

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.В. Коваленко

**МЕТАМОРФОЗ ПОНЯТИЙ
ЧАСТИЧНО ИНФИНИТНОЙ ГИДРОЛОГИИ
В КОНТЕКСТЕ ДЕСТРУКЦИИ ОНТОЛОГИИ
М. ХАЙДЕГГЕРОМ**

Монография



Санкт-Петербург
2015

УДК 556.16.072:[11+167]

ББК 26.222:87.21

К56

Рецензенты: С.А. Кондратьев, д-р физ.-мат. наук (зам. директора Института озероведения РАН); Ривера Эберт Гонсало, д-р философии (Ph. D), Universidad Militar Nueva Granada, Богота, Колумбия.

Коваленко В.В. Метаморфоз понятий частично инфинитной гидрологии в контексте деструкции онтологии М. Хайдеггером. Монография. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 132 с.

ISBN 978-5-86813-417-3

В монографии на примере руслового и многолетнего речного стока рассматривается методология формализации понятий, которые необходимо вводить в математические модели в случае неустойчивости их решений. Неустойчивость рассматривается как атрибутивное свойство развивающихся систем, для временной стабилизации которых новым понятиям придается статус независимых переменных в вероятностных моделях, описывающих эволюцию плотности вероятности характеристик изучаемых гидрологических объектов. Показывается роль философии М. Хайдеггера в методологии моделирования развивающихся систем.

Предназначена специалистам-гидрологам, студентам, аспирантам и лицам, интересующимся методологией науки.

Kovalenko V.V. Metamorphosis concepts partially infinite Hydrology in the context of the degradation of the ontology of M. Heidegger. Monograph. — St. Petersburg, RSHU Publishers, 2015. — 132 pp.

The monograph on the example of channel and long-term streamflow river flow is considered methodology formalization of concepts that must be entered in the model in the case of instability of their decisions. The instability is seen as an attribute property of developing systems for temporary stabilization of new concepts which have the status of independent variables in the probabilistic models describing the evolution of the probability density of hydrological characteristics of the studied objects. Shows the role of the philosophy of Martin Heidegger in developing the methodology for modeling systems.

It is intended for hydrologists, students and people interested in the methodology of science.

© Коваленко В.В., 2015

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2015

ISBN 978-5-86813-417-3

Введение (терминологические комментарии)

Обычно во введении излагается (часто поверхностно) суть монографии и ее содержание. Но это уже сделано в аннотации и оглавлении. Поэтому ниже попробуем отойти от общего шаблона и прокомментируем ключевые слова, которыми представлено название книги. Эти поясняющие соображения можно рассматривать как углубление и дополнение аннотации, позволяющие потенциальному читателю заинтересоваться или не заинтересоваться (в зависимости от общего его умонастроения) содержанием монографии и решить, стоит ли тратить время на ее чтение.

Основным термином в названии, по мнению автора, является **понятие**. Обычно гидрологи предполагают, что они имеют дело с реальными гидрологическими объектами (руслами рек, речными бассейнами и т. п.). С одной стороны, это, конечно, так: расход воды измеряется именно в русле; многолетний сток, с которым имеют дело при обеспечении надежности проектируемых гидротехнических сооружений, формируется именно в речном бассейне и т. д. Но, с другой стороны, **наука** только опосредованно взаимодействует с природными объектами с помощью **представлений** о них. Причем, не просто **наглядных** представлений – «картинок» (ими оперируют все люди и животные), а с помощью **отвлеченных представлений** (представлений о представлениях), т. е. – **понятий**. Вся наука живет «**по понятиям**», которые упорядочены, выявленными в ходе исторического развития, закономерностями. В качестве **примера** можно привести задачу об устойчивости. Слова «сток в речном бассейне неустойчив» – это не более чем «спрямление речи». Речной сток (если его рассматривать как объект, интересующий гидролога) не может быть устойчивым или неустойчивым. Чтобы корректно употреблять данную терминологию, надо сформировать **представление (понятие)** о процессе формирования стока, т. е. некую «выдумку», с которой можно проводить математические операции. Это может быть, например, система дифференциальных уравнений для моментов, аппроксимирующих уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК), см. (1.4 и 1.7). Тогда, сравнительно корректно, можно сказать так: «устойчивость (неустойчивость) решения математической модели формирования стока, представленной системой уравнений для моментов».

Таким образом, устойчивы (или нет) только наши понятия об объекте. Модели (понятия) могут быть разными, в одних случаях их решения устойчивы, в других – нет. (Подробнее о представлениях и понятиях см. [22]).

Для того чтобы обеспечить устойчивость моделирования, понятия могут меняться – испытывать **метаморфозы** (очередной термин, присутствующий в названии книги). Например, некая величина, интерпретируемая как понятие искомой функции, на очередном этапе эволюции наших представлений об объекте может поменять свой смысл и стать независимой переменной. Термин метаморфоз (превращение) был введен в науку К. Линнеем (1755) и означает «видоизменения основных органов растения, связанные обычно со сменой выполняемых им функций или условий функционирования» [5]. Например, у насекомоядных растений листья, выполняющие функции фотосинтеза, преобразуются в ловушки для насекомых, а иногда и мелких животных. Причина подобного их метаморфоза – расположение растения на субстратах, бедных соединениями азота, а также фосфора, калия и других веществ, например, на заболоченных лугах и водоемах. Не менее впечатляющая картина метаморфоза у животных (например: яйца → личинка → куколка → жук). Мотивация метаморфоза – выжить любой ценой, изменяясь в соответствии с требованиями окружающей среды. Но при чем тут «понятия»? А при том, что изменяться может не только материальный объект, но и наши понятия о нем. Если, в рамках фиксирующих его понятий, наше представление об объекте теряет устойчивость (решение математической модели неустойчиво), то необходимо метаморфоз последних (или, повторимся, перевод понятия из одного вида в другой, например, искомую функцию сделать независимой переменной). При этом речь идет о более тонких вещах, чем просто добавление новых понятий, что является основным инструментом при моделировании качественно меняющихся систем.

Читатель может задать вопрос: «Раз метаморфоз это изменение, то почему бы так и не написать в названии книги – «Изменение понятий...»?». Ответ простой: конечно, Петра Ивановича Булкина, 48 лет отроду, инженера-химика, женатого, имеющего двух детей и трижды судимого за ... и т. д., можно назвать просто человек. Чувствуете разницу? За словом «метаморфоз» стоит много конкретики,

отражающей суть этого термина, а за словом «изменение» – просто факт **каких-то** изменений.

Следующие три ключевые слова, присутствующие в названии книги, напишем в связке: «**частично инфинитная гидрология**». Это обозначение того «русла», в котором представлено предметное содержание монографии. Если ситуацию «опошлить» (упростить) и попытаться по аналогии с предыдущим термином заменить три слова одним (и менее вычурным), то можно написать «гидрология». Этот термин говорит обо всем, но ни о чем конкретно в контексте данной монографии. А конкретика эта состоит в следующем. Частично инфинитная гидрология рассматривает процессы эволюции гидрологических объектов, под которыми понимаются предметные области (это могут быть и методики решения каких-либо гидрологических задач и многое другое, а не только упрощенное толкование этого слова: болота, озера и т. п.), фиксация которых рациональными научными понятиями теряет устойчивость. Эта потеря может происходить как в результате **объективного** развития объекта (например, превращения озера в болото или образования – «на глазах» – гряд на дне реки), так и в результате субъективного развития самого гидролога, который начинает замечать новые (для него) свойства предмета исследования, которые он не видел раньше.

Если начертить сферу и все что внутри считать известным (финитным), а все что снаружи – неизвестным (инфинитным), то на границе (поверхности шара) происходит их взаимодействие, в основном через действия, которые увеличивают протяженность этой (частично инфинитной) границы (ведь шар «раздувается» за счет знаний). Тем самым формируется наше знание о своем незнании. Эта идея в определенной степени рационализирована в частично инфинитной гидрологии. Зачем нам надо знание о своем незнании? Чтобы осознавать наличие тупиков (освоенного незнания) для их дальнейшего преодоления путем расширения частично инфинитной границы, т. е. усложнения модели (приведшей в тупик) с помощью введения новых понятий и переосмысления (метаморфоз) назначения старых.

Теперь относительно **деструкции онтологии М. Хайдеггером**. Какая связь между, в основном, прикладной наукой гидрологией и туманной философией одного из самых глубоких и трудно воспринимаемых философов XX в.? Дело в том, что в монографии рас-

смачивается не просто гидрология, а частично инфинитная гидрология, т. е. те ее аспекты, которые связаны с моделированием развивающихся систем, попыткой контролировать (математически) появление нового в природе и в сознании. Гидрология – это, в данном случае, скорее, полигон, на примере которого ведется изложение. С таким же успехом можно использовать любую более или менее математизированную область науки. Просто автор – гидролог и немного в ней разбирается. Но почему именно философия Хайдеггера близка к данной тематике? Потому что он попытался ликвидировать оппозицию бытие–сознание. В его интерпретации сознание – это такое же бытие, правда особого типа: деятельное, экзистирующее. Ведь только затратой энергии (деятельностью) можно получить новое знание, просто, сидя за письменным столом, – нельзя. Если же под познающим субъектом понимать социум в целом, то «за столом» можно «оформить» новое знание, источники которого в деятельности других.

Теперь читателю более или менее ясно кому предназначена эта монография. Формально – специалистам-гидрологам, студентам и аспирантам. Фактически – тем из них, кто интересуется методологией науки и способен не только «действовать», занимаясь конкретными гидрологическими вопросами, но и рефлексировать над своей (или чужой) деятельностью, радоваться выявленным тупикам и возможности их преодоления.

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ по теме: «Адаптация математических моделей формирования вероятностных характеристик многолетних видов речного стока к физико-географическим условиям России для целей обеспечения устойчивости их решений при моделировании и прогнозировании» (№ 1413, № госрегистрации 01 2014 58678).

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ В СВЕТЕ ДЕСТРУКЦИИ ОНТОЛОГИИ М. ХАЙДЕГГЕРОМ

1.1. Метафизика, стили мышления и частично инфинитное моделирование в гидрологии

Первоначальное понимание термина «метафизика» (обозначение того литературного наследия Аристотеля, которое не укладывалось в конкретно-предметную сферу – физику и носило отвлеченный характер – после физики) в настоящее время интерпретируется как ядро философии, состоящее из двух частей: онтологии и гносеологии. (Сейчас довольно настойчиво «заявляет» о своем праве быть третьей частью метафизики и аксиология [43].)

Онтология (ontos – сущее, logos – учение) – учение о бытии. Если слово «бытие» определяется в Философском словаре [64] как «философское понятие, обозначающее существующий независимо от сознания объективный мир, материю», то слово «сущее» в том же словаре вообще отсутствует, а в словаре С. И. Ожегова [51] – определяется как «имеющийся, существующий». В работе [43] различие между ними читателю (не философу) уловить трудно, но оба они символизируют предмет онтологии. Содержание бытия раскрывается в ряде категорий, в том числе определенное и неопределенное (ниже будет понятно, почему мы выделили именно эту пару категорий).

Гносеология определяется как учение о познании бытия, достижении истины. В известном смысле метафизика – это стиль мышления. В таком контексте и учение К. Маркса метафизично, и нет ничего удивительного, что сейчас появляются научные монографии *Метафизика* [6], посвященные философским основаниям современной теоретической физики. Эти стили мышления историчны и отталкиваются от метафизики Платона (истинные сущности – идеи; опора делается на умозрение) и Аристотеля (учение о материи, форме и способе их соединения; опора – на чувственный опыт). Все противоборствующие философские учения – не более чем стили освоения реальности. Даже позитивизм, «издевающийся» над метафизикой с позиции науки и «здорового смысла», просто стиль. Тако-

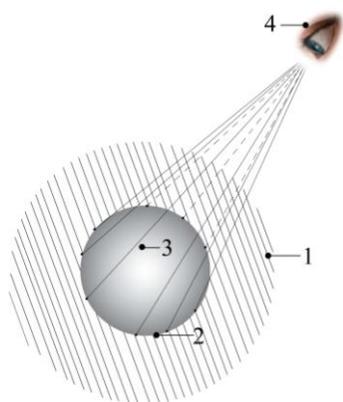


Рис. 1.1. Схема классического процесса познания: 1 – неопределенное бытие; 2 – гносеологическая граница, разделяющая непознанное (1) от познанного (3) (определенного бытия); 4 – субъект познания (по версии автора в философии Хайдеггера 4 «сливается» с 2, см. ниже).

вым является и марксизм, опирающийся на диалектику Гегеля, хотя сам себя и противопоставляет той метафизике, которая склонна видеть мир в «законченном» состоянии.

Особенностью всех этих стилей философствования в рамках классической рациональности является деление реальности на познаваемые (определяемые) объекты и познающие (определяющие) субъекты. Со временем акценты между различными частями метафизики переставлялись, но это деление оставалось неизменным. Если попытаться метафорически визуализировать суть изложенного выше, то можно представить ситуацию, показанную на рис. 1.1.

Все сущее (реальность) подразделяется на уже «освоенное» 3 (т. е. – для чего уже имеется понятие: рационализированная или определенная часть бытия) и все остальное бытие 1, о котором можно сказать «что-то есть», но оно не входит в сферу определенного бытия. Над этой (определенной и неопределенной) реальностью существует субъект 4, который раздвигает границу 2. Этот субъект в разных стилях мышления может быть порождением самого бытия (мыслящая материя – в марксизме), а может рассматриваться как самостоятельная («идеальная») реальность, существующая независимо от бытия. Но противопоставление остается: субъект на материальной подложке формирует поле своей деятельности – объекты (набор рациональных понятий – знание). К этой деятельности относятся и способы добывания нового знания (формирование новых объектов из постулируемого абстрактного сущего).

Марксистский стиль мышления вводит очень важный элемент (а может быть, и решающий) – практику как критерий истинности найденного нового знания. Это уже не «адекватность идей и вещей»

[43], допускающая что у субъекта-наблюдателя есть в наличии как объект, так и знание о нем, и достаточно их сравнить. Но как это сделать, если объект (как бытие) дан нам только в форме знания (определенного бытия), а не непосредственно. В этой ситуации остается, вслед за И. Кантом, допустить, что «вещь в себе» (неопределенное бытие) недоступна для человека (да и как это бытие может быть доступным?) либо радикально изменить критерий истины, что и сделал марксизм. Однако в нем остается оппозиция субъект-объект. Что в ней плохого?

Пусть имеем систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$d\bar{x}/dt = f(\bar{x}, \bar{a}, t), \quad (1.1)$$

где \bar{x} – искомая (ые) функция (ии); \bar{a} – вектор задаваемых параметров, характеризующих моделируемую систему. Все, что входит в систему (1.1) (и она сама в целом) есть прямое следствие определенного бытия (область 3 на рис. 1.1), т. е. это набор понятий, имеющих (по мнению научного сообщества) свои репрезенты в окружающем мире. Сами понятия – атрибуты сознания субъекта и «пощупать» их нельзя (как невозможно, например, «потрогать» понятие равно « \Rightarrow »). Для того чтобы система (1.1) приносила пользу и ее можно было использовать на практике, надо так поставить задачу, чтобы искомое решение было математически корректным (существовать, быть единственным и непрерывно зависеть от исходной задаваемой информации: начальных условий, внешних воздействий и параметров, характеризующих свойства моделируемого объекта и их чувствительность к внешней среде).

Таким образом, объекту противопоставлен субъект, вооруженный понятиями, набор которых ставится в такие условия (обеспечивающие корректность), что еще до самого процесса нахождения решения (например, численного) гарантируется работоспособность оппозиции объект-субъект. Возникает естественный вопрос: а откуда такая гарантия? А она именно из-за разрыва сознания и бытия. Классическая наука (сознание) живет в мире выдумок, упорядоченных таким образом, чтобы в случае действия по предписанному (опять же сознанием) алгоритму получать такую же **осмысленную**

выдумку, для которой находится бытийный репрезент. Вот эта репрезентативность (соответствие) и есть критерий истинности в классической рациональности. Но это соответствие определяет субъект, исходя из своих соображений. Поэтому под данным определением истины могут подписаться представители практически всех стилей мышления.

Марксизм замкнул эту субъективность на объективность (бытие) путем объективации понятия истины, которая хотя и порождается в процессе субъективной (человеческой) деятельности, но само ее содержание от людей не зависит. Формально доказать (т. е. выводя одно знание из другого) истинность невозможно в принципе, потому что доказательство опирается только на знания, уже зафиксированные счетным числом понятий из области 3 на рис. 1.1 (замкнутый круг). Ее критерий в **деятельности**, практике, которая обладает той особенностью, что в ее природе заключена всеобщность, которой наделена и истина. Именно в деятельности, «когда понятие становится “для себя бытием” в смысле практики» [52], улавливается объективная истина.

Таким образом, ситуацию, связанную с оппозицией объект-субъект, можно показать так, как это представлено на рис. 1.2. Если на рис. 1.2, *a* между субъектом и объектом имеет место очевидное противопоставление (вплоть до того, что бытие и сознание рассматриваются как две независимые сущности), то марксизм

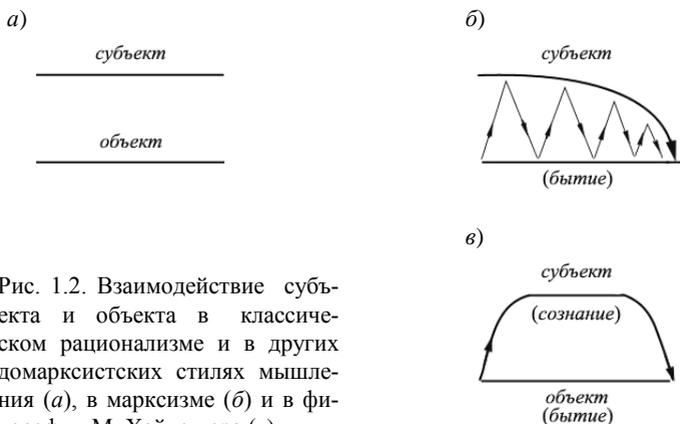


Рис. 1.2. Взаимодействие субъекта и объекта в классическом рационализме и в других домарксистских стилях мышления (*a*), в марксизме (*б*) и в философии М. Хайдеггера (*в*).

(рис. 1.2, б) замыкает результаты познания на фильтр бытия. Субъект много чего может нафантазировать, но эти фантазии должны пройти проверку практикой. Однако **начало** познавательного процесса остается в подвешенном состоянии. Конечно, в марксистской философии теория познания с ее мощным категориальным аппаратом занимает видное место. Более того, материалистическая диалектика связывает законы мышления (субъективность) и законы объективного мира, делая их чуть ли не тождественными. Поэтому верхняя и нижняя линии на рис. 1.2, б должны практически сливаться. И, тем не менее, этого не происходит – их оппозиция остается основой теории познания. Правда, в марксизме однозначно указывается, что источником развития процесса познания является изменение в предметной **деятельности** человека. Однако это правильное утверждение носит настолько общий и размытый характер, что тут же появляется тезис об опережающем практику познании. Но что это означает «на практике»? Что определенное (мыслящее) бытие (область 3 на рис. 1.1), маневрируя освоенными понятиями, начинает раздвигать границу 2 в область 1. А зачем сознанию (упорядоченному набору рациональных структур) это нужно? Ведь источник познания в деятельности. Значит субъект – это одновременно и объект, деятельно взаимодействующий с другим объектом и осознанно (или случайно) попадающий в такие сферы неопределенного бытия, которые требуют своего определения. Опираясь, например, просто на модель (1.1) и правила корректного оперирования ею (понятия, определяющие часть бытия), нельзя оказаться в реальности под цифрой 1: там нет понятий, которыми только и оперирует сознание. Значит там может оказаться только материальный носитель этого сознания (определенного бытия). Сидя за письменным столом, нового знания нельзя получить в принципе. Но так как сознание – это сознание социума (социальная среда и есть в широком смысле слова познающий субъект), то кто-то из этого социума мог в результате деятельности (своей или чужой) оказаться в сущем из области 1, эмоционально **пережить** небывалую ситуацию и поделиться своими переживаниями. Тогда, действительно, кто-то другой (или он сам) может, задним числом, осмыслить это переживание и снабдить его понятиями, согласованными (в каком-то смысле) с уже существующими в области 3 понятиями. Получить новое

знание, расширяющее границу 2. Это заведомо нарушает «корректность» системы (1.1) в новых сферах реальности. Поэтому понастоящему новое знание можно получить только переживанием (может быть, и умозрительным, если таковое существует, но переживает материальный носитель нашего сознания) с нарушением корректности (замкнутости на себя) мышления.

Рассмотрим ситуацию на гидрологических примерах. Пусть уравнение (1.1) используется для моделирования стокоформирования на речном водосборе и имеет следующий вид:

$$dQ/dt = -Q/k\tau + \dot{X}/\tau, \quad (1.2)$$

где Q – расход воды; k – коэффициент стока; τ – время релаксации речного бассейна; \dot{X} – осадки; t – время.

Проведем рассуждения в терминах частично инфинитного моделирования. В данной монографии не ставится цель познакомить читателя с данным направлением во всех его аспектах; предполагается, что он уже знаком с ним или может познакомиться по монографиям автора из списка литературы. Отметим только, что этот подход развит для моделирования развивающихся объектов, к которым может относиться и сознание субъекта. Собственно говоря, это отождествление субъекта и объекта является основным мотивом интереса к философии Хайдеггера, которая затрагивает некоторые мировоззренческие аспекты частично инфинитного подхода. В нем «сущее» (реальность) разбивается на три части: финитная – (рационализированная ее область – определенное бытие 3 на рис. 1.1 в терминах предыдущего рассмотрения); инфинитная составляющая 1 на рис. 1.1 – часть «сущего», не выразимого в понятиях финитной реальности, хотя это «сущее» также может быть финитным с другим набором понятий (обе эти финитные области «не видят» друг друга – взаимно инфинитны); частично инфинитная реальность – граница между ними 2 на рис. 1.1.

В уравнении (1.2) они представлены явно (в действительности) или в потенции (возможности). Все символы математических действий ($/$, $=$, $-$, $+$, d) и искомая функция от времени $Q(t)$ являются набором финитных параметров, находящихся «внутри» области 3

на рис. 1.1. Параметры k , τ и \dot{X} – частично инфинитные, так как они, с одной стороны, определяют свойства фиксированной предметной области, но, с другой стороны, на них могут влиять свойства окружения, которые еще не зафиксированы (если мы их – эти свойства определим и явно введем в (1.2), то они сами становятся частично инфинитными, так как могут зависеть от «своего» нитного окружения). Например, осадки (внешнее воздействие) тично инфинитны, так как они, с одной стороны, определяют ство фиксированной предметной области – речного бассейна, но, с другой стороны, на них может влиять синоптическая обстановка, которая нами пока не зафиксирована. Если мы ее определим и явно учтем, дополнив (1.2) уравнениями динамики атмосферы, то они становятся сами частично инфинитными, так как могут зависеть от «своего» инфинитного окружения. Осадки, с одной стороны, ны конкретным числом (столько-то миллиметров в единицу времени), но, с другой стороны, их происхождение в рамках модели (1.2) не известно (они могут быть как фронтального, так и внутримассового происхождения).

Если задать всю информацию, необходимую для корректного решения уравнения (1.2) (начальное условие $Q(t = t_0)$; коэффициенты $k > 0, \tau > 0$; внешнее воздействие $\dot{X} \geq 0$), то получим график 1 на рис. 1.3. Приносит ли это практическую пользу? Да, например, обеспечивается возможность прогнозирования стока $Q(t)$ при $t > t_0$ (причем $Q(t)$ поддается проверке, что обеспечивает, в той или иной степени, достоверность прогнозирования). Но добываем ли мы таким путем новое знание? В гносеологическом смысле – нет: при известности модели (1.2) и задании всей информации, обеспечивающей корректность решения, все (с точки зрения получения нового знания) уже известно в стартовой позиции при $t = t_0$. В данной ситуации нет практического тупика, из которого надо выйти путем выявления **нового** знания. Мы получили новую информацию при прогнозировании, но это знание выводное, оно логически следует из старого знания, использованного при постановке прогностической задачи.

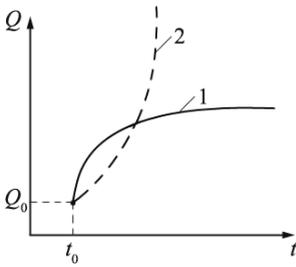


Рис. 1.3. Корректное (1) и некорректное (2) решение уравнения (1.2).

Можно тупик создать искусственно. Например, взять $k < 0$ и тогда решение уйдет на бесконечность (кривая 2 на рис. 1.3), которой не существует в реальности (на практике). Она индикатор того, что мы выходим за рамки финитной реальности. Но «выйти» можно как в новую сущность, так и в иллюзорный мир. Если бы неравенство $k < 0$ отвечало практике, то действительно можно было бы сказать, что практическая

действительность запустила познавательный процесс (т. е. – необходимость корректировки модели (1.2), чтобы ей отвечала какая-либо реальность, связанная с практической деятельностью, а не иллюзорный мир). В данном же случае процесс квазипознания запустила некорректная постановка задачи ($k < 0$), а не практика.

Но можно привести более сложный пример, в котором тупик появляется самым естественным образом. Введем в уравнение (1.2) белые гауссовские шумы:

$$dQ = [-(\bar{c} + \tilde{c})Q + \bar{N} + \tilde{N}]dt, \quad (1.3)$$

где $c = 1/k\tau$; $N = \dot{X}/\tau$; символ « \rightarrow » означает статистическую норму, а « \sim » – белый шум.

Уравнение (1.3) статистически эквивалентно уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК), описывающего эволюцию плотности вероятности $p(Q, t)$:

$$\frac{\partial p(Q, t)}{\partial t} = -\frac{\partial(Ap)}{\partial Q} + 0,5 \frac{\partial^2(Bp)}{\partial Q^2}, \quad (1.4)$$

где A и B – коэффициенты сноса и диффузии, определяющие скорость изменения математического ожидания приращений расходов и их квадратов и выражаемые формулами

$$A(Q, t) = -(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})Q - 0,5G_{\bar{c}\bar{N}} + \bar{N}; \quad (1.5)$$

$$B(Q, t) = G_{\bar{c}}Q^2 - 2G_{\bar{c}\bar{N}}Q + G_{\bar{N}}, \quad (1.6)$$

где $G_{\bar{c}}$ и $G_{\bar{N}}$ – интенсивности, а $G_{\bar{c}\bar{N}}$ – взаимная интенсивность шумов.

Для задания плотности вероятности в гидрометеорологии (и не только в ней) ограничиваются несколькими начальными моментами (эмпирические оценки которых можно считать статистически значимыми при продолжительности рядов в несколько десятилетий). Поэтому аппроксимируем уравнение (1.4) системой обыкновенных дифференциальных уравнений для начальных моментов m_i i -го порядка (подобная процедура давно известна в теории случайных процессов [56]):

$$\begin{aligned} dm_1/dt &= -(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})m_1 - 0,5G_{\bar{c}\bar{N}} + \bar{N}; \\ dm_2/dt &= -2(\bar{c} - G_{\bar{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\bar{c}\bar{N}}m_1 + G_{\bar{N}}; \\ dm_3/dt &= -3(\bar{c} - 1,5G_{\bar{c}})m_3 + 3\bar{N}m_2 - 7,5G_{\bar{c}\bar{N}}m_2 + 3G_{\bar{N}}m_1; \\ dm_4/dt &= -4(\bar{c} - 2G_{\bar{c}})m_4 + 4\bar{N}m_3 - 14G_{\bar{c}\bar{N}}m_3 + 6G_{\bar{N}}m_2. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Как связана система (1.7) с классическими распределениями плотности вероятности, используемыми в гидрометеорологии? В стационарном вероятностном режиме ($dm_i/dt = 0 \forall_i$) ее решение представляется семейством распределений К. Пирсона, являющихся следствием одноименного уравнения

$$\frac{dp}{dQ} = -\frac{Q - a}{b_0 + b_1Q + b_2Q^2} p, \quad (1.8)$$

где a, b_0, b_1, b_2 – коэффициенты.

Уравнение (1.8) появилось задолго до модели ФПК и отнюдь не в связи с гидрометеорологией. Его решениями пытались (довольно

успешно) аппроксимировать эмпирические распределения (гистограммы), добиваясь хорошего соответствия путем изменения численных значений «подгоночных» коэффициентов a, b_0, b_1, b_2 , которые связывались с моментами m_i , но не с физико-статистическими параметрами, входящих в систему уравнений (1.7) ($\bar{c}, G_{\bar{c}}, G_{\bar{N}}, G_{\bar{c}\bar{N}}, \bar{N}$). Такую связь удалось выявить после строго математического вывода уравнения (1.4) А. Н. Колмогоровым в 1938 г. (ранее уравнение носило имя Фоккера–Планка).

Таким образом, вместо уравнения (1.2), определяющего «гидрологическое бытие» для динамических (строго детерминистических) процессов изменения расхода (модуля или слоя стока), имеем более детальное определение этого «бытия». При таком определении задействовано гораздо больше понятий, характеризующих процесс стока (по крайней мере, многолетнего) не только категорией **необходимость** (строго детерминистически), но еще и, вдобавок, **случайность** (статистической закономерностью, включающей как случайность, так и необходимость).

Для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1.7) также существуют условия корректности решения, при которых $m_i \rightarrow \infty$. Но в отличие от уравнения (1.2), когда мы вывели решение на бесконечное значение путем нарушения логики «гидрологического бытия», зафиксированного данной моделью, предположив абсурдность ($k < 0$), в данном случае спровоцировать попадание в инфинитную реальность может само «бытие» (более широко – определенное «гидрологическое бытие», удовлетворяющее уже не уравнению (1.2), а системе (1.7)): при $G_{\bar{c}} > 2\bar{c}/i$ моменты m_i стремятся к бесконечности. Таким образом, тупик создает не искусственно субъект познания, а само определенное (видимо, плохо) бытие. А тупик – это призыв к выходу из него, для чего нужно находить новое знание о бытии. Следовательно, не только достоверность нового знания подтверждается практикой, но ей же мотивируется и начало научного поиска, что дает право замкнуть на линию объектов линию субъектов в ее начале (рис. 1.2, в).

1.2. Хайдеггеровское «бытие нового типа» и «опошление» философии при моделировании

Далее этот полуобъект-полусубъект или, по Хайдеггеру, «объект особого типа» пытается осознать, что конкретно стоит за параметром $G_{\tilde{c}}$, вызывающим неустойчивость. Если бы это было нечто, понятие для которого уже имеется, то научная проблема решалась бы без выхода в инфинитность, но тогда не было бы и получения нового знания, оно было бы выводным. Фактически происходит следующее (мы сейчас рассуждаем, так сказать, задним числом). Параметром $c = 1/kt$, входящим в рассматриваемые модели, учитываются, в основном, потери стока на испарение. Но такого понятия, как испарение, в рамках системы дифференциальных уравнений (1.7) не существует, а кроме этого вариации \tilde{c} могут происходить и за счет других причин, для которых также нет понятий в рамках модели (1.7), например, за счет изменения влагозапасов в почвогрунтах. Надо определенное, может быть, длительное взаимодействие инфинитного бытия с бытием-субъектом; просто так объект не может взаимодействовать с субъектом, живущим освоенными понятиями. И тут ключевой момент появления на сцене хайдеггеровского стиля мышления, о котором – ниже.

Обратим внимание на интересное обстоятельство: даже не выходя в инфинитную реальность, полусубъект-полуобъект может определить число новых понятий, которые надо ввести в рассмотрение, чтобы вывести ситуацию из тупика. Анализируя методами фрактальной диагностики [18], ряд расходов (понятие которого уже присутствует в рамках логики модели (1.7) – ведь моменты находятся для случайного процесса изменения расхода), он может определить размерность пространства вложения, в которое надо «вложить» рассматриваемую проблему. По-простому – сколько еще фазовых переменных наряду с расходом необходимо ввести в рассмотрение, чтобы по-новому определить гидрологическое бытие и в расширенном этом определении снять проблему. Но важно то, что умозрительным путем (чистым сознанием субъекта) идентифицировать, что из себя представляют эти новые фазовые переменные нельзя, в принципе, – по той же самой причине: сознание и бытие

(субъект и объект) не могут взаимодействовать – нужен «медиатор» в виде «подложки»-бытия, на которой развилось сознание.

Можно задаться вопросом: Как же без выхода в инфинитную реальность сознание (субъект), выполняя фрактальную диагностику, находит число этих взаимодействующих с расходом фазовых переменных? А очень просто: они взаимодействуют не с ним – субъектом, а с расходом – понятием, для которого есть бытийный (материальный) репрезент. В конечном итоге, только после выхода «объекта особого типа» в инфинитность можно найти требуемое расширение фазового пространства, в котором проблема (данная) исчезает (например, путем перехода к двумерным распределениям $p(Q, E)$, где E – испарение).

В данном случае используется свойство фрактальности развивающихся систем. Характерной особенностью этого свойства является то, что развивающаяся система (речной бассейн, рассматриваемый с точки зрения механизма формирования стока на нем) в любой фазовой переменной содержит информацию о других переменных, которые с ней взаимодействуют. Не в том смысле «кто» именно взаимодействует, а сколько их всего. Это свойство – следствие фракталов «запихивать» бесконечные значения объектов меньшей размерности в конечные объекты большей размерности (свойство природы таить бесконечное в конечном – своеобразная экономия массивом передаваемой информации [39]).

Какая мотивация была у Хайдеггера, когда он ввел в обиход свое бытие особого типа? Метафизика в XX в. дважды подвергалась существенной ревизии, направленной на устранение оппозиции субъект-объект. Первая попытка была сделана с позиций позитивизма, делавшего ставку исключительно на научное (позитивное) знание, опирающееся на естественно-эмпирическую теорию познания, свободную от «метафизических (и, прежде всего, онтологических) предпосылок» [43]. Однако, учитывая, что ни онтология, ни гносеология не существуют сами по себе (в отрыве друг от друга; это, скорее, диалектическая пара, пытающаяся «клещами» охватить реальность), то подход позитивистов, отвергающих «профаническую онтологию объективного бытия» [43], – просто смещение акцентов на одну из «клешней» (как у крабов). Это смещение достигло максимума в эмпириокритицизме (Авенариус, Мах), объа-

вившем чувственный опыт единственным источником познания (само это умозрительное утверждение чего-то единственным уже есть метафизика).

Но различие между субъектом и объектом (Я и не-Я–средой – так условно делится эмпирическая данность) действительно частично стирается; также оно исчезает между восприятием и рефлексией. Изменение содержания Я происходит в соответствии с принципом «экономии мышления», над которым так иронизировал В. И. Ленин [38]. Но особого повода для иронии нет: развитие (по мнению эмпирикритиков) носит аддитивный характер – новое знание накладывается на уже существующие (полученное в прошлом опыте) таким образом, чтобы его изменения сводились к минимуму. А разве не так происходит в действительности? Например, теория А. Эйнштейна, даже если предположить, что она не верна, не отвергает механику Ньютона и вообще ее не «трогает», а просто «говорит», что при больших скоростях появляются эффекты, которые раньше не замечались. Эта идея однородности опыта (с ней согласен и близкий к позитивистам А. Пуанкаре) просто эмпирический факт, с которым трудно спорить.

В современной интерпретации эту идею надо понимать следующим образом [23, 42]. Мир рассматривается как квантовая система, и ее эволюция по уравнению Шредингера сводится к изменению суперпозиции $(c_1\psi_1 + \dots + c_n\psi_n + \dots)\vec{\varphi}_0 \rightarrow c_1\psi_1\vec{\varphi}_1 + \dots + c_n\psi_n\vec{\varphi}_n + \dots$ (здесь ψ_n – возможные состояния системы, которые реализуются с определенным весом c_n ; $\vec{\varphi}_0$ – вектор, характеризующий состояние макроприбора (окружения); $\vec{\varphi}_n$ – состояние прибора, которое интерпретируется наблюдателем как указание на то, что измеряемая система находится в состоянии ψ_n), которая в результате взаимодействия квантовой системы с макроприбором (наблюдателем-фильтром) оказывается в конкретном состоянии $\Psi_n (\equiv c_n\psi_n\varphi_n)$, входящем в суперпозицию $\sum \Psi_n$. Все остальные компоненты «исчезают», «экономия мышления»; на самом деле выживают все компоненты, но они мутируют в результате познавательного акта взаимодействия. Наблюдатель видит только **один** результат наблюдения. Это связано с тем, что так устроено сознание наблюдателя: человек не может воспринимать (осознавать, точнее) одновременно

другие. Сознание – оно и есть разделение альтернатив (выбор варианта классического мира) – является **атрибутом** живой материи. Если мы живем в квантовой реальности (а это «весь» мир), то вынуждены выделять в сознании конкретные предметные области («экономить мышление»), чтобы не расплываться на весь этот непредсказуемый мир, а эволюционировать в локально предсказуемом (финитном) его «куске», существенно не зависящем от всего остального.

Таким образом, для своей полноты надо, чтобы квантовая механика включала **сознание**, которое разделяет суперпозицию различных классических миров (именно эта суперпозиция объективно представляет квантовую реальность). Суперпозиция – это аддитивный набор возможностей, который становится доступным только в бессознательном состоянии (ведь только сознание их разделяет): медитация, транс и т. д. Мы не будем углубляться в эту линию рассуждений, но именно она приводит к объединенной теории материи и духа. Физически, реально существует только квантовый мир, находящийся в состоянии суперпозиции, а наше сознание создает его классические проекции. Поэтому классического мира вообще объективно не существует, его иллюзии (проекции квантовой реальности) возникают только благодаря сознанию живых существ. В бессознательном состоянии эти иллюзии (фиксированные предметные области) утрачиваются, так как это состояние – атрибут квантовой реальности, представляющей весь мир. А у всего мира, как целого, нет никакого окружения, а значит, нет возможности взаимодействовать (не с кем), т. е. давать себя измерять (познавать).

Конечно, эта интерпретация «экономии мышления», как закона развития, требует глубокого (квантового) понимания реальности, которого в начале XX в. не было. Самими эмпириокритиками экономии мышления рассматривалась гораздо уже: как постулируемый «закон развития души» [43], т. е. превалировал его метафизический характер (как и ранее переставлялись акценты – с трансцендентного на имманентный – в данном случае). Поэтому и появилась в XX в. вторая попытка преодоления метафизического стиля мышления. Ошибкой позитивистов Хайдеггер считал сам факт противопоставления имманентного трансцендентному (знания – реальности, субъекта – объекту), т. е. он считал неправомерной «отображательную

концепцию сознания». Поэтому пересматривает само понятие **феномен**. У Хайдеггера это не кантовская видимость (явление), за которой стоят «вещи в себе», а реальные вещи «в их нескрытости» и «данности чьему-то сознанию» (здесь и ниже в кавычки взяты термины из [43]), т. е. «неотделимы от сознания, которому открыты». Однако они не составные части сознания (т. е. все-таки «вещи в себе»). Таким образом, Хайдеггер встал над трансцендентным и имманентным и элиминировал сами эти понятия, заменив их понятием бытия. Это автоматически повлекло изменение (по крайней мере, переосмысление) всех традиционных понятий, включая субъект и объект.

Хайдеггер объяснил, почему его феноменология должна опираться на категорию бытие. Последнее открывается в виде отдельных сущих и среди последних особое сущее (центральное хайдеггеровское понятие), выражающее бытие человеческой личности: «бытие-здесь» – *Dasein*. Это не субъект и не сознание, а именно Я как особая форма бытия. Субъект и сознание – это как раз предвзятые метафизические истолкования моего Я, от которых и следует «отстраниться» [43]. Атрибутивным свойством *Dasein* является «существование в **чем-то**», а конкретнее – в мире вещей, хотя само оно вещью не является. «*Dasein* и мир вещей образуют неразделимое единство, между ними нет никакого трансцезуса: *Dasein* и вещи, составляющие мир, однородны в том смысле, что суть различные формы бытия. Хайдеггер предупреждает, что взаимоотношения между *Dasein* и миром вещей нельзя интерпретировать в традиционном субъектно-объектном смысле» [43].

(Видимо, уместно сделать замечание, связанное с цитированием. Первоисточников хайдеггеровской философии, переведенных на понятный русский язык, по-видимому, просто не существует. Есть перевод В. В. Бибихина главного труда Хайдеггера «Бытие и время» [65], однако он настолько авторизованный, что его не рекомендуют (по крайней мере, для использования в учебном процессе) даже сами специалисты по философии Хайдеггера – при полном уважении к самому переводчику. Действительно, вот образец из книги: «...Специфическое экстатичное единство, делающее страх экзистенциально возможным, временит первично из характеризованного забывания, которое как модус бывшеести модифицирует принад-

лежащее к нему настоящее и будущее в их временении. Временность страха есть ожидающе-актуализирующее забывание. Ближайшим образом понятливое толкование страха в меру своей ориентации на внутримирно встречное пытается определить как перед-чем страха «настоящее зло» и соответственно этому отношению к нему – как ожидание. Что сверх того принадлежит к феномену, оказывается “ощущением удовольствия или неудовольствия”». И дело тут, видимо, не в переводе, а в стиле мышления самого Хайдеггера, нюансах немецкого языка и глубинных основах самой его философии. А вот отрывок того, как сам Бибихин комментирует своеобразие перевода [65]: «...После приблизительного освоения, которого требует вообще любой язык, придет догадка, что здесь не при словах имеется и подлежит отысканию значение, а при мысли, которая сама по себе, свободная, всегда спрашивает и ищет впотьмах, есть слова, только не так, что они терминологически обслуживают мысль, а так, что их впервые выслушивают в полноте их звучания, когда они как бы примериваются к миру. Дойти туда, куда нас тут ведут, без собственного усилия, это все равно как мы воображали бы себя во Фрейбурге, проследив путь по географической карте. Даже вредно читать Хайдеггера, не заметив как можно скорее, что смысл, **если уж он у него вообще есть** (выделено мной – В.К.), всегда прост или, вернее, обязательно всегда очищающий, выправляющий нагромождения сознания. Вывести из камер на простор – назначение его “конструкций” в каждом абзаце и в каждой фразе, другим делом он не занят, в тесноте умственных построений ему не интересно. Если что-то в этой книге не выводит к прямому смыслу, прошу винить переводчика и пробовать понять трудное место из параллельных разработок, подготовительных или развертывающих. Нам предлагают не мысленные упражнения и эстетскую задумчивость, а выход в бытие, которое “всегда мое”, т. е. нашу главную работу...». В контексте изложенного учебное пособие для магистрантов [43], подготовленное ведущими философами С.-Петербургского университета, доводит материал в адаптированном и хорошо воспринимаемом читателем виде.)

Определенным аспектом существования Dasein в мире является **познание**, которое темпорализует Dasein и является определенным отношением между различными формами бытия. Ну, а раз это –

форма, то оно не может опережать бытие, которое и мотивирует сам процесс познания. Dasein и наличные вещи – равноправные формы бытия и контакт между ними «осуществляется просто в виде **встречи**». И только благодаря этой встрече проявляются вещи, о которых можно сказать, что они наличествуют в мире. Но проявитель действует только на подобное самому себе. Поэтому и вещи не объекты, и Dasein не субъект, их нельзя ставить в оппозицию друг к другу. Так что же их объединяет (кроме термина бытие)? Деятельность, практика человека. И познание (в научном смысле) появляется как высшая форма **заинтересованности** (корысти) человека в мире. Никакой он не эйнштейновский созерцатель природы, скромно наблюдающий из-за уголка за миром и полностью подчиняющийся законам природы, а центр мира (сначала – мира подручных вещей, а затем и окружающего мира вообще). Время – его и пространство – его, он в центре и символов, и понятий, и возникающих вокруг **него** тупиков, из которых он выбирается, делая мир открытым для себя, благодаря своей деятельности (делу). А рафинированная научная методология порождает такой же рафинированный мир природы, не зависимый от человека: это – объект, а это – субъект. Не тут-то было...

Так что же такое Dasein, если пользоваться визуальным «оплещением» философии? Это частично инфинитная граница (2 на рис. 1.1). Линия, не имеющая своего личного наполнения. Она движется в пространстве определенного и неопределенного бытия (а также в геометрическом пространстве и времени). О ней (нем?) можно говорить только здесь и сейчас. Это не отстраненный глаз наблюдателя (4 на рис. 1.1), а соучастник и фермент событий (цифра 4, совмещенная с цифрой 2 на рис. 1.1).

Сделаем еще несколько комментариев, проясняющих суть революции Хайдеггера. Известно, что в греческой философии велась борьба за поиски неизменной основы бытия. Одна («растительная» [43]) точка зрения заключалась в ставке на то, что основой является изменение, становление, а другая – подлинное бытие тождественно не изменению, а мысли (неизменной идее). Отсюда и парадоксы Зенона, доказывающего, что изменений, которые происходят в реальном мире, нет в сфере бытия идей. Платон примирил эти противоположности путем использования гибкого диалектического

языка, позволяющего познавать (мыслить) переход одного в другое. Две застывшие идеи (покой и движение) как клещами (диалектическими) помогают удерживать и познавать бытие. Это пример рождения диалектических клещей. Но все что рождается, обязано умереть. Пример такого умирания оппозиции субъект-объект дает философия Хайдеггера. Все подобные явления исторически обусловлены. Но означает ли последнее, что распад этой оппозиции прекращает процесс познания? Нет, конечно. Просто дальше должны включаться новые механизмы, иная пара категорий, другие клещи. Цивилизация вышла на такой уровень развития, что субъект-объектные возможности были исчерпаны. Какие новые? Об этом Хайдеггер не говорит, а без такого механизма вряд ли естественные науки в настоящее время готовы полностью принять какую-либо теорию познания, в которой субъект и объект полностью бы сливались. (Примером, видимо, еще более грандиозным, аналогичного умирания может служить элиминация пары материальное–идеальное, о чем уже упоминалось, когда рассматривался переход Менского.)

Возможно, вероятностное описание (моделирование) бытия ($P(Q, E, \dots)$) уже есть шаг в сторону Хайдеггера, некий научно-естественный паллиатив. Если, например, в модели (1.2) сознание вообще отсутствует (оно же в вершине 4, рис. 1.1, над бытием), то в уравнении (1.4) плотность вероятности (характеристика идеально-го) уже в одной связке с бытием (представленным расходом Q) и является его функцией, что возможно только при их «одинаковости». Конечно, с помощью моделей даже типа (1.4) настоящее знание не получить, а выводное – можно (так как мир вещей, заложенных в (1.4), приобрел свою логическую структуру). Получить с помощью (1.4) новое знание нельзя, так как познается только то, что создается, т. е. необходима **деятельность**, которую нельзя «вписать» ни в какую математическую модель. А для деятельности должно быть «бытие вне понятия» (неопределенное бытие, инфинитная реальность) как **возможность**, актуализируемая действием субъекта (фактически сознания, не являющегося настоящим субъектом, а бытием особого типа или переживающим бытием). Хайдеггеровская возможность частично инфинитна. Она является «положительной определенностью» *Dasein*, которое «всегда уже втяну-

то в одни возможности, пропустило другие» и всегда свободно для их выбора. Тупик (ключевое понятие в частично инфинитной гидрологии) в [43] интерпретируется как **понимание** знания о своем незнании (а значит, и ситуации с возможностями). Осознание (понимание) тупиков и есть окно в неопределенное бытие для его постижения. Если понятия («покрывающие» уже определенное бытие) рассматривать как символы (а значит, «человек – это символическое животное»), то частично инфинитная граница (Dasein) – это способ вырваться из символов, если в этом возникает необходимость в практической деятельности.

Хайдеггеровская экзистенция определяется через способы бытия в мире: время, пространство, понятия – фазовые переменные. Хотя и время, и пространство сами только понятия, но имеет смысл их выделить. При чисто детерминистическом моделировании эти способы бытия системно связаны. Например, если понятием является расход воды, формулой $F(\vec{x}, t, Q) = 0$ ($\vec{x} = (x, y, z)$). В случае использования вероятностных распределений – $F(\vec{x}, t, p(Q)) = 0$. В эти выражения должны входить и коэффициенты моделей, связывающие определенное (финитное) и неопределенное (инфинитное) бытие. Именно ими вольно или невольно манипулирует Dasein, чтобы освоить новые сферы реальности; поэтому эти коэффициенты всегда частично инфинитны и являются атрибутами экзистирующих сущностей. Именно благодаря им невозможно понимание сущности вещей только изнутри определенного бытия (сущность короля не в нем, или не только в нем, а в свете – окружении).

Отсюда следует сильнейшее влияние окружения (конкретных $p, \vec{x}, t, \vec{Y}; \vec{Y}$ – вектор понятий) на понимание истины у Хайдеггера: «истины вообще» не существует, она (истина) – траектория событий в пространстве (\vec{x}, t, \vec{Y}) . (Сегодня, в окружении своего продажного генералитета, ты – царь; завтра, в окружении охраны, – тобольский узник; а послезавтра, в окружении «юровских», – мишень в подвале Ипатьевского дома.)

Почему Хайдеггер так пытается ликвидировать оппозицию субъект-объект и все сделать бытием, а субъекта заменить деятельной субъективностью? В силу «пустоты» и прозрачности сознания

оно открыто «для всего на свете» и фактически является субъективным окном в бытие, «абсолютной свободой». Определение же субъекта связано с рефлексией, т. е. с нарушением прозрачности (окна) сознания из-за появления «внутреннего объекта» («рефлексия порождает субъект как собственный объект»). Поэтому субъект – это сознание, утратившее свободу. Хайдеггер и пытается эту свободу вернуть сознанию, причем так, чтобы последнее являлось непосредственным участником жизненных событий.

Дает ли что-нибудь на практике философия Хайдеггера? Ведь знания добывались всегда вне зависимости от стиля мышления. Но знание надо не только получить, но и **понять**, чтобы его переосмысливать и упорядочивать наиболее эффективным образом. Поэтому понимание, с одной стороны, – это «знание о знании», помогающие его передавать новому поколению. Но, с другой стороны, чтобы двигать науку одного такого понимания мало. «Познание идет от незнания через осознание этого незнания (знание о незнании в духе Н. Кузанского [33] – *В.К.*), оформляющегося в виде проблемы, и от накопления положительного знания – к пониманию как знанию о знании, т. е. идее» [43]. Философия Хайдеггера показывает, где «спусковой крючок», чтобы начать движение к знанию – в осознании тупика, а в тупике может оказаться только само бытие и само же из него выбраться.

Имеет смысл обратить внимание, что факт осознания тупика, постановка проблемы, является более важным, чем «операционально-технические процедуры, направленные на ее решение» [39]. Есть мнение [39], что «будущие системы искусственного интеллекта смогут решать любые проблемы, но не смогут их ставить». Постановка проблемы – прерогатива *Dasein*. Возможно, что примером подобной ситуации является теорема Пуанкаре–Перельмана. Проблему поставил Пуанкаре более 100 лет тому назад (и мимоходом заметил, что она имеет решение), но фактически ее решил Перельман, «набивший руку на решении задач на математических олимпиадах» [7, 34], и, видимо, к этой проблеме, которую до него никто не мог решить, подошел как к «гробовой задаче» (кто учился в 239-м физико-математическом лицее Санкт-Петербурга знает, что это такое).

Таким образом, можно сделать вывод, что развитие творит Dasein, выходя из тупиков, им же и обнаруженных (на своей «шкуре»). Поэтому, чтобы выявить новые явления и закономерности в окружении (неопределенном бытии) надо самому Dasein находиться в процессе развития, что и происходит по самому определению Dasein, как частично инфинитной границы.

Попытаемся формализовать в более конкретной форме «бытование понятий», на которых строятся, если и не все стили мышления, то научно-естественный стиль – точно. Необходимо получить модели общего вида $F(p(\vec{Y}, \vec{x}, t)) = 0$, где \vec{Y} – вектор понятий (фазовых переменных); $\vec{x} = (x, y, z)$ – координаты; t – время. И \vec{x} , и t – такие же понятия, которые все-таки лучше отделить от составляющих вектора \vec{Y} , иначе надо их «завязывать» на вектор \vec{Y} : $\vec{x}(\vec{Y}, t)$, $t(\vec{Y}, \vec{x})$. До этого формализованная классическая наука еще не доросла, хотя отдельные примеры привести можно. Если вектор \vec{Y} конечный (в смысле набора компонент), то ученый находится в полностью определенном бытии (при условии, что задача поставлена корректно). Но если набор компонент не зафиксирован или бесконечный (но счетный), то мы оказываемся в условиях частично инфинитного моделирования с неизбежными тупиками и расширением размерности \vec{Y} при выходе из них. Совместная плотность вероятности $p(\vec{Y}, \vec{x}, t)$ не дает «разбежаться» понятиям и составляет определенное бытие быть информационно осмысленным (при выходе из тупика происходит перенормировка величины $\int_{(\vec{Y}, \vec{x}, t)} p(\dots) d(\dots) = \text{const}$).

Обратимся к моделям, которые будут использоваться (и модернизироваться) в следующих главах монографии. Ниже рассматриваются два вида речного стока: многолетний, в формировании которого принимает участие весь речной бассейн, и русловой, формирующийся в русловой сети речного бассейна в течение нескольких суток (максимум две недели для больших водосборов) и описываемый уравнениями речной гидравлики.

В общем случае многолетний речной сток описывается многомерным вероятностным распределением $p(\vec{Y}, t)$ вектора состояния

речного бассейна \bar{Y} . Это распределение, в случае идеализации процесса формирования стока марковскими случайными процессами, эволюционирует в соответствии с многомерным аналогом уравнения (1.4):

$$\frac{\partial p(\bar{Y}, t)}{\partial t} = -\sum_{i=1}^n \frac{\partial(A_i(\bar{Y}, t)p(\bar{Y}, t))}{\partial Y_i} + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial^2(B_{ij}(\bar{Y}, t)p(\bar{Y}, t))}{\partial Y_i \partial Y_j}, \quad (1.9)$$

где A_i , B_{ij} – обобщают на случай n переменных коэффициенты сноса и диффузии из уравнения (1.4).

Посмотрим, каким образом может быть практически мотивировано увеличение размерности n вектора состояния \bar{Y} ($i = 1, \dots, n$), т. е., переходя к философской терминологии, займемся определением еще не определенного бытия (будем проникать в инфинитные сферы реальности). Пусть мы интересуемся построением распределений $p(Q)$, не выходящих за класс распределений Пирсона, что соответствует требованиям нормативного документа СП 33-101-2003, который вообще ограничивается тремя моментами. В общем случае (в том числе для распределений IV типа) достаточно ограничиться четырьмя начальными моментами, входящими в систему дифференциальных уравнений (1.7). Критерий устойчивости ее решений имеет вид $\beta = G_{\bar{c}}/\bar{c} < 2/i$, где i – порядок момента (существует формула, позволяющая вычислять β по данным стандартных наблюдений на гидрологической сети, о ней см. ниже). При выводе уравнения Пирсона (1.8) из уравнения ФПК (1.4) коэффициенты a, b_0, b_1, b_2 приобретают совершенно определенный физико-географический смысл и имеют вид:

$$\begin{aligned} a &= \frac{G_{\bar{c}\bar{N}} + 2\bar{N}}{2\bar{c} + G_{\bar{c}}}; & b_0 &= \frac{-G_{\bar{N}}}{2\bar{c} + G_{\bar{c}}}; \\ b_1 &= \frac{G_{\bar{c}\bar{N}}}{2\bar{c} + G_{\bar{c}}}; & b_2 &= \frac{-G_{\bar{c}}}{2\bar{c} + G_{\bar{c}}}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

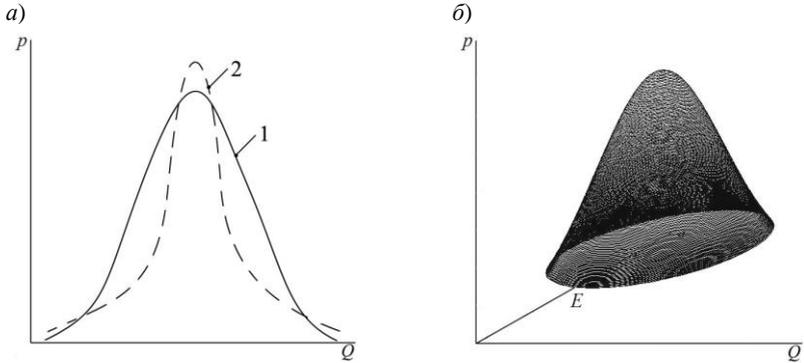


Рис. 1.4. Влияние β на поднятие «хвоста» распределения $p(Q)$ ($\beta_2 > \beta_1$), где индекс соответствует рисунку (а) и двумерное распределение $p(Q, E)$ (здесь E – испарение) с «прижатым хвостом» (б).

Поэтому, численно решая уравнение (1.8) с использованием формул (1.10), можно визуализировать влияние β на форму распределения $p(Q)$, рис. 1.4.

Из рис. 1.4 видно, что с увеличением β найти устойчивые значения обеспеченных расходов становится труднее («хвосты» приподнимаются), а при $\beta=2$ – невозможно, так как «хвост» идет параллельно оси расходов. Для того чтобы выйти из этой ситуации (тупика) есть несколько возможностей:

1. При построении аналитической кривой $p(Q)$, аппроксимирующей эмпирическое распределение (гистограмму), игнорировать старшие моменты, так как чем старше момент, тем меньшая интенсивность шума вызывает его неустойчивость. Например, игнорировать m_4 , а m_3 (а значит, и C_s) не вычислять, а брать, исходя из более сглаженного, районированного (осредненного) значения соотношения C_s/C_v . В практической гидрологии именно так и поступают, не зная ничего при этом про систему (1.7) и критерий β , а ссылаясь на ограниченность рядов наблюдений за стоком, не позволяющую надежно оценивать старшие моменты.

2. Записать уравнение (1.2) в следующем виде

$$dQ/dt = -Q/\tau + k\dot{X}/\tau, \quad (1.11)$$

т. е. использовать при моделировании понятие «эффективные осадки». Тогда (если τ считать полностью детерминированным параметром) внешнее воздействие примет вид $N = k\dot{X}/\tau = \bar{N} + \tilde{N}$, а мультипликативные шумы в системе (1.7) исчезают. Вместе с ними исчезает и проблема неустойчивости. Но какой ценой? Ценой нарушения причинно-следственных связей, так как испарение, учитываемое коэффициентом стока, вовсе не внешнее воздействие, а следствие осадков (наряду со стоком). Тем не менее использование понятия «эффективных осадков» в некоторых случаях себя оправдывает.

3. Ввести в математическое описание процесса формирования многолетнего стока вместо коэффициента стока k , учитывающего потери на испарение, явным образом само испарение. Действительно, проблемы с неустойчивостью создает разность $(\bar{c} - (i/2)G_{\bar{c}})$, входящая в правые части всех уравнений системы (1.7). Но что реально она из себя представляет? Это разность двух величин, так или иначе связанных с испарением: одна (\bar{c}) – статистически осредненная (например, за многолетний период), а другая $(G_{\bar{c}})$ – интенсивность быстroteкущих вариаций. Но если наряду с уравнением для стока (1.2) использовать аналогичное по структуре уравнение для испарения, то мультипликативные шумы «исчезают», породив новую фазовую переменную (E) .

Тогда систему уравнений можно записать таким образом [23]:

$$dQ/dt = (\dot{X}/W_Q - (Q + E)/W_Q)Q; \quad (1.12)$$

$$dE/dt = (\dot{X}/W_E - (Q + E)/W_E)E, \quad (1.13)$$

где Q, E – среднегодовые значения; W_Q, W_E – емкости стоковой и испарительной сред.

Двумерное распределение (при стохастическом обобщении системы (1.12), (1.13)) примет вид, представленный на рис. 1.4, б. Из него видно, что «хвост» (уже двумерный) не идет параллельно плоскости (Q, E) , а быстро стремится к нулевым значениям двумерной плотности вероятности. Естественно, переход к двумерным

распределениям приводит к определенным техническим трудностям, но выводит ситуацию из неустойчивости.

Если три эти случая рассмотреть с точки зрения стилей мышления, то первые два – это чистой воды прагматизм (надо добиться результата – устойчивости, а с сопутствующими проблемами разберемся потом). Реально новые знания Dasein получило только в третьем случае, когда частично инфинитный (полуопределенный) параметр (c), который еще и «шумел» (\tilde{c}) был заменен на испарение (мы его определили). Конечно, все это – «опошление» глубокой философии Хайдеггера, но если она не будет «опошляться» (т. е. не пойдет в практическую жизнь), то так и останется востребованной только снобами типа В. В. Бибикина, который сам сомневается, есть ли в этой философии вообще что-нибудь.

Особенностью модели (1.9) является ее линейность, позволяющая определять бытие с помощью суперпозиций. Рассмотрим следующий пример. В рамках уравнения (1.9) отсутствует такое понятие, как пространство. Но, предположим, какие-то обнаруженные Dasein тупики привели к необходимости исследовать изменение плотности вероятности $p(\vec{Y}, t)$ не только в замыкающем створе речного бассейна, но и ее формирование по территории последнего (или даже – территории, включающей несколько бассейнов). Рассмотрим, для простоты, включение в модель (1.9) хотя бы одной пространственной координаты x . Имеется давно известная в теории случайных процессов процедура получения системы (1.9). Для этого должна существовать система обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка (уравнения более высокого порядка, по известным в математике процедурам, сводятся к системе уравнений первого порядка). Далее в них вводится аддитивный и мультипликативный (параметрический) шум и получаются стохастические дифференциальные уравнения. Затем осуществляется переход к уравнению ФПК (уже не стохастическому). При этом оказывается, что решение стохастического уравнения (реализация случайного процесса) **статистически** эквивалентно решению уравнения ФПК, т. е. они совпадают в статистически осредненном смысле (на уровне моментов и построенным по ним распределениям). Например, такими исходными детерминистическими уравнениями могут быть (если речь идет о расходе воды)

уравнения (1.2) или (1.11), а в случае совместных распределений $p(Q, E)$ – (1.12) и (1.13).

Координата x (одномерное пространство), с точки зрения приведенных выше философских рассуждений, – это обычное понятие. Пусть оно определяется уравнением

$$dx/dt = f(\vec{Y}, t, x) = v_0 = \text{const} . \quad (1.14)$$

Если $\text{const}=0$, то коэффициент сноса A_x будет также нулевым и система (1.9) останется прежней. Из уравнения (1.14) следует, что $x = x_0 + v_0 t \equiv x_0$. Эту фиксированную точку x_0 (замыкающий створ водосбора) можно формально ввести в систему (1.9) с помощью δ -функции $p(\vec{Y}, t, \delta(x - x_0))$, но в этом нет практической необходимости.

Если $v_0 \neq 0$, то коэффициент сноса $A_x \neq 0$ и определяется постоянной скоростью v_0 . В первой сумме правой части (1.9) появляется дополнительное слагаемое $\partial(A_x p(\vec{Y}, x, t))/\partial x$. Ведет оно себя «примитивно»: равномерно сносит плотность вероятности $p(\vec{Y}, x, t)$ «по понятию x » (понятие указывает плотности вероятности как себя вести). Во всем этом усматривается аналогия (может быть, псевдоаналогия) с инвариантностью законов относительно преобразований Галилея (подробнее см. [19]). Эта аналогия исчезает, если усложнить уравнение (1.14), например, сделать пространство x зависящим от других понятий $f(\vec{Y}, t, x(\vec{Y}))$.

Здесь уже отсутствуют «инерциальные системы отсчета», v_0 становится функцией других понятий и в отношении каждого из них она может вести себя по-разному. И уж совсем ситуация усложняется, если в модель $dx/dt = f(\vec{Y}, t, x(\vec{Y}))$ ввести шумы, а еще, вдобавок, определить свое понятие времени (а не просто t), также завязанное на другие понятия определенного бытия. В известном смысле что-то подобное происходит (разумеется, на чисто качественном уровне) в произведениях некоторых великих писателей, когда события развиваются ситуативно по понятиям, в том числе и по по-

нениям художественного пространства и времени (время «остановилось», «сознание расплывается на весь мир» или, наоборот, полностью от него отключилось и занято чем-то одним конкретным).

В естественных и технических науках (в том числе и в гидрологии) подобную ситуацию пока пытаются (в основном) избегать (например, используя «инерциальные системы отсчета»). И в этом, конечно, есть глубокий смысл: пространство, время и другие понятия освобождаются от индивидуального произвола при описании реальности. Грубо говоря, человек живет в стаде и никто его не спрашивал хочет ли он появиться на свет. Он «брошен» в жизнь, в «стадо», которое пытается выжить путем «колонизации мира практикой расчета и планирования». Но иногда приходится уже вроде бы освоенные понятия пересматривать, как это сделал Эйнштейн, преодолевая классическую оппозицию пространства и времени, массы и энергии и т. п. Хайдеггер идет дальше, хотя пока только на уровне философских размышлений.

Возвращаясь к основной гидрологической струе (многолетнему стоку) заметим, что нам не потребуется понятие пространства. Для этого есть много практических и теоретических обоснований. Все нормативные документы типа СП 33-101-2003 [60] ориентированы на расчеты кривых обеспеченности в конкретных створах. Если и возникает потребность в знании пространственных корреляций стока [57], то она выступает, скорее, как вспомогательная задача (например, при использовании метода аналогий). Можно ли употреблять термин «поле речного стока»? Ответ противоречивый: и да, и нет. С одной стороны, никакого поля (например, модуля стока) быть не может (см. выдержку из рецензии Н. А. Картвелишвили на книгу Г. А. Алексеева «Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации» [1]). Но, с другой стороны: «Практически же от интерполяции гидрологических характеристик и модуля стока, в частности, оказаться нельзя, ибо это есть, хотя и не совершенный, но сплошь и рядом единственный способ оценки стока рек, по которым наблюдения коротки или вообще отсутствуют» (см. там же).

1.3. Прототипы используемых моделей

Перейдем к описанию прототипа модели руслового стока, но прежде заметим, что уравнение ФПК рассматривалось нами в приближении δ -коррелированного гауссовского шума. С другими его вариантами можно ознакомиться по монографии [15]. В рассмотренных выше моделях в качестве искомой функции использовалась одномерная или многомерная плотность вероятности. Вероятностные динамические модели (например, уравнения для характеристических функционалов, а также всевозможные упрощенные варианты вплоть до уравнения ФПК) могут быть получены и для руслового стока [16, 28]. Однако в речной гидравлике (в отличие от многолетнего стока) подобные модели приживаются плохо. Это связано с тем, что в случае многолетнего стока мы имеем дело с совокупностью годовых реализаций, которые (по крайней мере, в случае стационарных случайных процессов) могут рассматриваться как случайное число. В речной гидравлике такие естественные повторения не очевидны. И хотя скомпоновать пучок реализаций (случайный процесс) можно (набор годовых гидрографов стока с суточными сечениями этого пучка в качестве случайных чисел), но в инженерной гидрологии вероятностные методы широко применяются при моделировании, прогнозировании и фактической обработке рядов только многолетнего стока. Речная же гидрометрия и гидравлика предпочитают иметь дело с динамическими чисто детерминистическими моделями типа системы Сен-Венана и различными упрощенными ее вариантами.

В разделе будут рассматриваться низкочастотные колебания скорости в реках, а также вызываемое ими вихревое движение. Поэтому ниже представлены модели, составляющие научно-технический задел в этом направлении (подробно см. [23]). Открытое в начале 60-х г. XX в. явление низкочастотных колебаний скорости в реках [10, 32, 70] с периодом 10 – 30 мин при неизменных граничных условиях в дальнейшем было теоретически и экспериментально обосновано путем еще одного открытия (уже закономерности его появления [25]). Кроме очевидного приложения этих открытий к гидрометрии не меньший интерес они представляют для изучения грядобразования и структуры течений в реках. Сейчас не

будем воспроизводить механизм появления низкочастотных колебаний, отметим только, что он выявляется на гидравлическом уровне рассмотрения течения, т. е. отвечает за него не гидромеханика. Это нужно понимать в том смысле, что достаточно уравнений одномерной гидравлической идеализации Сен-Венана (и даже упрощенного их гидрометрического аналога в виде обобщенного уравнения Риккати), чтобы найти период колебаний (совпадающий с экспериментально наблюдаемым) и условия их возникновения. (Правда, наряду с упрощениями, было сделано и серьезное усложнение, связанное с введением в модели выражения для гидравлических сопротивлений, отличающегося от классического. Именно, было установлено, что сопротивления зависят не только, например, от наполнения русла и его шероховатости, но и от самой динамики осредненного течения: $\partial\lambda/\partial\dot{U} < 0$, где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; \dot{U} – полное ускорение потока, см. [16].)

После того как стало ясно, что является первопричиной зарождения и самоподдержания турбулентности в реках (низкочастотные колебания скорости гидравлического происхождения), можно было изучать следствия в виде грядобразования, изменения профиля скорости и т. п. Например, был теоретически подтвержден факт выравнивания эпюры скорости по глубине. Для этого использовалась методика, описанная в книге Г. Шлихтинга [66], направленная на исследование влияния периодического течения $U(x, t)$ на эпюру скорости в пограничном слое, подчиняющемся, в известном приближении, уравнению

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial U}{\partial t}, \quad (1.15)$$

причем $u|_{z=0} = 0$, $U|_{z \rightarrow \infty} = U(x, t) = U(x) + U_1(x) \sin \omega t$.

Обобщим уравнение (1.15):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nu \frac{\partial u}{\partial z} - \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial U}{\partial t}; \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (1.17)$$

где v – поперечная составляющая вектора скорости.

Если движение «равномерное», то $\partial u/\partial x = 0$; из уравнения (1.17) следует, что $\partial v/\partial z = 0$, т. е. $v = v_0 = \text{const}$. В терминах (например) теории пограничного слоя это соответствует вдуву ($v_0 > 0$) или отсасыванию ($v_0 < 0$). В нашем случае ($\partial u/\partial x \neq 0$) $\partial v/\partial z = -\partial u/\partial x$ можно сделать оценку $v = \int (\partial u/\partial x) dz = -(\partial U/\partial x)(h - h_0) \approx v_0 + \tilde{v}$ (здесь $h_0 = \text{const}$, \tilde{v} – шумовая составляющая).

Подстановкой $u_* = u + U$ уравнение (1.16) сводится к однородному (так как $\partial u_*/\partial t = \partial U/\partial t + \partial u/\partial t$, $\partial u_*/\partial z = \partial u/\partial z$, $\partial^2 u_*/\partial z^2 = \partial^2 u/\partial z^2$). Если $\partial U/\partial t = \text{const}$, то это бы означало, что ситуация находится в условиях справедливости преобразования Галилея. В противном же случае система отсчета (или лучше – гидромеханическое поле) «трясется» как аддитивно (за счет $\partial U/\partial t$), так и мультипликативно (за счет $v = -(\partial U/\partial x)(h - h_0)$). Соотношение (1.16) приобретает следующий вид:

$$\frac{\partial u_*}{\partial t} = -v_0 \frac{\partial u_*}{\partial z} + v \frac{\partial^2 u_*}{\partial z^2}. \quad (1.18)$$

Выражение (1.18) можно записать как уравнение ФПК:

$$\frac{\partial u_*}{\partial t} = -\frac{\partial(Au_*)}{\partial h} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2(Bu_*)}{\partial h^2}. \quad (1.19)$$

(если u_* рассматривать формально как аналог плотности вероятности распределения переменной, уже фазовой, z – глубины h) с коэффициентом сноса $A = v_0$ и диффузии $B = 2v$. Мы сейчас, вроде бы, переопределили понятие «пространство» с независимой переменной z на гидравлическую характеристику h . Но формально ничего не изменилось, так как в обоих случаях имеет место уравнение $dz/dt = v_0$ (или $dh/dt = v_0$), т. е. $z = z_0 + v_0 t$, а $d^2 z/dt^2 = 0$

(или $d^2h/dt^2 = 0$ – по крайней мере, для прямоугольного русла). Хотя «нули отсчета» и не совпадают ($z_0 \neq h_0$): z_0 – может быть любым, а $h_0 = 0$ (дно реки в створе).

Известны эксперименты (см. [54, 55]) по определению профилей скорости в трубе при искусственном создании гармонического изменения расхода жидкости с фиксацией численных значений скоростей электротермоанемометрами. На рис. 1.5, *a* из учебника [54] представлены эти профили (левая часть рисунка, зеркально отражающая правую, дополнена нами). Эти рисунки имеют «выемки», которые для нашего случая можно получить с помощью модели (1.19, аппроксимируя ее системой уравнений для первого и второго начальных моментов:

$$dm_1/dt = -v_0; \quad (1.20)$$

$$dm_2/dt = -2v_0m_1 + v \quad (1.21)$$

(входящих в выражение для нормального распределения) и задавая v_0 в виде суммы постоянной и гармонической составляющих (рис. 1.5, *б*). Эпюра скорости получилась размытой за счет периодического изменения m_1 и m_2 , т. е. в известном смысле это семейство эпюр, представленных на рис. 1.5, *a*.

Эти эпюры (как экспериментальные на рис. 1.5, *a*, так и модельные на рис. 1.5, *б*) обладают тем недостатком, что они получены путем искусственного навязывания потоку периодической составляющей. Смысл же нашего подхода состоит в том, что их генерирует сам поток, рассматриваемый в целом (на гидравлическом уровне его описания). Это навязывание привело к тому, что в модели, формирующей эпюру скорости, присутствуют только аддитивные составляющие шумов в виде задаваемого изменения $v_0(t)$ и физической константы v . Гидравлические характеристики объекта в виде коэффициентов гидравлического трения вообще отсутствуют, хотя именно они, в силу своего мультипликативного характера, являются основными как в механизме зарождения турбулентности, так и при инженерных расчетах ее характеристик.

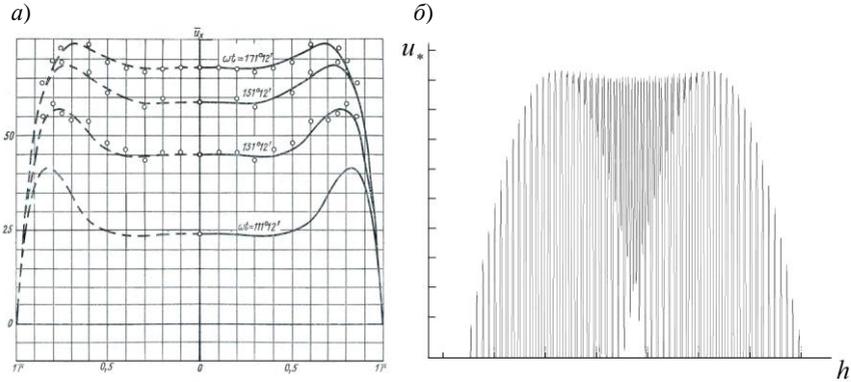


Рис. 1.5. Распределение скорости по сечению трубы при гармоническом изменении расхода ($\bar{u}_x = r_0 u_x / 8\nu$, $\bar{r} = r/r_0$; r_0 – радиус трубы) (а) и локальное уменьшение скорости в ядре потока (б).

Переопределить понятие «пространство» h , учитывающее влияние изменчивости гидравлического сопротивления, можно так:

$$dh/dt = (\bar{\lambda} + \tilde{\lambda})h + \bar{v}_0 + \tilde{v}_0, \quad (1.22)$$

т. е. глубина (или уровень) изменяется за счет составляющей v_0 при неравновесном режиме и за счет вариации сопротивлений (при $\bar{\lambda} > 0$ – «запруда» – глубина увеличивается). Тогда коэффициенты сноса и диффузии будут иметь вид:

$$A = (\bar{\lambda} + 0,5G_{\tilde{\lambda}})h - 0,5G_{\tilde{\lambda}\tilde{v}_0} + \bar{v}_0;$$

$$B = G_{\tilde{\lambda}}h^2 - 2G_{\tilde{\lambda}\tilde{v}_0}h + G_{\tilde{v}_0}.$$

Ламинарный профиль скорости будет при $\bar{\lambda} = 0$, $G_{\tilde{\lambda}} = 0$, $G_{\tilde{\lambda}\tilde{v}_0} = 0$, $G_{\tilde{v}_0} = 2\nu$, т. е. когда имеет место только молекулярная диффузия. Сейчас не будем углубляться в возможные последствия подобного переопределения понятия пространства. В работе [23]

эта линия рассуждений доведена до системы уравнений для моментов с явным введением в модель уравнений, генерирующих низкочастотные колебания. В разд. 2 мы вернемся к этому вопросу с целью получения вихревых движений в потоке, обобщающих распределение скорости, представленное на рис. 1.5, б, на двумерное пространство живого сечения (h, b , где b – ширина потока). Конечно, надо иметь в виду, что «навязывание» модели потока псевдовероятностной терминологии и переход к двумерному уравнению ФПК оправдано, если какие-то результаты (решения) оправдываются в реальности.

В заключении этого раздела рассмотрим то обстоятельство, что оба типа моделей (для многолетнего и руслового стока) относятся к параболическому типу уравнений математической физики и анализируем, как в них учитываются взаимодействия фазовых переменных. И уравнение (1.4), и уравнение (1.19) относятся к моделям конвекции–диффузии. Их математические свойства (существование решений, их единственность и устойчивость) хорошо изучены [37, 58, 64]. С помощью соответствующих преобразований их можно приводить к различному виду. Например, уравнение ФПК можно записать так:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Q} (A'p) + \frac{\partial}{\partial Q} \left(B \frac{\partial p}{\partial Q} \right),$$

где $A' = -A + \partial B / \partial Q$. Это так называемая дивергентная форма уравнения конвекции–диффузии, подробно рассмотренная в работе [58].

В уравнениях может преобладать либо конвекция ($Pe \gg 1$), либо диффузия ($Pe \ll 1$), критерием чего выступает число Пекле:

$$Pe = A'_0 Q_0 / B_0,$$

где A'_0, Q_0, B_0 – характерные значения соответствующих величин (в случае, например, уравнения Навье–Стокса в роли Pe выступает число Рейнольдса $Re = v_0 h_0 / \nu$, где v_0 и h_0 – характерные скорость и глубина; ν – вязкость).

При сильном доминировании конвекции (это важный для нас случай, который и создает предпосылки для открытия окон в инфинитную реальность) приходим к так называемым сингулярно возмущенным задачам с малым параметром Re^{-1} при старших производных, что приводит к наличию областей сильного изменения моментов (в частности, к толстым «хвостам»). Если инфинитная среда несжимаема на участке частично инфинитной границы (Dasein) (например, для (1.9) $\operatorname{div} \vec{A} = \sum_{i=1}^n \partial A_i / \partial Y_i = 0$, это будет, в частности, для одномерного случая, при $2\bar{c} = G_{\bar{c}}$), то стационарное распределение (конечная инвариантная мера, как сказали бы математики) вообще отсутствует. В гидрологии обычно пытаются иметь дело с семейством кривых Пирсона, к которому придем, если в (1.4) принять:

$$A(Q) = a_0 + a_1 Q; \quad B(Q) = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2,$$

причем необходимо, чтобы $a_1 < 0$, $b_2 > 0$. Неустойчивость – это нарушение законов сохранения, т. е. появление из инфинитной реальности источника, который «трясет» плотность вероятности. Интересно отметить, что неустойчивость решений для моментов не означает неустойчивости решения уравнения ФПК, просто плотность вероятности «расползается на весь мир», включая бесконечные значения, например, расхода. Но так как расход – это формально не искомая функция, а задаваемая независимая переменная (аргумент), то и проблема (неустойчивости) возникает только, когда речь заходит о решении системы уравнений для моментов (1.7), в которой последние выступают как искомые функции времени. На философско-методологическом языке это означает следующее. Пока $G_{\bar{c}}$ мало (по сравнению с \bar{c}) для вероятностного описания речного стока с помощью моментов достаточно оперировать понятием расхода. Если же $G_{\bar{c}}$ велико, то одного этого понятия мало, надо вводить испарение и, возможно, другие понятия. Вводит эти понятия само Dasein, чтобы осваивать инфинитную реальность. Если раньше «кто-то» шумел из неопределенной области и этот факт

идентифицировался в определенной (финитной) области с помощью мало что говорящего параметра $G_{\tilde{c}}$ (но задаваемого конкретным числом, позволяющим моделировать ситуацию, хотя бы в вероятностном смысле, правда не очень надежно из-за возможной неустойчивости при больших $G_{\tilde{c}}$), то сейчас источник шума (испарение) назван своим именем (хотя может быть еще и не полным) и сделан равноправным партнером расходу, путем перехода к двумерным распределениям $p(Q, E)$.

Основной тезис частично инфинитной гидрологии заключается в том, что при расширении фазового пространства частично инфинитную реальность (ее размерность равна разности размерности пространства вложения и числу реально учитываемых фазовых переменных) сжать проще (рис. 1.6 «пытается» визуализировать этот тезис).

Определенное бытие на рис. 1.6 представлено финитной реальностью 1, имеющей границу 2. Этой реальностью оперирует Dasein (бытие особого типа 3), которое опирается не только на освоенные, определенные с помощью понятий аспекты сущего, но и выходит за их рамки в результате практической деятельности как в определенном 1, так и в неопределенном 4 бытии. Между финитной 1 и инфинитной 6 реальностями выделяется частично инфинитная реальность 4, пределы которой распространяются до размерности пространства вложения 5, определенной методами фрактального диагностирования. Слова «сжать проще» означают, что, например, толстый «хвост», возникающий при неустойчивости по дисперсии, можно «размазать» по вновь вводимой фазовой переменной, сделав, тем самым, двумерное распределение устойчивым по моментам. Эта процедура предполагает умение прогнозировать появление не-

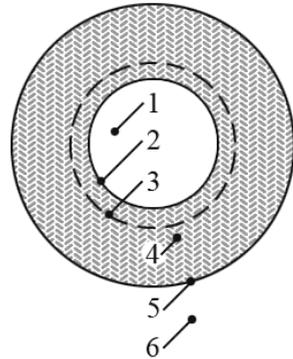


Рис. 1.6. Расширение частично инфинитной реальности: 1 – определенное бытие (финитная реальность); 2 – частично инфинитная граница определенного бытия; 3 – бытие особого типа (Dasein); 4 – неопределенное бытие (частично инфинитная реальность); 5 – граница, определяющая размерность пространства вложения; 6 – инфинитная реальность.

устойчивости и зарождение новой фазовой переменной, которая эту неустойчивость и вызвала.

Не менее важным классом моделей являются системы типа реакция–диффузия, впервые использованные А. Тьюрингом [4, 69]:

$$\vec{u}_t = D\vec{u}_{xx} + \vec{Q}(\vec{u})$$

(\vec{u} – вектор, \vec{Q} – векторная функция (в данном конкретном уравнении; в остальных случаях в монографии буквой Q обозначен расход воды); D – диагональная матрица; обозначения соответствуют источнику заимствования [4]).

Если речь идет о чисто детерминистических моделях (типа (1.16) для руслового стока), то взаимодействия составляющих вектора \vec{u} осуществляется при нелинейном характере функции $\vec{Q}(\vec{u})$, например произведение искомых функций глубины $h(x,t)$ и скорости $U(x,t)$: $dh/dt = Q_1(h,U)$; $dU/dt = Q_2(h,U)$. В случае же уравнения ФПК имеем не систему уравнений для различных искомых функций (плотностей вероятности), а одно уравнение для многомерной плотности вероятности. И тем не менее реакции (взаимодействия) присутствуют. Правда это взаимодействие не «искомых функций» (плотностей вероятности), а «независимых аргументов» (так формально надо называть например Q и E в уравнении ФПК для $p(Q,E)$, хотя в исходных динамических моделях (1.12) и (1.13) это взаимодействующие функции (в уравнении ФПК мы их называем, видимо не совсем корректно с формальной точки зрения, фазовыми переменными, а если подняться на философский уровень, то это просто «рядовые» понятия).

2. СВЕРТКА И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОНЯТИЙ В ТЕОРИИ РУСЛОВОГО СТОКА

2.1. Осознаваемые тупики, вытекающие из проблемы турбулентности

Существует «строго»-выводимая модель гидромеханики – система уравнений Навье–Стокса:

$$\bar{v}_t - \nu \Delta \bar{v} + \bar{v}_k \bar{v}_{\bar{x}_k} = \text{grad } p + \bar{f}(\bar{x}, t); \quad (2.1)$$

$$\text{div } \bar{v} = 0 \quad (2.2)$$

(здесь \bar{v} – скорость; ν – коэффициент вязкости; p – давление; \bar{f} – «сила»; $\bar{x} = (x, y, z)$; $k = 1, 2, 3$).

С помощью системы (2.1), (2.2) фиксируется определенная предметная область (гидромеханическое поле) с использованием понятий: вектор скорости; коэффициент вязкости; «сила»; давление; пространство (\bar{x}); время (t), а также с применением ряда математических понятий (равно =, дивергенция div и т. д.). Этой фиксации оказывается достаточно, чтобы в определенном диапазоне значений других (метризуемых) понятий (например, чисел Рейнольдса $\text{Re} = Ud/\nu$, где U , d – характерные скорость и геометрический размер) система (2.1), (2.2) имела корректное решение. Например, для бесконечно длинной трубы радиусом R с условием прилипания на стенке решение дается формулой Пуазейля (рис. 2.1):

$$v_x = a(R^2 - r^2),$$

где r – координата; $a = \text{const}$.

Познавательный тупик («загибание» логики, на основе которой фиксируется предметная область, представленная системой (2.1), (2.2)) обнаруживается при измерении распределения скорости

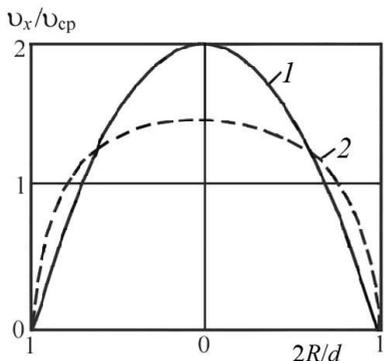


Рис. 2.1. Распределение скорости при ламинарном (1) и турбулентном (2) режимах.

в случае чисел Re , превышающих критическое значение $Re_{кр}$, когда течение турбулизируется (на самом деле, кроме него на процесс турбулизации влияние оказывает так называемая «пространственно-временная частота» – понятие, играющее важную роль в данном разделе) и эпюра приобретает другой (более выровненный вид) – кривая 2 на рис. 2.1.

Понятие «тупика» может иметь разнообразную «окраску» в зависимости от контекста разбираемой ситуации; в данном случае имеем довольно «мягкую» его форму – несоответствие решения экспериментальным данным в определенном диапазоне метризуемых понятий, не зафиксированных напрямую моделью (2.1), (2.2). Могут быть более «жесткие» тупики, когда решение вообще не имеет ничего общего с реальностью. Но все эти «жесткие и мягкие» формы можно объединить одним термином – «неустойчивость», которая понимается не только в узком математическом смысле как неустойчивость решений уравнений, но и в более широком – как несовпадение, по каким-либо критериям, решения модели и экспериментальных данных. Этот факт (осознанный тупик) – призыв к развитию наших модельных понятий об изучаемом объекте, т. е. к развитию в гносеологическом смысле, а проще – к нашему «поумнению». В этом смысле неустойчивость – атрибутивное свойство развивающихся систем как в онтологическом, так и гносеологическом аспектах.

Тупик – это обнаружение знания о своем незнании. В результате затраты энергии (измерения эпюры скоростей) было обнаружено, что знания, заложенного в систему (2.1), (2.2) не хватает, чтобы описывать выровненную (турбулентную) эпюру. Это – мотивация к процессу дальнейшего познания. Сущность обнаруженного тупика (его можно назвать и «парадоксом», см. [17]) лежит за пределами предметной области, фиксируемой уравнениями Навье–Стокса, так

как он возникает в турбулентном режиме течения, где действие закона трения $F_{\text{тр}} = \nu \partial^2 \bar{v} / \partial \bar{x}^2$ (именно он используется в модели (2.1)) ставится под сомнение.

Выравнивание эпоры происходит, когда течение становится нерегулярным, турбулентным. Для учета этих нерегулярностей (пульсаций скорости) в науке произошел метаморфоз понятия скорости, используемого в системе уравнений (2.1), (2.2). Предметную область гидромеханики стали фиксировать по-другому, разбивая скорость и давление на две составляющие: $v = \bar{v} + v'$; $p = \bar{p} + p'$ (осредненную \bar{v} и пульсационную v'). В этом случае при подстановке данных сумм в уравнения Навье–Стокса возникает как бы новая сила: $v \partial v / \partial x = (\bar{v} + v') \partial (\bar{v} + v') / \partial x = 0,5 \partial (v')^2 / \partial x$ (при $\bar{v} = 0$). Если бы уравнения Навье–Стокса были линейными, то этой новой составляющей не возникло (при осреднении: $\overline{v'} = 0$; $\overline{(v')^2} \neq 0$). Таким образом, у вектора состояния системы (2.1), (2.2) $\vec{Y} = (v, p)$ появляется третья составляющая $\overline{(v')^2}$ и система уравнений становится незамкнутой. Возникает очередной тупик нефеноменологического характера и проблема замыкания: $\overline{(v')^2} = f(\bar{v})$.

Из тупика выбирались следующим образом. Дополнительный член интерпретируется как сила трения $F'_{\text{тр}}$, причем эмпирически было установлено, что в турбулентном режиме она пропорциональна квадрату осредненной по сечению потока скорости U : $F'_{\text{тр}} \sim kU^2$, где k – коэффициент трения (сопротивления). Ситуацию переводят в эмпирическую плоскость, т. е. пытаются найти численные значения коэффициента k , практически полностью заменившего коэффициент вязкости (это также метаморфоз: узко физическое понятие (ν) уступает место довольно размытому понятию коэффициента гидравлического сопротивления (обычно его обозначают λ или C – коэффициент Шези), для которого существует много эмпирических формул, справедливых в определенных условиях их применимости.

2. Свертка и дифференциация понятий ...

Осредняя по живому сечению русла систему (2.1), (2.2) с учетом пульсационных составляющих, получают уравнения одномерной гидравлической идеализации:

$$g i_0 - g \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + F'_{тр}; \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad (2.4)$$

где i_0 – уклон дна; h – глубина, g – ускорение свободного падения.

Далее подключают эмпирику ($F'_{тр} = gU^2/C^2h$; для коэффициента Шези используют, например, формулу Манинга $C = h^{1/6}/n$;

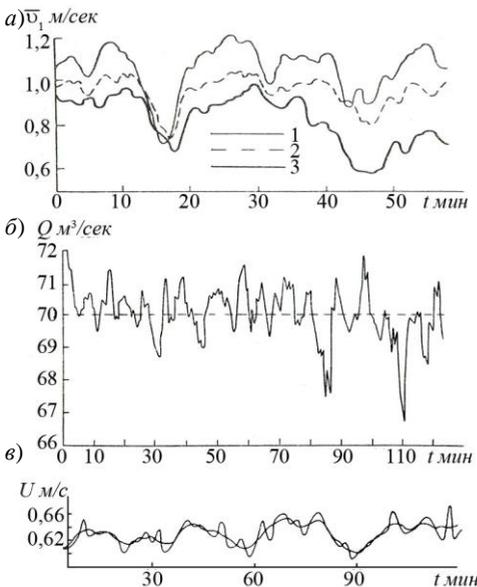


Рис. 2.2. Примеры низкочастотных колебаний скорости (а, в) и расходов (б): а – р. Сыр-Дарья – кишл. Ак-Джар; б – р. Варзоб – кишл. Даган-Ата; в – р. Тверца, г/с 1, /VIII 1959 г. с 12 ч. 34 мин до 14 ч 34 мин до и после осреднения (рис. а и б по В. В. Дементьеву). 1 – на глубине 0,2h; 2 – 0,6h; 3 – 0,8h.

коэффициент шероховатости n определяют, например, по таблице М. Ф. Срибного. Хотя подобный подход не объясняет природу турбулентности (он и не претендует на это), для многих практических случаев его вполне достаточно, хотя и не для всех.

В начале 60-х г. XX в. рядом отечественных [8, 9, 10, 32] и зарубежных [70] исследователей было обнаружено явление низкочастотных колебаний скорости потока, охватывающих все живое сечение (примеры см. рис. 2.2). Попытки объяснить это явление исходя из уравнений Сен-Венана (см., например, [12]) к успеху не привели –

они периодических решений не имеют. Это был тупик: классические уравнения одномерной гидравлической идеализации не отражали некоторых свойств, присущих речным потокам. Но этих свойств (автоколебательной активности) не отражала и исходная система уравнений гидромеханики. Действительно, при теоретическом и экспериментальном исследовании устойчивости ламинарных течений, т. е. при выяснении условий возникновения неустойчивости, трактуемой как переход к турбулентности, течение возмущается при разных числах Рейнольдса Re и частоте ω . При этом смотрят, что будет происходить с возмущениями (их рост указывает на неустойчивость). В результате получают изображения, типа представленных на рис. 2.3, которые, как правило, подтверждаются экспериментально.

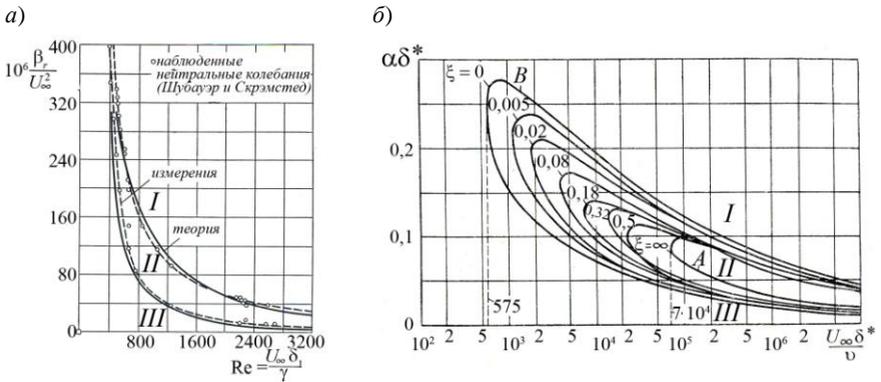


Рис. 2.3. Области устойчивости (I) и неустойчивости (II) ламинарного течения: а – продольное обтекание плоской пластины [66], б – ламинаризация пограничного слоя при непрерывном отсосе (кривая B при отсутствии последнего) [53] (по вертикали отложены величины, характеризующие частоты или длины волн возмущений, см. первоисточники).

Подобный подход частично отвечает на вопрос о природе турбулентности, но содержит много субъективных моментов. Дело в том, что не модель дает колебания из области (Re, ω) , а их «навязывают» течению и смотрят, как поведет себя решение. Следовательно, сущность понимаемой таким образом турбулентности лежит за пределами понятий, на основе которых записываются уравнения гидромеханики. Необходимо найти механизм, запускающий и под-

2. Свертка и дифференциация понятий ...

держивающий колебания, энергия которых передается по спектру частот и диссипирует в тепло на высоких частотах уже за счет физической вязкости. Сам факт неизбежной диссипации энергии указывает на аттрактивные свойства решений гидромеханических уравнений. Математически это было доказано О. А. Ладыженской [35].

Из уравнений Навье–Стокса (2.1), (2.2) можно получить так называемое энергетическое неравенство, отражающее баланс энергии:

$$0,5d \|\bar{v}\|^2/dt + \nu \|\bar{v}_x\|^2 = (\bar{f}, \bar{v}), \quad (2.5)$$

из которого следует неравенство для норм $\|\bar{v}\|$ (снова метаморфоз понятия скорости, комментарий см. в конце раздела 2.1):

$$d \|\bar{v}\|/dt + \nu\lambda \|\bar{v}\| \leq \|\bar{f}\|, \quad (2.6)$$

где λ – собственное значение спектральной задачи.

Интегрирование (2.6) дает

$$\|\bar{v}(t)\| \leq \|\bar{v}(0)\| e^{-\nu\lambda t} + \|\bar{f}\| (1 - e^{-\nu\lambda t})/\nu\lambda, \quad (2.7)$$

т. е. $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\bar{v}\| \leq \rho_0 = (\nu\lambda)^{-1} \|\bar{f}\|$.

Таким образом, любое решение, в конце концов, втягивается в шар радиуса ρ_0 и не уходит оттуда.

Применение того же соотношения к норме разности $\|u\|$ двух близких решений системы (2.1), (2.2) приводит к неравенству

$$d \|u\|/dt \leq \mu^2 \|u\|/4\nu \quad (2.8)$$

(здесь μ – мажоранта, см. [35]), интегрирование которого дает:

$$\|u(t)\| \leq \|u(0)\| \exp(\mu^2 t/4\nu), \quad (2.9)$$

т. е. имеет место неединственность.

Говорят, что траектории разбегаются (неустойчивость), но глобально остаются в шаре (устойчивость). Это есть признаки аттрактора (предположительно турбулентного). На вопрос как он возникает и самоподдерживается (т. е. какова сущность турбулентности), уравнения Навье–Стокса не отвечают.

Подводя итог изложенному в разд. 2.1, обратим внимание, что процесс познания: 1) идет через осознание и преодоление тупиков; 2) преодоление очередного тупика требовало переосмысления основного понятия гидромеханики – скорости. Натолкнувшись на несовпадение теоретической и эмпирической эпюр, понимание скорости приблизили к турбулентной реальности, заставив ее пульсировать, но тут же столкнулись с незамкнутостью системы уравнений. Для замыкания пришлось часть инфинитной (для модели Навье–Стокса) реальности сделать частично инфинитной, вводя в уравнения коэффициент гидравлического сопротивления и снова метаморфизуя скорость, взяв на вооружение понятие осредненной по сечению (гидравлической) скорости. Часть инфинитной реальности была частично рационализирована в новом для гидромеханики понятии «коэффициент сопротивления». Действительно, он имеет численное значение, что позволяет интегрировать уравнения Сен-Венана. Но это численное значение довольно размыто: определение коэффициента шероховатости по таблице Срибного (например) довольно субъективно. Его значения как для равнинных, так и для горных рек меняются на порядок и определяются **мнением** человека, проводящего расчеты. Одно это делает модель Сен-Венана частично инфинитной. Хорошо это или плохо? Ни то, ни другое, так как другого пути для «выживания» не существует. Долю субъективности (неопределенности) можно уменьшить путем оптимизационных процедур при выборе численных значений коэффициентов. Однако появляется очередной тупик: необъяснимые, в рамках модели Сен-Венана, низкочастотные колебания скорости. Снова нужен метаморфоз понятий.

Такая же ситуация и в той ветви изучения турбулентности, которая преследует более фундаментальные цели – разобраться с ее происхождением по существу. Субъективно вносится в уравнения гидромеханики периодичность, т. е. навязывается понятие, чуждое системе Навье–Стокса, которая не может породить автоколебатель-

ной активности. Что должно быть активным? Видимо, взаимодействующие осцилляторы. Однако «в гидродинамической системе каждый элемент системы не обладает какой-либо собственной динамикой, которую он может демонстрировать в отсутствии остальных» [40]. Молчат об этом и результаты Ладыженской, которая сделала очень много в исследовании математических свойств системы Навье–Стокса. Благодаря очередному метаморфозу понятия скорости (образно: с помощью понятия нормы полю сопоставлена точка, число), модель стала носить абстрактный характер, но с ее помощью можно было сделать определенные выводы о существовании аттрактора (в варианте статьи [35] – только для двумерного случая систем Навье–Стокса).

2.2. Возможные пути выхода из проблемных ситуаций

Результат, полученный Ладыженской, можно попытаться частично визуализировать (математики «картинок» не любят) и сделать более понятным. Нестрогим неравенствам (2.6) и (2.8) соответствуют предельные уравнения для потенциальных функций V_1 и V_2 :

$$dV_1/d \|\vec{v}\| = \nu \lambda \|\vec{v}\| - \|\vec{f}\|; \quad (2.10)$$

$$dV_2/d \|\vec{u}\| = -\mu \|\vec{u}\|/4\nu, \quad (2.11)$$

которые показаны на рис. 2.4.

Из них следует, что с уменьшением коэффициента вязкости потенциальная яма становится более полой, а при уменьшении μ потенциальный бугор – более островершинным, т. е. степень глобальной устойчивости уменьшается, а локальной неустойчивости – увеличивается. Если бы вязкость стала «отрицательной», то неустойчивость приняла бы глобальный характер. При совмещении обоих вариантов с преобладающим влиянием устойчивости (рис. 2.4, *a*) получилось бы что-то похожее на модальную неустойчивость, ведущую к турбулизации. Ниже будет показано, что этого можно добиться, установив закономерность появления низкочас-

тотных колебаний и введя последние в уравнения гидромеханики в качестве задаваемой «силы».

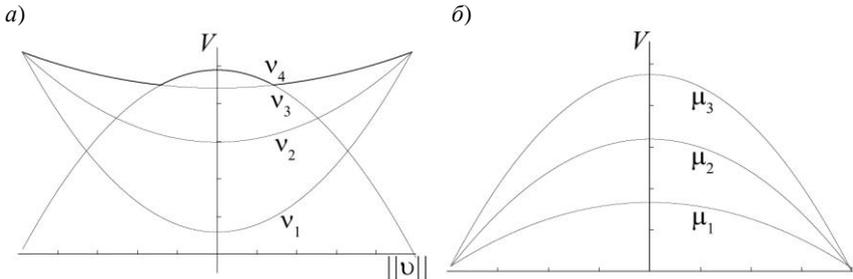


Рис. 2.4. Потенциальная функция для уравнений (2.10) (а) и (2.11) (б): $v_1 > v_2 > v_3$; $v_4 < 0$; $\mu_3 > \mu_2 > \mu_1$.

Подробно история получения данной закономерности изложена в ряде монографий [16, 22 и др.]. Она признана научным открытием [25], основные элементы которого сейчас будут кратко изложены. Его сущность заключается в том, что периодические низкочастотные колебания скорости, действительно, являются решениями уравнений одномерной гидравлической идеализации, однако не просто системы Сен-Венана (она таких решений не имеет), а их модификации. Последняя порождена метаморфозом понятия «коэффициент гидравлического сопротивления» λ или связанного с ним коэффициента Шези C . Если в традиционной гидравлике эти коэффициенты являются функциями коэффициента шероховатости русла n и его наполнения водой (по обобщенным критериям типа чисел Рейнольдса Re и Фруда Fr предполагается автомодельность), то в модифицированном варианте это понятие начинает отражать влияние на сопротивление степени нестационарности течения:

$$\frac{\lambda_{нст}}{\lambda_{уст}} = \frac{1}{1 + \bar{\omega}^2/4} - \frac{2,5 + \bar{\omega}^2/2}{1 + \bar{\omega}^2/4} \bar{N}, \quad (2.12)$$

где $\lambda_{нст}$ и $\lambda_{уст}$ – коэффициенты гидравлического сопротивления, соответствующие неустановившемуся ($\lambda_{нст}$) и установившемуся ($\lambda_{уст}$) режимам; $\bar{\omega}$ и \bar{N} – безразмерные частота и ускорение.

2. Свертка и дифференциация понятий ...

Фактически коэффициент $\lambda_{\text{нст}}$ перестает быть задаваемым параметром и сам становится искомой функцией наряду со скоростью и уровнем:

$$\tau d\lambda_{\text{нст}} / dt = -\lambda_{\text{нст}} + \lambda_{\text{уст}} - 2,5\lambda_{\text{уст}}\bar{N}, \quad (2.13)$$

(здесь τ – параметр релаксации; $\bar{\omega} \rightarrow 0$).

В стационарном равномерном режиме ($\bar{N} = 0$) $\lambda_{\text{нст}} = \lambda_{\text{уст}}$, при ускорении ($\bar{N} > 0$) $\lambda_{\text{нст}} < \lambda_{\text{уст}}$, при замедлении ($\bar{N} < 0$) $\lambda_{\text{нст}} > \lambda_{\text{уст}}$.

Учет этого (ключевого) обстоятельства ($\partial\lambda/\partial\bar{N} \neq 0$) меняет на определенных частотах (низких по сравнению с турбулентностью) тип модели с гиперболического на эллиптический, что и приводит к возможности появления рассматриваемых колебаний скорости. Условия, при которых это происходит и формула, связывающая период колебаний с гидравлическими характеристиками потока, были установлены путем проецирования модернизированной модели одномерной гидравлической идеализации на одну фазовую переменную – расход (скорость) в предположении, что информация об уровне известна. При этом приходим к обобщенному уравнению Риккати:

$$dQ/dt = f_1(x_1, t)Q^2 + f_2(x_1, t)Q + f_3(x_1, t), \quad (2.14)$$

где коэффициенты f_1, f_2, f_3 зависят от морфометрии русла, гидравлических сопротивлений ($\lambda_{\text{уст}}$), уровня и его производных по t и x .

Уравнение (2.14) путем ряда известных в математике [41] преобразований приводится сначала к уравнению

$$du/dt = -u^2 + R_1(t) \quad (2.15)$$

(здесь переменная u связана преобразованиями с расходом Q или скоростью U , а $R_1(t) = f(f_1, f_2, f_3)$), а затем – к линейному уравнению второго порядка

$$y'' - R_1(t)y = 0, \quad (2.16)$$

где $u = y'/y$. (В приведенных ниже расчетах использовалось соотношение с небольшой инерционностью τ , чтобы исключить разрывы: $du/dt = (y'/y)/\tau - u/\tau$.)

Относительно свойств решений уравнения (2.16) можно сделать некоторые выводы общего характера, опираясь на теорию Штурма [41]. Математические свойства этого уравнения определяются знаком коэффициента $R_1(t)$, который есть произведение $IgF(g/FC^2R)$. Колебательный характер имеют только отклонения расхода q от квазиустановившегося значения Q_0 , причем их период определяется формулой

$$T = \pi CR^{0.5} / g\sqrt{I - i_0}, \quad (2.17)$$

где R – гидравлический радиус; I – уклон свободной поверхности; i_0 – уклон потока в квазиравномерном режиме (соответствует уклону дна). При $I \rightarrow i_0$ режим движения становится равномерным (можно показать, что он всегда неустойчив – река «дрожит»).

Формула (2.17) подтверждается практически во всех экспериментах. В табл. 2.1 представлены результаты ее применения в специально организованных исследованиях неустановившегося движения на р. Тверце с непрерывной регистрацией скорости одновременно в 25 точках живого сечения батарей гидрометрических вертушек (см. [11]). Периодичность выделялась методом Шустера, осредненные результаты по 30 экспериментам представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты выделения низкочастотной периодичности на р. Тверце

Продолжительность измерения, ч.	Период колебаний, мин		Статистическая надежность выделенного периода, %	$I - i_0$, ‰	Амплитуда колебаний скорости, % среднего значения скорости	
	по теоретической формуле	по методу Шустера			соответствующая выделенному периоду	в исходной реализации
2	16–30	24–32	71–93	0,02–0,29	3,4–6,7	7,2–15,2

2. Свертка и дифференциация понятий ...

Исходя из этих результатов, в качестве внешней «силы» в (2.10) надо взять «разрывную» котангенсоиду $u(t)$ (это сделаем ниже, подавив разрывы численной вязкостью), а сейчас ограничимся синусоидой (решением уравнения (2.16)). Спровоцируем еще один метаморфоз в модели потенциала (2.10), а именно введем в первый член правой части коэффициент гидравлического сопротивления как решение уравнения (2.13), в котором в качестве \bar{N} будет выступать величина, связанная с низкочастотными колебаниями. То что мы в «тонкую» гидромеханику «влезаем» с грубой гидравликой, не должно удивлять, так как в уравнении (2.10) фигурируют нормы ($\|\cdot\|$), уже осредняющие, в определенном смысле, поле по потоку.

Первую попытку замены физической вязкости (зависящей только от температуры и химического состава жидкости) на «осредненный по потоку коэффициент вязкости» (см. [36], с. 274–276) сделала Ладыженская, допустив, что последний можно представить в виде

$$\tilde{\nu}(t) \equiv \nu_1 + \nu_2 \int_{\Omega} \bar{v}_x^2(\bar{x}, t) d\bar{x}, \quad \nu_i > 0,$$

т. е. сделать осредненным и зависящим от градиентов скорости. Ей это было нужно, чтобы при больших градиентах скорости дополнительная вязкость удерживала детерминированность процесса, т. е., фактически, углубляла потенциал на рис. 2.4, а. В нашей версии коэффициент гидравлического трения будет реагировать на характер течения (замедление или ускорение).

Текущая задача заключается в «оживлении» потенциала V и создании механизма, порождающего периодическую неустойчивость. Так как при сделанных предположениях все время «живет» не только $\|\bar{v}\|$, но и коэффициент $\lambda_{\text{нст}}$, то имеем дело с двумерным потенциалом $V(\|\bar{v}\|, \lambda_{\text{нст}})$, который подчиняется уравнению

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial \|\bar{v}\|} \frac{d\|\bar{v}\|}{dt} + \frac{\partial V}{\partial \lambda_{\text{нст}}} \frac{d\lambda_{\text{нст}}}{dt}. \quad (2.18)$$

В уравнении (2.18) производные правой части однозначно определяются уравнениями (2.10) и (2.13) с учетом того, что в (2.10) множителем первого слагаемого правой части стоит величина, пропорциональная $\lambda_{\text{нст}}$ (с размерным коэффициентом).

На рис. 2.5 представлен соответствующий фазовый портрет, показывающий, что существует огромная область притяжения – воронка (обеспечивающая устойчивость решения), на дне которой пульсирует микропотенциал, меняющий выпуклость на вогнутость. Этим обеспечивается как возникновение, так и самоподдержание условий для турбулизации.

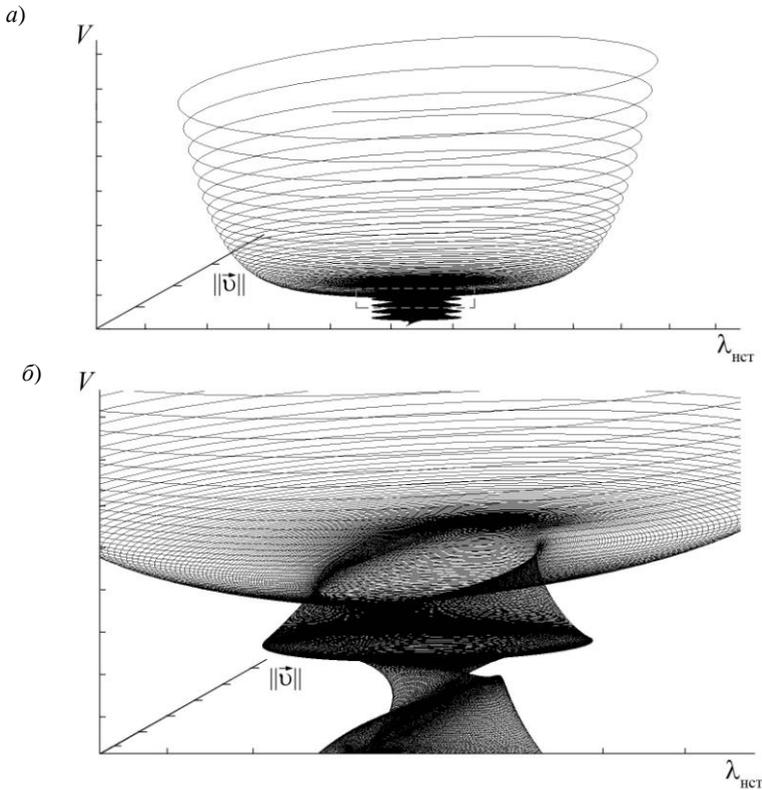


Рис. 2.5. К возможному механизму возникновения и самоподдержания квазитурбулентности в реках (на рис. б показан фрагмент рис. а, выделенный штриховой линией).

2. Свертка и дифференциация понятий ...

Теперь перейдем от потенциалов к вероятностным распределениям. В общем виде технология подобного перехода рассмотрена в Приложении на примере популяционных моделей (подробнее см. [18, 21]). В данном случае исходной динамической системой уравнений двумерной модели ФПК (аналог уравнения (12) Приложения), но уже для плотности вероятности $p(\|\cup\|, \lambda; t)$ служат соотношения (2.13), (2.6) (последнее – как предельное равенство). При тех же допущениях, которые сделаны в Приложении (они касаются интенсивности мультипликативных шумов), метод характеристик (см. [21]) сводит решение уравнения ФПК к системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$dx_1/dl = G_{\tilde{c}_{x_1} \tilde{N}_{x_1}} (-a_1 x_2 x_1 + a_2 (a_3 x_4 + a_4 x_6) + a_5) + G_{\tilde{N}_{x_1}} ; \quad (2.19)$$

$$dx_2/dl = G_{\tilde{c}_{x_2} \tilde{N}_{x_2}} (-x_2 + a_6 - a_6 a_7 (a_3 x_4 + a_4 x_6)) + G_{\tilde{N}_{x_2}} ; \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} dx_3/dl = & [2x_5 + 2(-a_8 x_4) + 2((x_5 / x_4) / a_9 - x_6 / a_9) + \\ & + 2(-a_1 x_2 x_1 + a_2 (a_3 x_4 + a_4 x_6) + a_5) + \\ & + 2(-x_2 + a_6 - a_6 a_7 (a_3 x_4 + a_4 x_6)) - G_{\tilde{c}_{x_1} \tilde{N}_{x_1}} (a_1 x_2) - \\ & - G_{\tilde{c}_{x_2} \tilde{N}_{x_2}} - G_{\tilde{c}_{x_6} \tilde{N}_{x_6}} a_{10} x_6] x_3 ; \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$dx_4/dl = G_{\tilde{c}_{x_4} \tilde{N}_{x_4}} x_5 + G_{\tilde{N}_{x_4}} ; \quad (2.22)$$

$$dx_5/dl = G_{\tilde{c}_{x_5} \tilde{N}_{x_5}} a_8 x_4 + G_{\tilde{N}_{x_5}} ; \quad (2.23)$$

$$dx_6/dl = G_{\tilde{c}_{x_6} \tilde{N}_{x_6}} ((x_5 / x_4) a_{10} - x_4 a_{10}) , \quad (2.24)$$

где l – параметр, равный длине дуги интегральной линии; a_i – коэффициенты; x_1, x_2, x_3 – соответствуют величинам $\|\cup\|, \lambda$ и p ; x_4, x_5, x_6 – соответствуют y, y' и u в уравнении (2.16); $G_{\tilde{N}_{x_i}} > 0$,

$G_{\tilde{c}_{x_i}, \tilde{N}_{x_i}} \geq 0$ – интенсивность и взаимная интенсивность аддитивных (\tilde{N}_{x_i}) и мультипликативных (\tilde{c}_{x_i}) шумов.

Фактически имеем пятимерную плотность вероятности $p(\lambda, \|v\|, y, y', u)$, однако переменные y, y' и u носят вспомогательный характер. Если периодического воздействия нет, то плотность вероятности $p(\lambda, \|v\|)$ имеет обычный одномодальный вид, соответствующий ламинарному течению (рис. 2.6, а). В случае квазиразрывного периодического воздействия (см. рис. 2.7) имеем распределение, представленное на рис. 2.6, б (вид распределения зависит от соотношения интенсивностей задаваемых шумов). Природа подобного распределения (в частности, полимодальность) отличается от природы распределения, представленного в Приложении. Там имеет место внутренняя автоколебательная активность системы «хищник – жертва». В данном же случае гидромеханическая составляющая рассматриваемой системы уравнений (если вообще можно говорить о «чистой гидромеханике»: ведь мы заменили физический коэффициент вязкости коэффициентом гидравлического сопротивления) при отсутствии периодического внешнего воздействия имеет распределение, соответствующее линейному формирующему фильтру (рис. 2.6, а), т. е. довольно пассивной системы. На то, что турбулентность не является автоколебанием, указывалось П. С. Ланда (послесловие к статье Ю. Л. Климантовича [14]) с ссылкой на эксперименты Н. В. Никитина [50]. В них прекращение искусственно создаваемого возмущения приводило к тому, что развитие турбулентности вниз по течению останавливалось.

Выше понятие скорости «свертывалось в норму» и было установлено, что в получающейся модели устойчивые и неустойчивые состояния сменяют друг друга. Однако это происходит не за счет внутренней активности, присутствующей в подобной абстрактной модели, а за счет внешнего (по отношению к локальным свойствам гидромеханического поля) гидравлического воздействия (потока в целом).

2. Свертка и дифференциация понятий ...

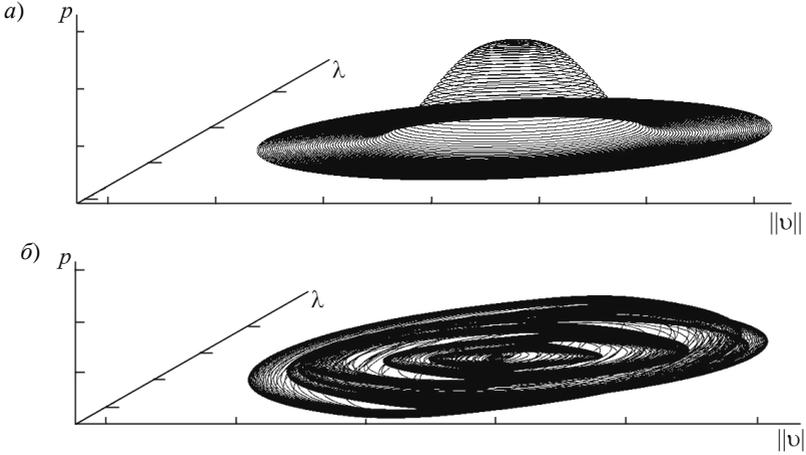


Рис. 2.6. Распределение $p(\lambda, ||v||)$ при задании «внешней силы» в виде константы (а) и в виде периодического квазистационарного воздействия (б).

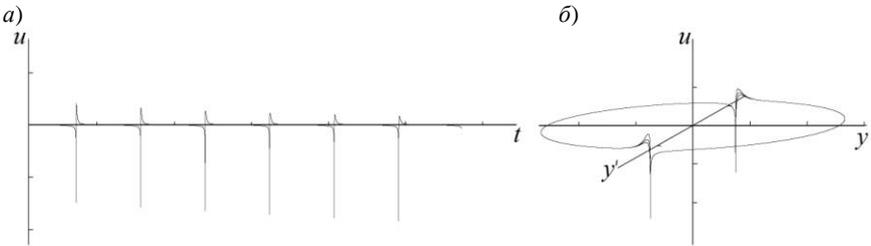


Рис. 2.7. Квазистационарные колебания (а) и их фазовый портрет (б).

Теперь вернемся от свертки скорости к ее дифференциации по компонентам вектора составляющих (по геометрическим осям). Известны попытки исследовать влияние периодического внешнего течения на эпюру скорости продольной составляющей u в пограничном слое [66], «подчиняющейся» уравнению

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial U}{\partial t}, \tag{2.25}$$

где $u|_{z=0} = 0$, $u|_{z \rightarrow \infty} = U(x, t) + U_1(x) \sin \omega t$.

В нашем случае «внешнее» течение U генерируется потоком в целом, т. е. гидравлическим генератором (2.16). Обобщим уравнение (2.22):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial z} + w \frac{\partial u}{\partial y} - v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{\partial U}{\partial t}; \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} = 0. \quad (2.27)$$

Подстановкой $u_* = u + U$ уравнение (2.26) сводится к однородному (так как $\partial u_* / \partial t = \partial u / \partial t + \partial U / \partial t$; $\partial u_* / \partial z = \partial u / \partial z$; $\partial u_* / \partial y = \partial u / \partial y$; $\partial^2 u_* / \partial z^2 = \partial^2 u / \partial z^2$; $\partial^2 u_* / \partial y^2 = \partial^2 u / \partial y^2$). Учитывая, что $\partial u / \partial x$ соответствует (в определенном смысле) периодической величине $\partial U / \partial x$, из уравнения (2.27) следует, что v и w также должны быть периодическими. Модельный характер рассматриваемой ситуации допускает считать v и w задаваемыми периодическими составляющими (v_0 и w_0). При сделанных предположениях уравнение (2.26) примет вид

$$\frac{\partial u_*}{\partial t} = -v_0 \frac{\partial u_*}{\partial z} - w_0 \frac{\partial u_*}{\partial y} + v \frac{\partial^2 u_*}{\partial z^2} + v \frac{\partial^2 u_*}{\partial y^2}. \quad (2.28)$$

Если $u_*(h, b; t)$ рассматривать как «аналог плотности вероятности» распределения переменных, уже фазовых, z – глубины h и y – ширины b , то выражение (2.28) формально «идентично» уравнению ФПК с коэффициентами сноса $A_h = v_0$, $A_b = w_0$ и диффузии $B_h = B_b = 2v$. При $\partial U / \partial t = 0$ профиль скорости напоминает гауссовское распределение, соответствующее ламинарному режиму (похожее на распределение, представленное на рис. 2.6, а). При предположениях, аналогичных случаю системы (2.6), (2.13) метод характеристик приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{db}{dl} = B_b;$$

$$\frac{dh}{dl} = B_h; \tag{2.29}$$

$$\frac{du_*}{dl} = (2A_h + 2A_b)u_*$$

(к этой системе добавляются уравнения, генерирующие периодичность коэффициентов сноса, см. систему (2.19) – (2.24)).

Типичный вариант решения системы (2.29) представлен на рис. 2.8. Таким образом, имеем «винтовое» многомодальное (в известном смысле) движение, повторяющее изображение на рис. 2.6, б.

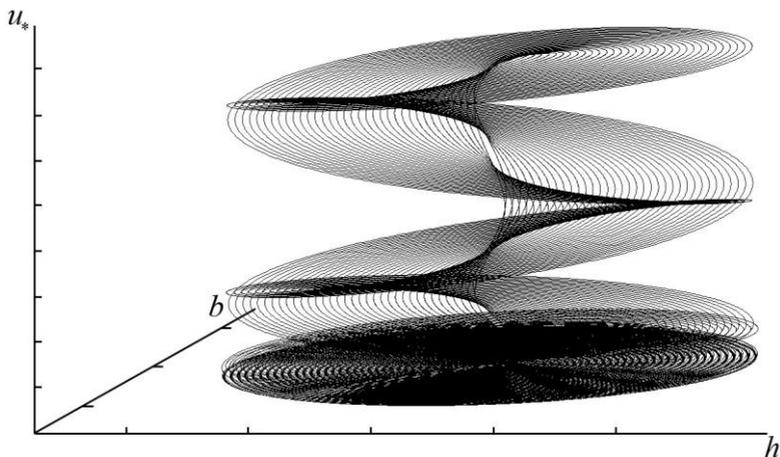


Рис. 2.8. Типичный вариант решения системы (2.29).

2.3. Фрактальное диагностирование открытых потоков*

В последние десятилетия в науке произошел настоящий метаморфоз понятий геометрии. Вдруг заметили, что в природе господствуют не прямые линии и правильные формы, а изрезанные и самоподобные структуры. В мире царит фрактальность (дробность), появилась фрактальная геометрия¹. Чтобы прочувствовать ситуацию обычно приводят такой пример [18]. Если взять лист бумаги, то при нулевой толщине он представляет собой аналог евклидовой плоскости с размерностью, равной двум. Теперь сделаем из него комок. Какая у него размерность? Это ведь не сплошное тело, имеющее размерность три. Значит, что-то между двумя и тремя. Чем сильнее спрессовать, тем ближе размерность к трем. В подобных случаях говорят, что комок (и похожие «рыхлые» тела) имеет дробную (**фрактальную**) размерность. Так как он располагается в трехмерном пространстве, то говорят, что размерность его **пространства вложения** есть три.

Фрактальная размерность характеризует не свойства каких-то абстрактных пространств «вообще», а конкретный объект (в нашем примере – комок бумаги). Еще точнее – она является продуктом факторов влияния на систему (лист бумаги). В данном случае – это сила, с которой мы сжимаем лист. Если очень сильно утрамбовать комок, то его фрактальная размерность увеличится (в пределе – до трех). Следовательно, она характеризует влияние инфинитного окружения (точнее – частично инфинитного взаимодействия с ним).

Теперь рассмотрим временной ряд речного стока (рис. 2.9). На этом рисунке изображена линия (одномерное многообразие, как сказали бы математики). Однако в первом случае она прямая (евклидова размерность равна единице). А во втором и третьем? И не прямая, но и не плоскость (как в четвертом случае). Уже не линия, но еще и не плоскость. Размерность этого «оно» между единицей и двойкой.

* Раздел подготовлен совместно с докторантом Е. В. Гайдуковой

¹ Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

2. Свертка и дифференциация понятий ...

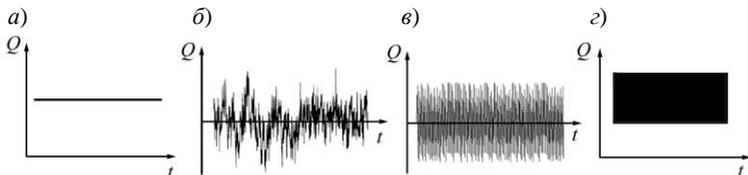


Рис. 2.9. Изменение фрактальной размерности ряда речного стока: $a - 1$; $б - 1, \dots$; $в - 1, \dots (\rightarrow 2)$; $г - 2$.

Чем отличается второй случай от третьего? Явно видно, что во втором случае прослеживается сильная автокоррелированность, а третий – похож на белый шум. Автокоррелированность создается условиями формирования стока (инфинитным окружением). Поэтому в случае белого шума предметная область (процесс формирования стока) фиксирована не очень жестко. Это означает, что географический объект, именуемый речным водосбором, надо описывать (характеризовать) не только стоком, но и, например, биомассой, испарением и т. п.

Если вместо ряда среднегодовых расходов воды представить последовательность частиц («шариков»), то во втором случае они жестко связаны, а в третьем – нет. Таким образом, фрактальная размерность – это характеристика жесткости самого объекта. Если поместить «фигуру», изображенную на рис. 2.9, б, не на плоскость, а в пространство («трубу»), то она сохранит свою форму. Следовательно, в пространстве вложения любой размерности объект остается самим собой.

В случае когда частицы не связаны (белый шум, молекулы газа), то они пытаются заполнить все пространство вложения (как тесто). В нашем случае (рис. 2.9) заполняется плоскость, но это может быть объем или (в случае фазовых пространств) пространство любой размерности.

Еще один пример связан с определением длины береговой линии. Парадоксально, но у береговой линии конечной длины не существует. Этот парадокс связан с ее фрактальной размерностью (рис. 2.10, в). Оказывается, что величина L зависит от (образно) раствора циркуля l : если его уменьшать, то L будет стремиться к бесконечности. Длина L определяется выражением $L \approx l \cdot N$, где N показывает, сколько раз прикладывается циркуль. Так как $N \approx (R/l)^D$

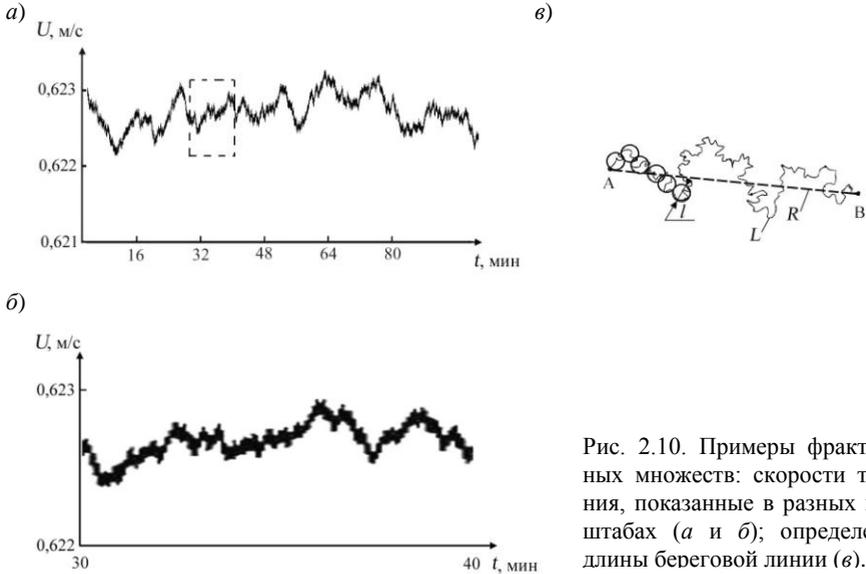


Рис. 2.10. Примеры фрактальных множеств: скорости течения, показанные в разных масштабах (а и б); определение длины береговой линии (в).

(ниже поясним эту формулу), то $L \approx l(R/l)^D$. Показатель D и называется фрактальной размерностью. Если она совпадает с топологической ($D = 1$), то приходим к обычному понятию длины гладкой линии $L = l(R/l)^1 = R$. (Фрактальные объекты, согласно своему начальному определению, обладают размерностью, строго превышающей топологическую размерность элементов, из которых они построены.)

Если раствор циркуля $l \rightarrow 0$, то $L = \lim_{l \rightarrow 0} l(R/l)^D = lR^D / l^D \sim l^{1-D} \rightarrow \infty$ (если $D > 1$). Например, для берегов Англии $D \approx 1,3$. Накроем береговую линию плоскостью (рис. 2.11). Если L рассматривать как фазовую переменную, описывающую состояние системы «берег», то она неустойчива ($L \rightarrow \infty$), т. е. оказываемся в условиях нефеноменологического (сущностного) парадокса. В то же время площадь плоской фигуры, в которую вписан берег, конечна ($ab = S < \infty$). Следовательно, если a и b – две новые фазовые переменные, такое описание устойчиво. Парадокс: имеем

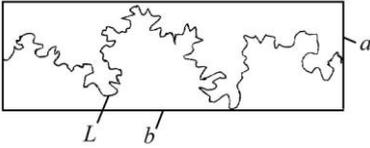


Рис. 2.11. Исключение нефеноменологического парадокса путем расширения фазового пространства.

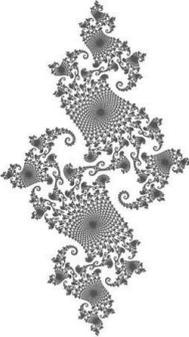


Рис. 2.12. Пример фрактального множества Жюлиа (из «долины морских коньков»).

бесконечную длину (одномерное фазовое пространство) в конечном (двухфазовом) пространстве.

Объект, который имеет дробную размерность, называется **фракталом** (или **фрактальным множеством**, см. рис. 2.10). Обычно это – **странные аттракторы**, и фрактальная размерность как раз характеризует меру этой «странности». На рис. 2.12 приведен пример фрактального множества Жюлиа.

Конечно, интерес представляет физика фракталов с позиций частично инфинитного моделирования. Рассмотрим механизм возникновения фрактала на примере формирования речного стока. Если на вход модели (1.2 подразд. 1.1) подать осадки в виде прямоугольного

импульса, то решением уравнения будет гладкая кривая $Q(t)$ с целой размерностью. При переходе к нелинейной модели с обратной связью и дискретным временем $T = 1$ (т. е. к отображениям) получим:

$$Q_{n+1} = F(Q_n) = Q_n (1 + (\dot{X} / Q_0)(1 - Q_n / k\dot{X})), \quad (2.30)$$

где $Q_0 = W/T$ ($W = \text{const}$). Величину \dot{X} / Q_0 назовем **гидрологическим потенциалом** речного бассейна. В зависимости от значения \dot{X} / Q_0 получаются решения, представленные графиками на рис. 2.13. Можно получить с помощью нелинейного расширения (см. [28]) подобной модели и фрактальные структуры (рис. 2.14). Для того чтобы подобные структуры получить, потребовалось:

- 1) ввести нелинейность;
- 2) иметь достаточно большие значения потенциала;
- 3) действовать по рекурсивному алгоритму с обратной связью.

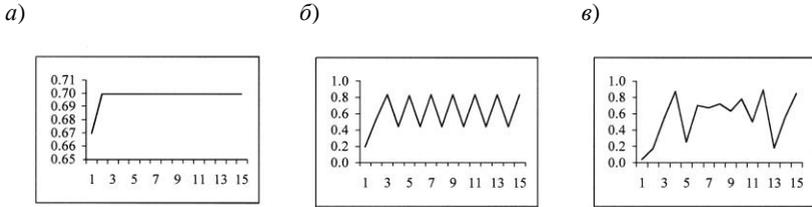


Рис. 2.13. Вид решения уравнения (2.30) в зависимости от значения гидрологического потенциала (по вертикальной оси отложены значения Q , а по горизонтальной – число итераций): $a - 1,9$; $б - 2,41$; $в - 2,59$.

Рассмотрим физический смысл фрактальной размерности. Если бы береговая линия L была не фрактальной, то, «потянув» за точки A и B (см. рис. 2.10, в), мы получим отрезок прямой с размерностью единица. Но если потянуть за «концы» фрактальную береговую линию, то при ее растяжении будут самовоспроизводиться ее фрагменты.

Спрашивается, за счет каких ресурсов? Для того чтобы получить фрактал, надо совершить N итераций за время $T = \lim_{N \rightarrow \infty} \Delta t N$, где Δt – время, затрачиваемое на одну итерацию. Если $\Delta t \neq 0$, то $T \rightarrow \infty$, т. е. фрактальные процессы – нереализуемая математическая абстракция. Если $\Delta t = 0$, то получается, что переход из одного состояния в другое происходит мгновенно без затраты энергии. Таким образом, оказываемся в парадоксальной ситуации логико-негеоцентрического характера. Для того чтобы от этого уйти, надо ресурс измерять не временем. Простой итерацией процесса при фиксированных \dot{X} , Q_0 и k фрактальную размерность не изменить. Значит, ресурс для ее изменения (т. е. развития системы) лежит в инфинитном окружении, порождающим \dot{X} , Q_0 и k , или, на физическом языке, – во фрактальной сре-

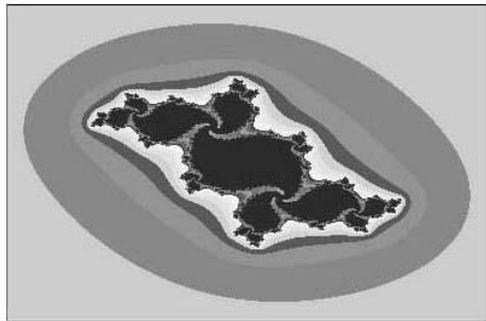


Рис. 2.14. «Фрактальное решение» модели формирования стока.

2. Свертка и дифференциация понятий ...

де. Именно выжигая ее (увеличивая потенциал \dot{X} / Q_0 словно – метафорически – накал лампы), можно графиком $Q(t)$ заполнить плоскость, как на рис. 2.9, *г*. Но изменение \dot{X} , Q_0 и k – это новая фиксация предметной области. Поэтому гносеологический переходный процесс можно организовать не иначе как жертвуя частью размерности пространства вложения. Затрата энергии на новую фиксацию и есть эта жертва. Таким образом, частично инфинитная реальность – это питательная среда для роста размерности фрактала.

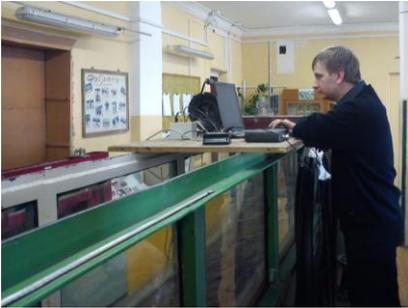
Мы опустим технологию вычисления (диагностирования) фрактальной размерности (см. [18, 28], а также работы^{2, 3}, в которых представлено программное обеспечение необходимых вычислений), но заметим, что нас пока интересует не столько сама фрактальная размерность, сколько ближайшее превосходящее ее целое число – размерность пространства вложения, которая дает представление о числе обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изучаемую систему. Если мы получили число 2,71, то размерность пространства вложения 3. Что скрывается за дробью 0,71 пока не ясно. Видимо, она характеризует степень «недоразвитости» объекта; как ее назвать и как она связана с уже освоенными характеристиками (например, статистическими понятиями) подлежит выяснению. Пока можно сказать, что размерность пространства вложения в определенной степени идентифицирует модель изучаемого объекта. Ближайшим прототипом (если такая терминология вообще уместна в данном случае) может служить автокорреляционная функция ряда наблюдений: спадающая экспонента говорит о справедливости линейного формирующего фильтра, а, например, периодическая – о наличии колебательного режима в системе.

В РГГМУ были проведены эксперименты по фрактальному диагностированию открытых потоков в гидравлическом лотке (рис. 2.15).

² Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть III. Частично инфинитное моделирование» (на базе языка C++ Builder). – СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 102 с.

³ Способ определения фрактальной размерности рядов многолетнего речного стока. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. № 2012123537/28/035838 от 06.06.2012.

а)

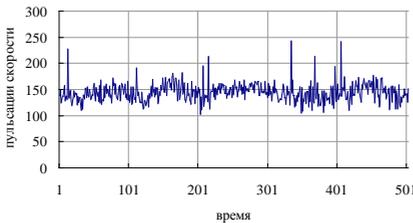


б)



Рис. 2.15. Фрактальная диагностика безнапорного движения в лаборатории водных исследований РГГМУ: *а* – общий вид экспериментальной установки (на снимке аспирант Поташко Е. А.); *б* – микровертушка с осциллографом и компьютером.

а)



б)

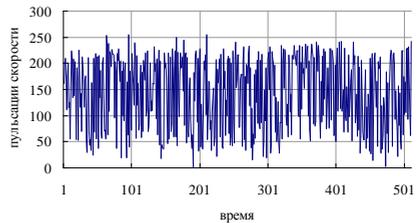


Рис. 2.16. Типичные реализации скоростей при наличии квазипериодических колебаний ($I > i_0$) (*а*) и при их отсутствии ($I < i_0$) (*б*).

Было продиагностировано несколько режимов движения воды в гидравлическом лотке: в режиме $I > i_0$ и при $I < i_0$. Эти режимы обеспечивались степенью закрытия жалюзи. Типичные реализации скоростей при этих режимах представлены на рис. 2.16.

В случае рис. 2.16, *а* фрактальная размерность 6,18, в случае рис. 2.16, *б* – 7,39. Прокомментировать подобный результат можно следующим образом. Если одномерное течение описывается системой Сен-Венана, то его фазовое пространство двумерно (расход–уровень или скорость–глубина). Наличие периодических колебаний (рис. 2.16, *а*) указывает на то, что в формировании режима течения активное участие принимает и коэффициент гидравлического трения, а, значит, фрактальная размерность должна быть, по крайней

2. Свертка и дифференциация понятий ...

мере, больше двух, а учитывая, что временное осреднение не проводилось, то сильное влияние оказывает турбулентность. Более расширенный комментарий пока преждевременен, особенно если учесть, что мы измеряем микровертушкой не осредненную по сечению лотка (гидравлическую) скорость, а местную, в «точке» живого сечения. Ясно, что эти две скорости скоррелированы и даже локальная скорость характеризует гидравлику безнапорных течений. Однако, чтобы делать какие-то однозначные выводы, нужны дальнейшие экспериментальные исследования. Но в любом случае данные результаты – первая ласточка в экспериментальной фрактальной гидрологии речных потоков. Они показывают, что фрактальная диагностика возможна даже в относительно слабо оснащенной учебной лаборатории.

Кроме лабораторных данных были обработаны и результаты натурных измерений при проведении исследований на уже упоминавшийся р. Тверце [11]. Повторимся: в 1959 г. на ней были проведены обширные натурные исследования неустановившегося движения, которое вызывалось специально организованными попусками с Новотверецкой ГЭС (рис. 2.17). Не будем останавливаться на широкой программе научных исследований и приборном оснащении экспериментов (см. [11]), отметим только, что один из створов был оборудован батареей вертушек (см. рис. 2.18), позволяющих проводить непрерывную регистрацию скорости.

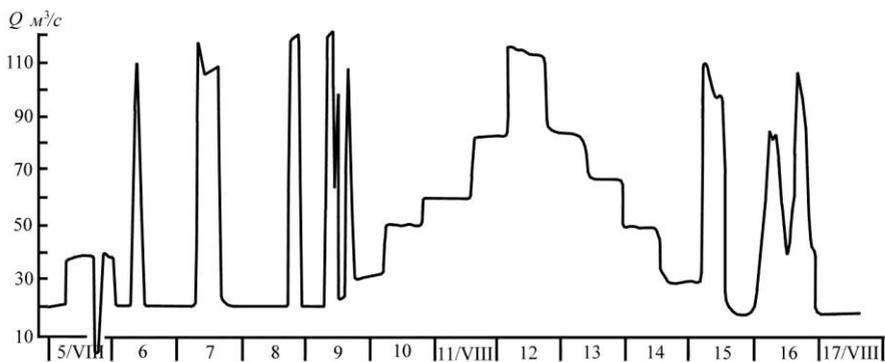


Рис. 2.17. Гидрограф попусков на р. Тверце.

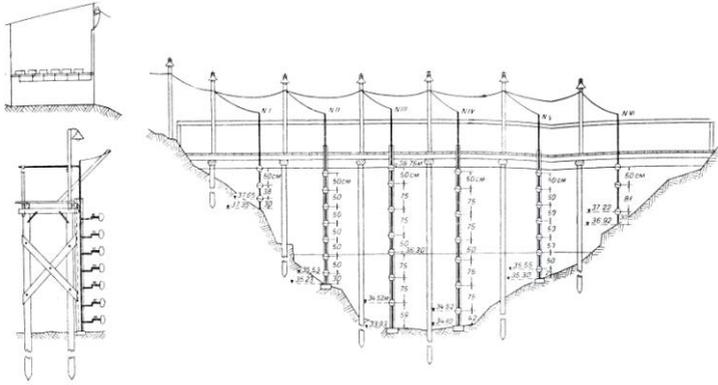
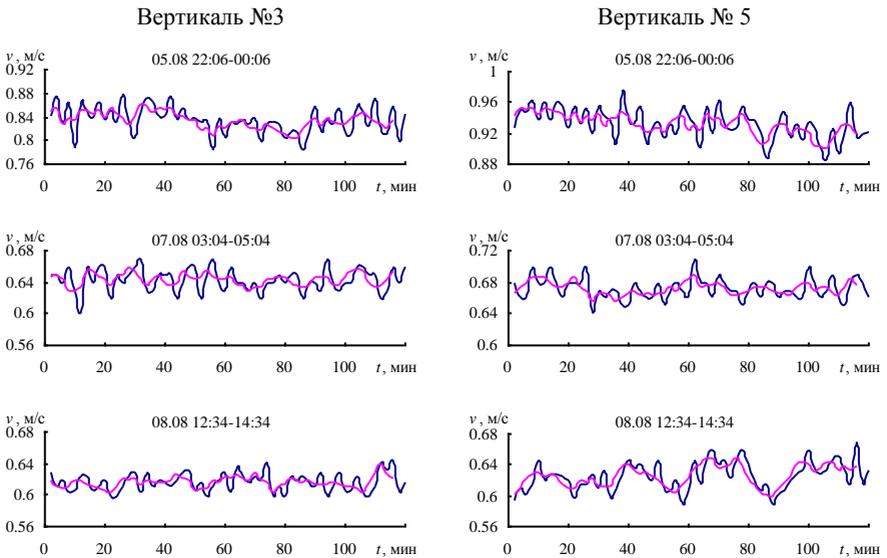
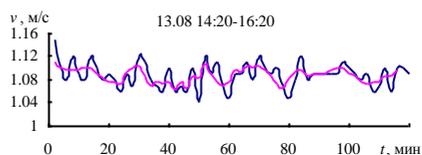
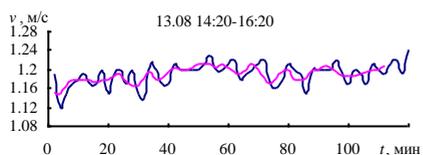
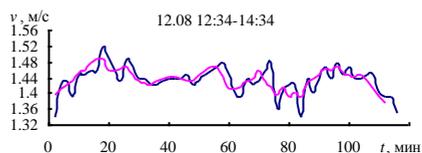
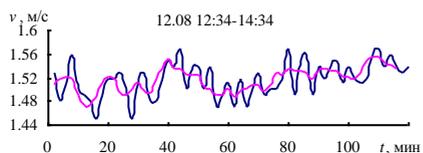
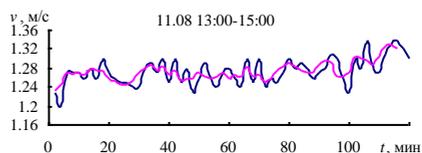
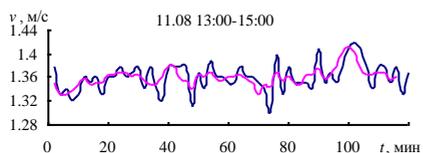
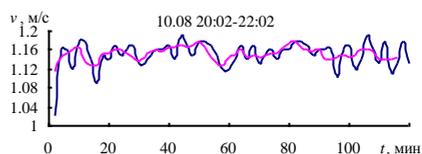
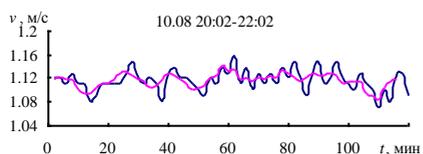
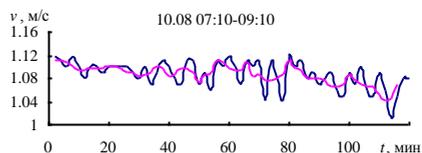
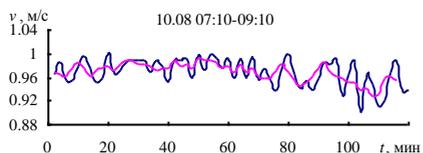
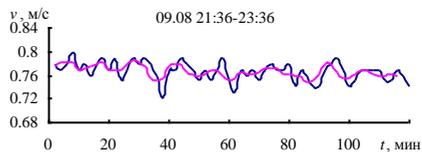
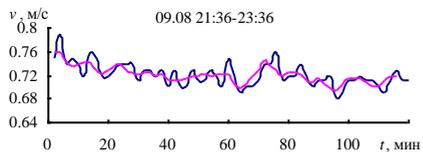
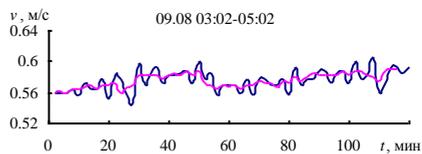
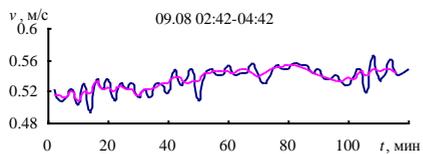


Рис. 2.18. Гидроствор с экспериментальным оборудованием.

На рис. 2.19 представлены реализации скоростей в потоке на двух скоростных вертикалях, которые были проанализированы не только на периодичность (см. табл. 2.1 подразд. 2.2), но и продиагностированы на фрактальную размерность. Результаты сведены в табл. 2.2, которая детализирует табл. 2.1 и дополняет ее сведениями о фрактальной размерности и размерности пространства вложения.



2. Свертка и дифференциация понятий ...



2.3. Фрактальное диагностирование ...

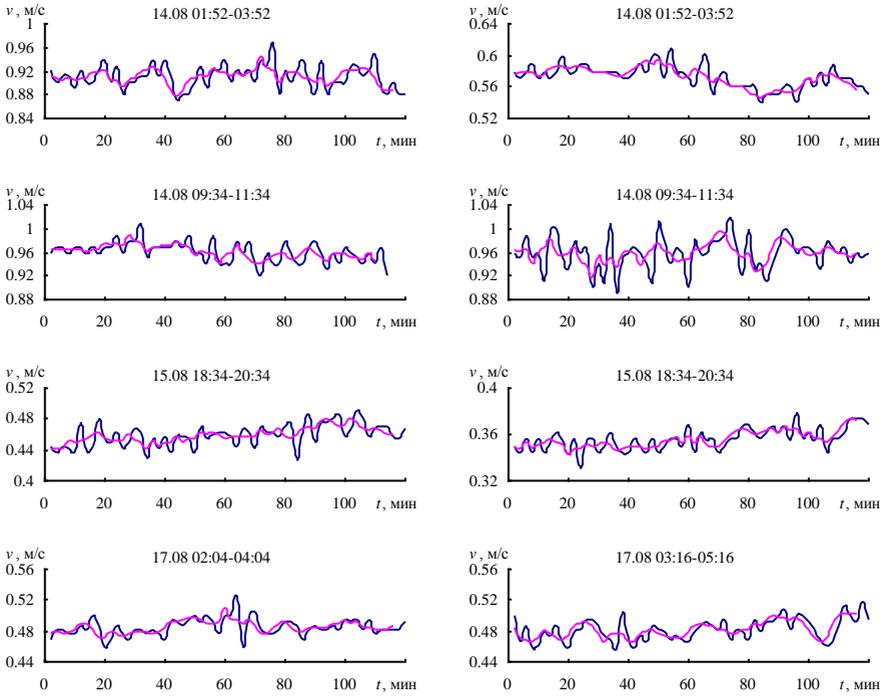


Рис. 2.19. Двухчасовые реализации скорости в «точках» на 3-ей и 5-ой вертикалях до и после осреднения.

Таблица 2.2

Результаты выделения низкочастотной периодичности и вычисления фрактальной размерности на р. Тверце в 1959 г.

Дата	Время измерения, ч мин	Номер скоростной вертикали	Период колебаний, мин		Статистическая надежность выделенного периода, %	$I - i_0, \%$	Амплитуда колебаний скорости, % среднего значения скорости		Размерность фрактальной / пространства вложения	
			по теоретической формуле	по методу Шустера			соответствуют выделен. периоду в исходной реализации	для локальных скоростей	для осредненных скоростей	
5.08	22 06 – 0 06	3	16,4	26	92,2	0,15	3,6	9,8	3,71 / 4	0,64 / 1
	22 06 – 0 06	5	16,4	28	92,2	0,15	5,4	11,4	2,45 / 3	4,41 / 5
7.08	3 04 – 5 04	3	25,8	32	86,1	0,11	5,4	10,8	1,97 / 2	2,29 / 3

2. Свертка и дифференциация понятий ...

Продолжение табл. 2.2

	3 04 – 5 04	5	25,8	28	82,6	0,11	3,6	8,9	2,95 / 3	2,03 / 3
8.08	12 34 – 14 34	3	22,4	28	92,2	0,06	3,6	7,3	4,02 / 5	3,69 / 4
	12 34 – 14 24	5	22,4	28	92,7	0,06	6,7	13,0	– / –	1,56 / 2
9.08	2 42 – 4 42	3	29,8	28	87,0	0,04	5,2	14,4	4,70 / 5	0,64 / 1
	3 02 – 5 02	5	29,6	26	92,4	0,04	4,7	10,6	2,71 / 3	0,78 / 1
	21 36 – 23 36	3	29,2	24	85,0	0,09	5,0	15,2	3,21 / 4	0,59 / 1
	21 36 – 23 36	5	29,2	26	82,6	0,09	3,9	10,4	1,91 / 2	1,93 / 2
10.08	7 10 – 9 10	3	16,6	24	92,5	0,17	4,4	11,1	2,97 / 3	0,36 / 1
	7 10 – 9 10	5	16,6	24	92,5	0,17	3,7	10,1	3,57 / 4	3,43 / 4
	20 02 – 22 02	3	19,8	32	88,6	0,21	3,4	7,2	0,87 / 1	0,46 / 1
	20 02 – 22 02	5	19,8	28	88,6	0,21	5,6	14,8	2,88 / 3	1,19 / 2
11.08	13 00 – 15 00	3	18,7	30	90,2	0,25	4,6	9,4	2,81 / 3	– / –
	13 00 – 15 00	5	18,7	24	92,3	0,25	3,6	10,3	4,68 / 5	3,51 / 4
	21 15 – 23 15	3	19,6	26	85,8	0,23	3,6	11,8	2,38 / 3	1,67 / 2
	21 15 – 23 15	5	19,6	30	83,4	0,23	3,7	9,4	– / –	0,74 / 1
12.08	12 34 – 14 34	3	17,8	30	88,6	0,29	4,0	7,2	– / –	0,83 / 1
	12 34 – 14 34	5	17,8	26	76,4	0,29	3,9	9,8	2,26 / 3	2,20 / 3
13.08	14 20 – 16 20	3	17,8	24	92,2	0,18	3,7	8,4	1,87 / 2	0,38 / 1
	14 20 – 16 20	5	17,8	22	92,2	0,18	3,1	10,1	1,96 / 2	3,48 / 4
14.08	1 52 – 3 52	3	27,5	32	71,0	0,11	3,7	11,0	1,00 / 1	– / –
	1 52 – 3 52	5	27,5	28	85,4	0,11	3,8	13,9	0,84 / 1	– / –
	9 34 – 11 34	3	26,4	32	74,2	0,12	3,4	9,4	2,62 / 3	1,47 / 2
	9 34 – 11 34	5	26,4	28	71,0	0,12	5,0	13,6	4,02 / 5	– / –
15.08	18 34 – 20 34	3	45,0	28	92,2	0,02	5,0	14,6	– / –	0,49 / 1
	18 34 – 20 34	5	45,0	26	92,2	0,02	3,9	13,5	3,23 / 4	0,54 / 1
17.08	2 04 – 4 04	3	32,0		Не выде лен	0,04		12,9	1,50 / 2	– / –
	3 16 – 5 16	5	32,0			0,04		14,0	– / –	– / –

Конечно, результаты табл. 2.2 требуют осмысления с учетом сделанных выше замечаний о локальности измеренных скоростей. Этого же требует само понятие фрактальности вообще и способы ее практического приложения в виде фрактального диагностирования. Желательно расширение диапазона экспериментальных условий, при которых оно проводится. Например, в лабораторных условиях интересно оценить фрактальную размерность до начала грядобразования и после того, как на дне лотка гряды уже образовались.

3. СУЩНОСТНЫЙ МЕТАМОРФОЗ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ

3.1. Эффект детектирования в детерминистических и стохастических системах

Вся наука «живет по понятиям». «Живут» и сами понятия: рождаются (появляются новые), развиваются (метаморфоз), заменяются более глубокими. И совсем необязательно связывать их появление с изменением объективного бытия. Сам познающий субъект (*dasein* – с маленькой буквы, например гидролог), оказавшись в новых (для себя) сферах бытия (пусть даже только гидрологического) может привлекать для их субъективного познания новые понятия, которые давно известны «большому» *Dasein*.

Конечно, познание сущности конкретной предметной области начинается с построения понятий, трансцендентных (пользуясь терминологией И. Канта) относительно изучаемых явлений. Но раз явления изучаются, то для них уже определены понятия, носящие феноменологический («поверхностный») характер. Чтобы выявить сущность нужны умозрительные концепции из расширенной предметной области, «перекрывающей» гидрологию. Но если такие концепции (а значит, и соответствующие им понятия) уже существуют, то надо просто «нагрузить» феноменологические гидрологические понятия концептуальным содержанием. Это тоже своеобразный метаморфоз понятий, который чаще всего и имеет место в прикладных науках.

Это небольшое введение объясняет название раздела 3, который будет посвящен новым эффектам детектирования и модальной неустойчивости. Но новые они только в рамках классической гидрологии и только с позиций используемых ею понятий. Ниже, в подразделе 3.1, приводится подробное объяснение с помощью эффекта детектирования установленного ранее явления ненулевой нормы многолетних изменений влагозапасов в почвогрунтах речных бассейнов (более точно – изменений суммарных влагозапасов).

Проблемная ситуация. Уравнения водных балансов речных водосборов содержат с десяток составляющих. С увеличением интер-

вала осреднения их число убывает. Годовые водные балансы замкнутых водосборов с площадью, исключаяющей влияние азональных факторов формирования стока, имеют вид [44, 45]:

$$\dot{X} = Q + E \pm \Delta U, \quad (3.1)$$

где \dot{X} – осадки; Q – сток; E – испарение; ΔU – изменение запасов воды в почвогрунтах (близких к изменению суммарных влагозапасов).

В гидрологии считается (чисто умозрительно), что за многолетний период среднее значение величины изменения влагозапасов в почвогрунтах $\overline{\Delta U}$ равно нулю. Это обстоятельство позволяет, имея данные наблюдений за осадками и стоком (для их измерения существует обширная гидрометеорологическая наблюдательная сеть постов), вычислять многолетние нормы испарения и картировать их, балансово увязывать с картами норм осадков и речного стока [44]. На этой основе построены карты среднего многолетнего испарения как для территории России (см., например, приложение к учебнику [13]), так и для всего земного шара [3]. Однако в работе [22] показана возможность появления ненулевых значений $\overline{\Delta U}$. Это было сделано балансовым методом исходя из уравнения (3.1), в котором величина E оценивалась по методике А. Р. Константинова [31]. В ее основе лежат полуэмпирические зависимости $E = f(e, T)$, где e – влажность, а T – температура воздуха на высоте метеорологической будки (обе эти характеристики имеют продолжительные ряды стандартных наблюдений). Суммарная погрешность вычисления $\overline{\Delta U}$ оценивается в «среднеквадратическом смысле» по совокупности погрешностей δ_i , составляющих уравнения (3.1):

$$\delta_{\overline{\Delta U}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \delta_i^2}. \quad (3.2)$$

В первом приближении законы распределения случайных погрешностей вычисления составляющих уравнения (3.1) можно при-

нять нормальными. Тогда, если $|\overline{\Delta U}| > \delta_{\overline{\Delta U}}$, то доверять $\overline{\Delta U}$ можно на 68,3%, если $|\overline{\Delta U}| > 2\delta_{\overline{\Delta U}}$ – на 95,4%, если $|\overline{\Delta U}| > 3\delta_{\overline{\Delta U}}$ – на 99,7%.

Совместно с Е. В. Гайдуковой были проведены вычисления $\overline{\Delta U}$ и $\delta_{\overline{\Delta U}}$ для всех регионов земного шара, в которых справедлива методика Константинова ($3 < e < 25$ (мбар); $-18 < T < 35$ (°C)), причем температурные интервалы зависят от влажности, см. [31], номограмма на с. 207, рис. 58). При расчетах использовалась информация, помещенная на сайте в открытом доступе (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html>). Всего было рассмотрено 418 речных бассейнов с площадью водосборов, находящейся в интервале 1,5 т. км² – 50 т. км², т. е. режим формирования многолетнего стока на них носил зональный характер. Так как данные по e , T и \dot{X} , представленные на упомянутом сайте, получены в результате реанализа, то расчеты были проведены для разных вариантов (указанные характеристики брались по центру бассейна, а также как среднее арифметическое по площади; расход, естественно, брался по замыкающему створу). Для территории России (252 бассейна) расчеты параллельно проводились (при участии асп. Е. Ю. Головановой) с использованием материалов метеорологических ежемесячников. Результаты вычислений использовались для картирования величины $\overline{\Delta U}$ (картирование проводилось для всех вариантов вычисления значений $\overline{\Delta U}$ для уровней доверия 68,3 %; 95,4 %, 99,7 %). Во всех вариантах карты распределения $\overline{\Delta U}$ качественно совпадают, хотя с увеличением уровня доверия становятся более «пестрыми».

На рис. 3.1 в качестве примера представлены карты распределения $\overline{\Delta U}$ по территории России, построенные без отбрасывания бассейнов с малыми значениями $\overline{\Delta U}$ (если считать $\pm \overline{\Delta U} = 50$ мм статистически не значимой, то появляются «белые пятна», в бассейнах которых справедливо предположение классической гидрологии о практически нулевом значении нормы многолетнего изменения величины влагозапасов; на севере Сибири расчеты не выполнялись, так как значения e и T выходили за пределы справедливости номограммы Константинова).

3. Сущностный метаморфоз ...

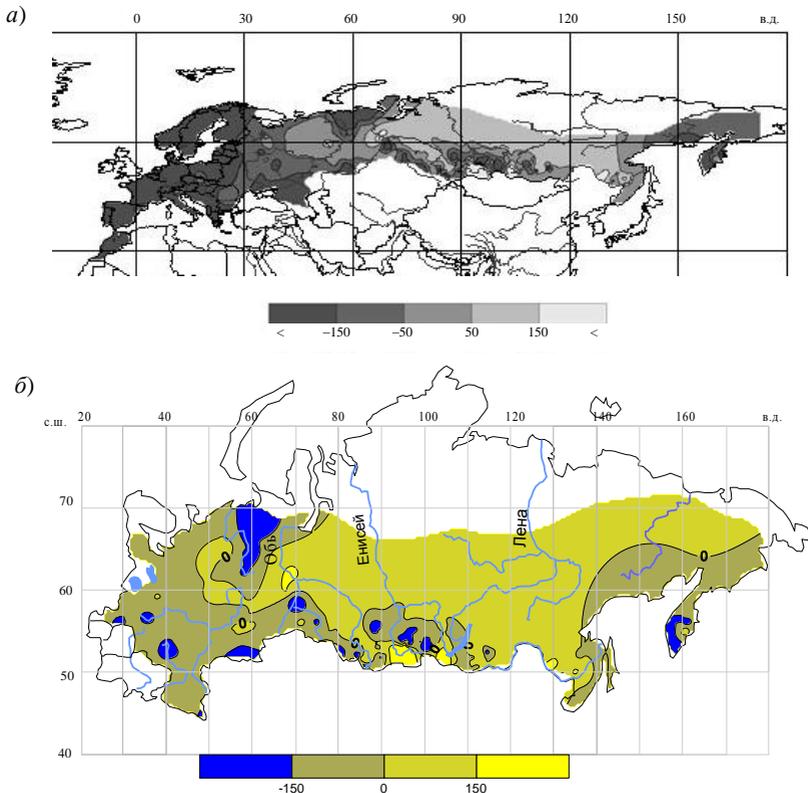


Рис. 3.1. Распределения по территории России многолетней нормы изменения влагозапасов в почвогрунтах (точнее суммарных влагозапасов), полученные по данным реанализа (а) и метеорологических ежемесячников (б).

Таким образом, в рамках существующих (и общепринятых) представлений о надежности эмпирической информации можно считать сам факт явления ненулевой нормы многолетних изменений влагозапасов в почвогрунтах речных бассейнов установленным. Проблема заключается в объяснении физической природы данного явления, выявлении закономерности его реализации.

Об эффекте детектирования. Ниже будет показано, что обсуждаемое явление можно объяснить эффектом детектирования. Сначала рассмотрим процесс детектирования на простом примере из радиотехники (рис. 3.2). Источник э.д.с. $\tilde{\epsilon}$ генерирует симметричное синусоидальное колебание, приложенное к нагрузке R_n . В силу

линейности вольтамперной характеристики, связывающей ток i и напряжение u , ток на нагрузке также симметричен и имеет нулевую постоянную составляющую $i_0 = 0$.

В отличие от рис. 3.2, а на схеме, представленной на рис. 3.2, б, имеется детектор Д, пропускающий ток только в одном направлении, что приводит к появлению постоянной составляющей $i_0 \neq 0$. Причиной искажения симметричного сигнала э.д.с. является нелинейность вольтамперной характеристики $i(u)$.

«Огидрологичем» ситуацию. Пусть роль э.д.с играют осадки $\dot{X} = \dot{X}_0 + a \sin(\omega t)$ (здесь a – коэффициент), а расход Q в замыкающем створе речного бассейна определяется коэффициентом стока k . Тогда, с учетом времени запаздывания τ , модель процесса формирования стока можно представить уравнением

$$dQ/dt = -cQ + N,$$

где $c = 1/k\tau$; $N = \dot{X} / \tau$ (будем считать $\tau = 1$).

Рассмотрим два варианта, соответствующих, примерно, рис. 3.2, а и 3.2, б (рис. 3.3): $c = \text{const} = c_0$; $c = c_0 + f(Q)$. Во вто-

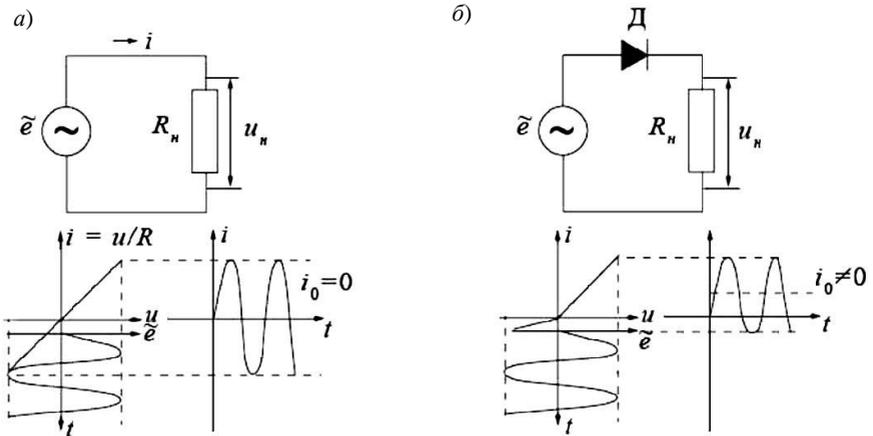


Рис. 3.2. К пояснению эффекта детектирования.

3. Сущностный метаморфоз ...

ром случае с увеличением расхода значение c также увеличивается, т. е. коэффициент стока уменьшается, что автоматически ведет к уменьшению роста Q . Это своеобразный детектор, который «неохотно» пропускает большие расходы (в гидрологических терминах имеет место регулирование стока, например, с помощью водохранилища, которое накапливает воду при ее избытке; роль водохранилища могут играть почвогрунты).

В первом случае аналогом вольтамперной характеристики служит вытянутая «петля» (ее ширина зависит от значения времени запаздывания: чем оно больше, тем «петля» шире). Во втором случае эта «петля» имеет в верхней части загиб, стабилизирующий расходы. Как видно из рис 3.3, *a*, расходы повторяют ход осадков, а в случае 3.3, *б* среднее значение расхода отличается от симметричного случая, что является (по определению) проявлением эффекта детектирования (на самом деле, это понятие очень емкое, тесно связано с понятиями «выпрямления», «демодуляции» и т. д., см., например [46]). Разрывы «цепей» на рис. 3.3 (см. стрелки) призваны подчеркнуть определенное отличие от ситуации с электрическими цепочками на рис. 3.2, в которых источник э.д.с. является элемен-

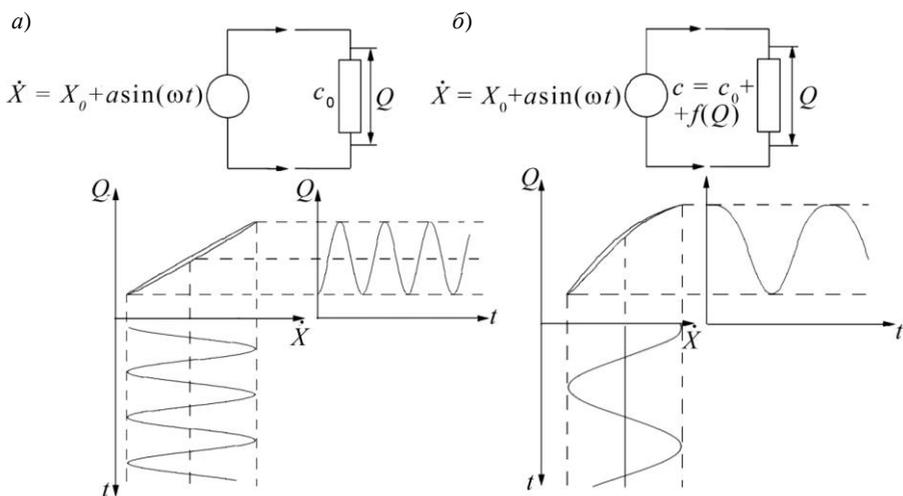


Рис. 3.3. Гидрологический пример детектирования.

том общей системы и (по крайней мере, в принципе) может сам зависеть от ее элементов. В гидрологическом же случае осадки (особенно многолетние) определяются общим ходом атмосферной циркуляции (хотя в определенных случаях, локально, и они могут определяться событиями на водосборах, но не на прямую речным стоком).

Эффект детектирования в почвогрунтах за счет нелинейности скорости насыщения влагой. Обратимся к модели насыщения влагой почвогрунтов [18]:

$$d\Delta U / dt = [-c \operatorname{sign}(\Delta U) + N] / \tau_{\Delta U}, \quad (3.3)$$

где c – скорость насыщения (отдачи); $\operatorname{sign}(\Delta U)$ – знаковая функция; $N = \dot{X} - Q - E$ – внешнее (задаваемое в данном случае) воздействие на почвогрунты; $\tau_{\Delta U}$ – время релаксации почвогрунтов (без потери общности можно считать $\tau_{\Delta U} = 1$).

Будем считать, что $c = c_0 - aN$, где коэффициент a может принимать как положительные, так и отрицательные значения, а величину N зададим с помощью генератора синусоидальных колебаний:

$$dN / dt = N_1; \quad (3.4)$$

$$dN_1 / dt = -bN, \quad (3.5)$$

где b – коэффициент, определяющий частоту внешнего воздействия.

Примеры возможных вариантов решения системы (3.3), (3.4), (3.5) представлены на рис. 3.4. При $a=0$ имеем, хотя и сильно отличающиеся от синусоиды изменения влагозапасов, но симметричные, т. е. эффект детектирования отсутствует (рис. 3.4, б). При $a>0$ появляется положительное смещение $\overline{\Delta U} > 0$, а при $a<0$ – отрицательное ($\overline{\Delta U} < 0$), рис. 3.4, б' и 3.4, б'' (рис. 3.4, а, 3.4, а' и 3.4, а'' – фазовые портреты, связывающие внешнее воздействие и реакцию на него почвогрунтов).

3. Сущностный метаморфоз ...

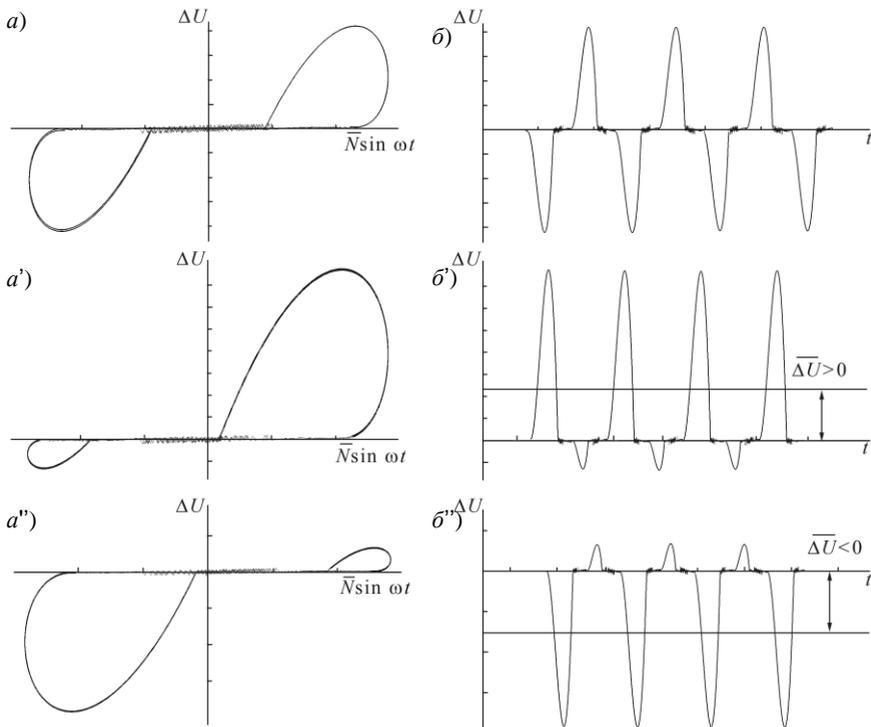


Рис. 3.4. Варианты решения системы (3.3), (3.4), (3.5): $a, б - a = 0$; $a', б' - a > 0$; $a'', б'' - a < 0$.

Эффект детектирования может иметь место и в том случае, если параметр c не меняется, но частотой релейного переключения управляет внешнее воздействие (рис. 3.5):

$$d\Delta U / dt = [-c \operatorname{sign}(N) + N] / \tau_{\Delta U} . \quad (3.6)$$

В рассмотренных выше случаях имело место моделирование процесса формирования влагозапасов в детерминированной системе (речном бассейне), охваченной прямыми и обратными связями (нелинейная следящая система), рис. 3.6. Эмпирическими данными, подтверждающими зависимость $c(N)$ (или, по крайней мере, отличие c от константы), могут служить отличающиеся друг от друга кривые насыщения и истощения почвогрунтов (см. подраздел 3.2).

Не менее убедительной является ситуация (исключающая экзотические фазовые портреты), если среднее значение величины \bar{c} не меняется, но в моделируемую систему введены коррелированные аддитивные и мультипликативные шумы.

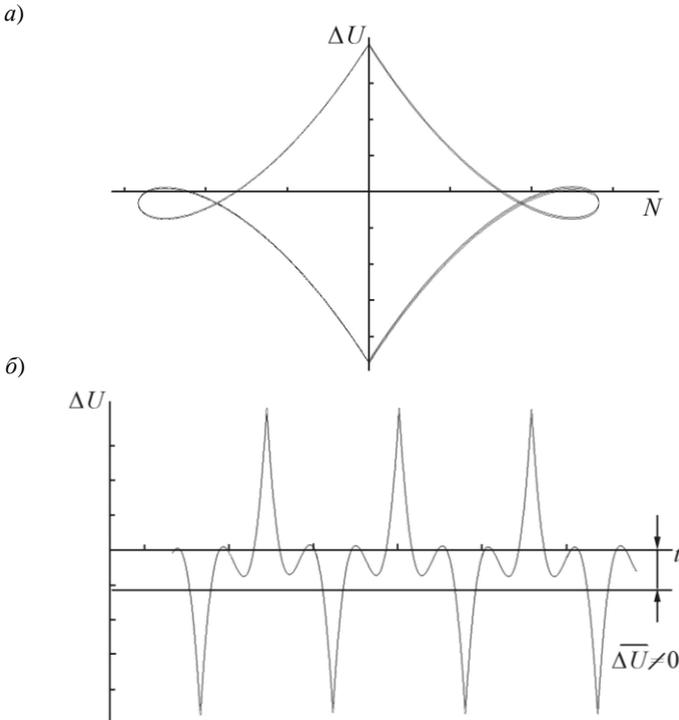


Рис. 3.5. Эффект детектирования при управлении релейным переключением внешним воздействием: *a* – фазовая плоскость; *b* – временная развертка.

Эффект детектирования за счет стохастичности системы. В предыдущих случаях эффект детектирования возникал из-за того, что параметры моделируемого объекта через блок обратной связи (см. рис. 3.6) связывались (управлялись) либо с внешней средой (штриховая линия на рис. 3.6), либо с состоянием самой системы (например, через знаковую функцию). Но в реальных речных бассейнах подобные связи могут реализовываться самым естественным образом за счет флуктуаций внешнего воздействия $N = \bar{N} + \tilde{N}$ и коррре-

3. Сущностный метаморфоз ...

лированных с ними флуктуаций ограничивающего параметра $c = \bar{c} + \tilde{c}$ (здесь \bar{N} и \bar{c} – математические ожидания, а \tilde{N} и \tilde{c} – коррелированные белые шумы с интенсивностью $G_{\tilde{c}}$ и $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$). В этом случае уравнение (3.3) становится стохастическим.

Уравнением подобного (по структуре) типа описывается релейная следящая система, подробно изученная в разных вариантах академиком В. С. Пугачевым и его учениками А. Г. Евлановым, В. М. Константиновым, Ю. М. Астаповым и др., см., например, [2]). Покажем, опираясь на их результаты, возможность появления эффекта детектирования ($\overline{\Delta U} \neq 0$). Пусть $\bar{N} = 0$, но интенсивность шумов ненулевая ($G_{\tilde{N}} \neq 0, G_{\tilde{c}} \neq 0, G_{\tilde{c}\tilde{N}} \neq 0$). Выполняя стандартную процедуру перехода от стохастического дифференциального уравнения к уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова, можно получить выражение для стационарной плотности вероятности $p(\Delta U)$:

$$p(\Delta U) = k \exp \left\{ - \frac{2\bar{c}|\Delta U|}{G_{\tilde{c}} - 2G_{\tilde{c}\tilde{N}} \cdot \text{sign} \Delta U + G_{\tilde{N}}} + \frac{G_{\tilde{c}\tilde{N}} \text{sign} \Delta U}{G_{\tilde{c}} + G_{\tilde{N}}} \right\}, \quad (3.7)$$

где k – коэффициент, нормирующий на единицу интеграл от плотности вероятности (3.7).

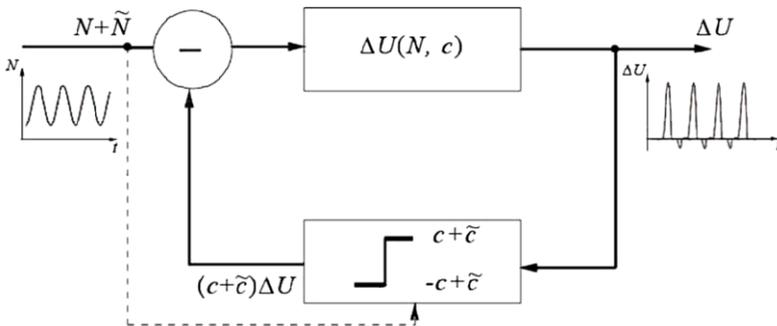


Рис. 3.6. Почвогрунты речного бассейна как нелинейная следящая система (при отсутствии белых шумов \tilde{N} и \tilde{c} – полностью детерминированная).

При нулевой взаимной интенсивности шумов $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$ распределение $p(\Delta U)$ симметрично. При $G_{\tilde{c}\tilde{N}} \neq 0$ появляется асимметрия, знак которой зависит от того, как коррелированы аддитивные (\tilde{N}) и мультипликативные (\tilde{c}) шумы (положительно или отрицательно). Появление ненулевого значения математического ожидания изменения запасов воды в почвогрунтах при нулевом (хотя последнее не обязательно) значении математического ожидания входного воздействия (но при взаимодействии внешних и внутренних шумов) и называется эффектом детектирования в стохастических системах. В качестве примера приведен рис. 3.7 (подобные графики построены для всех 252 бассейнов, по которым получена карта, приведенная на рис. 3.1).

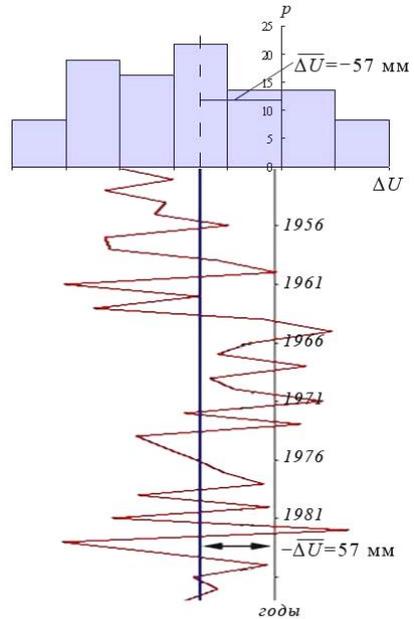


Рис. 3.7. Гистограмма распределения изменения влагозапасов и временная развертка процесса $\Delta U(t)$, р. Чепца – с. Полом.

Выводы. В подразделе 3.1 показано, что установленное ранее явление ненулевой нормы многолетних изменений влагозапасов в почвогрунтах речных бассейнов обязано своему происхождению эффекту детектирования (наиболее вероятно, за счет стохастичности формирования стока). Изменение влагозапасов есть производная по времени от самих влагозапасов, поэтому ненулевое значение $\overline{\Delta U}$ не указывает на факт их истощения (при $\overline{\Delta U} < 0$), так как из математики известно, что производная от функции с нулевым средним значением (таковой можно считать сами влагозапасы, точнее – их отклонения от нормы) не обязана иметь нулевое среднее значение. Одним из очевидных практических применений рассматриваемого явления может служить необходимость корректировки карт норм многолетнего испарения (полученных балансовой увязкой

норм при допущении, что $\overline{\Delta U} = 0$) в регионах, где $\overline{\Delta U}$ статистически значимо отличаются от нулевых значений.

3.2. Физико-географические условия возникновения модальной неустойчивости и эффекта детектирования

В подразделе 3.1 проведен, фактически, сущностный метаморфоз двух понятий, отражающих феноменологический уровень понимания процессов в почвогрунтах.

Первое – понятие влагонасыщения. Визуально все могут наблюдать как в течение года происходит изменение уровня воды в колодцах, причем скорости повышения и уменьшения уровня отличаются. Вряд ли кому приходило в голову по этой видимости («ботве») делать вывод о том, что данное явление (неодинаковость скоростей) ведет к появлению ненулевого остаточного члена в уравнении многолетнего водного баланса речного бассейна, на котором расположен колодец. Корень явления (его природа) – в эффекте детектирования в нелинейных детерминистических системах, к которым относятся и речные бассейны. В данном случае нам не пришлось выдумывать (уморзреть) новое неизвестное понятие, так как оно было уже хорошо известно в науке вообще, но гидрологами еще не было взято на вооружение. Эта «детекторная» сущность всегда стояла за явлением неравномерного наполнения и опорожнения колодца, надо было только ее увидеть, назвать своим именем и диалектически соединить с самим явлением. Вывод же о том, что $\overline{\Delta U} \neq 0$, следовал автоматически. Все это и есть сущностный метаморфоз феноменологического понятия.

Второе понятие, которое было метаморфизовано, – асимметрия. Любой гидролог владеет этим понятием с точки зрения феноменологического восприятия («ботвы»): есть асимметрия, значит, мода и норма не совпадают и надо учитывать этот факт при обеспечении гидрологической надежности гидротехнических сооружений. А ответ на вопрос: «Что ее порождает?» – дело «энтузиастов», так как нет особой практической потребности в знании этого. В случае почвогрунтов этот вопрос вообще представлялся бессмысленным,

так как рядов для влагозапасов не существует. В подразделе 3.1, пожалуй в первые в гидрологии, встал вопрос о природе асимметрии, ответ на который уже известен из фундаментальной науки – теории марковских случайных процессов (она в корреляции мультипликативных и аддитивных шумов). Понимание этого ответа делает понятной и природу ненулевой нормы $\overline{\Delta U}$ – она в корреляции, тут корень проблемы. Таким образом, произошел снова метаморфоз (без «открытия Америки»).

Естественно, возникает соблазн рассмотреть с этих позиций процесс детектирования стока в целом, чтобы найти физико-географические условия реализации эффектов детектирования, а также сопутствующих ему еще не известных явлений. Этому и посвящен подраздел 3.2.

В нем с использованием многомерной модели формирования многолетнего речного стока выявлены физико-географические условия возникновения эффектов детектирования и модальной неустойчивости рядов расходов в речных бассейнах. Как уже излагалось в разделе 1, общепринято, что многолетний речной сток формируется в рамках марковских случайных процессов, моделирование которых осуществляется линейным формирующим фильтром:

$$dQ = [-(\bar{c} + \tilde{c})Q + \bar{N} + \tilde{N}]dt, \quad (3.8)$$

где Q – средние годовые расходы воды (модули, слои); $c = 1/k\tau = \bar{c} + \tilde{c}$; $N = \dot{X} / \tau = \bar{N} + \tilde{N}$; k – коэффициент стока; τ – время релаксации (инерции) речного бассейна; \dot{X} – интенсивность осадков; \bar{c} и \bar{N} – математические ожидания; \tilde{c} и \tilde{N} – белые шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$ и $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$. При отсутствии шумов уравнение (3.8) превращается просто в обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$dQ / dt = -Q / k\tau + \dot{X} / \tau. \quad (3.9)$$

Уравнение (3.8) статистически эквивалентно широко известному уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК) для моделирова-

3. Сущностный метаморфоз ...

ния эволюции плотности вероятности $p(Q, t)$, которое аппроксимируется системой дифференциальных уравнений для начальных моментов m_i ($i = \overline{1,4}$):

$$dm_i / dt = f \{ [i\bar{c} - (i/2)G_{\bar{c}}] m_i, G_{\bar{c}\bar{N}}, \bar{N}, G_{\bar{N}} \} \quad (3.10)$$

(подробная запись – она нам в дальнейшем не потребуется – представлена системой (1.7), см. также [68]). Стационарным решением системы (3.10) является класс вероятностных распределений К. Пирсона, которыми и пользуются в инженерной гидрологии в качестве аналитических аппроксимаций эмпирических гистограмм многолетних рядов стока.

Анализ решений этой системы на устойчивость (ее критерием служит относительная интенсивность мультипликативного шума $\beta = G_{\bar{c}} / \bar{c}$ [22]) позволил получить географическую карту распределения зон неустойчивости начальных моментов многолетнего стока рек Северного полушария, рис. 3.8.

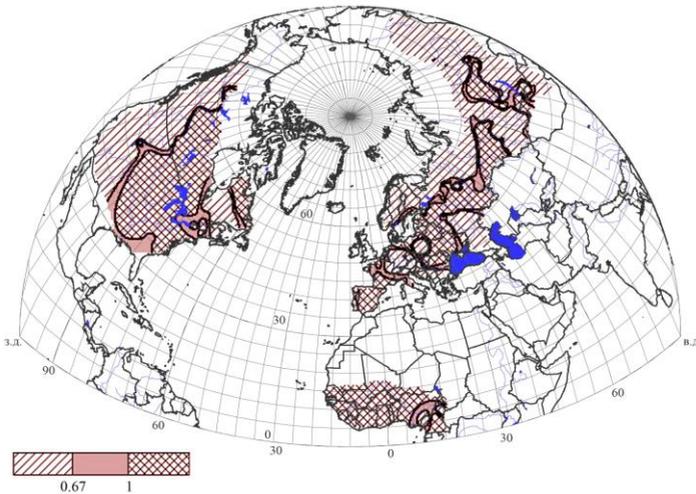


Рис. 3.8. Распределение зон неустойчивости начальных моментов многолетнего стока (среднегодового) Северного полушария ($\beta > 0,67$ – неустойчивость по m_3 , $\beta > 1$ – неустойчивость по m_2). Карта построена совместно с Е. В. Гайдуковой.

Нарушение устойчивости моментов на практике игнорируется, так как: 1) вероятностные распределения (кривые обеспеченности при оценке гидрологической надежности проектируемых сооружений) строятся не путем решения системы (3.10), а по фактическим рядам наблюдений за расходами воды; 2) система (3.10) вошла в обиход относительно недавно в связи с задачами долгосрочного прогнозирования стока при возможных климатических сценариях (реальных рядов стока для будущего не может быть в принципе и единственный способ прогнозирования – использование модели). Однако подобное игнорирование приводит к тому, что эмпирическим гистограммам (часто выходящим за рамки распределений Пирсона, например, имеющим «толстые хвосты») «навязываются» стандартные распределения, заведомо занижающие частоту появления малообеспеченных расходов (см. комментарии, например, в работе [47]).

Одним из путей выхода из этой ситуации является расширение размерности фазовых пространств, в которые погружается модель формирования стока [22], т. е. переход от одномерного распределения $p(Q)$ к многомерному, например, $p(Q, E)$, где E – испарение. «Толстый», но одномерный, «хвост» распределения $p(Q)$ становится «тонким» (размазывается по двумерному пространству). Был найден и способ, позволяющий оценивать необходимую для устойчивости размерность фазового пространства – так называемая фрактальная диагностика [29]. Оказалось, в частности, что существует диапазон климатических норм приземных температур воздуха (1,6 – 7 °С, рис. 3.9), в котором необходимо использовать три фазовые переменные ($Q, E, \Delta U$), где ΔU – изменение многолетних суммарных влагозапасов в речных бассейнах. Для данного трехмерного случая была предложена эволюционная модель [24, 26] для $p(Q, E, \Delta U; t)$, которая в упрощенном варианте $p(Q, t)$ сводится к одномерной модели ФПК, стационарными решениями которой являются классические распределения из семейства кривых К. Пирсона. Наличие модели для эволюции $p(Q, E, \Delta U; t)$ позволило расширить фронт исследований в области формирования многолетнего речного стока, обнаружить новые явления и проблемные ситуации:

3. Сущностный метаморфоз ...

1. Решение модели в отношении распределения $p(\Delta U)$ выявило возможность его несимметричности, что порождает ненулевые нормы изменения многолетних суммарных влагозапасов $\overline{\Delta U} \neq 0$ [22]. Это противоречит общепринятому среди гидрологов мнению, что в многолетнем балансе речного бассейна

$$\dot{X} = Q + E \pm \Delta U \quad (3.11)$$

значение нормы $\overline{\Delta U}$ является нулевым. Подобная устоявшаяся точка зрения носит умозрительный характер: раз изменение влагозапасов меняет знак от года к году, то при многолетнем осреднении это должно приводить к нулевым средним значениям ΔU .

2. Решение динамического ядра многомерной модели ФПК для $p(Q, E, \Delta U; t)$, состоящего из трех обыкновенных дифференциальных уравнений (см. ниже систему (3.14) – (3.16)), показало, что его аттрактор имеет внутри себя область отталкивания (своеобразный репеллер) в районе моды (см. рис. 3.10, а). Однако существующими эмпирическими данными (при стандартной методике их обработки) это не подтверждается.

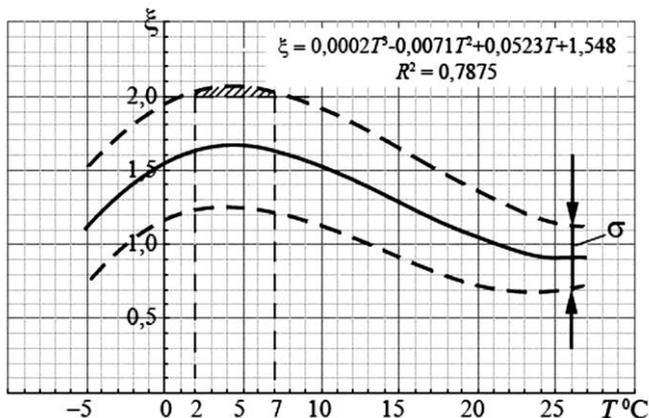


Рис. 3.9. Зависимость фрактальной размерности (ξ) рядов среднегодового многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха (T °C); R – коэффициент детерминации.

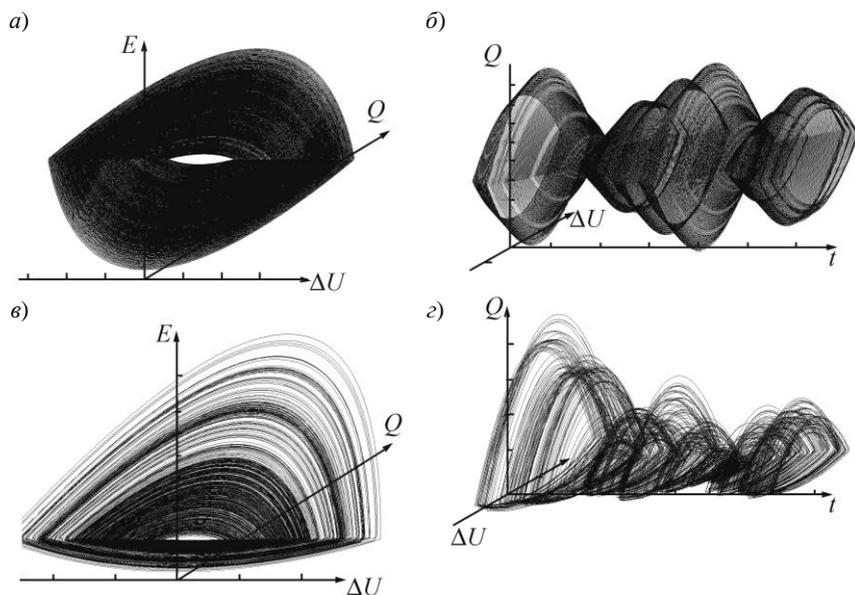


Рис. 3.10. Аттракторы-репеллеры системы (3.14) – (3.16) (а, в) и двумерные проекции из временных разверток (б, г): а и б при одинаковых, в и г при различных скоростях влагонасыщения и водоотдачи почвогрунтов.

Исходя из вышеизложенного, необходимо было решение следующих задач:

1. На основе данных фактических наблюдений за гидрологическими характеристиками подтвердить, что $\overline{\Delta U} \neq 0$, т. е. экспериментально обосновать наличие явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов не только на территории России, но и по всему Северному полушарию.

2. Установить закономерность наступления явления ненулевой нормы $\overline{\Delta U}$, а также несовпадения нормы и моды для Q и E (систематического смещения), исходя из динамического ядра многомерного уравнения ФПК, т. е. не связывая это явление исключительно с эффектом детектирования в стохастических системах, как это было сделано в конце подраздела 3.1.

3. Выявить условия физико-географического характера, при которых наиболее вероятно возникают рассматриваемые явления.

3. Сущностный метаморфоз ...

4. Эмпирически обосновать наличие «модального реппелера», являющегося следствием мягкой бифуркации, т. е. «вывесить флаг катастрофы» (это не бытовой термин, а математическая терминология).

Что касается первой задачи, связанной с экспериментальным подтверждением факта $\overline{\Delta U} \neq 0$, то она, в основном, решена для территории России в подразделе 3.1 (см. также [22]), путем оценки статистической значимости остаточного члена ($\overline{\Delta U}$) уравнения (3.11). Основной проблемой являлось генерирование многолетних рядов испарения. Распространенные формулы вычисления годового испарения, основанные на «уравнении связи», так или иначе используют элементы балансового уравнения и поэтому в значениях E присутствуют неявно и составляющие $\pm \overline{\Delta U}$. Этого нет в методе Константинова, основанном на стандартных наблюдениях за приземной температурой воздуха и влажностью. На рис. 3.11. представлена карта распределения статистически значимых значений величины $\pm \overline{\Delta U}$ с доверительной вероятностью 68,3 %. (При повышении уровня доверия до 99,7% – интервал трех сигм карта становится более «пестрой», но общие контуры сохраняются.)

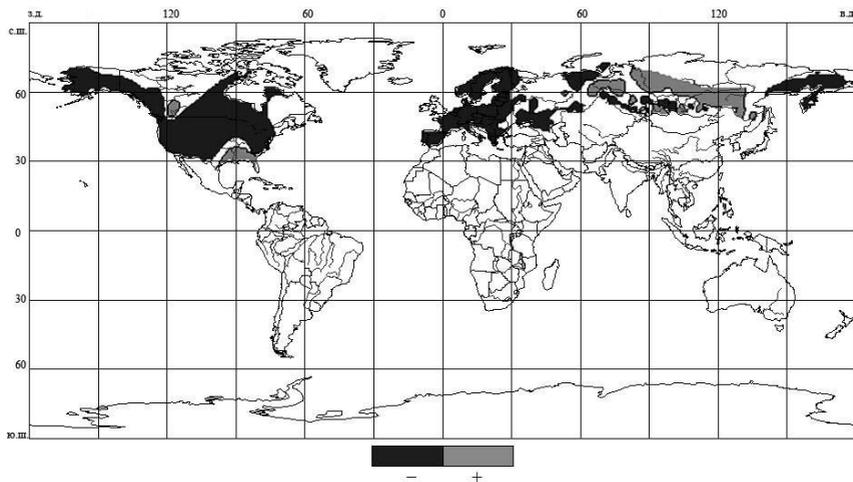


Рис. 3.11. Распределение статистически значимых значений $\pm \overline{\Delta U}$ [30].

В отношении второй задачи следует заметить, что стохастический эффект детектирования (см. подраздел 3.1) имело смысл обсуждать только в отношении $\overline{\Delta U}$. О несовпадении норм и мод для распределений расходов воды известно любому гидрологу (другое дело, что это явление до сих пор не связывалось с эффектом детектирования, хотя на этот факт указывалось в монографии [16]). Такое же несовпадение было обнаружено и в отношении распределений испарения, как только появились сгенерированные ряды последних (см. [20, 27]). «Виновником» асимметрии вероятностных распределений является (как и в случае с величиной $\overline{\Delta U}$) корреляция аддитивных и мультипликативных шумов. Но таким же «виновником» уже для всех трех переменных (Q , E и ΔU) может служить нелинейность процессов, происходящих на водосборах, которая затрагивает одновременно и расход, и испарение, и изменение влагозапасов в почвогрунтах.

Для выявления закономерности появления смещений средних значений гидрометеорологических характеристик, участвующих в процессе водообмена, необходимо иметь динамическое ядро трехмерной модели ФПК. Так как переменные Q и E очевидным образом «конкурируют» за общий ресурс \dot{X} , то они могут быть описаны одним из аналогов модели М. Эйгена [67] для взаимодействующих популяций:

$$\frac{dY_i}{dt} = - \frac{\left(\sum_{i=1}^2 Y_i \right) Y_i}{W_{Y_i}} + \frac{Y_i \dot{X}}{W_{Y_i}}, \quad (3.12)$$

где $Y_1 = Q$; $Y_2 = E$; W_{Y_i} – емкости стоковой и испарительной сред.

Знак переменной ΔU определяется величиной $\dot{X} - Q - E$. Если поступающие в бассейн ресурсы (\dot{X}) большие ($\dot{X} - Q - E > 0$), то $\Delta U > 0$; в противном случае $\Delta U < 0$. Поэтому почвогрунты играют роль своеобразной релейной защиты, следящей системы, работу которой можно описать уравнением

$$d\Delta U / dt = (-c \cdot \text{sign}(\Delta U) + N_1) / \tau_{\Delta U}, \quad (3.13)$$

где $\text{sign}(\Delta U)$ – знаковая функция (+1 при $\Delta U > 0$, -1 при $\Delta U < 0$); $N_1 = \dot{X} - Q - E$; $\tau_{\Delta U}$ – время релаксации почвогрунтовой емкости. Параметр c гидрологически можно интерпретировать как скорость насыщения (или водоотдачи) почвогрунтов.

С учетом (3.12) и (3.13) динамическая система исходных уравнений будет

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\dot{X}}{W_Q} - \frac{Q + E + \Delta U}{W_Q} \right) Q; \quad (3.14)$$

$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{\dot{X}}{W_E} - \frac{Q + E + \Delta U}{W_E} \right) E; \quad (3.15)$$

$$\frac{d\Delta U}{dt} = (\dot{X} - Q - E - c \cdot \text{sign}(\dot{X} - Q - E)) / \tau_{\Delta U}. \quad (3.16)$$

(Заметим, что динамическое ядро (3.9) линейного формирующего фильтра (3.8) становится аналогом (3.14) при условии переменности параметра τ : $\tau = W_Q / Q$.)

Решение системы (3.14) – (3.16) визуализирует рис. 3.10, *а, б*, из которых видно, что существует область отталкивания, симметричная относительно нуля оси ΔU . Симметрия действительно приводит к тому, что положительные и отрицательные значения ΔU компенсируют друг друга и $\overline{\Delta U} = 0$. Это соответствует ситуации, когда скорости насыщения и водоотдачи одинаковы. Если $c \rightarrow 0$ (бассейн «заасфальтирован»), то третья фазовая переменная ΔU исчезает и режим формирования стока сводится к конкурентному взаимодействию стока и испарения [вместо репеллера имеем точку притяжения (устойчивый фокус)]. (Похожая картина будет, если $c \neq 0$, но $\tau_{\Delta U} \rightarrow \infty$.)

Какие физико-географические условия (третья задача) подходят для такой ситуации? Судя по зависимости фрактальной размерности от климатической нормы температуры (рис. 3.9), при очень больших и очень низких температурах воздуха фрактальная размерность уменьшается и можно обойтись без ΔU . На севере в зоне

вечной мерзлоты имеем ситуацию, соответствующую $c \rightarrow 0$ («асфальт»), а на юге (Африка: Сахара, пустыня Намиб) $\tau_{\Delta U} \rightarrow \infty$, так как подземные воды залегают очень глубоко и фильтрующуюся воду можно рассматривать как потери, включив ее в E .

Теперь рассмотрим случай, когда скорости насыщения и водоотдачи различны. Чтобы сдвинуть $\overline{\Delta U}$ с нулевого значения (фокуса) нужны механизмы, порождающие асимметрию. В рамках модели (3.14) – (3.16) это можно сделать с помощью параметра c , допустив, чтобы скорости насыщения и водоотдачи и были различны – менялись с изменением знака у функции $\text{sign}(\Delta U)$. В этом случае имеем ситуацию, показанную на рис. 3.10, в и 3.10, г. Естественно, симметрию теряют и другие фазовые переменные (Q и E). Такое поведение параметра c не является каким-то открытием для гидрологии: сколько угодно случаев, когда, например, насыщение почвогрунтов водой идет быстрее, чем их разгрузка (рис. 3.12).

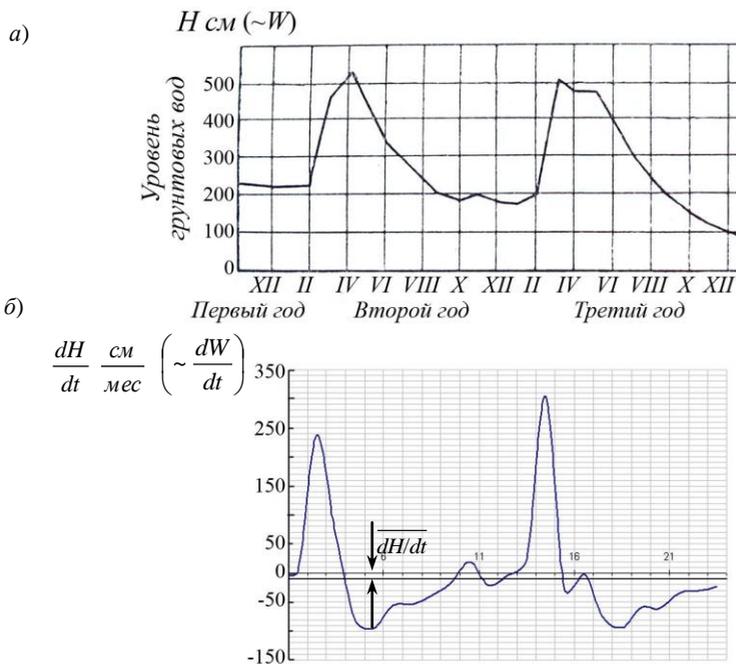


Рис. 3.12. Возникновение ненулевого среднего значения производной ($\overline{\frac{\partial H}{\partial t}}$) от функции, не имеющей многолетнего тренда (H) (рис. а по данным [59]).

Следовательно, явление ненулевой нормы $\overline{\Delta U}$ закономерно наступает при подобном нелинейном эффекте, именуемым в науке детектированием. В подразделе 3.1 отличие $\overline{\Delta U}$ от нуля было объяснено в рамках модели ФПК также эффектом детектирования. Однако там он имел стохастическую природу, а в данном случае закономерность чисто детерминистическая. Судя по карте, представленной на рис. 3.11, распределение знаков у $\overline{\Delta U}$ явно носит географический характер: в Европе и Северной Америке в основном $\overline{\Delta U} < 0$, а в Сибири и Канаде $\overline{\Delta U} > 0$.

Таким образом, на текущий момент относительно надежно установлены: 1) сам факт явления $\overline{\Delta U} \neq 0$; 2) физическая причина (закономерность) его возникновения (различные формы эффекта детектирования); 3) география его закономерного распространения. Следует еще раз обратить внимание, что отличие $\overline{\Delta U}$ от нуля вовсе не означает, что происходит долговременное истощение или насыщение влагой речного бассейна. Средние влагозапасы \overline{W} за многолетний период могут оставаться неизменными, а норма их изменения, т. е. $\overline{dW/dt} = \overline{\Delta U}$ – отличаться от нуля. Это иллюстрирует рис. 3.12, учитывая, что $W = f(H)$, а $\Delta U \sim \partial H / \partial t$ (здесь H – уровень воды в скважинах). Из математики известно, что равенство нулю среднего значения функции вовсе не означает, что нулевой будет и среднее значение производной. (Пример: для функции $y = x^3$, заданной на интервале $-1 \leq x \leq 1$, среднее значение будет нулевым, чего нельзя сказать о ее производной $y' = 3x^2$: $\overline{y'} \neq 0$.)

Четвертая задача сводится к необходимости эмпирического обоснования наличия теоретически обнаруженного репеллера. Ясно, что он должен себя проявлять для всех составляющих правых частей балансового уравнения (3.11). Однако наиболее надежной составляющей является непосредственно измеряемый расход (и испарение, и изменение влагозапасов определяются косвенно). Используемая ниже методика заключается в следующем. Обычно при построении гистограмм вероятностных распределений диапазон значений расходов разбивается на 5 или 7 поддиапазонов. При этом каждый столбец оказывается настолько широким, что расхо-

ды, попадающие в область гипотетической (пока) модальной неустойчивости, никак себя визуально не проявляют по высоте столбца, фиксирующей (осредненно) процент вероятности, приходящейся на данный диапазон расходов (рис. 3.13, а). Если же модальные (наиболее высокие) столбцы подвергнуть вторичному разбиению, то наблюдается картина, представленная на рис. 3.13, б. Естественно, нулевых значений плотности вероятности (полное отсутствие расходов с определенными значениями) тут не будет, но наблюдается явный провал, характерный для U-образных распределений. (То что на рис. 3.10, а, б в центре аттрактора «пятно» абсолютно белое, связано с проведением численных расчетов системы (3.14) – (3.16) при фиксированном значении \dot{X} . В реальности же осадки меняются от года к году, делая белое пятно серым.)

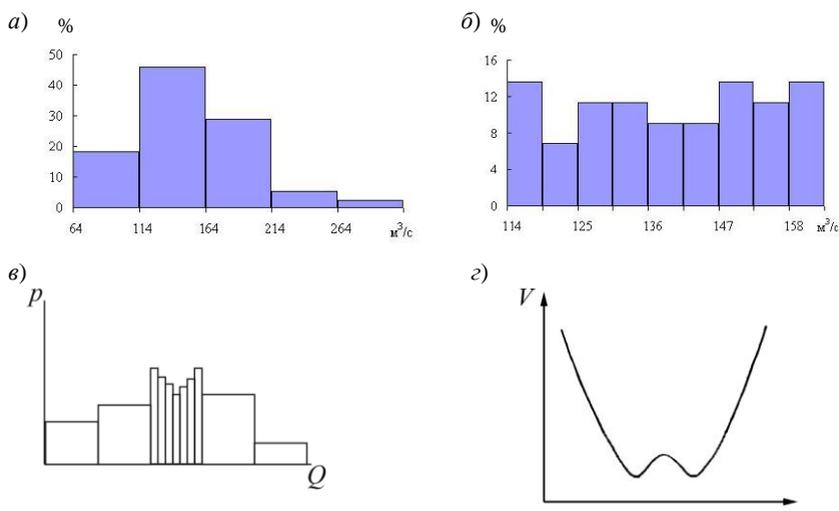


Рис. 3.13. Пример реального распределения плотности вероятности для всего ряда (а) и для модального столбца (б) (р. Днепр – Галич, $Eh = 0,96$; $Eh_1 = -1,27$), а также идеализированные распределения для плотности вероятности (в) и потенциала $V(z)$.

Всего было обработано 72 ряда расходов по бассейнам, расположенным в Северном полушарии в диапазоне температурных климатических норм от $-5,2$ до 22 °С. Длина рядов составляла 55 – 178 лет, площади водосборов 4 – 800 тыс. $км^2$, т. е. на опреде-

3. Сущностный метаморфоз ...

ленной части водосборов ($\approx 30\%$) имел место полизональный режим формирования многолетнего стока. На одном водосборе площадью 600 км^2 режим формирования стока носил, видимо, азональный характер. Крупные реки брались исходя из того, что именно на них ряды наблюдений оказывались достаточно продолжительными. Это необходимо, чтобы модальный столбец содержал достаточное число членов ряда для вторичного построения модальной гистограммы. Представление о рядах дает выборочная табл. 3.1, в которой использованы следующие обозначения: F – площадь водосбора; T °С – климатическая норма приземной температуры воздуха; n – число лет наблюдений; n_1 – число членов ряда, попавших в наиболее высокий столбец гистограммы, соответствующий моде; Eh и Eh_1 – значения коэффициента эксцесса для случаев n и n_1 .

Таблица 3.1

Значения коэффициентов эксцесса для всего ряда наблюдений и для расходов, попавших в наиболее высокий столбец гистограммы, соответствующей моде

Страна	Река	Пост	F , км ²	T , °С	n , лет	Eh	n_1 , лет	Eh_1
Sweden Швеция	Vannern Ванерн	Vanersborg Ванерсборг	46830	6.1	178	-0.42	60	-1.03
Finland Финляндия	Vuoksi Вуокса	Imatra Иматра	61275	3.8	138	0.74	71	-1.16
Czechia Чехия	Elbe Эльба	Decin Дечин	51104	8.0	134	1.67	65	-1.21
France Франция	Loire Луара	Montjean Монжан	110000	11.3	117	1.09	52	-0.91
U.S.A. США	Columbia Колумбия	Dalles Даллес	613830	9.2	109	-0.02	44	-1.49
RF РФ	Desna Десна	Вруанск Брянск	13700	4.6	93	1.96	42	-1.37
Germany Германия	Danube Дунай	Hofkirchen Хофкирхен	47495	8.1	84	-0.66	24	-0.97
Canada Канада	Red Красная	Emerson Эмерсон	104000	2.8	72	1.88	36	-1.54
Canada Канада	Ottawa Оттава	Chats Falls Чатс Фолс	89600	5.0	70	2.40	29	-1.10
U.S.A. США	Willamette Уилламетт	Salem Сейлем	18855	10.8	62	1.18	24	-1.23

В результате подобной обработки выяснилось, что во всех (!) случаях коэффициенты эксцесса модальных столбцов отрицательны [распределения имеют «яму» (рис. 3.13, *a*, *b*, *в*) или, на языке потенциалов в детерминированном случае, – выпуклость

(рис. 3.13, з), порождающую неустойчивость и являющуюся флагом катастрофы – смены топологической картины фазовых портретов при ненулевых значениях параметра c]. В поле координат (Eh_1, T) общая тенденция расположения точек сводится к их концентрации в диапазоне $1 - 14$ °С при среднем значении $Eh_1 \approx -1$. Это указывает на то, что модальная неустойчивость реально существует и определяет многие особенности формирования многолетнего речного стока, в первую очередь, в умеренном климатическом поясе.

Таким образом, установлена закономерность возникновения явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов, в основе которой лежат детерминистические и стохастические эффекты детектирования, и показано, в каких физико-географических условиях она проявляется наиболее ощутимо. Также эмпирически подтверждено явление модальной неустойчивости и установлен флаг смены топологии фазового портрета процесса формирования стока (замены в глобальном аттракторе фокуса на репеллер).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

(комментарии к рисунку на обложке и некоторые обобщения понятия метаморфоза)

На обложке изображено насекомоядное растение Непентес (*Nepenthes destillatoria*) в качестве примера растений с метаморфизированными органами. В тексте данной монографии (см. Введение) дана их физиологическая характеристика. Представим более общую (и более метафорическую) картину их генезиса. Растение – это набор материализованных понятий (так сказали бы идеалисты), объединенных в упорядоченную, логически осмысленную (не растением, а нами) материальную живую структуру, существующую в определенных внешних условиях. В терминах частично инфинитной методологии оно представляет собой «кусочек» рационализированной (финитной) реальности, окруженной реальностью инфинитной, т. е. – невыразимой в понятиях Непентеса (в данном примере). Но граница между ними не является непроницаемой, она частично инфинитна и способствует взаимодействию (интерфейсу) этих двух реальностей. Это взаимодействие осуществляется, в частности, с помощью таких понятий (разумеется, не самих понятий, а органов взаимодействия): дыхание, фотосинтез, потребление влаги с растворенным в ней питательным веществом и др.

Если этих понятий, взятых на вооружение растениями, оказывается недостаточно для эффективного выживания и размножения (т. е. растение оказывается в «тупике» и находится перед выбором: либо измениться, либо умереть), то запускаются те или иные механизмы эволюции. Метаморфоз – один из них, видимо, промежуточный на пути появления нового дополнительного понятия, так как происходит только изменение функции у уже существующего понятия. Обычно происходит метаморфоз листьев, которые, сворачиваясь, становятся ловушкой для насекомых; на их поверхности появляются желёзки, выделяющие пищеварительные ферменты, расщепляющие белки тела насекомого. Но есть растения, пассивно или активно улавливающие насекомых и даже мелких животных специальными ловушками (см. рисунок на обложке).

Расширим метафорическую составляющую этих рассуждений в контексте деструкции онтологии М. Хайдеггером. В данном приме-

ре (как и в целом в частично инфинитном моделировании) мы рассматриваем не бытие «вообще», а его особый вид – экзистирующее бытие растения, т. е. бытие, находящееся в пограничной ситуации (любимый термин экзистенциалистов) между бытием и небытием. Чтобы выжить, надо не просто существовать по шаблону, а измениться. Причем измениться не вообще, а в конкретной ситуации, когда семена растения попали в среду (много воды), бедную азотистыми и другими веществами. И привычное бытие данного вида растений стало меняться. На границе между финитным и инфинитным появилось новое окно для того, чтобы растение могло не шаблонными действиями часть инфинитной реальности превратить в приемлемую для себя пищу. Если раньше для этого достаточно было иметь корневую систему, то теперь надо создать новые возможности, расширив функциональные способности растения, т. е. набор его понятий. По этому пути пошло почти 500 видов растений, временно превратившись в хайдеггеровский Dasein, т. е. бытие особого типа (с расширяющейся частично инфинитной границей – в экзистирующую сущность). Добившись своего, растения успокоились и снова стали жить по шаблону (уже обновленному). Жизнь по шаблону – это тоже бытие, но не особого типа. Объединив философские категории бытия и сознания на этапе экзистенции, Хайдеггер закрыл возможность сознанию мыслящего бытия быть суверенным, т. е. комментировать и прогнозировать механизм развития. И только после прекращения процесса мутации (на шаблонной стадии существования того или иного бытия) появляется возможность для сознания оценивать ситуацию: рассуждать, философствовать, строить теории, передавать знания новому поколению. Вопрос, какие знания? Все, кроме знаний механизмов переходных (от старого к новому) процессов, потому что сознание само их не знает. Оно ведь в эти периоды теряет суверенитет и находится в неразделимой связке с бытием того объекта, который развивается. Поэтому деструкция Хайдеггера – это констатация ситуации на этапе экзистенции. Есть ли чье-то (высшее) сознание, которое руководит (пусть не напрямую, а с помощью предписанных им законов эволюции) развитием или последнее – спонтанный процесс эмпирических проб и ошибок – загадка, тайна мироздания. Остается либо быть религиозным (не верующим, это разные вещи) и держать руки по швам пе-

ред этой загадкой (и пытаться ее потихоньку разгадывать), либо жить шаблонами обыденного существования и всю ответственность перекладывать на Бога, да еще иронизировать над попытками настоящего религиозных людей разгадать Тайну.

Пытливый человек вряд ли будет удовлетворен просто верой. Ему нужна определенная доказательная убежденность, которую может дать только наука. Хотя бы, для начала, просто иметь правдоподобные рассуждения в отношении главной загадки: зачем Богу (Природе, Высшему Разуму и т. п.) надо блокировать (или, наоборот, раскрепощать – это зависит от точки зрения на ситуацию) сознание, чтобы произошла мутация? (В эзотерической литературе тезис о необходимости измененного сознания для выхода в паранормальный мир является общим местом.)

В первом разделе уже дано возможное объяснение. Мир – это квантовая система, представляющая собой суперпозицию возможностей, одна из которых выбирается в процессе взаимодействия наблюдателя (носителя сознания) с квантовой системой. Выбор только **одной** возможности – это атрибутивное свойство живых систем (носителей сознания). Но для развития сознанию должен быть предложен набор альтернатив (возможностей) и оно (сознание) на этом этапе не должно препятствовать их появлению, руководствуясь только старым знанием. Оно само должно раствориться в квантовом мире, стать хайдеггеровским *Dasein* – бытием особого типа («квантовым бытием»). Затем сознание, которое на время создания новых возможностей растворилось в квантовом мире, должно снова стать ему в оппозицию и начать создавать (выбирать) варианты иллюзии того мира, в котором живет наблюдатель, их может быть много – «популяция наблюдателей». Каждый из них предлагает свою иллюзию, которые проходят естественный отбор в духе Ч. Дарвина.

Таким образом, происходит следующее. Умозрительный выбор сознанием одной из потенциальных возможностей (т. е. создание соответствующего иллюзорного мира). Затем это сознание вместе с бытием (носителем, «шкурой») погружается в эмпирический мир (начинает действовать) и смотрит, чем кончится дело. Если все завершилось благополучно и более эффективно, чем у конкурентов,

то выбор оправдан, новое победило старое (а сколько в этом творческом процессе погибло!).

К чему ведет подобный ход рассуждений. К объединенной теории материи и духа (сознания). Физически, реально существует только квантовый мир, находящийся в состоянии суперпозиции, а наше сознание создает его классические проекции. Это приводит к агностицизму, но не в традиционном смысле этого слова («мир непознаваем» – «мир» никто и никогда не делал объектом познания, так как познавать можно фиксированные понятиями предметные области, т. е. затратив энергию; нет такой энергии, чтобы зафиксировать «весь мир»), а к выводу о логической непознаваемости механизмов эволюции предметных областей. Познается нами только то, что нами же и создается, например, иллюзии реальности (причем познается только в смысле выживаемости). Но в переходном (творческом) процессе сознание парализовано, чтобы открыть для выбора другие конкурирующие иллюзии. Поэтому классического мира вообще объективно не существуют, его иллюзии (проекции квантовой реальности) возникают только благодаря сознанию живых существ. В бессознательном состоянии эти иллюзии (фиксированные предметные области) утрачиваются, так как это состояние – атрибут квантовой реальности, представляющий весь мир. А у всего мира, как целого, нет никакого окружения (границы, фиксации), а значит, нет возможности взаимодействовать (не с кем), т. е. давать себя измерять (познавать).

Но познавать фиксированные предметные области Dasein не запрещается. По стандартной схеме: тупик → выбор умозрительной идеи (гипотезы) для выхода из тупика → эмпирическая проверка гипотезы и, в случае успеха, превращение ее в теорию (т. е. метаморфоз старого понятия или появление нового, подтвердившего свое право на существование). И вот тут возникает необходимость вытянуть из физической природы квантовой механики элементы ментальности, так как фиксация предметной области – это некое упорядочивание, осмысление. На помощь приходит «пси-функция» (основное понятие квантовой механики), квадрат модуля которой $|\psi|^2$ интерпретируется как плотность вероятности. Но природа вероятностной меры не физическая, а ментальная (следовательно, автоматически «вводится представление о некоем универсальном на-

блюдателе, оценивающим эту меру», т. е. навязывающем смыслы. Появляется идея [48, 49] о семантическом вакууме – источнике смыслов (осовремененная идея Платона). Смыслы мира «соотнесены с линейным континуумом Кантора – числовой осью μ ... спрессованы так, как спрессованы числа на действительной оси...». Непроявленный Мир – это и есть семантический вакуум. Семантика каждого «текста» (это все что угодно: текст – в буквальном понимании этого слова, «кусочек» осмысленной реальности, например, растение Непентес, и т. п.) задается распределением плотности вероятности $p(\mu)$ (это может быть, например, существующая культура, которая представляет окно в семантический мир). Эволюция этого окна требует наличие фильтра $p(y/\mu)$, представляющего собой нечто (освоившее $p(\mu)$), не удовлетворенное действующим окном. Это нечто, мультипликативно взаимодействующее с распределением $p(\mu)$, формирует новую семантику $p(\mu/y)$, в соответствии с формулой Бейеса (выступающей как силлогизм): $p(\mu/y) = kp(\mu)p(y/\mu)$, где k – нормировочная константа. Эта формула позволяет раскрыть очень многое: текст с размытым смыслом слов, процесс творчества, смысл нирваны, вездесущность слабых форм сознания во Вселенной и др. [48].

Таким образом, для эволюции (метаморфоза) нужна встреча (взаимодействие) существующего смысла $p(\mu)$ с наблюдателем, владеющим набором понятий (метризованных) μ : $p(y/\mu)$. В самом семантическом вакууме тексты (нечто выделенное) отсутствуют так же как в физическом вакууме отсутствуют квантованные поля (суперпозиции). Несмотря на схожесть этих двух миров, семантический мир не скован фундаментальными константами, что открывает дорогу умозрительным спекуляциям, нащупывающим измерениям, являющимися основой научного творчества. Это нащупывание осуществляет наблюдатель, которого требуют оба Мира в силу их вероятностной организации.

Следует заметить, что Налимов вряд ли первым попытался метафизировать формулу Бейеса. Видимо, были попытки и до него. Не такие глубокие и всеохватывающие, но одинаково вызывающие раздражение у позитивистски настроенных ученых, а уж тем более – вульгарных материалистов. Вот выдержка из двухтомного курса

теории вероятностей В. Феллера ([63], с. 142): «К сожалению формула Бейеса была дискредитирована метафизическими приложениями...». В Приложении продолжается «дискредитация», если и не самой формулы Бейеса, то уравнения ФПК для того, чтобы метафорически прокомментировать в общих чертах логику видоизменения растения, изображенного на обложке. Разумеется, речь не идет о метаморфозе только конкретно Непентеса. Под данную схему можно «подсунуть» очень много конкретных ситуаций, меняя используемую терминологию.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(имитация моделирования процесса превращения растения в насекомоядного хищника)

Популяционные модели. Существует определенный класс моделей, которые отражают некоторые реальные черты развивающихся систем. Они хорошо изучены и допускают экспериментальную проверку. Это так называемые популяционные модели, описывающие эволюцию всевозможных популяций (последнее имеет широкое толкование).

Рассмотрим их более подробно [62, 67]. Обозначим через $x_j(t)$ плотность популяции какого-либо j -го вида. Скорость роста (без учета миграции из ареала обитания) определяется уравнением $dx_j / dt = (b_j - d_j)x_j$. Удельные скорости размножения b_j и гибели d_j зависят как от абиотических факторов v_i (тепло, свет и т. п.), так и от взаимодействия с другими популяциями x_j : $b_j = b_j(v_1, \dots, v_i, \dots, v_k; x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$; $d_j = d_j(v_1, \dots, v_i, \dots, v_k; x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$. Обозначив $b_j - d_j = r_j$, получим: $dx_j / dt = r_j x_j$. Если $r_j = r_0 = \text{const}$ (r_j не зависит от x_j – редконаселенная популяция), то имеем модель Мальтуса, решение которой дается экспонентой $x(t) = x_0 \exp r_0(t - t_0)$ (рис. 1). Однако более реалистичная модель получается, если считать, что с повышением плотности популяции она сама себя начинает «тормозить» (β – коэффициент): $r_j = r_0 - \beta x_j$. Модель примет вид $dx / dt = r_0 x(1 - x / K)$, где $K = r_0 / \beta$ (индекс j опущен, так как сейчас рассматривается одна популяция). Это так называемое уравнение Ферхюльста, и его решение дается формулой $x(t) = K / (1 + ((K - x_0) / x_0) \exp(-r_0(t - t_0)))$ (см. рис. 1).

Величина r_0 – **биотический потенциал** популяции (показывает потенциальные возможности роста при отсутствии помех со стороны других популяций и самой себя); K – **экологическая емкость среды**, т. е. тот потолок, до которого может расти популяция в заданной экологической нише.

В случае взаимодействующих популяций ($r_i = r_i^0 - \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_j$, $i = 1, \dots, n$) модель примет вид:

$$dx_i / dt = (r_i^0 - \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_j) x_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Если r_i^0 определяет продуктивность i -го вида (по-другому: селективную ценность или биотический потенциал i -го вида), то $\sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_j = \bar{E}(t)$ – среднюю продуктивность всей цепи взаимодействующих популяций. Размерность r_i^0 обратно пропорциональна времени релаксации ($[r_i^0] = [1/\tau_i]$). Следовательно, если $\tau_i \rightarrow 0$, то $r_i^0 \rightarrow \infty$, т. е. тот, кто быстрее плодится, находится в выигрыше.

Рано или поздно наступает селективное равновесие: $\bar{E}(t) \rightarrow \max_i r_i^0$ и $dx_i/dt = 0$. Система уравнений (1) работает как фильтр, выделяющий информацию (фазовые переменные) с наибольшей ценностью. Чтобы сдвинуться с точки равновесия, должен появиться мутант с $\tilde{r}_i^0 > \max_i r_i^0$, т. е. необходимо рождение новой информации.

Коэффициенты β_{ij} учитывают влияние одних популяций (или фазовых переменных) на другие. Причем могут быть разные ситуации: $\beta_{ij} < 0$, $\beta_{ij} = 0$, $\beta_{ij} > 0$. В зависимости от знака β_{ij} в системе могут происходить разные типы взаимодействий, общая классификация которых сводится к следующему.

Запишем систему уравнений в общем виде: $dx_i / dt = f_i(x_1, \dots, x_n)$, $i = 1, \dots, n$. Переменные x_i (популяции) взаимодействуют друг с другом (борются за свет, тепло, пищу и т. д.). Влияние одного вида на скорость измене-

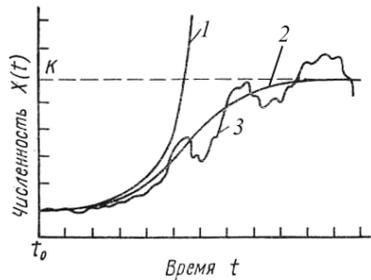


Рис. 1. Нелимитированный (1), лимитированный (2) и фактически наблюдаемый (3) рост популяций [62].

ния других определяется частной производной $(\partial f_i / \partial x_j)|_{x_1, \dots, x_n} = c_{ij}(t) \geq 0$. При этом тип взаимодействия может меняться со временем. Если есть n видов, то исчерпывающую характеристику парных взаимодействий дает матрица $(c_{ij}(t))_1^n$. Всего известно шесть типов парных взаимодействий (табл. 1).

Если пользоваться введенной нами терминологией, то нейтрализм характеризует две инфинитные друг другу «предметные области»: аменсализм и комменсализм – частично инфинитные; конкуренция, жертва–эксплуататор и мутуализм – финитные.

Таблица 1

Типы парных взаимодействий

№	Наименование взаимодействия	Тип влияния	
		1-го вида на 2-й	2-го вида на 1-й
1	Нейтрализм	0	0
2	Аменсализм	–	0
3	Комменсализм	+	0
4	Конкуренция	–	–
5	Жертва–эксплуататор	+	–
6	Мутуализм	+	+

Примечание (характер влияния): 0 нейтральное, – отрицательное, + положительное.

Рассмотренная популяционная модель Лотки–Вольтерра известна с 20-х г. XX в. М. Эйген подобной моделью описывал зарождение жизни на Земле (x_i – конкурирующие и объединяющиеся макромолекулы). Ею же описываются и другие процессы, связанные с теорией эволюции Дарвина, например, борьба идей в науке или «борьба» испарения и стока за выпадающие осадки (см. ниже).

Изменение потенциалов растений и насекомых, существование которых моделируется популяционными моделями. Рассмотрим популяцию растения, исходя из модели

$$\frac{dx}{dt} = r_0 x \left(1 - \frac{x}{K} \right) \quad (2)$$

(обозначения см. выше). Потенциальная функция $V(x)$ получается как решение уравнения

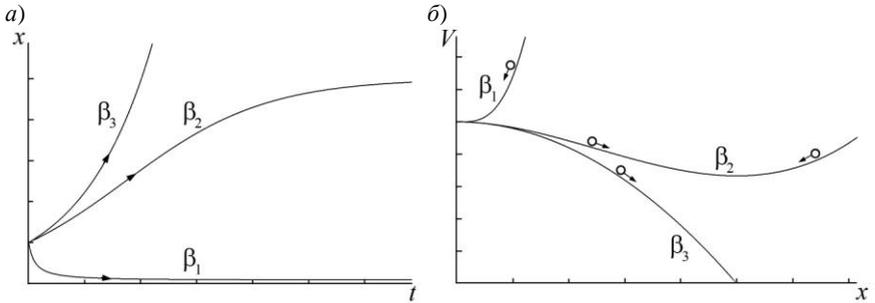


Рис. 2. Хронологические (а) и потенциальные (б) кривые: $\beta_1 \gg \beta_2 > \beta_3 = 0$.

$$\frac{dV}{dx} = -r_0 x \left(1 - \frac{x}{K} \right) \quad (3)$$

(по определению $dV(x)/dx = -dx/dt$).

На рис. 2 представлены хронологические и потенциальные кривые в зависимости от параметра β при $r_0 = \text{const}$. Как видно из рис. 2, при отсутствии самолимитирования ($\beta = 0$) происходит неограниченный рост популяции ($x \rightarrow \infty$). Это не соответствует реальному ни для одного вида растений. При $\beta > 0$ у потенциала возникает «яма», соответствующая устойчивому состоянию равновесия. Однако при уменьшении экологической емкости среды $K = r_0/\beta$, а тем более, если смертность превышает рождаемость ($r = -d$), наиболее устойчивым состоянием популяции является ее вымирание. При $\beta < 0$ (вместо самоограничения действует самовозрастание) решение теряет устойчивость (рис. 2), однако представить возможность такой ситуации на практике для растений довольно затруднительно.

Биотический потенциал, обеспечивающий превышение рождаемости над смертностью, соответствует благоприятной внешней среде, к которой морфологически приспособилось растение. Морфология определена таким набором понятий, которых достаточно для интерфейса с внешней средой. Если же среда обитания изменилась (произошло обводнение и стало не хватать азота), то у популяции растений, для того чтобы выйти из состояния умирания

($x \rightarrow 0$), должны появиться новые возможности для интерфейса. Среду не изменить (растения все-таки не человеческая популяция), следовательно, чтобы из среды вытянуть недостающий азот, растениям надо меняться самим. «Азот летает, садится на листья растений», но его носителя нужно поймать и этот азот отнять (вместе с жизнью носителя). Для этого растения должны «пополниться новыми понятиями» или, по крайней мере, метаморфизировать уже имеющиеся (заставить листья кроме фотосинтеза заниматься еще убийством и химической переработкой насекомых). Наверняка, был долгий эмпирический путь проб и ошибок. С точки зрения популяционных моделей, которые носят феноменологистический характер и не раскрывают всего генезиса захватывающего детектива превращения растения в хищника, а насекомого в жертву, имеем ситуацию, описываемую системой двух дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx_i}{dt} = \left(r_i^0 - \sum_{j=1}^2 \beta_{ij} x_j \right) x_i \quad (4)$$

или

$$dx_1/dt = r_1^0 x_1 - \beta_{11} x_1^2 - \beta_{12} x_2 x_1; \quad (5)$$

$$dx_2/dt = r_2^0 x_2 - \beta_{21} x_1 x_2 - \beta_{22} x_2^2. \quad (6)$$

Уравнение (5) описывает количественное изменение жертвы (насекомых) при встрече с хищником (растениями). Жертвы (x_1) эффективно плодятся ($r_1^0 = b > 0$), но общение с хищником (x_2) ведет к их убыли.

Уравнение (6) описывает количественное изменение хищников, у которых при отсутствии насекомых смертность превышает рождаемость ($r_2^0 = -d$) и они выживают только за счет насекомых (второй член правой части уравнения (6) положительный за счет знака коэффициента β_{21}). Толчком (мотивацией) к метаморфозу послужило то, что при обводнении среды обитания биотический потенциал растения стал уменьшаться и когда смертность превысила рождае-

мость ребром встал вопрос: измениться или умереть (это преувеличение: на самом деле насекомоядные могут существовать, хотя и не так эффективно, и без насекомых). Итогом метаморфоза было появление таких свойств у растений, которые привели к возможности интерфейса с насекомыми ($\beta_{21} < 0$) и, одновременно консервативное поведение последних ($\beta_{12} > 0$), которые не сумели метаморфизироваться сами. При $\beta_{12} < 0$ (и $\beta_{21} < 0$) типом взаимодействия становится мутуализм, когда растения и насекомые способствуют выживанию друг друга.

На рис. 3 представлены возможные типы решения системы (5), (6) при отсутствии самоограничений и растений, и насекомых ($\beta_{11} = 0$, $\beta_{22} = 0$) (рис. 3, *a*, *a'*), при самоограничении (β_{11} или $\beta_{22} > 0$) (рис. 3, *б*, *б'*) и самовозрастании (β_{11} или $\beta_{22} < 0$) (рис. 3, *в*, *в'*).

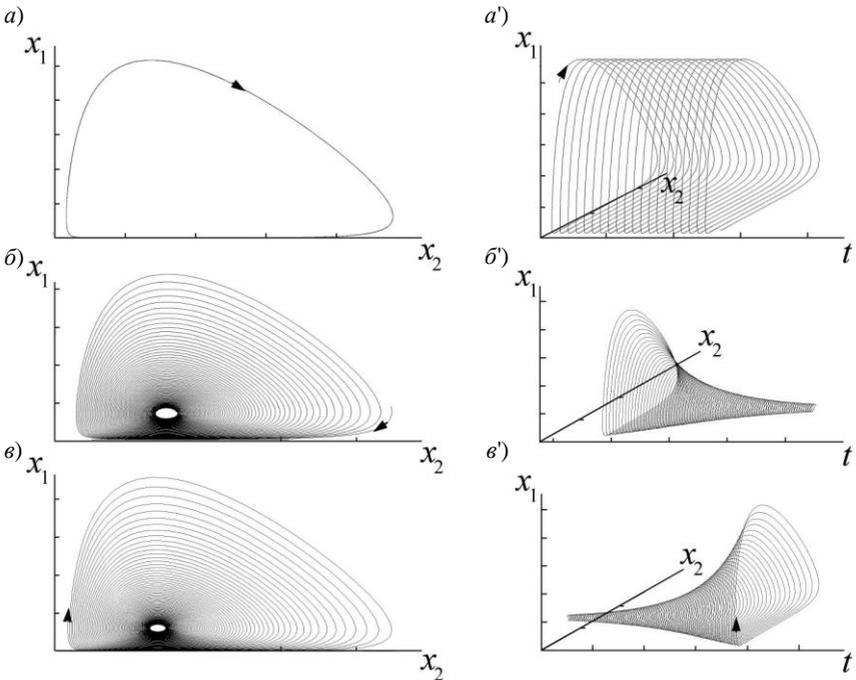


Рис. 3. Фазовые портреты (*a*, *б*, *в*) и временные развертки (*a'*, *б'*, *в'*) для системы уравнений (5), (6).

Можно ввести в систему третью фазовую переменную x_3 , которая не зависит от x_1 и x_2 , но влияет на численные значения и знак коэффициентов β_{11} и β_{22} таким образом, чтобы периодически менялись режимы самоограничения и самовозрастания. В этом случае система уравнений (5), (6) усложняется и будет иметь вид:

$$dx_1/dt = r_1^0 x_1 - \beta_{11} x_3 x_1^2 - \beta_{12} x_2 x_1; \quad (7)$$

$$dx_2/dt = r_2^0 x_2 - \beta_{21} x_1 x_2 - \beta_{22} x_3 x_2^2; \quad (8)$$

$$dx_3/dt = -x_3 + a \sin(\omega t), \quad (9)$$

где a и ω – коэффициент и частота, определяемые условиями среды.

На рис. 4 представлен один из вариантов фазового портрета в двумерной (рис. 4, а) и трехмерной (рис. 4, б) проекциях, а также временная развертка, образуемого при этом цикла (рис. 4, в).

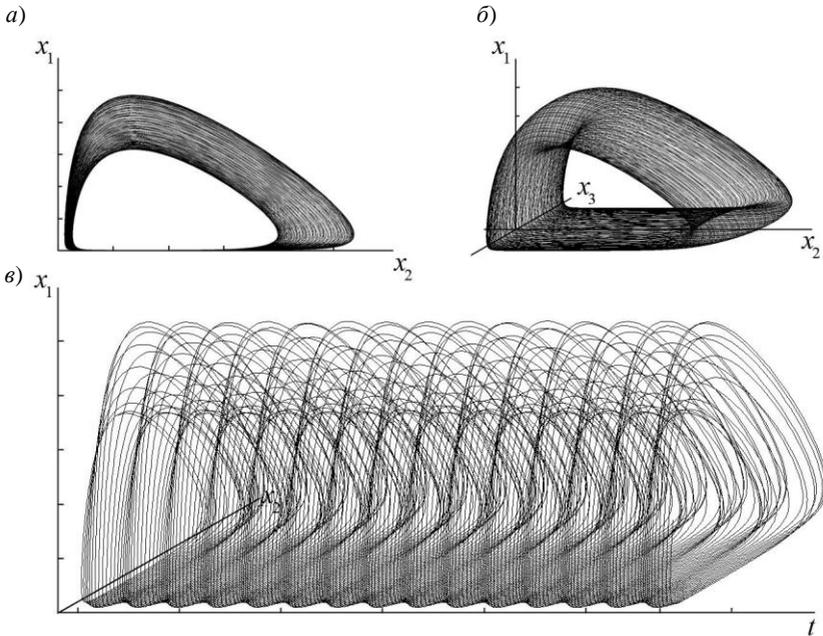


Рис. 4. Фазовые портреты (а, б) и временная развертка (в) для системы (7) – (9).

Как видно из рис. 4 метаморфоз, приведшей к созданию ловушки для насекомых, предотвращает, в рамках понятий модели (5), (6), исчезновение растений, а в случае отсутствия самоограничений создает даже предпосылки для дальнейшей эволюции хищника (см. рис. 3, v , v' – неустойчивость есть атрибутивное свойство развивающихся систем).

В случае дальнейшего метаморфоза понятий (рис. 4), т. е. нашего понимания ситуации (модель (7) – (9)), среда, допуская люфт в размерах цикла, делает существование хищника более устойчивым. (Пересечение фазовых траекторий на рис. 4, a указывает на тот факт, что фазовое пространство рассматриваемой системы является трехмерным, так как в двумерном случае подобное невозможно в принципе.)

Рассмотрим форму многомерных потенциалов. Возможным путем их визуализации является формальное использование уравнения

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1} \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dt} \quad (10)$$

совместно с уравнениями (7) и (8). На рис. 5 показано, как меняется форма потенциала при переходе от устойчивой («воронка») к неустойчивой («темная выпуклость вверх») частям фазовой траектории, представленной на рис. 2. В зависимости от численных значений параметров r_i и β_{ij} потенциалы могут принимать самый экзотический вид, который, однако в целом соответствует типу взаимодействия переменных x_i .

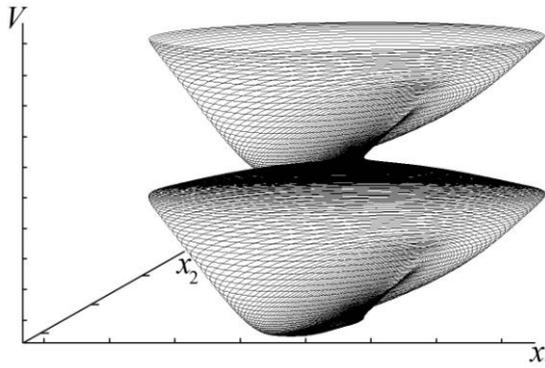


Рис. 5. Трансформация формы потенциала для системы уравнений (7), (8), (10).

Понятие потенциала, в отличие от остальных понятий, использованных в модели (7), (8), (10), носит более абстрактный характер с явными ментальными корнями. Еще один метаморфоз и ментальность полностью насытит вероятностным содержанием рассматриваемую ситуацию.

Вероятностные распределения. Переход к абиотическим системам. Обозначим правую часть системы (4) через $\varphi(\vec{x})$ и введем аддитивные (\tilde{N}_{x_i}) и мультипликативные (\tilde{c}_{x_i}) коррелированные белые шумы с нулевыми математическими ожиданиями, с интенсивностями $G_{\tilde{c}_{x_i}}, G_{\tilde{N}_{x_i}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}_{x_i}\tilde{N}_{x_i}}$. Стохастическое дифференциальное уравнение для двумерного марковского процесса будет:

$$dx_i = \left[\sum_{i=0}^2 (\bar{c} + \tilde{c}) \varphi_{ij}(\vec{x}) + \tilde{N}_i \right] dt, \quad (11)$$

где c – матрица, состоящая из норм биотических потенциалов (для хищников – в контексте рассматриваемой ситуации – со знаком минус) при соответствующем изменении коэффициентов β_{ij} , которые делятся на эти нормы.

Системе (11) статистически эквивалентно уравнение ФПК для совместной плотности вероятности $p(x_1, x_2; t)$:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \sum_{i=1}^2 \frac{\partial (A_i p)}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{\partial^2 (B_{ij} p)}{\partial x_i \partial x_j}. \quad (12)$$

Формулы для вычисления коэффициентов сноса и диффузии в многомерном случае в науке известны (см., например, учебник [28]) и мы ими воспользуемся ниже.

Необходимо получить решение (12) в случае $\partial p / \partial t = 0$. Для этого воспользуемся методом характеристик [21], который сводит (12) к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$dx_1 / dl = G_{\tilde{c}_{x_1} \tilde{N}_{x_1}} (r_1 - \beta_2 x_2) x_1 + G_{\tilde{N}_{x_1}} ; \quad (13)$$

$$dx_2 / dl = G_{\tilde{c}_{x_2} \tilde{N}_{x_2}} (r_2 - \beta_1 x_1) x_2 + G_{\tilde{N}_{x_2}} ; \quad (14)$$

$$dp / dl = [2(r_1 - \beta_2 x_2) x_1 + 2(r_2 - \beta_1 x_1) x_2 - (r_1 - \beta_2 x_2) G_{\tilde{c}_{x_1} \tilde{N}_{x_1}} - (r_2 - \beta_1 x_1) G_{\tilde{c}_{x_2} \tilde{N}_{x_2}}] p, \quad (15)$$

где l – параметр, равный длине дуги интегральной линии.

Технология сведения модели (12) к системе (13) – (15) заключается в переходе от (12) к уравнению в частных производных первого порядка, которое заменяется данной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В данном случае мы упростили задачу, оставив только аддитивный шум и взаимную интенсивность, хотя члены с мультипликативным шумом опустили. Эта ситуация напоминает модель распределения Пирсона III типа, в которой четвертым моментом (а значит, мультипликативным шумом и коэффициентом эксцесса) пренебрегают, но взаимную интенсивность, влияющую на асимметрию распределения, учитывают. Это допущение соответствует ситуации, когда изменчивость параметров системы (коэффициентов ее модели) вызывается внешними причинами (аддитивными шумами), т. е. система рассматривается как марionетка внешних воздействий. На рис. 6 представлена скомпьютеризованная часть двумерной проекции фактического решения системы (13) – (15) (рис. 6, а), а также возможные варианты стационарных распределений $p(x_1, x_2)$ (рис. 6, а, б).

В более общем случае (учет самоограничений и самоусиления, а также мультипликативных шумов и ненулевых математических ожиданий аддитивных шумов в функции φ_{ij} , см. (11)) картинки приобретают самый экзотический вид, далекий от распределений на рис. 6. На рис. 7 наглядно представлено изменение переменных x_1 и x_2 вдоль интегральных линий во внутренней (рис. 7, а) и внешней (рис. 7, б) областях, разделенных зачерненной полосой, показанной на рис. 6, а. Это полоса устойчивого притяжения траекторий, наибольших плотностей вероятности.

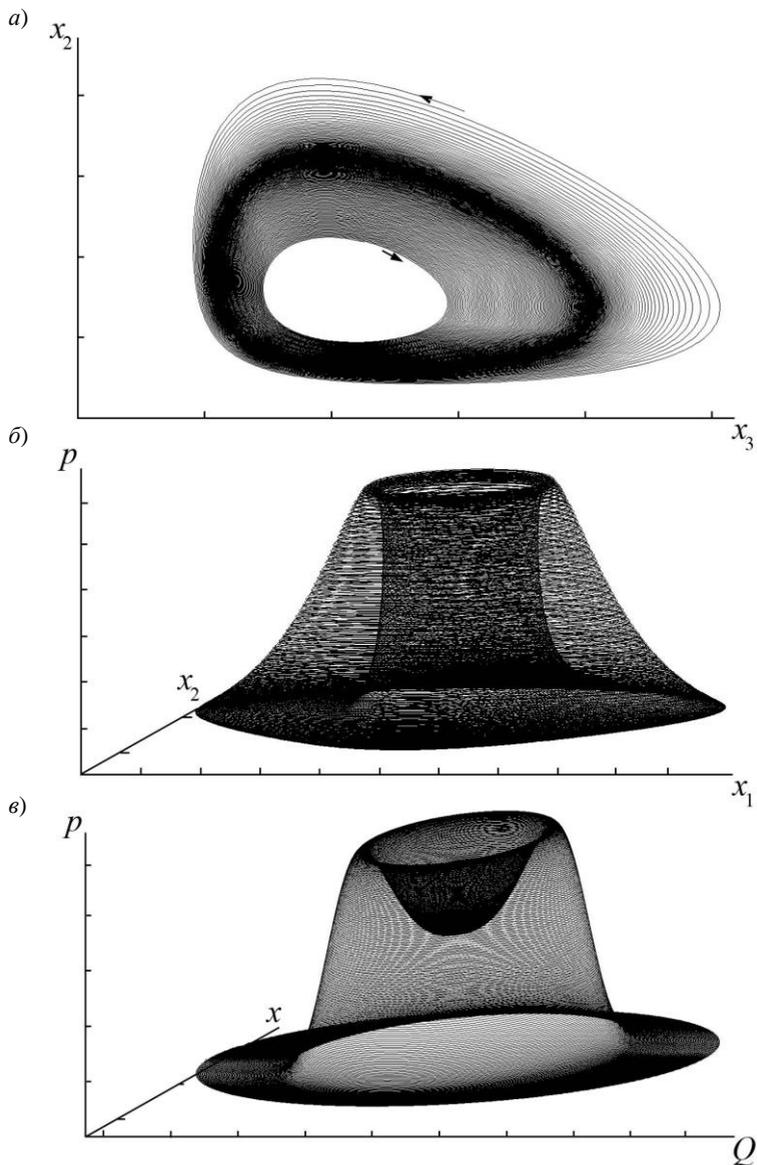


Рис. 6. Двумерная проекция решения системы (13) – (15) в случае устойчивого предельного цикла, притягивающего траектории как из внешней, так и из внутренней областей (а), а также варианты «визуальных муляжей» стационарных распределений двумерной плотности вероятности (б, в).

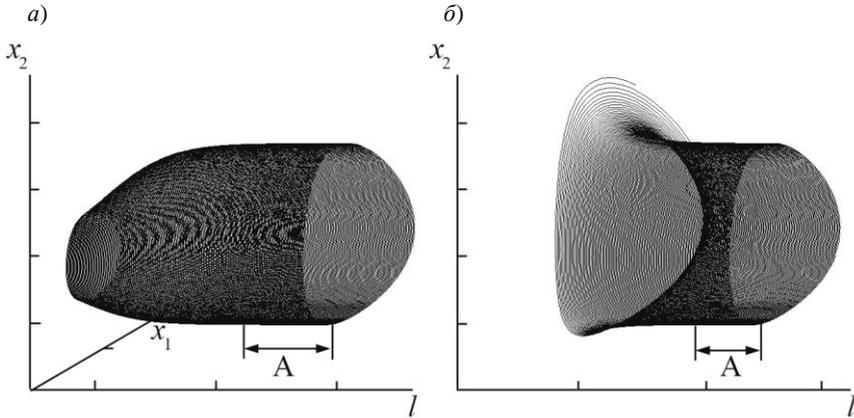


Рис. 7. Изменение переменных x_1 и x_2 вдоль интегральных линий. Как из внутренней (а), так и из внешней (б) областей траектории притягиваются к режиму (А), имеющему наибольшее значение плотности вероятности.

Конечно подобные распределения для гидрологии пока экзотика. Гидрологические характеристики – это не свойства живых существ. Для последних вода (осадки) и тепло (температура воздуха) лишь абиотические факторы, которые способствуют (или нет) выживанию. Но формально и они (гидрологические характеристики) могут рассматриваться под углом зрения того или иного типа взаимодействия.

Попробуем подойти к вероятностной модели, основанной на типе взаимодействия «хищник – жертва», но могущей иметь отношение к гидрологии. Пусть имеются модели линейных формирующих фильтров для расхода воды и испарения с речного бассейна:

$$dQ = [-(\bar{c}_Q + \tilde{c}_Q)Q + \bar{N}_Q + \tilde{N}_Q] dt, \quad (16)$$

$$dE = [-(\bar{c}_E + \tilde{c}_E)E + \bar{N}_E + \tilde{N}_E] dt, \quad (17)$$

где уравнение (17) повторяет стохастическую модель расхода (16), так как испарение E формально мало чем отличается от расхода – это потери («уход») выпавших на бассейн осадков. Причем в случае равенства коэффициентов стока и испарения ($k_Q = k_E$) и времен релаксации ($\tau_Q = \tau_E$) уравнения (16) и (17) просто идентичны. Тем

не менее, они не зависят друг от друга и каждое может решаться отдельно, приводя, в конечном итоге, к распределениям Пирсона. Тем не менее, объединяя решения в виде стационарных распределений плотности вероятности $p(Q)$ и $p(E)$ в одном фазовом пространстве, получаем совместное распределение $p(Q, E)$, рис. 8. В данном случае метаморфоз понятий (переход от одномерных распределений к совместному двумерному) произошел исключительно ментально с помощью сознания наблюдателя, «висящего» над системой уравнений (16), (17).

Однако можно рассматривать различные варианты объединенной (на физическом уровне) системы уравнений для расхода и испарения, например, приняв $\tau_i = W_i / y_i$ ($i = 1, 2$; y_i – расход и испарение; W_i – емкость среды для расхода и испарения), получим систему нелинейных дифференциальных уравнений, в которой Q и E формально выступают в качестве переменных, конкурирующих за общий ресурс (осадки):

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\dot{X}Q}{W_Q} - \frac{Q^2 + EQ}{W_Q} \right); \tag{18}$$

$$\frac{dE}{dt} = \left(\frac{\dot{X}E}{W_E} - \frac{QE + E^2}{W_E} \right). \tag{19}$$

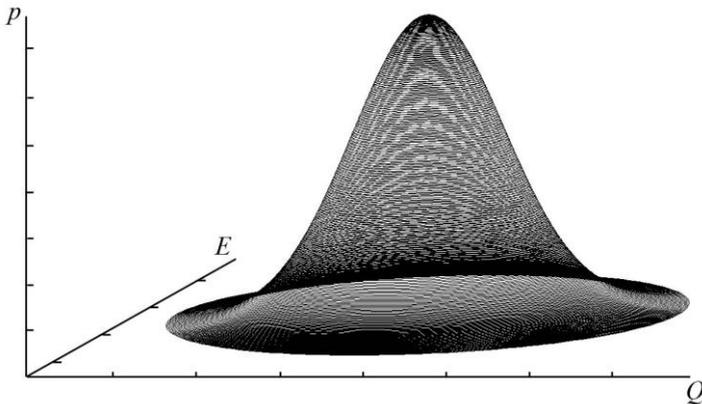


Рис. 8. Совместное распределение $p(Q, E)$, полученное волевым совмещением независимых распределений $p(Q)$ и $p(E)$.

Применяя к системе (18, 19) стандартную процедуру стохастического обобщения и решая получающееся многомерное уравнение ФПК методом характеристик, получим стационарное распределение $p(Q, E)$, рис. 9, мало чем отличающееся от распределения, представленного на рис. 8. Однако в данном случае степень ментального вмешательства значительно меньше, так как переменные Q и E в рамках модели (18), (19) взаимодействуют физически, а не только в нашем воображении.

Как видно из этих примеров, надо расходу найти другого напарника вместо испарения для реализации взаимодействия по типу «хищник – жертва». Причем это надо сделать так, чтобы при ослаблении степени их взаимодействия совместное распределение плотности вероятности вырождалось в одномерное распределение $p(Q)$, соответствующее семейству распределений Пирсона.

Вернемся к динамической модели для расхода (ее стохастическое обобщение приводит к распределениям Пирсона):

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{k\tau}Q + \frac{\dot{X}}{\tau}$$

или

$$dQ/dt = -cQ + N. \tag{20}$$

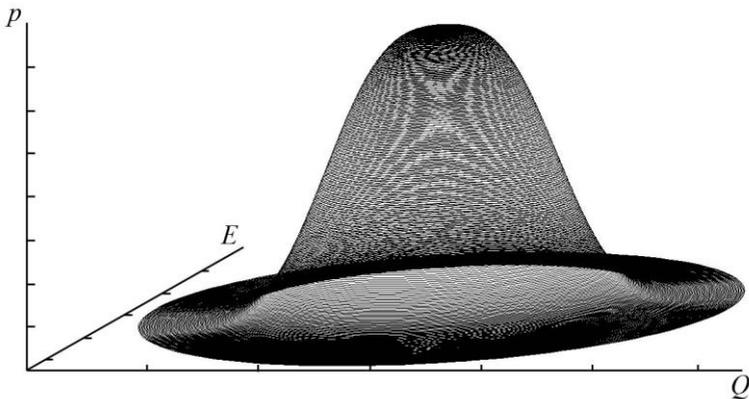


Рис. 9. Совместное распределение $p(Q, E)$, полученное на основе динамической системы нелинейных уравнений (18), (19).

Если уравнение (20) сопоставить с системой (5), (6), то оно больше похоже на уравнение (6), описывающее эволюцию хищников. В случае (20) их убыль описывает член $-cQ$, а питательной средой служат осадки, которые, однако, в данном случае никак не взаимодействуют с расходом. Будем считать, что N – это многолетняя норма осадков для рассматриваемого водосбора. Ее формирование связано с общей циркуляцией атмосферы, а не с локальными особенностями речного бассейна. Однако дополним соотношение (20) уравнением для «настоящих жертв», под которым будем понимать осадки x внутримассового происхождения, формирующиеся над водосбором

$$dx/dt = r_1^0 x - \beta_{12} Q x. \quad (21)$$

Физически слагаемые правой части уравнения (21) можно трактовать следующим образом. Первое слагаемое $r_1^0 x$ обязано своим происхождением испарению с бассейна: чем оно больше (т. е. чем больше характеризующий его «биотический потенциал» r_1^0), тем больше формируется осадков. Второе слагаемое $-\beta_{12} Q x$ характеризует потери воды от осадков, связанных с наличием стока Q . Но надо дополнить уравнение (20) членом, учитывающим еще поступление в бассейн именно этих осадков $+\beta_{21} x Q$. Таким образом, окончательный вид уравнения расхода («хищника», снабжаемого не только тем, что он отловил сам, но и «дополнительным питанием») будет

$$dQ/dt = (-c + \beta_{21} x) Q + N. \quad (22)$$

Таким образом, уравнения (21) и (22) представляют искомую систему. Ее статистическое обобщение и решение методом характеристик приводит к распределению, показанному на рис. 6, в. В районе моды имеется «выемка», указывающая на наличие локальной неустойчивости, связанной с появлением циклов.

В контексте представленных рассуждений вовсе не утверждается достоверная реальность подобных механизмов. Измеряемые на

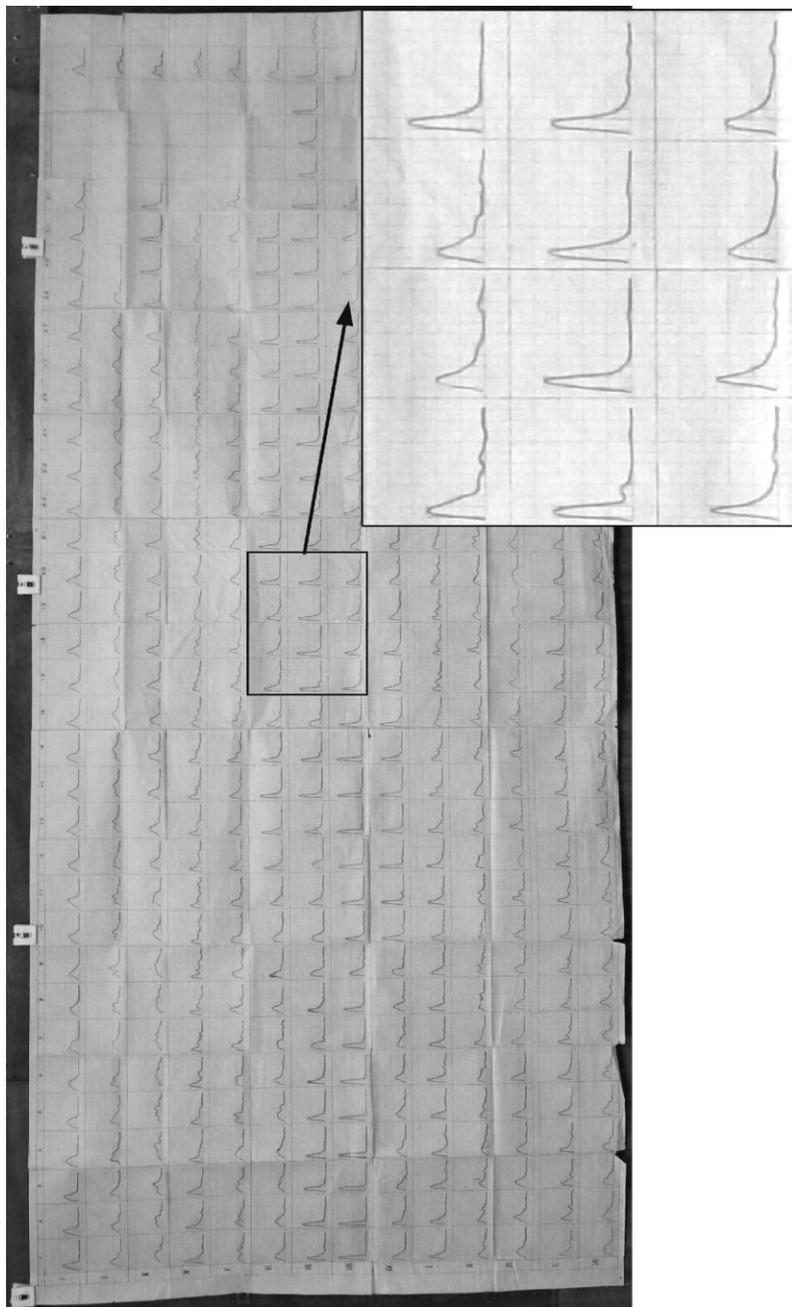


Рис. 10. Распределения плотности вероятности расходов воды: р. Тихвинка – д. Горелуха.

гидрометеорологической сети осадки вряд ли разделяют по происхождению, хотя специальный синоптический анализ их происхождения мог бы это сделать (это неизбежно происходит при прогнозах). Важно также то, с каким стоком мы имеем дело: суточный, декадный, годовой. Кроме этого, ситуацию, напоминающую рассматриваемый тип взаимодействия, могут создавать не только внутримассовые осадки (из уравнений (21), (22) следует, что $\partial \dot{x} / \partial Q < 0, \partial \dot{Q} / \partial x > 0$), но и изменение суммарных влагозапасов в речных бассейнах, которые могут быть как с плюсом, так и с минусом (см. основной текст монографии).

Двухмодальные распределения встречаются довольно часто как для суточного стока, так и многолетнего среднегодового. На рис. 10 представлены распределения для суточных, среднедекадных, среднемесячных и среднегодовых расходов. В основном преобладают одномодальные распределения, но существуют периоды (например, апрель – начало мая, конец октября – ноябрь), где встречаются явно идентифицируемые двухмодальные распределения.

На сегодняшний день общепринятая в гидрологии точка зрения на многомодальность такая: длина рядов мала, чтобы достоверно утверждать о статистической значимости второй моды. Но в данном примере с р. Тихвинкой ряд для всех случаев был одинаковым (несколько десятилетий), но двухмодальность с почти одинаковыми

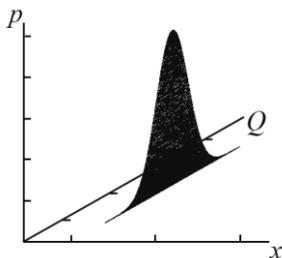


Рис. 11. Вырождение распределения при отсутствии взаимодействия фазовых переменных.

значениями плотности вероятности каждой моды наблюдается лишь в нескольких случаях. Если «виновата» ограниченность выборки, то почему эта «вина» не прослеживается в остальных случаях? Как бы там ни было, в случае стремления коэффициентов взаимодействия в модели (21), (22) к нулю, двумерная плотность вероятности должна вырождаться в одномерную и одномодальную, что подтверждает рис. 11.

Литература

1. *Алексеев Г. А.* Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 96 с.
2. *Астапов Ю. М., Медведев В. С.* Статистическая теория систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
3. *Атлас мирового водного баланса* (приложение к монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли»). – М.–Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 46 карт.
4. *Ахромеева Т. С., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г., Самарский А. А.* Структура и хаос в нелинейных средах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 488 с.
5. *Большая Советская энциклопедия.* Т.16. Метаморфоз. – М.: Советская Энциклопедия, 1974, с. 139–141.
6. *Владимиров В. С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. – 550 с.
7. *Гессен М.* Совершенная строгость. Григорий Перельман: гений и задача тысячелетия: документальная проза/ Маша Гессен. Пер. с английского Н. Кригера. – М.: Астрель: CORPUS, 2011. – 272 с.
8. *Гринвальд Д. И.* Турбулентность русловых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 143 с.
9. *Гришанин К. В.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 312 с.
10. *Дементьев В. В.* Исследование пульсации скорости течения на горных реках и ее влияние на точность измерения расхода воды. // Труды ГГИ, вып. 98, 1962, с. 56–98.
11. *Исследование* неустановившегося движения воды на реках Тверце и Оредеж. Под ред. Н. Е. Кондратьева и В. А. Урываева. – Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 288 с.
12. *Картвелишвили Н. А., Галактионов Ю. И.* Идеализация сложных динамических систем. – М.: Наука, 1976. – 272 с.
13. *Клибашев К. П., Горошков И. Ф.* Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. – 460 с.
14. *Климантович Ю. Л.* Что такое турбулентность. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. Т.3, № 2, 1995, с. 4–41.
15. *Кляцкин В. И.* Стохастические уравнения глазами физика (Основные положения, точные результаты и асимптотические приближения). – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 528 с.
16. *Коваленко В. В.* Измерение и расчет характеристик неустановившихся речных потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 160 с.
17. *Коваленко В. В.* Онтология и гносеология частично инфинитного моделирования. – СПб., изд. РГГМУ, 2001. – 47 с.
18. *Коваленко В. В.* Частично инфинитная гидрология. – СПб., изд. РГГМУ, 2007. – 230 с.
19. *Коваленко В. В.* Теория катастроф и эволюция дифференцируемых многообразий в частично инфинитной гидрологии. – СПб., изд. РГГМУ, 2008. – 178 с.
20. *Коваленко В. В.* Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб., изд. РГГМУ, 2009. – 100 с.

21. Коваленко В. В. Метод характеристик в частично инфинитной гидрологии. – СПб., изд. РГГМУ, 2012. – 136 с.
22. Коваленко В. В. Новые явления и закономерности формирования речного стока. – СПб., изд. РГГМУ, 2013. – 172 с.
23. Коваленко В. В. Модальная неустойчивость при формировании речного стока. – СПб., изд. РГГМУ, 2014. – 150 с.
24. Коваленко В. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование зависимости фрактальной размерности рядов многолетнего речного стока от климатической нормы приземной температуры воздуха // Доклады Академии наук, 2012, том 444, № 6, с. 666 – 670.
25. Коваленко В. В. Закономерная связь между параметрами низкочастотных колебаний скорости открытых потоков и гидравлическими характеристиками русла потока// (диплом № 441 на открытие). Научные открытия / (сборник кратких описаний, 2013). – М.: РАЕН. – 48 с.
26. Коваленко В. В. К методике прогноза двухмерных вероятностных распределений многолетнего стока и испарения // Метеорология и гидрология, № 2, 2014, с. 78 – 84.
27. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Соловьев Ф. Л. Идентификация статистических характеристик годового испарения на ЕТР для формирования диагностических моделей в задачах частично инфинитной гидрологии // Естественные и технические науки, № 2, 2009, с. 200–208.
28. Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В. Моделирование гидрологических процессов. – СПб., изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.
29. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока // Доклады Академии наук, том 439, № 6, 2011, с. 815 – 817.
30. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Чувствительность нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах к погрешностям определения составляющих уравнения водного баланса. // Ученые записки РГГМУ, № 33, 2014. – С. 45–50.
31. Константинов А. Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 532 с.
32. Коплан–Дикс С. И. К вопросу о точности определения расхода воды. // Труды ГГИ, вып. 84, 1960, с. 23–36.
33. Кузанский Н. Сочинения в 2-х т. Т.1. – М.: Мысль, 1979. – 488 с.
34. Лаговский В. Перельман доказал, что Бога нет. – «Комсомольская правда», № 47/24468, 2010.
35. Ладыженская О. А. О конечномерности ограниченных инвариантных множеств для системы Навье–Стокса и других диссипативных систем. – В кн.: Краевые задачи математической физики и смежные вопросы теории функций. 14. (Записки научных семинаров Ленингр. отд. матем. ин-та АН СССР, т. 115). Л.: Наука, 1982, с. 137–155.
36. Ладыженская О. А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. – М.: Наука, 1970. – 288 с.
37. Ладыженская О. А., Солонников В. А., Уральцева Н. Н. Линейные и нелинейные уравнения параболического типа. – М.: Наука, 1967. – 736 с.

38. Ленин В. И. Избранные сочинения в 10-ти т. Т.5. Ч.1. 1907–1910 (Материализм и эмпириокритицизм. Краткие заметки об одной реакционной философии, стр. 183–512) – М.: Политиздат, 1985. – 601 с.
39. Лихтенштейн В. Е., Росс Г. В. Введение в теорию развития. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 328 с.
40. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
41. Матвеев Н. М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. – Минск: Вышэйшая школа, 1974. – 768 с.
42. Мекский М. Б. Сознание и квантовая механика. Жизнь в параллельных мирах (Чудеса сознания – из квантовой реальности). Авторизованный пер. с англ. Ваксмана В. Н. – Фрязино: Век 2, 2011. – 320 с.
43. Метафизика. Учебное пособие. Под ред. Б. Е. Липского, Б. В. Маркова, Ю. Н. Солониной. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2008. – 563 с.
44. Методы изучения и расчета водного баланса / В. С. Вуглинский и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 398 с.
45. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике. Под ред. А. А. Соколова и Т. Г. Чапмена. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 120 с.
46. Молчанов А. П., Занадворов П. Н. Курс электротехники и радиотехники. – М.: Наука, 1969. – 480 с.
47. Найденов В. И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. – М.: Наука, 2004. – 318 с.
48. Налимов В. В. В поисках иных смыслов. – М.: Издательская группа «Прогресс». – 1997. – 280 с.
49. Налимов В. В. Разбрасываю мысли. В пути и на перепутье. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 344 с.
50. Никитин Н. В. Численное моделирование пространственного развития турбулентности в каналах // Доклад на школе «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости», Москва, 1994.
51. Ожегов С. И. Словарь русского языка. Изд. 9-е испр. и доп. Под ред. Н. Ю. Шведовой. – М.: Сов. энциклопедия. 1972. – 846 с.
52. Основы марксистско-ленинской философии. Учебник для вузов/Ф. В. Константинов, А. С. Богомолов, Г. М. Гак и др. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1981. – 463 с.
53. Патрашев А. Н., Кивако Л. А., Гожий С. И. Прикладная гидромеханика. – М.: Изд-во МО СССР, 1970. – 605 с.
54. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1976. – 424 с.
55. Попов Д. Н., Мохов И. Г. Экспериментальное исследование профилей местных скоростей в трубе при колебаниях расхода вязкой жидкости. Известия вузов. № 7. Изд. МВТУ им. Баумана, Машиностроение, 1971, с. 91–95.
56. Пугачев В. С., Казаков И. Е., Евланов Л. Г. Основы статистической теории автоматических систем. – М.: Машиностроение, 1974. – 400 с.
57. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 424 с.

Литература

58. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. Изд. 3-е. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 248 с.
59. Соколовский Д. Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 540 с.
60. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: ФГУП ЦПП; Госстрой России, 2004. – 73 с.
61. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
62. Федоров В. Д. Гильманов Т. Г. Экология. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 464 с.
63. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х томах. Т.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
64. Философский словарь / Под ред. И. Т. Фролова. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1987. – 590 с.
65. Хайдеггер Мартин. Бытие и время. Перевод с немецкого В. В. Бибихина. – М.: “Ad Marginem”, 1997. – 452 с.
66. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
67. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. – М.: Мир, 1973. – 216 с.
68. Kovalenko V., Gaidukova E., Kachalova A. An opportunity of application of excess factor in hydrology // Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 9, 13635–13649, 2012 www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/9/13635/2012/ doi:10.5194/hessd-9-13635-2012.
69. Turing A. The chemical basic of morphogenesis//Phyl.Trans.Roy. Soc. London B. – 1952. – V. 237. – P. 37–72.
70. Yokosi Sh. The structure of river turbulence. – Bull. Dis. Prer. Rect. Inst. Kyoto Univ., 1967, vol. 17, № 2, p. 1–29.

Предметный указатель

Абстрактное сущее	8
Автоколебания	57
Аксиология	7
Асимметрия	84
Атрибут	9, 20
Аттрактор	97
Аттракторы-репеллеры	89
Балансовое уравнение	90
Бифуркация	90
Бытие	6, 17, 88
– гидрологическое	17
– неопределенное	8
– нового типа	17
– объективное	73
– определенное	8
– особого типа	18
Вектор состояния	19, 45
– понятий	25, 27
Вероятностное распределение	27
Вещь в себе	9, 21
Влагозапасы	76, 80, 87
Внешнее воздействие	13
Возможность	24
Водные балансы	73
Гидравлика	34
Гидравлическое сопротивление	45, 51, 54, 57
Гидрометрия	34
Гидрометрическая наблюдательная сеть	74
Гносеология	7
Граница	8
– гносеологическая	8
– частично инфинитная	41
Деструкция	99
– онтологии	5, 7
Детерминированная система	80
Деятельность	10, 11, 24
Диалектическая пара	18
– клещи	24

Предметный указатель

Задача гробовая	26
Законы мышления	11
Знаковая функция	79
Знание	13
– о знании	26
– о незнании	26
Интенсивность шума	15
– взаимная	83
Инфинитность	17
Испарение	83
Истощение	80
Истина	10, 25
Квантовая механика	101
Колесания квазиразрывные	58
Коэффициенты	28
– диффузии	14, 36, 38, 59
– подгоночные	16
– сноса	14, 32, 36, 38, 59
– трения	45
– Шези	45
– шероховатости	51
– эксцесса	96
Кривые обеспеченности	87
Критерии истинности	8
Ламинарный поток	44
– течение	57
Метафизика	7, 8, 18
Метод характеристик	112
– Шустера	53, 71
Метаморфоз	4, 5, 45, 51, 73, 85, 98, 101, 107, 109, 110
Многообразия	61
Множество фрактальное	63, 64
Модальный столбец	96
Модальная неустойчивость	84, 97
Модуль стока	16
Насыщение	80
Необходимость	16
Неустойчивость	29, 30
Низкочастотные колебания	34, 35, 54

Объект	10, 18, 25
Онтология	7, 8, 9
Осадки эффективные	30
Остаточный член	90
Отражение	64
Параметры финитные	12
– частично инфинитные	13
Познание	22, 26
Позитивист	19
Понимание	25
Понятие	3, 8, 11, 32
– трансцендентное	73
Потенциал	54, 64, 106
– биотический	104, 107, 108
Почвогрунты	79, 82, 91
Практика	10
Пространство вложения	61
Представления	3
Размерность пространства вложения	41
– топологическая	63
Распределение двумерное	29, 30
– Пирсона	87, 116
– эмпирическое	29
Реальность	8
– инфинитная	12, 17, 40, 68
– неопределенная	8
– определенная	8
– финитная	12, 41
– частично инфинитная	12, 41
Речной бассейн	13
– сток	27, 64
Решение корректное	14
– некорректное	14
Самоограничение	113
Самоусиление	113
Селективное равновесие	105
Случайность	11
Сознание	9, 12, 17, 20, 26
Стиль мышления	8, 10, 20, 31
Стохастическое обобщение	30
Субъект	9, 10, 17, 19, 25
Суммарные влагозапасы	89
Суперпозиция	19, 20

Предметный указатель

Сущее	8, 10
Теорема Пуанкаре–Перельмана	26
– Штурма	53
Топология	97
Трансцезус	21
Тренд многолетний	93
Тупик	26, 27, 44, 45
Умозрительная идея	101
– концепция	73
Уравнение моментов	15
– Навье–Стокса	39, 43
– Пирсона	15, 28
– Риккати	35
– Сен-Венана	34, 46, 49, 51, 67
– Ферхюльста	104
– Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК)	3, 14, 28, 31, 34, 39, 40, 42, 56, 59, 82, 86, 88, 112
– Шредингера	12
Устойчивость	3, 56
Фазовые переменные	25, 41, 42, 63, 110
– портреты	55, 110
– пространства	18, 41
Феномен	21
Флаг катастрофы	97
Формирующий фильтр	57, 66
Фотосинтез	98
Фрактальная диагностика	17, 41, 61, 87, 72
– размерность	62, 65, 69, 88, 92
Фрактальный объект	63
Характеристика вольтамперная	77, 78
Хронологические кривые	107
Центр бассейна	75
Цикл предельный	114
Частично инфинитная гидрология	5
– возможность	24
– моделирование	98
– реальность	41
Число Пекле	39
– Рейльдоса	39, 43, 44, 47
– Фруда	51

Шаблон	99
Шум аддитивный	81, 83
– белый	82
– мультипликативный	56, 57, 81, 83
Экзистенция	24
Экологическая емкость среды	104
Экономия мышления	20
Эмпириокритицизм	18, 20
Эмпирическая гистограмма	86
Эпюра	37, 44, 45
Эффект детектирования	76, 77, 79, 80, 83, 84, 94, 97
Ядро динамическое	89, 92

Содержание

	Стр.
Введение (терминологические комментарии)	3
1. Моделирование в свете деструкции онтологии М. Хайдеггером	7
1.1. Метафизика, стили мышления и частично инфинитное моделирование в гидрологии	7
1.2. Хайдеггеровское «бытие нового типа» и «опошление» философии при моделировании	17
1.3. Прототипы используемых моделей	34
2. Свертка и дифференциация понятий в теории руслового стока	43
2.1. Осознаваемые тупики, вытекающие из проблемы турбулентности	43
2.2. Возможные пути выхода из проблемных ситуаций	50
2.3. Фрактальное диагностирование открытых потоков	61
3. Сущностный метаморфоз феноменологических понятий	73
3.1. Эффект детектирования в детерминистических и стохастических системах	73
3.2. Физико-географические условия возникновения модальной неустойчивости и эффекта детектирования	84
Заключение (комментарии к рисунку на обложке и некоторые обобщения понятия метаморфоза)	98
Приложение (имитация моделирования процесса превращения растения в насекомоядного хищника)	104
Литература	121
Предметный указатель	125

Table of contents

	Стр.
Introduction (terminological comments)	3
1. Modeling of the destruction of ontology of M. Heidegger	7
1.1. Metaphysics, thinking styles, and partly infinite modeling in hydrology	7
1.2. Heidegger's "being a new type" and "vulgarization" philosophy in modeling	17
1.3. Prototypes used models	34
2. The convolution and differentiation of the concepts in the theory of streamflow	43
2.1. Perceived deadlock arising from the problems of turbulence	43
2.2. Possible ways out of problem situations	50
2.3. Fractal diagnostics of streamflow	61
3. The essential metamorphosis concepts of phenomenological	73
3.1. The effect in the detection of deterministic and stochastic systems	73
3.2. Physic-geographical conditions of the appearance of modal instability and detection effect	84
Conclusion (comments to the figure on the cover and some generalizations of the concept of metamorphosis)	98
Appendix (simulation modeling process of converting plants carnivorous predator)	104
References	121
Subject index	125

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Виктор Васильевич Коваленко

МЕТАМОРФОЗ ПОНЯТИЙ
ЧАСТИЧНО ИНФИНИТНОЙ ГИДРОЛОГИИ
В КОНТЕКСТЕ ДЕСТРУКЦИИ ОНТОЛОГИИ
М. ХАЙДЕГГЕРОМ

Монография

Редактор: О.С. Крайнова
Компьютерный набор: О.В. Игнатьева, Н.А. Васехина
Верстка: Е.В. Гайдукова

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 02.07.15. Формат 60×90 ¹/₆. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 6,6. Тираж 200 экз. Заказ № 425.
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр. 98.
Отпечатано в ЦОП РГГМУ

Книгу можно приобрести в издательстве и книжном киоске РГГМУ
по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.