

## Базовые модели Дмитрия Сергеевича Чернавского

Г. Ю. Ризниченко

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
биологический факультет, кафедра биофизики,  
Россия, 192234, г. Москва, Ленинские Горы, 1, стр. 12

E-mail: riznich46@mail.ru

История научной деятельности Дмитрия Сергеевича Чернавского — это история применения естественно-научного, физического подхода к изучению сложных систем и эволюционных процессов в живой природе и обществе. Попытка выразить закономерности этих сложных процессов на языке уравнений помогает проникновению в суть этих процессов. В Библии говорится, что, давая имена растениям и животным, человек обретает власть над ними и ответственность за них. Записывая наши представления о закономерностях процессов в виде математических соотношений, мы претендуем на понимание этих процессов и потенциальную возможность управлять этими процессами; вмешиваться в эти процессы, как это имеет место в случае биоинженерии.

Ключевую роль при этом играют самые простые модели, которые мы называем базовыми. Современные информационные технологии позволяют строить очень подробные детальные модели систем и процессов, основываясь на данных экспериментальных исследований. Примером служат модели молекулярной динамики. Мы можем очень подробно имитировать процесс (англоязычный термин *simulation* хорошо отражает этот факт), основываясь на законах взаимодействия отдельных компонентов сложной системы. Результаты такого моделирования могут дать прогноз поведения системы при разных условиях — разных значениях параметров. Но чтобы достичь «понимания» (или иллюзии понимания) того, что же происходит с системой, исследователи все равно представляют результаты моделирования в терминах характеристик макросистемы: рассчитывают энергию, вероятности отдельных состояний и т. п.

Дмитрий Сергеевич Чернавский умел писать простые уравнения для описания сложных явлений в физике, живой природе и обществе. История науки показывает, что сложные структуры и процессы могут хорошо описываться простыми уравнениями. Чудо — не сложность нашего мира, а простота уравнений, описывающих эту сложность.

В свете этого особенно ценными являются базовые модели макросистем. Авторы этих моделей выступают в роли волшебников, обладающих способностью мыслить категориями единого мира. Именно таким человеком был Дмитрий Сергеевич Чернавский. Он занимался самыми различными областями науки, создал концепции и базовые модели, которые легли в основу совершенно новых направлений в науке, важные для решения не просто частных задач, а для понимания общего устройства мира, в котором мы живем.

Дмитрий Сергеевич прожил необыкновенно длинную и плодотворную жизнь. Занимаясь многими разделами науки (атомной и ядерной физикой, биологией, экономикой), он всегда искал ответ на один и тот же вопрос: в чем заключается (от слова «ключ») закон и смысл разных проявлений жизни? В чем основная изюминка, краеугольный камень самоорганизации, которая

привела к рождению жизни и благодаря которой развиваются наука, техника, культура. Как рождается новая информация? За совершенно разными явлениями он чувствовал единство. Именно так рождаются великие идеи, базовые модели, лежащие в основе понимания мира, в котором мы живем.

Д. С. чувствовал единство с миром и ощущал единство самых разнообразных явлений в природе и обществе. Он испытывал внутреннюю потребность понять самому и показать людям, в чем заключается это единство. В этом смысле он был врожденным синергетиком.

Кандидатская диссертация Д. С. «Изучение взаимодействия нейтрона и протона при малых энергиях вариационным методом» (1955 г.) и докторская диссертация «Периферическое взаимодействие частиц высокой энергии» (1965 г.) посвящены вопросам атомной физики. В физических явлениях Д. С. интересовали нелинейные режимы, в том числе автоколебания и наличие мультистационарности, условием того и другого является существование в системе неустойчивых стационарных состояний.

В конце 60-х годов Д. С. увлекся возможностью описания с помощью простых нелинейных моделей важнейших свойств живых систем. Стремление и способность просто и логично объяснить сложные явления привели его к разработке концепции «белок-машина», созданию теории туннельного переноса электрона при фотосинтезе и формулировке гипотезы механизма отбора единого биологического кода.

Дмитрий Сергеевич сформулировал представление о том, что причиной отбора является не преимущество одного кода над другими, а присущее системе свойство неустойчивости симметричного стационарного состояния, соответствующего сосуществованию равноправных объектов (см. приложение).

**Взаимный антагонизм ведет к неустойчивости.** Вот «общечеловеческий» вывод из этой базовой модели, который Д. С. сам и его последователи неоднократно потом демонстрировали на моделях систем, описывающих процессы самой разной природы. Концепция ключевой роли неустойчивости симметричного стационарного состояния легла в основу теории рождения ценной информации и борьбы условных информационных, которая, в свою очередь, была использована при создании моделей виртуальной истории.

Дмитрий Сергеевич всегда щедро делился своими мыслями с коллегами и научной молодежью. Он был прекрасным лектором и десятки лет читал лекции студентам-биофизикам МГУ. Он сделал сотни докладов на научных конференциях, в том числе выступал на всех 23 конференциях «Математика. Компьютер. Образование».

Дмитрий Сергеевич любил писать книги. Не статьи, а именно книги, в которых нет строгой формы изложения и можно позволить себе отступления от собственно предмета исследования, общие философские и общезначимые рассуждения, а часто и шутку. Его последней книгой, которую для себя он называл «реквием», стала книга «Синергетика и информация. Динамическая теория информации». В этой книге Д. С. подвел итоги своим размышлениям над природой самых разных явлений, которые он изучал в течение десятков лет. Книга уже имеет четыре издания и, безусловно, будет переиздаваться снова и снова, потому что ее глубокий смысл еще предстоит понять.

Дмитрий Сергеевич обсуждает общность законов, лежащих в основе явлений разной природы, и для обозначения стремления представить в рамках единого подхода все явления природы вводит термин «всеединство» — синоним термина «интеграция». Он определяет цель науки: «...Познать мир как целое, при этом развивающееся целое. Для биологов и социальных наук развитие очевидно, для физиков — становится очевидным в связи с изучением эволюции Вселенной».

Понимая синергетику как чрезвычайно широкое научное мировоззрение, как универсальный эволюционизм, Дмитрий Сергеевич размышляет о том, что же является краеугольным камнем развития. Вот его слова:

«Говорят, что синергетика — наука о нелинейных процессах, это правильно, но не это главное. Говорят, что синергетика — наука о системах, далеких от термодинамического равно-

весия, это тоже верно, но и это не главное. Говорят, что синергетика — наука о самоорганизации развивающихся систем, и это действительно так. Однако, как следует из всего предыдущего, в основе самоорганизации лежат неустойчивые процессы. Поэтому можно сказать, что синергетика — наука о неустойчивых процессах, это верно, и, более того, это главное». И далее: «Возникновение информации возможно только в неустойчивых условиях. Иными словами, неустойчивость является необходимым условием развития. Наконец, в интеграции наук неустойчивость играет ключевую роль».

Идеи синергетики Дмитрий Сергеевич высказывал повсюду, привлекая в стан синергетической парадигмы множество людей, принадлежащих как научно-образовательному сообществу, так и миру политики и бизнеса. Он выступал на множестве профессиональных и образовательных конференций, в том числе на более чем 20 конференциях серии «Математика. Компьютер. Образование». Вот слова Дмитрия Сергеевича Чернавского из его интервью, опубликованного в книге «Ассоциация “Женщины в науке и образовании”» (М., 2008, с. 206–207), которое он дал Наталье Анатольевне Винокуровой, члену Правления Ассоциации, ведущему научному сотруднику Центрального экономико-математического института РАН.

«Синергетика — это научное направление, цель которого — соединить вместе точные, естественные и гуманитарные науки... Мы, синергетики, не всегда друг с другом согласны. Тем не менее главное заключается в том, что все мы хотим создать эпоху нового ренессанса. Это наша мечта, это наша задача, и к этому мы стремимся. Я, в частности, тоже».

Дмитрий Сергеевич, безусловно, был человеком энциклопедических знаний и огромного творческого потенциала. Он внес весомый вклад во многие области науки: квантовую физику, математическую биологию, биофизику фотосинтеза, теорию информации, когнитивную науку, социологию, экономику. Этот перечень отнюдь не исчерпывает всех направлений его деятельности. Широта научных и жизненных интересов Д. С. Чернавского поражает. Он был гуманистом и романтиком. Всем своим коллегам и собеседникам он стремился передать положительные флюиды своих мыслей и человеческого тепла.

## Приложение

### Задача о конкурентном взаимодействии двух равноправных видов

Пусть имеется  $N$  видов объектов, обладающих одинаковой способностью к репродукции, между которыми установились отношения антагонизма. То есть при встрече разного вида объектов численность каждого из них уменьшается. Уравнения для скорости изменения численности каждого вида объектов имеют вид

$$\frac{dx_i}{dt} = \alpha X_i - \gamma \sum_{j=1, j \neq i}^N X_i X_j, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Здесь  $\alpha$  — эффективный коэффициент репродукции,  $\gamma$  — вероятность гибели в результате встречи.

Рассмотрим простейший случай двух видов объектов:  $x$  и  $y$ . Система уравнений имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \gamma xy, \quad \frac{dy}{dt} = \alpha y - \gamma xy. \quad (2)$$

Система имеет два стационарных решения:

$$\begin{aligned} 1) \quad & \bar{x}_1 = 0, \quad \bar{y}_1 = 0; \\ 2) \quad & \bar{x}_2 = \frac{\alpha}{\gamma}, \quad \bar{y}_2 = \frac{\alpha}{\gamma}. \end{aligned} \quad (3)$$

Исследование устойчивости этих стационарных состояний методом Ляпунова показывает, что нулевое решение представляет собой неустойчивый узел, а симметричное ненулевое состояние представляет собой седло — также является неустойчивым. Фазовый портрет системы представлен на рис. 1.

В этой системе в зависимости от начальных условий выживает и размножается до бесконечности один из видов, второй вымирает.

Система (2) демонстрирует важнейшее свойство систем с конкуренцией — неустойчивость симметричного стационарного состояния. Однако она обладает тем недостатком, что не учитывает имеющихся в любой реальной ситуации ограничений роста. Модель, учитывающая самоограничение численности видов в форме Ферхюльста и различные скорости размножения отдельных видов, может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= a_x x - b_{xy} xy - c_x x^2, \\ \frac{dy}{dt} &= a_y y - b_{yx} xy - c_y y^2.\end{aligned}\tag{4}$$

В такой модели имеется четыре стационарных состояния: нулевое для обоих видов (всегда неустойчивый узел), два состояния, которые соответствуют выживанию только одного вида и вымиранию другого, и состояние, соответствующее ненулевым численностям обоих видов. Характер устойчивости последнего зависит от соотношения величин параметров. При одинаковых скоростях роста и коэффициентах самоограничения и конкуренции это состояние может быть устойчивым, если коэффициент самоограничения видов выше, чем коэффициенты их взаимной конкуренции. В противном случае это состояние представляет собой седло, и в зависимости от начальных условий выживает лишь один из видов.

Ясно, что в реальности угнетение «чужих» преобладает над угнетением «своих». В этом случае фазовый портрет системы (4) для равноправных видов (коэффициенты прироста численности видов и коэффициенты их самоограничения одинаковы) представлен на рис. 2.

Сходный фазовый портрет будет иметь система, если ограничение возможностей роста задано не в виде ферхюльстовских членов, как в уравнении (4), а в каком-либо ином виде. Например, если пища поступает в систему в ограниченном количестве.

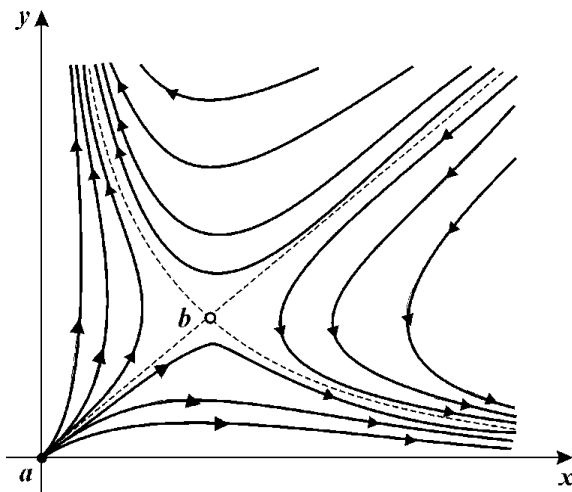


Рис. 1. Фазовый портрет системы (2), описывающей отбор одного из двух равноправных видов в отсутствие ограничений роста;  $a$  (начало координат) — неустойчивый узел,  $b$  — седло

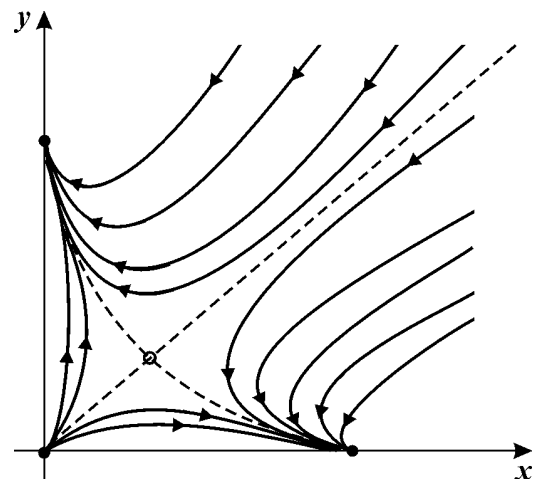


Рис. 2. Фазовый портрет системы, описывающей явление конкуренции между двумя равноправными видами с учетом самоограничения их роста

## Монографии Д. С. Чернавского

- Чернавский Д. С., Карп В. П., Родитат И. В., Никитин А. П., Чернавская Н. М.* Распознавание. Аутодиагностика. Мышление (Синергетика и наука о человеке). — М.: Радиотехника, 2004.
- Чернавский Д. С.* Синергетика и информация: динамическая теория информации. 2-е изд. — М.: УРСС, 2004.
- Чернавский Д. С., Чернавская Н. М.* «Белок-машина»: биологические макромолекулярные конструкции. — М.: Янус-К, 1999.
- Веселовский В. А., Веселова Т. В., Чернавский Д. С.* Стресс у растений. Биофизический подход. — М.: МГУ, 1993.
- Чернавский Д. С.* Синергетика и информация. — М.: Знание, 1990 (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика», № 5).
- Vasiliev V. A., Romanovskii Yu. M., Chernavskii D. S., Yakhno V. G.* Autowave Processes in Kinetic Systems. Spatial and Temporal Self-Organization in Physics, Chemistry, Biology and Medicine. D. Reidel Publishing Company Dordrecht / Boston / Lancaster / Tokyo, 1987.
- Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С.* Математическая биофизика. — М.: Наука, 1984.
- Балантер Б. И., Ханин М. А., Чернавский Д. С.* Введение в математическое моделирование патологических процессов. — М.: Медицина, 1980.
- Чернавская Н. М., Чернавский Д. С.* Туннельный транспорт электронов в фотосинтезе. — М., 1977.
- Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С.* Математическое моделирование в биофизике. — М.: Наука, 1975.
- Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С.* Что такое математическая биофизика? Кинетические модели в биофизике. — М.: Просвещение, 1971.

## Избранные статьи Д. С. Чернавского

- Chernavskaya O. D., Chernavskii D. S., Karp V. P., Nikitin A. P., Shchepetov D. S., Rozhylo Ya. A.* An architecture of the cognitive system with account for emotional component // Biologically Inspired Cognitive Architecture (BICA). — 2015. — Vol. 12. — P. 144–154.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И., Малков С. Ю., Щербаков А. В.* Короткие экономические циклы // Эволюция экономической теории: воспроизводство, технологии, институты. — СПб.: Алетейя, 2015. — С. 119–130.
- Гринин Л. Е., Малков С. Ю., Пантин В. И., Чернавский Д. С.* Угрозы развитию России и задачи стратегического планирования // Экономические стратегии. — 2015. — Т. 17, № 7. — С. 46–59. — М.: ИНЭС.
- Чернавский Д. С., Малков С. Ю., Павлов М. М., Старков Н. И.* Модель финансовых «пузырей» на фондовом рынке // Мировая динамика. Закономерности, тенденции, перспективы. — М.: ЛИБРОКОМ, 2014. — С. 449–474.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И., Малков С. Ю., Коссе Ю. В.* Смена поколений как фактор долгосрочной циклической динамики в экономике // Мировая динамика. Закономерности, тенденции, перспективы. — М.: ЛИБРОКОМ, 2014. — С. 348–361.
- Чернавская О. Д., Чернавский Д. С., Карп В. П., Никитин А. П.* О подходе к моделированию мышления с позиций динамической теории информации // Подходы к моделированию мышления / Ред. В. Г. Редько. — М.: УРСС, 2014. — С. 29–88.

- Chernavskaya O. D., Chernavskii D. S., Karp V. P., Nikitin A. P., Shchepetov D. S.* An architecture of thinking system within the Dynamical Theory of Information // *Biologically Inspired Cognitive Architecture (BICA)*. — 2013. — Vol. 6. — P. 147–158.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И., Малков С. Ю., Коссе Ю. В.* Модель циклов Кондратьева // *Финансы и реальный сектор: взаимодействие и конкуренция*. — Нестор-История, 2013. — С. 166–173.
- Чернавская О. Д., Чернавский Д. С., Карп В. П., Никитин А. П., Рожило Я. А.* Процесс мышления в контексте динамической теории информации. Ч. I. Цели и задачи мышления // *Сложные системы*. — 2012. — № 1 (2). — С. 25–41.
- Чернавская О. Д., Чернавский Д. С., Карп В. П., Никитин А. П.* Процесс мышления в контексте динамической теории информации. Ч. II. Понятия «образ» и «символ» как инструменты моделирования процесса мышления средствами нейрокомпьютинга // *Сложные системы*. — 2012. — № 1 (2). — С. 47–67.
- Малков С. Ю., Чернавский Д. С., Коссе Ю. В., Старков Н. И., Щербаков А. В.* Влияние военных расходов на экономику: сколько платить за военную безопасность? // *Сценарий и перспектива развития России / Ред. В. А. Садовничий*. — М.: ЛЕНАНД, 2011. — С. 288–304.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И., Малков С. Ю., Коссе Ю. В., Щербаков А. В.* Модель современной макроэкономики России // *Сценарий и перспектива развития России / Ред. В. А. Садовничий*. — М.: ЛЕНАНД, 2011. — С. 126–159.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И. и др.* Об эконофизике и ее месте в современной теоретической экономике // *Успехи физических наук*. — 2011. — № 181. — С. 767–773.
- Малков А. С., Малинецкий Г. Г., Чернавский Д. С.* Система пространственных динамических моделей аграрных обществ // *История и математика: макроисторическая динамика общества и государства / Ред. С. Ю. Малков, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев*. — М.: КомКнига; УРСС, 2007. — С. 168–181.
- Чернавский Д. С., Чернавская Н. М., Малков А. С., Малков С. Ю.* Борьба условных информационных // *История и синергетика: Математическое моделирование социальной динамики / Ред. С. Ю. Малков, А. В. Коротаев*. — М.: КомКнига; УРСС, 2005. — С. 88–102.
- Коротаев А. В., Чернавский Д. С., Малков А. С., Чернавская Н. М.* Математические модели исторической демографии (Как хаос на микроуровне порождает предсказуемую динамику на макроуровне?) // *Общественные науки и современность*. — 2005. — № 5. — С. 140–154.
- Чернавский Д. С., Старков Н. И., Щербаков А. В.* О проблемах физической экономики // *Успехи физических наук*. — 2002. — Т. 172. — С. 1045–1066.
- Чернавский Д. С.* Ответ на письмо М. В. Фока в редакцию УФН // *Успехи физических наук*. — 2001. — Т. 171. — С. 1147–1147.
- Чернавский Д. С.* Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики // *Успехи физических наук*. — 2000. — Т. 170. — С. 157–183.
- Чернавская О. Д., Чернавский Д. С.* Фазовый переход в кварк-глюонной плазме и гидродинамическая теория // *Успехи физических наук*. — 1988. — Т. 154. — С. 497–521.
- Чернавский Д. С.* Туннельный транспорт электронов в биологии // *Успехи физических наук*. — 1984. — Т. 143. — С. 326–328.
- Чернавский Д. С.* Энциклопедия биофизики // *Успехи физических наук*. — 1979. — Т. 129. — С. 554–555.
- Чернавский Д. С.* Оригинальная книга по биофизике // *Успехи физических наук*. — 1975. — Т. 116. — С. 365–366.
- Чернавский Д. С.* Несколько замечаний о двух возможных механизмах действия СВЧ на гемоглобин // *Успехи физических наук*. — 1973. — Т. 110. — С. 469–469.

- Чернавский Д. С.* О моделировании некоторых биологических процессов // Успехи физических наук. — 1972. — Т. 107. — С. 157–159.
- Романовский Ю. М., Чернавский Д. С.* О взаимной синхронизации автоколебательных реакций, протекающих во многих объемах // Колебательные процессы в биохимических и химических системах. — Пушино-на-Оке, 1971. — С. 296–299.
- Чернавский Д. С.* Упругие и неупругие взаимодействия адронов высокой энергии // Успехи физических наук. — 1970. — Т. 104. — С. 680–680.
- Дрёмин И., Ройзен И. И., Чернавский Д. С.* Роль неупругих процессов при высоких энергиях и теория фэйрболов // Успехи физических наук. — 1970. — Т. 101. — С. 385–428.
- Фейнберг Е. Л., Чернавский Д. С.* Сильные взаимодействия при весьма высокой энергии // Успехи физических наук. — 1964. — Т. 82. — С. 3–81.
- Чернавская Н. М., Чернавский Д. С.* Периодические явления в фотосинтезе // Успехи физических наук. — 1960. — Т. 72. — С. 627–652.
- Розенталь И. Л., Чернавский Д. С.* Теоретические и экспериментальные данные об образовании частиц при высоких энергиях // Успехи физических наук. — 1954. — Т. 52. — С. 185–238.