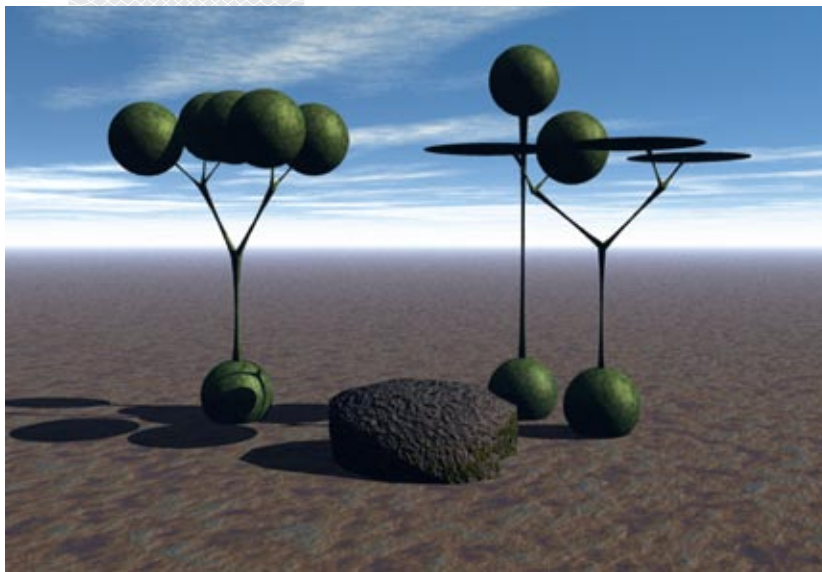
Согласитесь, внешне самопроизвольное развертывание сложных форм живого существа из одной единственной клетки напоминает чудо. Все сложные взаимосвязанные структуры живого организма возникают в результате самоорганизационных процессов, которые управляются локальными взаимодействиями между делющимися клетками, а правила этих взаимодействий определяются работой набора генов в каждой из клеток. Хотя в пределах одного организма набор генов в каждой из клеток идентичен, но, тем не менее, благодаря многочисленным оперонным системам регуляции (теория Жакоба и Моно), каждая клетка в состоянии по-разному реагировать на локальные внешние условия, запирая одни гены и, напротив, активируя другие. В этом смысле набор генов организма напоминает свод правил развития клеточного автомата, который в зависимости от конкретных параметров локальных взаимодействий между ячейками способен порождать различные сложные упорядоченные структуры, вырастающие по



◀ Рисунок 2. Морфогенез клеточного симметроида. Авторская разработка

данным правилам из одной единственной клетки. На рисунке 2 приведены результаты моделирования клеточного автомата, разработанного автором настоящей статьи в качестве обобщенной модели, иллюстрирующей механизм морфогенеза. Возникающие в результате моделирования структуры предлагается называть клеточными симметроидами [6, с. 21].

Итогом развития всей макроскопической структуры биологического организма является воспроизводство множества слегка измененных копий исходного зародыша, с которого некогда начался его рост. Таким образом, самовоспроизводящиеся, размножающиеся машины должны обладать примерно схожими свойствами, например способностью к росту за счет внешнего молекулярного материала. Их структуры должны строиться путем контролируемых некоторым образом самоорганизационных процессов. Цикл развития размножающейся машины должен начинаться с исходной зародышевой структуры – механозародыша – если использовать терминологию, принятую в научно-фантастической литературе. А заканчиваться – образованием механозародышей или зародышевых структур нового поколения.

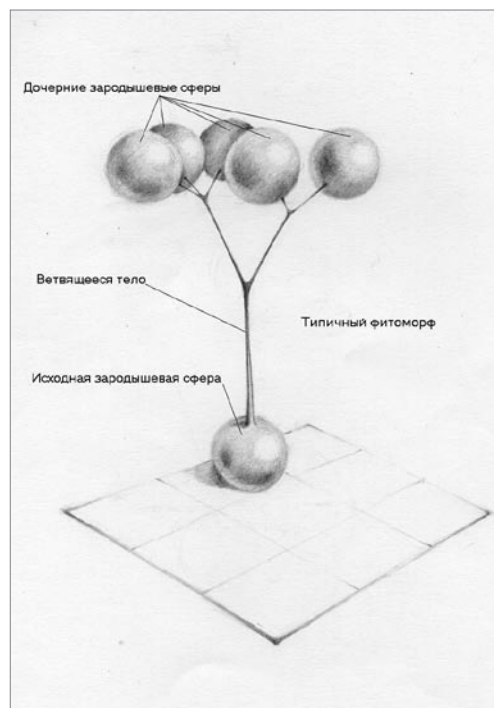


▲ Рисунок 3.  
Квазифрактальные  
фитоморфы.  
Подготовлено автором  
при помощи редактора  
трехмерной графики  
Vruse 6.0

### Прототип саморазмножающихся наноструктур

Рассмотрим принципиальную схему организации и функционирования саморазмножающихся машин на следующей наглядной мыслительной модели. Представим себе довольно странные на вид объекты, условно названные автором настоящей ста-

► Рисунок 4. Структура  
квазифрактального  
фитоморфа.  
Карандашный рисунок  
автора

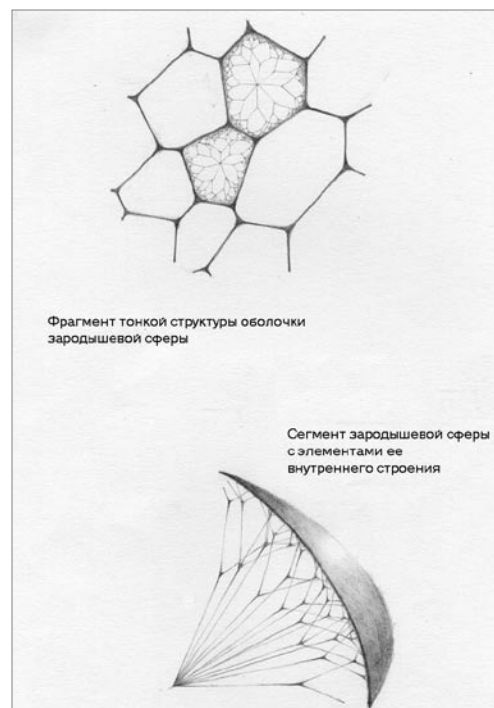


ти квазифрактальными фитоморфами [7, с. 18] (рис. 3).

Исходной структурой, с которой начинается развитие фитоморфа, является так называемая зародышевая сфера, которая, в свою очередь, образована ветвящимися стержневыми структурами, как показано на рисунке 4.

Из центра зародышевой сферы во все стороны расходятся разветвляющиеся стержни. Размеры стержневых ответвлений уменьшаются по мере удаления от центра сферы. Начиная с определенной генерации, ветвление стержневых структур переходит в перпендикулярную их предыдущему росту плоскость, и мелкие ветвящиеся структуры образуют ячеистую оболочку зародышевой сферы (рис. 5).

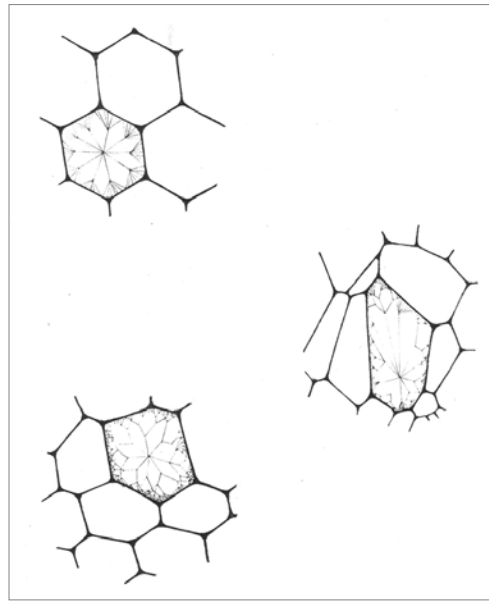
Развитие нового фитоморфа начинается с одной из ячеек оболочки зародышевой сферы, которая располагается в самой верхней ее точке. Границы ячейки становятся основой для роста стенок исходной стержневой структуры или «стебля» будущего фитоморфа. Растущий «стебель» фитоморфа имеет в своем сечении форму исходной ячейки зародышевой сферы. По мере увеличения линейного размера стержня увеличивается вероятность его ветвления. В какой-то момент исходный стержень



разветвляется и дает начало росту дочерних стержневых отростков. При этом сечение исходного стержня-«стебля» повторяет форму исходной ячейки зародышевой сферы. Интенсивность и конкретный ход процесса ветвления будет зависеть от этой формы, так как возникающие в стенках исходного стержня механические напряжения повлияют на процесс образования соответствующих перетяжек в начале процесса ветвления. Ячейки, образованные перетяжками в узле ветвления исходного стержня, определяют собой форму сечения дочерних стержневых отростков.

В дальнейшем аналогичный процесс ветвления происходит с дочерними отростками, и так повторяется снова, пока при достижении некоторого критического размера стержня не происходит разветвление малых отростков во все стороны: тогда начинается процесс образования дочерней зародышевой сферы. Стержни, образующие сердцевину, ветвятся и, доходя до определенного размера, начинают ветвиться в перпендикулярной плоскости, вновь образуя тонкую ячеистую структуру зародышевой сферы. Образовавшись, зародышевая сфера готова отделиться от родительского фитоморфа и дать начало новой ветвящейся структуре (рис. 6).

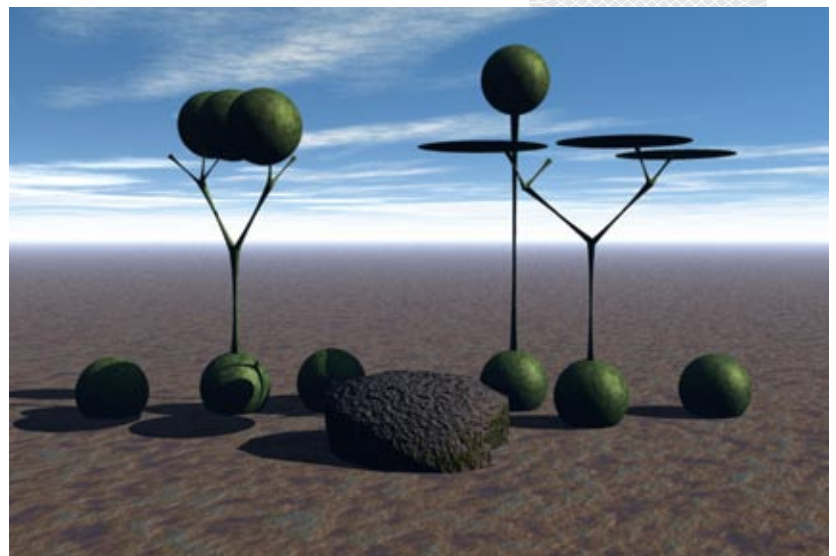
Конкретная форма каждого фитоморфа задается формой исходной ячейки зародышевой сферы. В свою очередь, форма ячеек тонкой структуры оболочки зародышевой сферы определяется интенсивностью и характером ветвления стержневых структур фитоморфа. Таким образом, в процессе их самовоспроизведения, с одной стороны, происходит наследование свойств родителей, а с другой – имеет место изменчивость, которая может создавать условия для самосовершенствования фитоморфов путем естественного отбора и дарвиновской эволюции. Несмотря на то что фитоморфы по сути не выполняют каких-либо заметных практических функций, на их примере можно проиллюстрировать принципы, на основе которых могут быть реализованы саморазмножающиеся машины. Прежде всего, такие машины меняются во времени и проходят свой цикл развития – от зародышевой структуры через рекурсию к квазифрактальным телесным формам, а далее, на основе тех же рекурсивных алгоритмов, к новым зародышевым структурам.

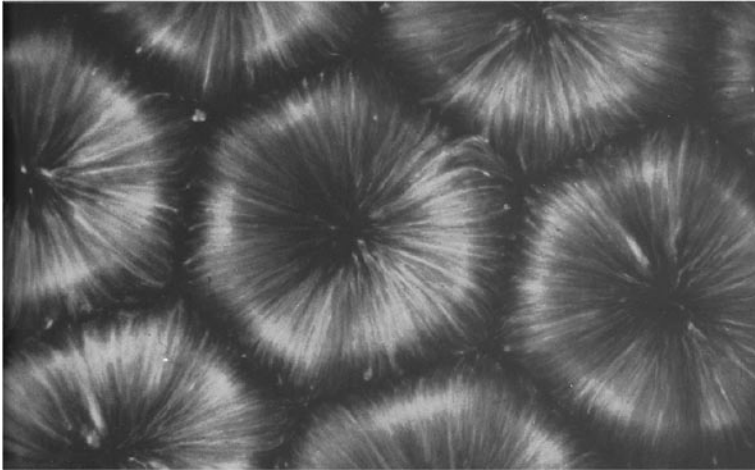


◀ Рисунок 5.  
Варианты тонкой структуры оболочек зародышевых сфер. Карандашный рисунок автора

Фитоморфы представляют собой некие мыслимые структуры, предназначенные для воспроизводства самих себя. Тело фитоморфа является продолжением зародышевой сферы, а зародышевые сферы нового поколения представляют собой итог развития его тела. Благодаря ветвлению фитоморф способен размножать зародышевые сферы. Из одной исходной получается несколько дочерних. Все они хотя и наследуют основные свойства родителей, но, благодаря индивидуальным особенностям формы каждой из ячеек тонкой структуры, обладают изменчивостью. Каждый новый фитоморф, хоть

▼ Рисунок 6.  
Фитоморфы в фазе опадания дочерних зародышевых сфер. Подготовлено автором при помощи редактора трехмерной графики Bryce 6.0





▲ Рисунок 7.  
Микрофотография  
ячеек Бенара-  
Марангони

и похож на родительский, но не идентичен ему. Форма сечения стержневых структур, образующих его тело, всегда сугубо индивидуальна. На процесс ветвления стержневых структур оказывает влияние степень искаженности формы ячейки, которая, в свою очередь, зависит от характера и интенсивности ветвления соматических структур фитоморфа. Так, например, неветвящийся экземпляр фитоморфа (рис. 3 и 6), выросший из ячейки совершенно правильной шестигранной формы, напоминающей ячейки Бенара-Марангони (рис. 7). Внутренние напряжения в растущем стержне такой правильной формы не возникают и вероятность ветвления крайне мала. Дочерняя зародышевая сфера у такого фитоморфа будет лишь одна, и тонкая структура ее оболочки будет состоять из ячеек такой же правильной формы. Таким образом, в данной мыслительной модели наследуется энтропийные характеристики

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гете, И.В. Избранные сочинения по естествознанию / И.В. Гете. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 555 с.
2. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
3. Turing, A.M. The Chemical Basis of Morphogenesis / A.M. Turing // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 237 (641), 1952. – P. 37–72.
4. Digital Philosophy [Electronic resource]. – Mode of access: [www.digitalphilosophy.org](http://www.digitalphilosophy.org). – Date of access: 15.04.2016.
5. Дрекслер, К. Эрик. Машины создания. Грядущая эра нанотехнологии / К. Эрик Дрекслер; пер. с англ. М. Свердлов // Энкор Букс (AnchorBooks) 1986 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-reading.ws/book.php?book=20550>. – Дата доступа: 15.04.2016.
6. Колесников, А. Эволюция клеточных симметроидов / А. Колесников // *Компьютерные вести*. – 2000. – 7 сентября.
7. Колесников, А. Квазифрактальные фитоморфы и креативная компьютерная графика / А. Колесников // *Компьютерные вести*. – 2002. – 24 октября.

процесса ветвления, которые и определяют общую форму тела фитоморфа.

В модели мыслимы качественные мутационные изменения. Например, можно представить себе фитоморф (рис. 3 и 6), у которого при образовании зародышевых сфер процесс разветвления ее внутренней основы происходит не в трех, а лишь в двух измерениях. В этом случае вместо зародышевой сферы образуется листоподобная круглая пластина. Можно предположить, что с ее помощью фитоморф будет более эффективно усваивать солнечную энергию, что увеличивает его шансы на выживание. Данный признак вполне может закрепиться естественным отбором и дать начало новому виду фитоморфов.

Рассмотренная нами мыслительная модель представляет собой лишь некий условный прототип размножающихся и эволюционирующих наноструктур. Но, тем не менее, она иллюстрирует мыслительную принципиальную возможность существования подобных машин-созданий. В отличие от традиционной техники такие размножающиеся структуры способны автономно воспроизводить самих себя, а также приспосабливаться к окружающей среде, самосовершенствоваться и эволюционировать.

Произошедшая в науке конца XX века синергетическая революция неизбежно найдет свое воплощение в новой технике. Машины следующего этапа развития второй природы будут самоорганизовываться из молекулярного материала, обладать зачатками эмоций и субъективных ощущений, способностью к самовоспроизводству и эволюции подобно живым существам первой природы. В отличие от современных машин, которые во время и после завершения своего жизненного цикла загрязняют продуктами своего функционирования и последующего распада биосферу, самовоспроизводящиеся наномашинки потенциально способны использовать молекулярный материал отработавших свой жизненный цикл экземпляров предыдущего поколения. Новая техника должна стать опорой следующего витка в развитии человечества, более эффективного использования вещества и энергии, улучшения условий существования на нашей планете, а также освоения космического пространства, распространения разума и культуры человечества за пределы Земли. ■