Новые идеи в географии

Новые идеи в географии

1

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИИ

5371

Главный редактор акад. И. П. Герасимов
Члены Редколлегии

В. М. Гохман
Ю. В. Медведков
В. С. Преображенский

Перевод с английского, французского, чешского
В. Я. Барласа
В. В. Голосова
Ю. А. Демидовича
М. Г. Орловой
О. К. Парчевского

Издательство «Прогресс» Москва 1976

Институт Географии

АННОТАЦИЯ

Предлагаемый вниманию читателей сборник открывает серию публикаций, посвященных обсуждению наиболее актуальных проблем географии в тех аспектах, которые пользуются особенным вниманием у зарубежных ученых разных стран.

Кроме того, он является первым из двух сборников, приурочиваемых своим выходом к *Международному географическому конгрессу*, который состоится в Москве в июле — августе 1976 г. Тематически оба сборника затрагивают определенный круг вопросов, которые будут обсуждаться на специализированных семинарах конгресса. Первый из них включает два основных раздела: моделирование природных и природно-технических систем и моделирование территориально-производственных систем. Второй посвящен вопросам моделирования городских систем и проблеме создания информационных систем в географии. Однако содержание отдельных статей как в первом, так и во *втором сборниках* выходит за рамки и этих весьма емких тем. В целом их можно рассматривать как своего рода введение в обширную область так называемых новых методов исследования в географии, что, безусловно, привлечет к ним внимание научных кругов.

Составители и
ответственные редакторы выпуска
В. М. Гохман
Ю. В. Медведков
В. С. Преображенский

Редакция литературы по географии

Н $\frac{20901-477}{006(01)-76}$ 46—75

© Перевод на русский язык, издательство «Прогресс», 1976 г.

Одним из результатов развертывающейся на наших глазах научно-технической революции и вместе с тем одним из ее внутренних стимулов является пересмотр сложившихся представлений о месте и практической значимости различных наук. В частности, вновь стала быстро расти роль географии. Это обусловлено в первую очередь выдвижением на ее передний план ряда взаимосвязанных проблем, вытекающих из назревшей необходимости улучшения территориальной организации многих видов человеческой деятельности, и в том числе производственной деятельности, рационального использования естественных ресурсов и охраны окружающей среды. Эти проблемы, хотя и в разных аспектах, привлекают к себе пристальное внимание во всех странах мира.

Указанные обстоятельства резко повысили теоретическую и практическую значимость ряда направлений географических исследований и системы географических наук в целом. Прежде всего здесь следует отметить комплексное изучение природных ресурсов, решение сложных задач рационального использования и преобразования природы, выявление последствий научно-технической революции для окружающей среды и базирующийся на этом прогноз ее изменений, а также разработку научных основ природопользования. Другое важное направление современных географических исследований связано с тем, что научно-технический прогресс немыслим без организации и совершенствования управления наукой и производством. Очень важным элементом его является рациональная территориальная организация производительных сил, которая воплощается в системах взаимодействующих территориально-производственных и природных комплексов различных

© 1976 Издательство «Прогресс»

типов, различного характера и масштабов (размеров). Общепризнано, что в решении этих задач возможности социалистического строя с его плановым хозяйством и общественной собственностью на средства производства и природные ресурсы неизмеримо выше, чем капиталистического. Правда, попытки регулирования экономики, и в том числе территориальной ее организации, предпринимаются теперь и в капиталистических странах, но это не более, чем попытки.

Горизонт географических исследований, их пространственный и временной диапазоны существенно расширились в результате выхода человека в космическое пространство. Огромная пространственная информация, получаемая при сканировании земной поверхности с космических кораблей и спутников, отличается от той, которой человечество располагало в прошлом, не только количественно, но в значительной мере и качественно. Она позволяет составить более полное и правильное представление о всей сложности сочетаний различных явлений на Земле, об ее пространственных системах, их территориальной структуре и динамике (в том числе связанной с деятельностью человеческого общества).

В свете всего вышесказанного требования к географии как области научных исследований, изучающей большие пространственные динамические системы, неизмеримо возрастают. География должна быть способна не только расшифровывать сложные процессы развития этих систем (и в том числе их структур), но также обеспечивать прогнозы их дальнейшей динамики, внося этим существенный вклад в управление их развитием.

Отмеченные обстоятельства в сочетании с рядом других, тесно с ними связанных, делают необходимым резкое повышение научного уровня и результативности географических исследований. Важнейшим условием этого в настоящее время является развитие теоретических основ географии, совершенствование ее методики. Не удивительно, что интерес географов к вопросам теории и методики быстро растет. Соответственно увеличивается и количество публикаций по этим проблемам, появляющихся как в СССР, так и в зарубежных странах. При этом все более широкое использование современных методов научного исследования, которыми вооружают географию кибернетика, теория информации, системный анализ и другие на-

правления современной научной мысли, служит для более глубокого теоретического осмысливания возникающих новых ситуаций. Рост интереса к теории, тесно связанный с потребностями практики, совпал по времени с процессом, который иногда, особенно за рубежом, называют количественной революцией в географии, а также с появлением многих новых проблем, определившихся в результате стремления географов наряду с прежними, в основном описательными формулировками изучаемых закономерностей использовать по возможности однозначные, в ряде случаев математические термины, необходимые для прогнозов и обоснования мероприятий по оптимизации измененной человеком окружающей среды, процессов расселения и миграций населения, а также размещения производства на основе широкого использования при этом электронно-вычислительной техники. Однако сближение географии с математикой не может ограничиваться, как это становится все более очевидным, только использованием математического аппарата для количественной оценки структуры и динамики окружающей среды. Не меньшее значение имеет творческое осмысливание географами ряда математически формализованных идей, относящихся к концепциям пространства-времени (понятия размерности, симметрии поля, искривления пространства под воздействием массы), а также теорий вероятностей, множества, учения об инвариантах и т. п. Будучи в той или иной мере уже сейчас вовлеченными в круг этих идей, географы, как отмечает академик В. Б. Сочава, неизбежно встают на путь пересмотра многих казалось бы укоренившихся представлений.

Указанные проблемы стоят перед географами как в СССР, так и за рубежом, как в социалистических, так и в капиталистических странах, хотя и носят различный характер, что связано с решением принципиально иной социальной задачи. С их решением во многом связано становление конструктивной географии как одного из элементов превращения науки в непосредственную производительную силу. В этих условиях взаимный обмен идеями, быстрое ознакомление с новейшими результатами исследований и теоретических обобщений, с тем, что происходит «на переднем крае» науки, в том числе и в зарубежных странах, приобретает все большую актуальность.

Учитывая эту настоятельную потребность, издательство «Прогресс» совместно с ведущими географическими цент-

рами нашей страны приступает к изданию ежегодных сборников под общим названием «Новые идеи в географии». Оговоримся сразу же, что «новые идеи» следует понимать в смысле новых методических разработок, новых подходов к решению конкретных физико- и экономико-географических частных задач и т. п., а отнюдь не в смысле каких-либо мировоззренческих новшеств, на которые иногда и претендуют ученые-географы капиталистических стран, но которые ничем не могут обогатить советскую географическую науку, базирующуюся в своих теоретических построениях на прочном фундаменте диалектического материализма. Этим определяется и соответствующий подбор статей, излагающих результаты и методику конкретных исследований или содержащих обзоры состояния и направлений развития зарубежной географической науки в целом или в отдельных странах. Большое внимание в сборниках будет уделяться методическим разработкам и использованию географии в ее прикладных аспектах. В сборники будут включаться наиболее интересные для советских географов работы, публикуемые как в социалистических, так и в капиталистических странах.

Подбор работ для первых двух сборников определялся тем обстоятельством, что в 1976 г. в СССР впервые состоится Международный географический конгресс, который будет способствовать широкому обмену мнениями между советскими и зарубежными географами. Чтобы этот обмен был возможно более плодотворным, необходимо ознакомление широкой географической общественности страны с работами зарубежных коллег в наиболее интересных и перспективных областях. Одной из таких областей, несомненно, является моделирование географических систем различных рангов и типов, а также обеспечение этой работы необходимой информационной базой. В связи с этим первый сборник посвящен в основном различным подходам к моделированию природных, природно-технических, территориально-производственных, городских систем и ряду возникающих при этом проблем. Во втором сборнике основное внимание уделяется моделированию городских систем как одной из важнейших форм территориальной организации жизни и деятельности людей и проблемам, встающим в связи с созданием географических информационных систем с учетом спутниковой информации и широкого использования ЭВМ.

Известно, что в трудах ученых из капиталистических стран, которые в своих конкретных разработках силой логики вещей становятся на позиции стихийного материализма, наряду с ценными и полезными сведениями встречаются некоторые высказывания и положения, имеющие спорный характер или же ошибочные с методологической точки зрения. Не избежали этого и авторы некоторых статей сборников, однако поскольку обстоятельный критический разбор основных теоретических представлений современной географической науки в странах капитала (прежде всего в США) содержится в фундаментальных советских исследованиях и в предисловиях ведущих советских специалистов к выпущенным за последние годы издательством «Прогресс» и широко известным советской географической общественности монографическим исследованиям зарубежных географов, редакторы сочли возможным не повторяться, ограничившись рекомендацией обратиться к указанным работам.

Издание этих сборников рассчитано на специалистов в различных областях географии и смежных дисциплин.

Мы надеемся, что помещаемые в них публикации дадут читателям материал для размышлений и творческого, критического использования того, что делается географами за рубежом; это послужит дальнейшему развитию советской географической науки.

Системы[1]

Природа не раскрывается перед нами так полно, как нам того хотелось бы.

А. Н. Уайтед

1. СЛОЖНОСТЬ РЕАЛЬНОГО МИРА

Реальный мир чрезвычайно сложен. Это заставляет исследователя попытаться, во-первых, изолировать составные части действительности — либо в эксперименте, либо путем абстрагирования — и, во-вторых, проанализировать взаимодействие этих частей в упрощенных условиях. Представляя собой неизбежную мыслительную операцию, такое разложение реального мира на упрощенные структуры ведет к созданию субъективных образов реальности. Конечной же целью такого исследования должно быть установление связи между упрощенными структурами, идентифицированными по отношению друг к другу в одинаковых или различных пространственных и временных масштабах.

Реальный мир непрерывен. Изолированные структуры, следовательно, суть субъективно и искусственно обособленные куски реальности, и самая большая изначальная проблема состоит в опознании и выделении наиболее значимых частей реального мира. С одной стороны, каждая из таких частей, или структур, должна быть достаточно сложной, чтобы обладать высокой степенью внутренней согласованности, для того чтобы изучение ее дало положительные результаты и было полезным; с другой стороны, она должна быть достаточно простой для понимания и исследования.

Центральной темой всех этих исследований является анализ особенностей внутренней структуры компонентов реального мира (т. е. их организации, связей или соотношений друг с другом) и, далее, уяснение, каким образом каждая такая часть (структура) реальности связана с

[1] Первая глава из книги: R. J. Chorley, B. A. Kennedy, Physical Geography. A Systems Approach, London, 1971.— *Прим. ред.*

другими структурами. Эти структуры обычно называются системами.

Системы, как таковые, можно выявить в любых по масштабу и степени сложности проявлениях реального мира. Мы можем, следовательно, полагать, что реальность — это иерархия организованных систем. Можно даже допустить, что именно такой взгляд на реальный мир как на взаимосвязанное множество систем даст больший импульс к объединению всех наук, чем анализ его с точки зрения физических и химических свойств. Итак, реальный мир можно рассматривать в виде заключенного внутри него множества взаимосвязанных разномасштабных систем различной степени сложности, которые образуют некую иерархию (т. е. подсистемы, системы, сверхсистемы и т. д.).

2. СИСТЕМЫ

Система — это упорядоченная множественность предметов и/или свойств. Эти предметы и свойства состоят из компонентов или переменных (т. е. явлений, способных принимать различные значения), которые демонстрируют заметную взаимосвязь и действуют вместе как сложное целое, создавая наблюдаемую картину.

Взаимозависимость составных частей — это диагностическое свойство систем. Поскольку каждая система обладает единственным в своем роде сочетанием частей со специфическими связями между ними, часто говорят, что такие структуры представляют собой оформленные сущности, где целое являет собой нечто большее, чем простую сумму частей. Эта фраза, однако, может ввести в заблуждение, поскольку она подразумевает, что свойство систем обусловливается суммированием ее составных частей с добавлением к полученному результату какого-то нового фактора, возникающего в процессе сложения, что неправильно. Такая взаимосвязь частей системы может быть выражена либо в виде корреляции между наблюдаемыми величинами предметов и свойств, составляющих систему, либо в виде гармоничной реакции, которую проявляет один какой-либо компонент при непосредственном воздействии на него массы или энергии другого компонента системы.

Выделение отдельных систем в качестве объектов изучения — это один из способов классификации явлений ре-

ального мира, существует и несколько способов классификации самих систем. Наиболее общий из них основывается на функциональном признаке и позволяет выделить изолированные, закрытые и открытые системы.

1. Предполагается, что изолированные системы существуют в границах, не допускающих притока или оттока массы или энергии. Ясно, что такие структуры намного чаще наблюдаются в лабораторных условиях, чем в реальном мире. Однако, для того чтобы определить степень влияния внешних переменных на поведение ряда систем, удобно бывает допустить, что они изолированы. Это может быть сделано по различию между непосредственно наблюдаемым поведением переменных систем и тем их поведением, *которое может* быть обусловлено лишь внутренними взаимосвязями или потоком массы и энергии между ними.

2. Предполагается, что закрытые системы существуют в границах, которые препятствуют притоку и оттоку массы, но допускают обмен энергией. Земля вместе с атмосферой по всем характеристикам представляет собой закрытую систему, которая обменивается энергией, но не массой *с космическим пространством.* Замкнутые системы такого типа встречаются в реальном мире весьма часто.

3. Открытые системы характеризуются обменом как массой, так и энергией с окружающей их средой. Компоненты такой системы, как и связи между ними, стремятся к выравниванию, то есть к такому состоянию, при котором устанавливается постоянный отток массы и энергии (или информации), равный их притоку. Такое взаимодействие компонентов системы называется саморегуляцией, направленной на достижение устойчивого состояния. Большинство систем в природе является открытыми. Например, бассейн реки получает энергию солнечных лучей, выпадающих осадков и тектонических сил в виде подъема земной поверхности, а также массу воды, солей и продуктов разрушения горных пород — эти входящие потоки являются базой для выходящих потоков в виде тепла, воды, органических и неорганических компонентов твердого стока, направленных в атмосферу или в море.

Одной из наиболее примечательных черт как закрытой, так и открытой системы является способ затрат запасов энергии, в результате которого образуется и поддерживается различимая организация, характеризуемая иерархической дифференциацией. Эта черта присуща как живым,

так и неживым системам. На рис. 1 показано, как система притоков реки образует иерархию, где мелкие притоки в ее верховьях питают более крупные притоки более высокого ранга. Этот же рисунок иллюстрирует, как один и тот же геометрический рисунок бассейна реки может быть умозрительно ракурсирован самыми разными способами; так, например, можно принять, что водотоки высшего порядка непрерывно прослеживаются вплоть до истока (рис. 1, А), что самые мелкие водотоки верховьев являют-

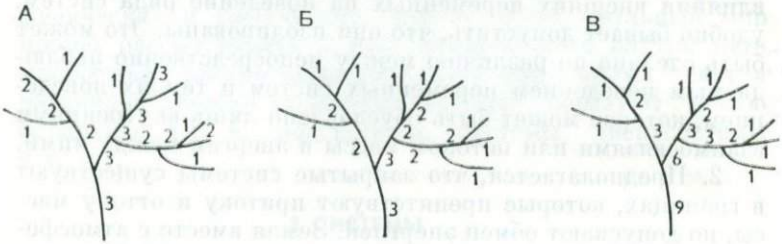


Рис. 1. Три способа обозначения соподчинения (иерархии) водотоков, составляющих бассейн реки (Woldenberg).

А — соподчинение водотоков по Хортону; Б — соподчинение водотоков по Стрешлеру; В — соподчинение водотоков по Шриву.

ся притоками первого порядка, а притоки второго порядка образуются соединением двух притоков первого порядка и так далее (рис. 1, Б) или что порядок каждого сегмента водотока определяется числом тех притоков первого порядка, которые непосредственно питают этот сегмент (рис. 1, В).

Подобное совершенствование иерархии подсистем внутри замкнутых и открытых систем иногда вызывается необходимостью иметь структуры различных величин и сложностей, для того чтобы выполнить различные и часто несовместимые задачи. Эта необходимость усиливается существованием *порогов*.

Второй ведущий принцип классификации систем исходит из их внутренней сложности; таковы *структурные* классификации. Ниже дана последовательность, позволяющая в общих чертах судить о нарастающей сложности системы.

1. *Морфологические системы.* Состоят исключительно из сети структурных соотношений между составляющими частями системы.

2. *Каскадные системы.* Эти системы определяются путями следования энергии или массы.

3. *Системы типа процесс — ответ* [стимул — реакция.— *Ред.*] *(процессорные)*. Представляют собой как бы переплетение морфологической (их) и каскадной (ых) систем, так что система процесс — ответ демонстрирует способ соотнесения *формы с процессом.*

4. *Управляемые системы (преобразователи)*. Это системы типа процесс — ответ, в которых ключевые компоненты сознательно контролируются. Это заставляет систему работать в определенном направлении.

5. *Саморегулирующиеся системы.* Представляют собой низшую форму жизни (например, клетки).

6. *Растения* как живые структуры.

7. *Животные* как живые структуры.

8. *Экосистемы.* Объединяют растения, животных и окружающую их неживую (косную) среду.

9. *Человек.*

10. *Общественные системы.*

11. *Экосистемы человека.* Охватывают взаимосвязи социальных систем с экосистемами.

На каждом из этих уровней сложности можно выделить системы различного масштаба. Более важным, однако, является раздел между четвертым и пятым уровнями сложности, т. е. между неживыми и живыми (или саморепродуцирующимися) системами. Связь между этими категориями систем обеспечивается общей тенденцией к образованию иерархических уровней организации в результате неравенства вовлекаемых в них энергии и/или массы.

3. СИСТЕМЫ В ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

География имеет дело с системами средних размеров величин, располагающихся где-то между размерами атома и вселенной. Физическая география в основном имеет дело с системами четырех типов, каждая из которых обладает различными, но дополняющими [друг друга.— *Ред.*] свойствами; они образуют последовательность в направлении к более высоким уровням интеграции и усложнения. К ним принадлежат морфологические, каскадные, процессорные и управляемые системы, опознаваемые у поверхности земли (рис. 2). При этом рассмотрение взаимосвязи этих си-

стем относительно низкой сложности со структурами более высокого уровня — растениями, животными и сообществами людей — отступает на второй план, так как они имеют отношение к физической географии только в определенных случаях:

1. Если они представляют собой морфологические черты географического масштаба (например, леса).

2. Если они участвуют в функционировании каскадной системы (например, растительность в энергетическом балансе или гидрологическом цикле).

3. Если они являются тем воздействием извне, которое внедряется в естественные процессорные системы и управляет ими (например, уничтожение растительности, управление погодой и т. д.).

Выявив структурные классы систем, которые имеют непосредственное отношение к физической географии, необходимо рассмотреть их характеристики более подробно.

А. Морфологические системы (рис. 2, А). Эти системы содержат морфологические или одновременные по внешнему проявлению физические свойства, совокупность которых образует различимую и опознаваемую часть физической реальности; сила и направление связей внутри этих систем обычно выявляются с помощью корреляционного анализа. Так, например, морфологические свойства системы морского пляжа могут содержать такие параметры, как уклон его поверхности, средний размер песчинок, диапазон размеров песчинок, плотность слагающего пляж материала и тому подобное. Соотношения между этими параметрами могут быть выражены сложным переплетением зависимостей, и это следует учитывать, чтобы выяснить операционную эффективность такой системы в терминах степени связи этих морфологических параметров. Таким образом, хотя такие морфологические переменные могут быть идентифицированы по отдельности, их взаимное сродство часто указывает на степень взаимосвязи их динамических свойств. Важной чертой таких систем является функция цепей обратной связи, особенно отрицательной обратной связи, которые регулируют общие морфологические изменения, являющиеся следствиями изменений отдельных переменных. Эти системы до некоторой степени аналогичны механическим структурам, где прикладываемое извне давление снимается растяжением (то есть происходит пере-

стройка соответствующих переменных для достижения нового состояния равновесия).

Б. Каскадные системы (рис. 2, Б). Эти системы представляют собой цепочку подсистем, которые часто характеризуются наличием порогов (границ) и имеют как пространственные размеры, так и географическое местоположение; эти подсистемы динамически связаны перепадом массы или энергии. В этом случае масса или энергия, выходящая из одной подсистемы, становится входной вели-

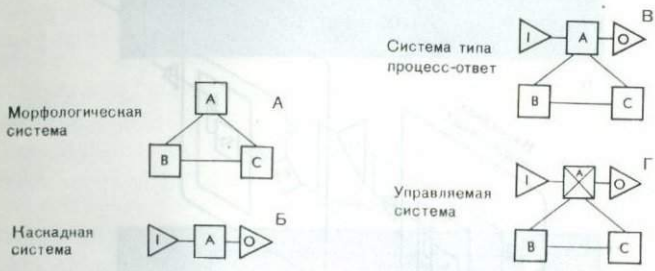


Рис. 2. Схематическое изображение четырех типов систем.

чиной для территориально смежной с ней подсистемы. Например, обломки разрушенных горных пород и поверхностный сток из подсистемы склона речной долины становятся частью поступающих в подсистему русла реки воды и обломков разрушенных пород, которые в известной мере регулируют работу последней. Такие каскадные системы можно просто рассматривать в терминах базовых канонических структур, в которых вход в систему определяется пороговым регулятором, так что некоторая масса или энергия может оказаться сохраненной в качестве запаса в подсистеме, а оставшаяся их часть должна стать выходом из этой подсистемы для перехода в смежную с ней подсистему. Каскадные системы в физической географии заметно варьируют по величине. Сюда входят и базовый каскад солнечной энергии, и каскад гидрологического цикла бассейна реки, и каскадная подсистема, образованная движением волны от глубокой воды, и подсистема прибойной полосы.

При изучении таких систем все внимание обращается на соотношения между входными и выходными данными.

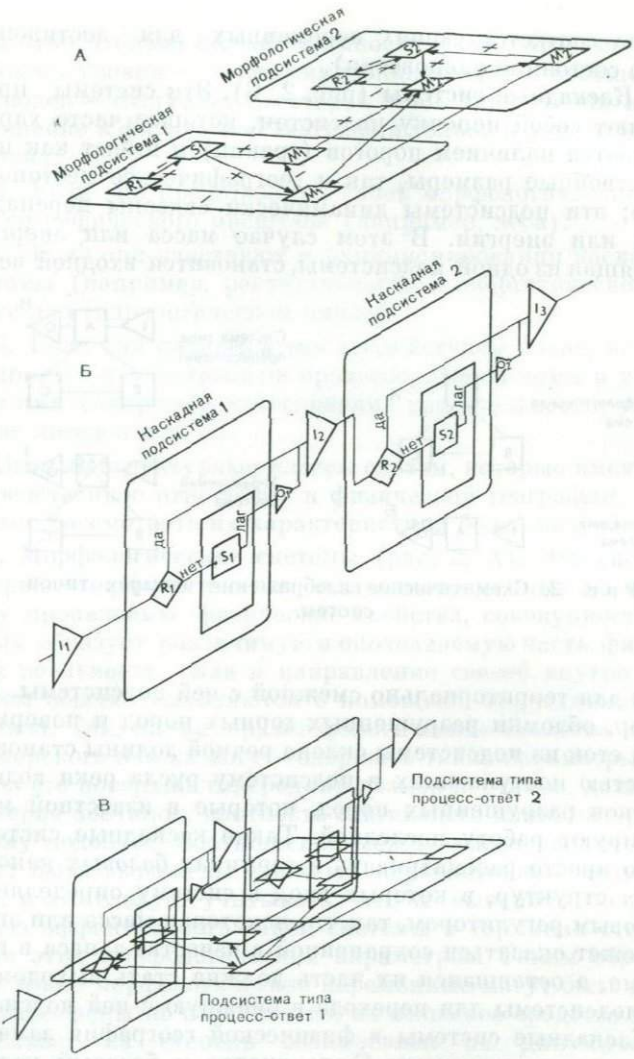


Рис. 3. Схемы, более детально показывающие характер морфологических и каскадных систем, а также их сочетание, образующее системы типа процесс — ответ (Chorley, 1971).

А — морфологическая система из двух подсистем, образованных восемью морфологическими переменными (R_1, S_1, M_1, M_1^*, R_2, S_2, M_2, M_2^*), связь между которыми образует структуру соотношений; Б — каскадная система из двух подсистем, связанных входными и выходными величинами (I_1, I_2, I_3), которые управляются регуляторами (R_1, R_2) в накопителях (S_1, S_2), из которых выходные величины (O_1, O_2) поступают с запаздыванием; В — связь описанных выше морфологической и каскадной систем, в результате которой образуется система типа процесс—ответ при участии двух регуляторов (R_1, R_2) и двух накопителей (S_1, S_2), одновременно выполняющих роли и каскадных компонентов, и морфологических переменных.

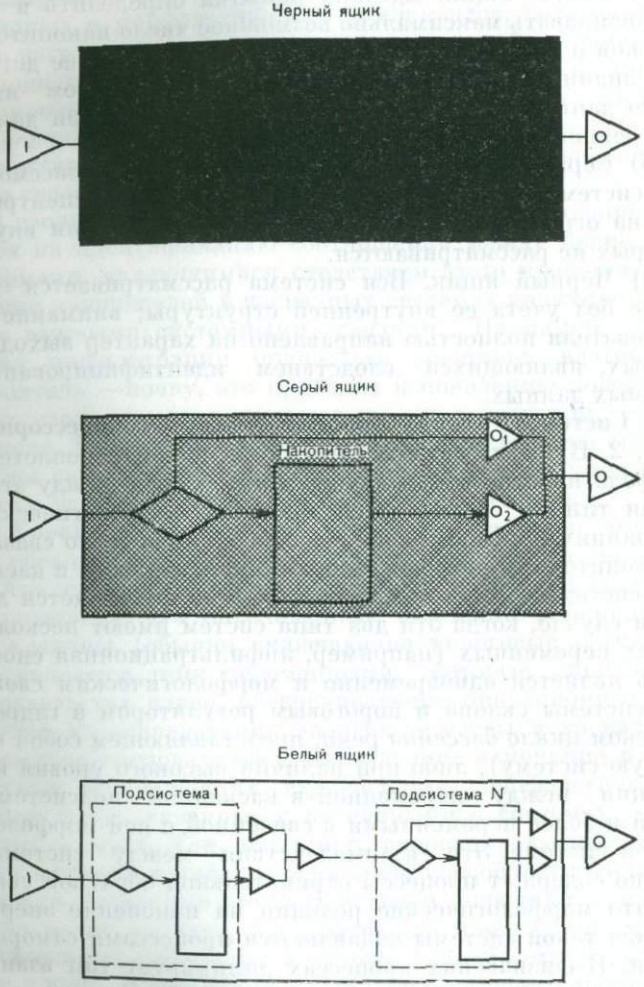


Рис. 4. Три способа рассмотрения каскадных систем — черный ящик, серый ящик и белый ящик.

5377

Полезно поэтому обратить внимание на три способа анализа каскадов (рис. 4):

а) Белый ящик. Сделана попытка определить и проанализировать максимально возможное число накопителей, потоков и т. д., для того чтобы получить наиболее детальные знания относительно способа, при котором имеет место данный выход в ответ на данный вход при данной внутренней структуре системы.

б) Серый ящик. Подразумевает частичное рассмотрение системы, когда интерес исследователя сконцентрирован на ограниченном числе подсистем, операции внутри которых не рассматриваются.

в) Черный ящик. Вся система рассматривается как целое без учета ее внутренней структуры; внимание исследователя полностью направлено на характер выходных данных, являющихся следствием идентифицированных входных данных.

В. Системы типа процесс — ответ (процессорные) (рис. 2, В). Эти системы образуются путем переплетения морфологической и каскадной систем. Связи между этими двумя типами систем обеспечиваются морфологическими состояниями, которые либо совпадают, либо тесно связаны с накопителями или регуляторами, внедренными в каскадные системы. Такая интеграция обычно наблюдается либо в том случае, когда эти два типа систем имеют несколько общих переменных (например, инфильтрационная способность является одновременно и морфологическим свойством системы склона и пороговым регулятором в гидрологическом цикле бассейна реки, представляющем собой каскадную систему), либо при наличии высокого уровня корреляции между переменной в каскадной подсистеме и одной и более переменными в связанной с ней морфологической системе. Эти взаимодействия между системами обычно содержат процессы отрицательной обратной связи, так что морфологические реакции на изменение энергии каскада такой системы подавляются процессами саморегуляции. В физических процессах доминирует тип взаимоотношений, основанный на отрицательной обратной связи, поэтому попытка образовать систему, включающую как чисто природные, так и социальные явления, порождает проблему, состоящую в том, что многие аспекты социально-экономических систем регулируются положительной обратной связью. Таков, например, эффект «снежного

кома» при накоплении капитала или рост выгод, обусловленных преимуществом местоположения. Можно также рассматривать процессорные системы как состоящие из каскадных и морфологических компонентов, которые взаимно регулируют друг друга для того, чтобы изменить соотношения вход — выход. Время, необходимое на такую регулировку, в результате которой наступает новое состояние равновесия (то есть время релаксации), зависит от количества и направления изменений энергии каскада и числа связей между переменными.

В изолированных процессорных системах ударение делается на идентификацию соотношений между процессом и формами, являющимися следствием этого процесса. Состояния накопителей в каскадных системах являются наиболее важными системными связями. Например, если каскад инфильтрации полностью заполняет влагой ее накопитель — почву, это приводит к появлению поверхностного стока воды, связывающего его с каскадом русла водотока. Таким образом, морфологическая система склона долины реки и система русла водотока связываются каскадным компонентом в виде поверхностного стока.

Г. Управляемые системы (рис. 2, Г). Системы четвертого уровня интеграции являются управляемыми системами. Анализ структуры физической процессорной системы обнаруживает, что определенные ключевые переменные, или *клапаны* (обычно включающие пороговые регуляторы), являются теми переменными, которые допускают вмешательства извне, обеспечивающие операционные изменения в распределении энергии и массы в каскадных системах и, следовательно, вызывающие изменения в равновесных соотношениях, включающих морфологические переменные, связанные с каскадными в системах типа процесс — ответ. Так, например, спровоцированные человеком изменения инфильтрационной способности бассейна реки или вызванные его воздействием подвижки песка на пляже могут вызвать, преднамеренно или неумышленно, значительные изменения в густоте речной сети и очертаниях пляжа. В том случае, когда такое вмешательство человека, постоянное или периодическое, осуществляется с определенным намерением и является следствием работы согласованной пространственной системы принятия решения, результирующее взаимодействие такой системы принятия решения и физической системы типа процесс —

ответ приводит к созданию географической управляемой системы. Эти системы можно представить себе как трехмерные структуры, в которых усложненные потоки и соотношения, формирующие социально-экономические пространственные системы принятия решения, взаимопроникают в физические системы типа процесс — ответ через клапаны управления.

4. СТРУКТУРА СИСТЕМ

Отличительная особенность любой системы определяется организацией ее компонентов, и с этой точки зрения доминирующими характеристиками, с помощью которых определяется система, являются следующие:

1. Размер. Размер системы определяется числом переменных, из которых она состоит. При этом подразумевается, что каждая переменная рассматривается как черный ящик, хотя в действительности каждая из них представляет собой подсистему компонента со своими собственными переменными. Если система состоит из полностью замкнутых, взаимосвязанных переменных (то есть каждая переменная связана со всеми остальными), ее сложность и размер выражаются в терминах фазового пространства, или числа переменных. На рис. 5 даны характеристики, относящиеся к простой системе, представляющей собой двухфазовое пространство, где генерализованные соотношения между переменными показаны линией.

2. Корреляции. Корреляция между парами переменных в системе выражается степенью точности соответствия генерализованного соотношения эмпирическим данным. Это генерализованное соотношение выражается линейной математической регрессией (как показано на рис. 5, А), которая обычно выводится путем рассмотрения выборки из всех возможных значений, которые могут принимать две из всех переменных системы.

Признаками корреляции, которые определяют природу структуры системы, являются:

а) *Мощность* (*критерия*). Это выражение степени соответствия точек, представляющих эмпирические данные, с линией регрессии; оно описывается коэффициентом корреляции (r), который тем более приближается к единице, чем точнее эмпирические точки совпадают с линией ре-

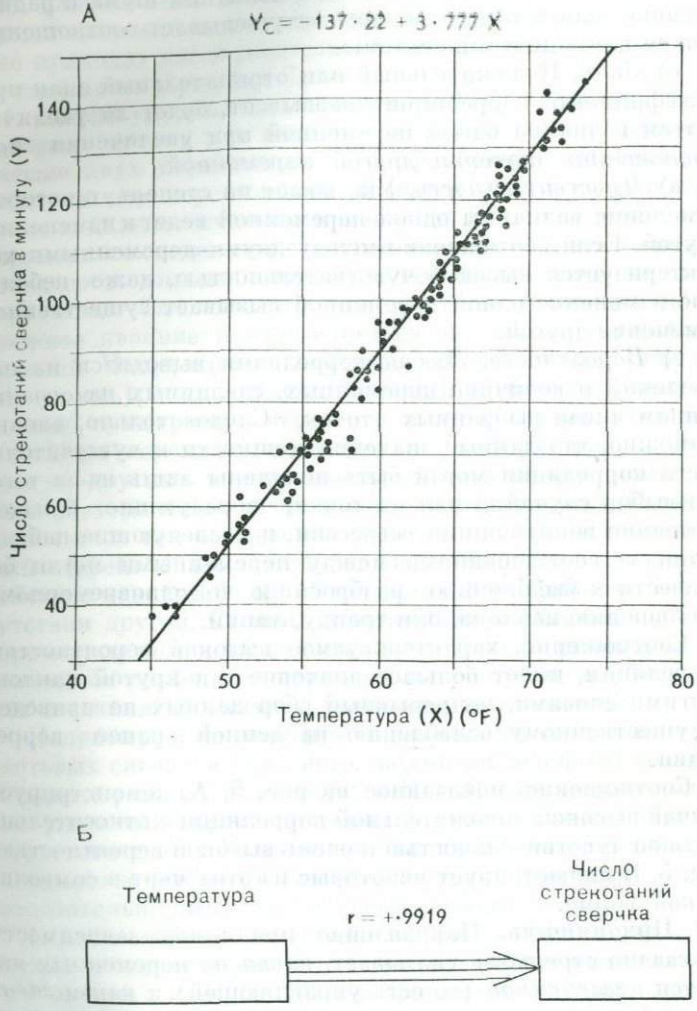


Рис. 5. Соотношение между причиной и следствием (Croxton, Cowden, 1948).

А — простая линейная регрессия, показывающая функциональную зависимость числа стрекотаний сверчка в минуту (Y) от температуры; Б — схема корреляционной связи, выражающая предыдущее соотношение в символической форме.

грессии. Степень несовпадения точек с линией регрессии называется шумом по аналогии с понятием шума в радиотехнике: как и там, шум здесь затушевывает соотношения между компонентами системы.

б) *Знак.* Положительный или отрицательный знак при коэффициенте корреляции показывает, будет ли увеличиваться величина одной переменной при увеличении или уменьшении значения другой переменной.

в) *Чувствительность.* Указывает на степень, с которой изменение величины одной переменной ведет к изменению другой. Если соотношение между двумя переменными характеризуется высокой чувствительностью, даже небольшое изменение одной переменной вызывает существенное изменение другой.

г) *Вероятность.* Любая корреляция выводится из наблюдений о величине переменных, сделанных на ограниченном числе выбранных точек. Следовательно, вполне возможно, что данные значения мощности и чувствительности корреляции могли быть получены лишь из-за того, что выбор случайно пал на точки, образующие близкое рассеяние вокруг линии регрессии, и последующие наблюдения за соотношениями между переменными могли бы привести к увеличению разброса и к одновременному уменьшению наклона, или тренду, линии.

Соотношение, характеризуемое высокой вероятностью корреляции, имеет большое значение r и крутой наклон; другими словами, непрерывный сбор данных не приведет к существенному ослаблению найденной ранее корреляции.

Соотношение, показанное на рис. 5, А, демонстрирует случай высокой положительной корреляции с относительно высокой чувствительностью и очень высокой вероятностью. Рис. 5, Б иллюстрирует некоторые из этих черт в символической форме.

3. Причинность. Направление причинной зависимости (показано стрелкой) указывает, какая из переменных является *независимой* (то есть управляющей) и какая *зависимой* (последняя изменяется лишь при изменении первой переменной). Направление стрелки определяется обычно в результате опытной проверки способа функционирования системы или же диктуется соображениями здравого смысла (например, в случае, показанном на рис. 5, ясно, что изменение температуры регулирует частоту стрекотаний

сверчка, а не наоборот!), но в сложных системах некоторые направления наносятся априорно, чтобы объяснить предполагаемый нами характер работы системы в целом. Это приводит нас к понятию обратной связи, которая рассматривается в разделе 5.

4. Конфигурация. Большинство систем, идентификация которых полезна для анализа реального мира, содержит больше двух переменных, и конфигурация взаимосвязей между этими переменными является одним из наиболее ценных диагностических признаков. Если две или более переменных соединены с другой переменной, эта сложная целостность определяется *вектором.* Возникновение вектора может быть результатом простого *сложения,* когда сложное явление представляет собой сумму отдельных явлений. Чаще, однако, наблюдается репликация (или избыточность), когда результирующий эффект оказывается меньше суммарного; ясно, что в этом случае одна или несколько переменных повторяют информацию, передаваемую другими переменными (то есть между компонентами вектора имеет место некоторое наложение). Изредка встречается так называемое *усиление,* когда результирующий эффект оказывается больше суммарного, поскольку действие какой-либо одной переменной усиливается в присутствии другой. Степень взаимосвязи переменных в векторе определяется числом *степеней свободы,* равным числу полностью свободных переменных, которые необходимы для создания обозримого диапазона вероятностей.

Например, в Англии путем различного сочетания трех цветовых сигналов (красного, желтого и зеленого) создают четыре дорожных указателя; в Нью-Йорке четыре подобных указателя (красный, зеленый, красный плюс зеленый, отсутствие света) создают комбинацией всего двух цветов (красного и зеленого). Система из трех цветовых огней, следовательно, имеет две степени свободы.

Более важными аспектами конфигурации системы являются те характерные для нее непосредственные связующие звенья, которые рассматриваются с точки зрения обратной связи.

5. Внешние особенности. Имеют значение в том случае, когда одна или более переменных системы связаны с внешними переменными.

6. Выход. Выход системы может быть двух видов. Во-первых, это реальный выход из системы в виде энергии,

массы или информации и, во-вторых, это изменение формы, памяти, структуры и т. д., возникающее в ответ на какое-либо входное воздействие на систему. В действительности это деление носит искусственный характер, так как оба типа выхода фактически представляют собой изменения в накопителях внутри системы и, следовательно, чередование интенсивности последовательных входов и выходов.

5. СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ

В изолированной системе, на вход которой не поступает энергия, существует тенденция к постоянному внутреннему перераспределению энергии, приобретающему все более и более произвольный характер. Это качество произвольности или беспорядочности называется *энтропией*. Со временем, по мере роста энтропии, количество энергии, участвующей в работе системы, уменьшается, происходит выравнивание различий внутри системы и разрушение ее иерархической организации. Этот необратимый процесс продолжается до тех пор, пока изолированная система не приобретает статического равновесия при недифференцированной структуре, когда единообразное распределение энергии и энтропия достигают своего максимума.

Открытые и замкнутые системы непрерывно импортируют энергию, и, так как это приводит к увеличению дифференциалов распределения энергии и способствует поддержанию иерархической организации и структуры, эта поступающая в систему энергия рассматривается как *отрицательная* энтропия. Состояние открытой или замкнутой системы не может быть, следовательно, описано понятием статического равновесия. Однако внутренние взаимосвязи, характеризующие структуру таких систем, придают им качество *саморегуляции*, что ведет к особому типу равновесия. Сложные открытые и замкнутые системы состоят из интегрированных подсистем обратной связи, которые функционируют по принципу саморегуляции и обогащают систему, придавая ей большую гибкость реакции.

Обратная связь — это свойство системы или подсистемы так реагировать на проводируемое извне изменение одной из их переменных, когда, проведенное через структуру, это изменение ведет к вторичному изменению той же переменной, что обеспечивает цикличность действия.

Обратная связь может быть либо прямой (рис. 6, А), либо цепочечной (контурной), образуемой одной или более переменными (рис. 6, Б). Наиболее общим типом обратной связи является *отрицательная обратная связь* (рис. 6, В), когда полученный извне импульс образует замкнутую цепь изменения, в результате которого происходит затухание или стабилизация первоначального воздействия. Эта ситуация обозначается контуром с нечетным числом отрицательных знаков корреляции, как, например, на рис. 6, В,

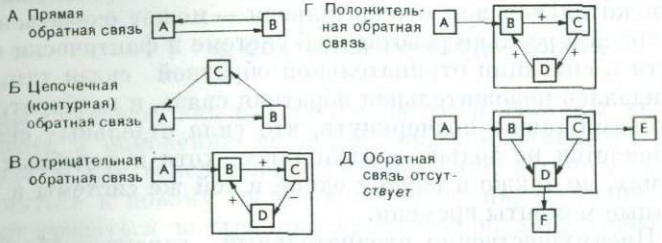


Рис. 6. Символические диаграммы, иллюстрирующие различные типы обратной связи.

где возрастание в В вызывает возрастание же в С, что в свою очередь ведет к убыванию в Д и через него к убыванию же в В. Это одна из форм саморегуляции, которая поддерживает существование *открытой системы*, или *динамическое равновесие*. Системы и подсистемы с отрицательной обратной связью очень распространены в природе; именно ею обеспечиваются свойства ее постоянства и самовосстановления. *Положительная обратная связь* наблюдается, когда замкнутые контуры переменных системы усиливают последствия внешне наведенного воздействия; при этом создается своеобразный эффект «снежного кома», *при котором нарастание изменений* происходит в направлении начального воздействия. Такие контуры положительной обратной связи не имеют ни числа, ни отрицательных коэффициентов корреляции (рис. 6, Г). Очевидно, что системы с положительной обратной связью не могут работать постоянно, границы их действия определяются отдельными переменными, которые неспособны беспредельно изменяться в одном направлении. Следовательно, эти системы проявляют себя в виде относительно коротких всплесков саморазрушающей деятельности. Кроме того,

многие системы и подсистемы не обнаруживают ни положительной, ни отрицательной обратной связи (рис. 6, Д), представляя собой сочетание независимых (A), промежуточных (B, C), зависимых (D, E) и самостоятельно связанных (F) переменных.

Наличие системы положительной или отрицательной обратной связи можно приблизительно установить по числу и направлению связей внутри нее; важно при этом отчетливо представлять, что еще большую значимость имеет *сила* связей. Одна исключительно сильная связь — положительная или отрицательная — может оказаться решающей в реально работающей системе и фактически привести к ситуации отрицательной обратной связи там, где ожидалась положительная обратная связь, и наоборот. Необходимо также подчеркнуть, что сила отдельных связей изменяется не только в различных, хотя и подобных системах, но также и внутри одной и той же системы в различные моменты времени.

Преимущественно отрицательный характер обратной связи природных систем, или ключ саморегуляции внутренних подсистем, означает, что любое изменение энергии в среде, окружающей систему, приведет к изменению ее переменных, что в свою очередь послужит причиной возникновения нового состояния равновесия системы. Эта тенденция к саморегулирующему изменению называется *динамическим гомеостазом,* а равновесие, которое устанавливается вследствие изменения энергии на входе, называется *устойчивым состоянием* работы системы. Наличие динамического гомеостаза обычно обнаруживается по высокой степени корреляции между системами и подсистемами с преобладающей отрицательной обратной связью и по тенденции регистрируемых величин отдельных переменных к группированию у истинных характеристических значений.

Эта простая саморегуляция, основанная на существовании отрицательной обратной связи, усложняется существованием как *вторичных* реакций системы, так и *порогов.* Вторичные реакции могут со временем возникнуть вследствие внешних изменений на входе системы; они способны воздействовать на работу и равновесие системы в течение некоторого времени после ее приспособления к некоторому начальному изменению энергии. Например, уменьшение количества выпадающих осадков может привести к

обмелению притоков и расширению русел водотоков, но с точки зрения долгосрочных результатов уменьшение осадков влечет за собой разрежение растительного покрова, возрастание скорости поверхностного стока и, как следствие, углубление русел. Наличие порогов вызывает коренные изменения состояния системы, так как они препятствуют ее функционированию, и система, которая обычно переходит в кардинально отличное от предыдущего состояние в результате влияния таких порогов, называется метастабильной.

6. СООТНОШЕНИЯ ВХОД — ВЫХОД

Мы показали, как изменения на входе системы могут привести к изменению ее поведения, или изменению на выходе, и как вследствие этих изменений система будет стремиться к новому состоянию равновесия, при котором может создаться внутренняя организация, характеризуемая высокой степенью внутренней корреляции, либо же образуется постоянный выход энергии или массы. Время, затрачиваемое на реорганизацию системы для достижения нового состояния равновесия вслед за изменением на входе, называется *временем релаксации*. Протяженность этого периода времени, в течение которого замедленные процессы саморегуляции внутри возбужденной системы приводят к достижению нового состояния равновесия, зависит от:

1. Состояний отдельных переменных внутри системы. В каскадных системах особенно важно состояние переменных накопителя. Например, тот факт, что почвы бассейна реки Лин были насыщены влагой к моменту, когда в августе 1952 г. разразился ураган [входная переменная. — *Перев.*], является одной из главных причин короткого времени релаксации перед наступившим наводнением [на выходе системы. — *Перев.*].

2. Устойчивости отдельных переменных системы к воздействию изменений.

3. Сложности системы. Обычно более сложная система (то есть система с бóльшим фазовым пространством и состоящая из большего числа спаренных и взаимосвязанных подсистем с отрицательной обратной связью) имеет тенденцию к более короткому времени релаксации из-за нали-

чия многочисленных возможных комбинаций равновесных соотношений. Так как многие аспекты ответного поведения системы влекут за собой одновременные многократные реакции, затрагивающие всю систему, сложная система обычно обладает целым спектром времен релаксации, ряд которых последовательно связан противоречивым образом.

4. Величины и направления изменения. В общем случае скорость перерегулировки прямо связана с интервалом, отделяющим переменную от ее нового состояния равновесия.

В природных системах время релаксации измеряется в очень широких пределах. Так, например, изменение конфигурации русел водотоков при изменении количества выпадающих осадков может быть практически одновременным, но изменения формы склонов их долин или густоты речной сети могут произойти значительно позже. Время *релаксации — это главный фактор*, который позволяет исследователю определить степень значимости истории развития данной системы в современных характеристиках ее состояния. Ясно, что если время релаксации невелико, то доминирует «вневременное», сиюминутное, проявление системы и исследователь вправе ожидать равновесных соотношений; если же время релаксации велико, исследователя интересуют рубежи эволюции, поскольку он следит за изменениями в системе через последовательность постепенно все более отрегулированных состояний. Различные подсистемы обычно обладают весьма разным временем релаксации, и природные системы обыкновенно образуют взаимосвязанную общность хорошо приспособленных, частично приспособленных и плохо приспособленных подсистем. Некоторые из них так идеально приспособлены к существующим условиям, что могут быть правильно проанализированы по характеристике энергии, поступающей на вход системы *в настоящее время; в то же время другие* так сильно противостоят изменениям на входе, что могут быть поняты только в терминах прошлых процессов. Существенно, что наибольший методологический конфликт часто наблюдается при изучении явлений, где отсутствует информация относительно времени релаксации (например, при исследовании процессов формирования склона в физической географии). *Этот конфликт еще более ярко* выражен при изучении комплексов подсистем, имеющих различные, но, в общем, неизвестные времена релаксации

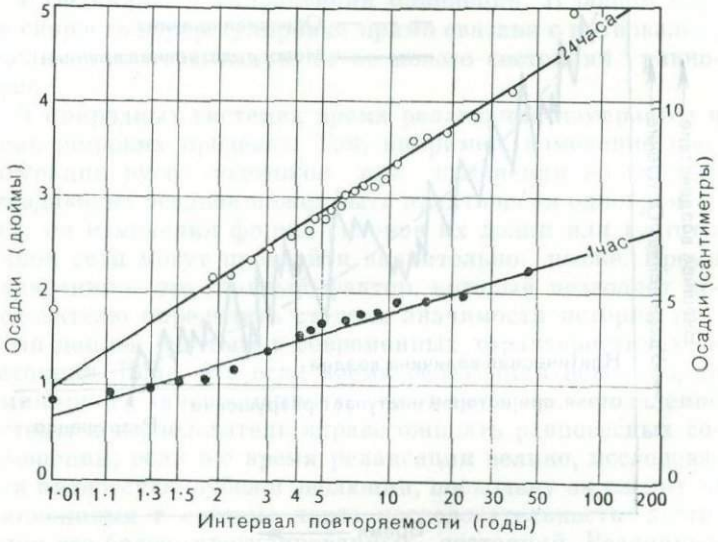
(например, анализ городских систем в экономической географии).

Эта схема входа, *приспособления*, или регулирования, и выхода является, конечно, крайне упрощенным представлением о большинстве природных систем. И причина состоит в том, что время релаксации в природных систе-

Рис. 7. Различие между основной и между непосредственной причинами разрушения материального объекта в процессе попеременного увлажнения и осушения (вызывающих соответственное уменьшение или увеличение внутренней связности); повторение этого цикла приводит к постепенной потере внутренней связности (*основная причина разрушения*), когда наконец небольшое увеличение влажности (непосредственная причина) вызывает разрушение (частично по Терцаги).

мах искажается наличием вторичных реакций системы с запаздывающими временами релаксации или в некоторых случаях перекрытием времени релаксации. Последнее происходит в тех случаях, когда относительно малое воздействие на входе системы заставляет ее пересечь порог и войти в новый режим. Например, увеличение влажности склоновых отложений ведет к постепенному *ослаблению* их внутренней связности. Наконец наступает время, когда ничтожное добавление влаги уменьшает связность ниже

критического уровня стабильности, что ведет к катастрофическим обрушениям породы и формированию склона с совершенно другими характеристиками (рис. 7). Однако главным фактором, усложняющим характеристики выходов системы, являются характеристики ее входов, то есть характеристики воздействий. Большинство природных воз-



Р и с. 8. Кривые выпадения осадков (продолжительность и частота) для Кливленда, Огайо (1902—1947), показывающие средние интервалы повторяемости в выпадении различных количеств осадков в течение одного часа и одних суток (Linsley, Franzini, 1955).

действий (например, солнечная энергия, осадки, сила ветра, высота волны и т. д.) подвержены настолько сложным флуктуациям, что их следует расценивать как обладающие элементом *случайности*. Если воздействия на входе системы характеризуются некоторой долей случайности (то есть относятся к *стохастическим*), то вопросы поведения системы рассматриваются под углом зрения вероятностных процессов. Среди них можно указать, например, следующие:

1. Какова вероятность того, что система получит данное воздействие на входе в данное время? Этот вопрос связан с величиной и частотой событий на входе системы. На рис. 8 показана вероятность выпадения ливней определен-

ной интенсивности и продолжительности в Кливленде, штат Огайо; эта вероятность определяется в виде среднего интервала повторения, который рассчитывается из среднего числа ливней значительной силы, ожидаемых в течение данного периода времени.

2. Какова вероятность того, что данное воздействие на входе системы повлечет за собой возникновение другой специфической величины? Ответ на этот вопрос можно получить из анализа с помощью марковских процессов в форме:

$$y_{t+1} = a \cdot y_t + bE,$$

где y_t — вероятность появления этой величины за время t; y_{t+1} — вероятность появления величины за время $t+1$; a — константа; b — константа, зависящая от области изменения значений; E — случайная переменная.

Поскольку различные компоненты одной системы могут иметь различное время релаксации, то обычно в тех случаях, когда величина или характер воздействий, поступающих из других систем на вход данной системы, подвержены быстрой флуктуации, инерция системы приводит к тому, что часть реакций отфильтровывается или смазывается из-за смешения с другими реакциями (ср., например, влияние коротких ливневых дождей на общий характер водостока в пределах большого водосборного бассейна, когда они выпадают вслед за сильными ливнями).

3. Какова вероятность того, что данное воздействие на входе системы обусловливает данный выход в данный момент времени? Этот вопрос вытекает из предыдущего вопроса, и ответ зависит от входов, с которыми он связан во времени. Один из путей решения этой проблемы — использование *теории массового обслуживания,* при этом любой процесс может быть определен следующим образом:

а) Характер поступления, то есть величина и частота входов.

б) Процесс обслуживания, то есть время обслуживания и емкость. Они определяют задержку связи, или время между входом и выходом. Рис. 9 показывает это как *время задержки* между максимальной интенсивностью выпадающих осадков и максимальным расходом воды для бассейна реки Огайо.

в) Дисциплина очереди, то есть правила очередности обслуживания. Например, часть осадков, выпадающих во

время ливня, будет пополнять запас почвенной влаги, обеспечивая этим возможность для части позже выпадающих осадков миновать поглощение их почвой и тем самым быстрее достигнуть русел водотоков в качестве поверхностного стока.

г) Скорость истощения, то есть потери от начального входа при прохождении через систему до образования

Рис. 9. Простой пример запаздывания между выпадением осадков (входная величина) и паводком (выходная величина) для небольшого водосборного бассейна. Во время ливня в бассейне реки Шугар-Крик, штат Огайо (площадь 310 кв. миль), выпало 6,3 дюйма осадков в течение 2 часов, из них 3 дюйма осадков образовали паводок, пик которого указывает на запаздывание больше, чем на 24 часа, от момента максимальной интенсивности выпадения осадков (Hoyt, Langbein and Strahler from More, 1967).

части измеряемого выхода. Испарение воды с поверхности водосборного бассейна уменьшает количество стока по сравнению с количеством выпавших осадков.

Термин «случайный» обычно относится к таким явлениям, которые непредсказуемы с какой-либо степенью определенности для данного события; они противоположны *детерминированному* явлению, поведение которого однозначно предсказуемо математическими вычислениями. Если случайный элемент присутствует в явлении, детерминированном в других отношениях, то следует ожидать обязанное этому случайному элементу отклонение от предсказанного поведения, которое называется *шумом*. Однако статистическая закономерность может выявляться в ряду событий, каждое из которых, как единичное явление, может быть непредсказуемым, обладая в то же время свойством предсказуемости при их сгруппировании, когда суждение выносится на основании большого числа наблю-

дений. В частности, на таких статистических законах базируется *статистическая механика*. В рамках этой науки существует много предположений о «причинах» случайностей: часть их метафизична, но некоторые, с нашей точки зрения, представляют значительный интерес:

1. Неопределенность. Относится к ситуациям, где применимы обычные физические законы, которые, однако, могут быть удовлетворены лишь при большом числе возможных комбинаций значений независимых переменных.

2. Наложение. Аккумуляция, или наложение, многих детерминированных явлений, которые в результате этого превращаются в сложную, запутанную комбинацию.

3. Незавершенность. Вытекает из того, что любая анализируемая система в действительности никогда не бывает изолированной, и ее поведение в большей или меньшей степени зависит от других систем, взаимодействие с которыми частично вводит в нее элемент случайности.

Важнейший вопрос состоит в выявлении способа постепенного изменения закрытой или открытой системы во времени, то есть вопрос введения элемента истории в развитие системы. Необходимо заметить, что такие изменения происходят либо вследствие постепенных изменений на входе системы, либо при определенном постепенном изменении состояния или организации составляющих ее переменных. Например, каскадная система гидрологического цикла бассейна реки неуклонно изменяется под воздействием каждого ливня из-за того, что один из важнейших ее компонентов — поглотительная способность почвы и грунта — уменьшается по величине во времени. Это свойство сродни постепенной на протяжении длительного времени потере внутренней связности обломочных пород, приводящей к их обрушению — пример, упоминавшийся выше. Однако свойством большинства природных систем являются более глубокие изменения с течением времени; таково, например, влияние невосполняемого выноса рекой обломочных пород на развитие эрозии в бассейне реки.

ЛИТЕРАТУРА

Ackoff R. L., Systems, organization, and interdisciplinary research, «General Systems Yearbook», 1960, 5, 1—8.

Amorocho J., Hart W. E., A critique of current methods in hydrologic systems investigation; «Transactions of the American Geophysical Union», 1964, 45, 307—321.

Anderson J., On general systems theory and the concept of entropy in urban geography, «London School of Economics, Graduate Geography Department, Discussion Papers», 1969, № 31, 17.

Ashby, W. Ross, General systems theory as a new discipline; «General Systems Yearbook», 1958, 3, 1—6.

Ashby, W. Ross, An Introduction to Cybernetics, Methuen, London, 1964, 295.

Beer S., Cybernetics and Management, Wiley, New York, 1959, 214.

Blalock H. M., Causal Inferences in Nonexperimental Research, University of North Carolina Press, 1964, 200.

Borchert J. R., Geography and systems theory; In Cohen S. B. (Ed.), «Problems and Trends in American Geography», Basic Books, New York, 1967, 264—272.

Boulding K., General systems theory — The skeleton of science, «General Systems Yearbook», 1956, 1, 11—17.

Chisholm M. D., General systems theory and geography, «Transactions of the Institute of British Geographers», 1967, № 42, 45—52.

Chorley R. J., Geomorphology and general systems theory; «U. S. Geological Survey, Professional Paper», 1962, 500—B, 10.

Chorley R. J., Models in geomorphology; Ch. 3 in «Models in Geography», Ed. by Chorley R. J., Haggett P., Methuen, London, 1967, 57—96.

Chorley R. J., The role and relations of physical geography, «Progress in Geography», 1971, Vol. 3, 89—109.

Clarke D. L., «Analytical Archaeology», Methuen, London, 1968, 684.

Conacher A. J., Open systems and dynamic equilibrium in geomorphology: A comment; «Australian Geographical Studies», 1969, 7, 153—158.

Cowan T. A., On the very general character of equilibrium systems; «General Systems Yearbook», 1963, 8, 125—128.

Emery F.E. (Ed.), «Systems Thinking», Penguin, London, 1969, 398.

Gale S., Simplicity isn't that simple, «Geographical Analysis», 1970, 2, 399—402.

Hall A. D., Fagen R. E., Definition of system; «General Systems Yearbook», 1956, 1, 18—28.

Heal D. W., Geography, general systems theory and common sense; «University of Newcastle-upon-Tyne, Department of Geography, Seminar Papers», 1968, № 3, 25.

Howard A. D., Geomorphological systems — equilibrium and dynamics; «American Journal of Science», 1965, 263, 302—312.

Kern R., Weisbrod A. (Trans. D. McKie, 1967), «Thermodynamics for Geologists», Freeman, San Francisco, 1964, 304.

King R. H., The concept of general systems theory as applied to geomorphology; «Albertan Geographer», 1967, 3, 29—34.

Mann C. J., Randomness in nature, «Bulletin of the Geological Society of America», 1970, 81, 95—104.

McLoughlin J. B., Webster J. N., Cybernetic and general — system approaches to urban and regional research: A review of the literature; «Environment and Planning», 1970, 2, 369—408.

Melton M. A., Correlation structure of morphometric proper-

ties of drainage systems and their controlling agents; «Journal of Geology», 1958, 66, 442—460.

Ollier C. D., Open systems and dynamic equilibrium in geomorphology; «Australian Geographical Studies», 1968, 6, 167—170.

Rowe J. S., The level of integration concept and ecology; «Ecology», 1961, 42, 420—427.

Simon H. A., The architecture of complexity; «General Systems Yearbook», 1965, 10, 63—76.

Smalley I. J., Vita — Finzi C., The concept of 'system' in the earth sciences, particularly geomorphology, «Bulletin of the Geological Society of America», 1969, 80, 1591—1594.

Von Bertalanffy L., General system theory; «General Systems Yearbook», 1956, 1, 1—10.

Von Bertalanffy L., General system theory — A critical review; «General Systems Yearbook», 1962, 1, 1—20.

Wilbanks T. J., Symanski R., What is systems analysis?; «Professional Geographer», 1968, 22, 81—85.

Вероятностный подход к дискретным событиям в природе: обзор и теоретическое рассмотрение[1]

КЕННЕТ ХЬЮИТ

Существенная часть литературы о явлениях природы относится к вероятностной структуре событий, заполняющих лишь некоторую часть временно́го или пространственного континуума. Данная работа содержит критический обзор таких исследований. Предметом их рассмотрения могут быть периодичность выпадения осадков, даты пробуждения растений, а также морские штормы, оползни или ураганы. Мы будем иметь дело в основном со статистическими моделями, относящимися к группе или ряду однородных событий, характеризуя их как числом недифференцируемых случаев, так и измерением «величины» каждого события. Нас интересуют вероятностные модели таких событий, их физическая интерпретация и логический анализ того, в какой мере полученные соотношения эквивалентны описываемым явлениям природы. Мы не касаемся ни методики анализа, ни построения эмпирической кривой.

Приписывая наблюдаемому событию некоторую вероятность в ряду однородных событий, предстоит рассмотреть следующие возможности:

а) Соответствующее вероятностное распределение обусловлено независимыми и случайно возникающими событиями.

б) Вероятностное распределение обусловлено независимыми событиями, на которые накладывается некий пространственный или временной процесс (например, повторяющиеся процессы).

в) Вероятностное распределение обусловлено случайными событиями, хотя между отдельными событиями и

[1] Kenneth Hewitt, Probabilistic Approaches to Discrete Natural Events: a Review and Theoretical Discussion, «Economic Geography», Vol. 46, № 2 (supplement), June, 1970.

существует связь [например «последствие» (aftereffect), «контагиозность» (contagion)].

г) Вероятность того, что некоторое событие произойдет в данное время или в данном месте, полностью определена некоторым «детерминистическим» процессом типа периодичности или тренда.

д) Ряд событий обусловлен более чем одним процессом и может быть описан более чем одной вероятностной функцией.

Перечисленные возможности не являются взаимоисключающими, но они указывают на важные логические различия, которые помогут систематизировать наше изложение. Мы будем рассматривать лишь возможности а), б) и в).

В основе наблюдений лежит подсчет числа событий и измерение пространственного и/или временно́го интервала между ними. При отсутствии других наблюдений мы имеем дело с процессами, поддающимися подсчету в широком смысле слова. Если, кроме этого, учитываются и измерения случайных переменных — интенсивность, длительность, размер, — то мы имеем дело с задачей о соотношении между «величиной» и повторяемостью событий. Кроме того, обычно проводят различие между частыми и редкими событиями, а когда учитывается и величина — между обычными и экстремальными событиями.

Название работы показывает, что слово «событие» употребляется в обычном, а не статистическом понимании. Это значит, что мы рассматриваем прежде всего определенным образом опознаваемые проявления природы. Как они соотносятся со статистическими «событиями», следует определять в каждом отдельном случае. *Дискретное* событие в природе представляет явление с мгновенной или ограниченной во времени длительностью. Хотя мы будем рассматривать вероятность пространственного проявления событий, ограниченных во времени, интересуют нас здесь именно пределы их длительности. Задачи с дискретными событиями возникают в двух различных и логически независимых случаях: либо при наблюдениях, проводимых в дискретные интервалы времени, так что мы получаем дискретные события «операционно» (то есть по условиям наблюдений), либо если события ограничены во времени в силу физических факторов (даже при непрерывных наблюдениях).

Дискретность события можно установить исходя из одного или нескольких критериев. Таковыми являются:

а) Самоочевидное явление — блок (package), в котором не приходится разбираться: видя его, большинство наблюдателей знает, что это такое. Так, во многих сообщениях о метелях, смерчах и кометах указывается только, что их видели.

б) Пороговые события, которые фиксируются, когда заданное и измеренное значение определенной величины оказывается достигнутым, оставленным позади или превзойденным. Такой порог может не иметь ясного физического смысла. Частным случаем является событие, фиксируемое при каждом отличном от нуля измерении — ситуация двоичного кода, когда событие аналогично включению реле.

в) Совпадение, когда событие фиксируется при одновременном выполнении двух или нескольких условий (при этом пороговые значения соответствующих — двух или нескольких — переменных оказываются достигнутыми или превзойденными). Частным случаем является изучение «неожиданностей» или «переломов смен» — случаев сочетания разнородных событий или появления некоторых событий в непредусмотренные сроки [60].

Перечисленные критерии могут применяться и по отношению к событиям, устанавливаемым в соответствии с принятой системой наблюдений, и по отношению к событиям, обусловленным физическими факторами. В обоих случаях эти критерии помогают решить, что событие произошло. Однако если наша цель выходит за рамки первоначального статистического описания данных, то, чтобы сказать что-либо о смысле тщательно проанализированного ряда наблюдений, существенны и наблюдения, устанавливающие физические основы или исходные модели того, что мы изучаем.

ОБЗОР ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ В ПРИРОДЕ

Использование теории вероятностей в географии сталкивается с трудностями отчасти из-за большой амплитуды интересующих ее явлений: урожаев, паводков, катастроф. Такого рода события невольно наталкивают на использо-

вание статистических методов, позволяющих установить относительную степень влияния тех многих факторов, которые, как мы ощущаем, играют действенную роль в этих событиях; вероятностная природа процессов, лежащих в основе таких событий, отходит при этом на второй план. Значительная часть работ, посвященных анализу дискретных событий, делает упор на вопросы выборки, статистических оценок и построение эмпирических кривых.

Данная работа ориентируется на вероятностный аспект проблемы и изучает статистические распределения, обращаясь прежде всего к тому, при каких условиях и как они возникают. Область явлений природы, которые мы изучаем и которые более или менее точно согласуются с различными вероятностными распределениями, охарактеризована в таблице 1.

Таблица 1

Примеры различных дискретных явлений природы, изучавшихся с помощью вероятностных моделей

Биномиальное распределение

1. Малые количества осадков: годовая повторяемость засушливых месяцев в Оксфорде (Великобритания) за 1851—1943 гг. [9, стр. 71] [1].
2. Заморозки: месячная повторяемость дней с заморозком (в апреле) в Гринвиче (Великобритания) за 1841—1904 гг. [9, стр. 72].

Распределение Пуассона

1. Град: средняя годовая повторяемость выпадения на станции наблюдения ($\lambda < 2$) [65].
2. Осадки: количество ядер конденсации в малых объемах воздуха [59].
3. Ливни: Лондон (Великобритания) за 1871—1931 гг. [9, стр. 71].
4. Возможность падения метеоритов на искусственные объекты [49, стр. 229].

Отрицательное биномиальное распределение

1. Град: средняя годовая повторяемость выпадения на станции наблюдения ($\lambda < 2$) [65].
2. Смерчи: повторяемость [66].

Модифицированное распределение Пуассона (Эгенбергера и Пойа)

1. Дожди: месячное количество дней с дождем [73].
2. Снегопады: Швейцария, 1901—1940 [68].

Другие явления со слабо выраженной «контагиозностью»

1. Землетрясения: повторяемость афтершоков [46, библиография].

Нормальное [Гауссово.— *Перев.*] распределение

1. Морские волны: их высота, наветренная и подветренная крутизна ($n=2000$) [11].
2. Морские волны [56, 57].
3. Дожди: кубические корни из суточных количеств осадков для Джакарты и Цюриха и месячное количество осадков в Галифаксе (Канада) [64, 10].
4. Температура: повторяемость дискретных (за установленным порогом.— *Перев.*) значений для апреля в Скилли (Великобритания) за 1928—1937 гг. [9, стр. 98].

Гамма-распределение

1. Морские волны: высота [50].
2. Уровни реки: повторяемость подъемов уровня [51].
3. Градобитие: вероятность возникновения на территории штата Айова [19].
4. Распределение осадков: случаи засухи (неполная гамма-функция) [5].

Марковский процесс

1. Температура: периоды похолодания в Лондоне.
2. Уровень реки: повторяемость подъемов уровня [51].
3. Осадки: дни с дождем и дни без осадков в сезон дождей (Тель-Авив) [26].
4. Точка росы у поверхности: Миннеаполис (США), июль [31].

Экспоненциальное распределение

1. Уровень реки: подъемы уровня [51].
2. Скорость ветра: интервал повторяемости (фактически Рэлея и Вибула) [18].
3. Высота волн: от гребня до ложбины (Рэлея) [50, 11].
4. Излучение Солнца: вспышки спектрального типа I [47].

Метод повторного логарифмирования

1. Метеориты: кумулятивное распределение зависимости размер — повторяемость для массы метеоритов и величины кратеров [61, 38].

Логарифмически нормальное распределение

1. Цунами: высота волновой стены (R) или уровень затопления берега (зависимость между повторяемостью, в %) и (R/R) [70].
2. Гидрологические ряды: различные примеры [71].
3. Расход воды: максимумы среднесуточных расходов р. Элбоу (Канада) за 1908—1964 гг.

4. Смерчи: размер полосы повреждений [66].
5. Величина ущерба при наводнениях: для США [2].
6. Землетрясения: соотношение между магнитудой и повторяемостью [4].

---

[1] В квадратных скобках даны ссылки на литературные источники.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ И ИНТЕРВАЛЫ МЕЖДУ ПОЯВЛЕНИЕМ НЕЗАВИСИМЫХ СЛУЧАЙНЫХ СОБЫТИЙ

Во всех рассматриваемых в этом разделе случаях мы принимаем, что вероятность событий $p(n_i)$ удовлетворяет соотношению $p(n_i) = p(n_{i+1})$ для всех n_i.

Начнем с простого гипотетического случая, аналогичного многим обычным реальным ситуациям, и рассмотрим его. Допустим, мы хотим знать, как часто уровень некоторого озера испытывает колебания в пределах некоторого интервала. Мы располагаем большим числом зарегистрированных еженедельных отметок уровня. Для бесконечной генеральной совокупности отметок относительная повторяемость $\varphi(x)$ нахождения уровня в интервале $x \pm \Delta x/2$ определяется выражением:

$$P = \int_{x-\Delta x/2}^{x+\Delta x/2} \varphi(x)\, dx.$$

Мы располагаем дискретными данными, и нас интересуют лишь два случая: нахождение уровня озера в заданном интервале (p) или вне его (q). Если уровень озера является случайной переменной и еженедельные отметки не зависят друг от друга, то наш случай представляет точную аналогию задачи Бернулли с вынниманием шаров из урны при тех же значениях p и q. Если интересующий нас интервал близок к среднему уровню озера и сравнительно велик, то состояние p должно преобладать. Вероятность, что, посетив озеро n раз, мы обнаружим, что его уровень находился k раз в заданных пределах, можно определить с помощью *биномиального* распределения:

$$p(k;\ n,\ p) = C_k^n p^k q^{n-k} \text{ при } k = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots,\ n;$$
$$0 \leqslant p \leqslant 1 = 0 \text{ в ином случае.}$$

Между частотным распределением наших данных и распределением в задаче об урне нет существенной разни-

цы. Если же нас интересует поднятие уровня само по себе (p_1), его снижение (p_2) или отсутствие изменений (p_3) при двух последовательных измерениях, которые мы опять-таки будем считать независимыми случайными переменными, то хорошее приближение к этой задаче дает *полиномиальное* распределение:

$$p = (k_i;\ n,\ p_i) = \frac{n!}{k_1!k_2!k_3!} = p_1^{k_1} p_2^{k_2} p_3^{k_3}.$$

Реальные ситуации в природе редко столь просты, как в этом примере, если это вообще бывает. Кроме того, законен вопрос о том, что означает рассмотрение дискретных отметок уровня как событий. Наша цель и состоит в том, чтобы углубиться в подобные вопросы, и мы начнем с того, что попытаемся определить, при каких физических условиях в природе может возникнуть симметричное биномиальное распределение. Гриффитс [30, стр. 256] определяет их следующим образом:

1. В отсутствие каких-либо конкретных «причин», ведущих к изменениям, или же в случае идеального взаимного выравнивания влияний можно считать, что имеющиеся данные приурочены к центральному фиксированному значению.

2. Отклонения от этого центрального значения обусловлены определенными причинами таких вариаций, причем любая из причин либо увеличивает фиксированное значение, либо уменьшает его на одну и ту же величину.

3. Вероятность того, что «причина» вариаций вызовет положительное отклонение, равна вероятности вызвать отрицательное отклонение:

$$p(+ve) = p(-ve).$$

4. Совокупное воздействие причин, обусловливающих вариации, имеет одинаковую величину в положительном и отрицательном направлениях.

5. Факторы, вызывающие вариации, независимы: вероятности $p(+ve)$ и $p(-ve)$ какого-либо из факторов не зависят от предшествующих воздействий.

6. Полное отклонение любого элемента совокупности данных от центрального значения равно алгебраической сумме положительных и отрицательных воздействий отдельных факторов.

Употребленное здесь слово «причина» можно понимать в широком смысле — как любое взаимодействие, реакцию, давление или иной обусловленный физически фактор или соотношение.

Примером пространственных явлений, удовлетворяющих биномиальному распределению, может служить плотность дождевых капель, падающих на единицу площади ровного поля или поверхности пруда во время равномерно идущего дождя. Подобно этому, и те небольшие круги, расходящиеся от удара каждой капли по водной глади пруда, можно считать распределенными случайно по фазе волны. В этом случае подсчет частоты гребней волн в некотором пункте должен приближенно согласовываться с биномиальным распределением. Те же соображения лежат в основе удовлетворительной статистической теории возникновения волн в открытом море при допущении случайного образования ветровых волн [50, 56].

Значение биномиального распределения и родственных ему дискретных распределений состоит в основном в его эвристической ценности для разработки, например, теории равновесия случайных ситуаций и анализа возможных при этом отклонений. Из простых и легко понимаемых постулатов мы можем быстро вывести «реалистическую» модель, отражающую сложные условия. Изящный пример такого рода можно найти у Шредингера [8]; Феллер же [22] оперирует урновыми моделями. Однако в современных работах чаще используются непрерывные и с аналитической точки зрения более эффективные *нормальные* распределения.

Условия, при которых природные процессы удовлетворяют нормальному распределению частот, родственны тем, которые были перечислены в случае симметричного биномиального распределения. Для этого требуется добавочное условие, чтобы число факторов, вызывающих вариации, было велико, а соответствующие положительные и отрицательные отклонения малы. Поэтому в данном случае полностью выполняется только 6-й пункт Гриффитса и приблизительно — 4-й. При больших выборках, как в нашем примере падающих дождевых капель, расстояние между их всплесками и фазовые углы расходящихся от них волн будут подчиняться нормальному распределению. Однако, как показывает работа Картрайта [11], анализирующая параметры морских волн (см. табл. 1), и большин-

ство гидрологических исследований, модель нормального распределения может быть принята как удобная, но не обладающая достаточной точностью. Отметим еще одну особенность: многие из анормальных распределений можно сравнительно легко преобразовать в нормальные или приближенно описать с их помощью.

При анализе дискретных случайных событий гораздо чаще биномиального встречается распределение *Пуассона*. Это распределение связывают со сравнительно редкими событиями, когда, скажем, $p<0{,}2$. Легко показать, что основное распределение Пуассона может быть получено из той же задачи об урне, что и биномиальное, но при $p \ll 1$ и $k \ll n$ [39]. Оно имеет следующий вид:

$$p(k;\ \lambda) = e^{-\lambda}\frac{\lambda^k}{k!};\ k = 0,\ 1,\ 2, \ldots;\ \lambda > 0.$$

Применительно к природным явлениям распределение Пуассона обычно используют при анализе малоприятных событий — водяных смерчей, наводнений, сильных штормов, падений метеоритов. (Самый знаменитый пример — изучение строптивости лошадей в прусской кавалерии.) И здесь, однако, лишь в редком случае удается достичь сколько-нибудь большего, чем самого грубого приближения к распределению Пуассона, и даже при хорошем согласии необходимо удовлетворить еще нескольким довольно строгим критериям, чтобы доказать, что реальное распределение действительно подчиняется *методике Пуассона*. Перечислим эти критерии:

1. Вероятность того, что в пределах интервала малой протяженности y произойдет более одного события, имеет меньший порядок величины, чем y, так что она оказывается бесконечно малой $O(y)$, когда $y \to 0$ (то есть вероятностью того, что два события произойдут одновременно или в одном месте, можно пренебречь).

2. Вероятность $p_n(y)$ того, что ожидаемое событие произойдет именно n раз в пределах данного интервала y, зависит от величины n и y, но не от того, в какой части пространства выбран интервал y.

3. Число событий в различных участках выбранной нами области соответствует независимым случайным переменным, то есть наш временной или пространственный ряд дискретных точек должен быть стационарным.

Ссылаясь на методику, мы будем пользоваться другими обозначениями [1]. При использовании методики Пуассона возможна такая запись:

$$P\{X(t)=k\}=e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^k}{k!}$$

или

$$P\{X(A)=k\}=e^{-\lambda A}\frac{(\lambda A)^k}{k!}.$$

Здесь t и A представляют собой индексы параметров — действительные положительные числа, указывающие соответственно на время или площадь; они входят в члены, характеризующие средние величины — временные или пространственные [54]. В общем, естественные события, по-видимому, наилучшим образом согласуются с методикой Пуассона, когда λt или λA очень малы по сравнению с выбранным периодом. (Так, Том [65] обнаружил, что хорошая согласованность при прогнозе градобитий получается лишь при $\lambda<2$ в год.) В иных случаях отмечаются тенденции к «гнездованию» событий, и непременно появляются признаки их зависимости. Однако такое нарушение упомянутых критериев можно обойти, используя модифицированное распределение Пуассона или другие модели.

Некоторые из наиболее важных вероятностных распределений, используемых при изучении дискретных событий в природе, можно получить из описанных выше, если обратиться к интервалам повторяемости или времени, проходящему между событиями. В связи с этим может быть поставлено два вопроса: 1) как долго ждать или сколько следует провести наблюдений, пока не будет зарегистрировано единичное событие (успешное наблюдение), и, в более общей форме, 2) как долго ждать или сколько следует провести наблюдений, чтобы зарегистрировать r событий? Решение этих вопросов связано с распределениями с положительной асимметрией. Плотность дискретного распределения, дающего ответ на первый вопрос (для серии наблю-

[1] Эти обозначения не являются более общими, чем приведенные выше, но здесь и в последующих примерах они имеют известную практическую ценность и привлекательны в эвристическом смысле.

дений типа задачи Бернулли), определяется *геометрическим* распределением:

$$p(x) = p(1-p)^x; \quad x = 0,\ 1\ 2\ldots; \quad 0 \leqslant p \leqslant 1.$$

Непрерывное распределение, дающее ответ на тот же вопрос в предположении, что события происходят случайно со средней скоростью λ в единицу времени, имеет вид:

$$p(x) = \lambda e^{-\lambda x}; \quad x \geqslant 0.$$

Это так называемое *экспоненциальное* распределение довольно универсально и может использоваться в различной форме.

Ответ на второй вопрос (о числе наблюдений, при котором мы дождемся r-го успешного наблюдения) для случая дискретного распределения типа Бернулли имеет вид:

$$p(x) = \binom{r+x-1}{x} p^r q^x = \binom{-r}{x} p^r (-q)^x;$$

$$x = 0,\ 1,\ 2, \ldots; \quad 0 \leqslant p \leqslant 1.$$

Фактически такое распределение называют *отрицательным биномиальным*, если r представляет произвольное действительное число, и *Паскалевым*, если r — целое положительное число. При $r = 1$ оно сводится к геометрическому распределению, и, кроме того, оно является предельным случаем распределения Пойа — Эггенбергера [22, стр. 131].

Для ответа на второй вопрос применительно к непрерывному распределению (когда события происходят случайно со средней скоростью λ) можно использовать выражение:

$$p(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(r)} (\lambda x)^{r-1} e^{-\lambda x} \quad \text{при } x > 0,$$

$$= 0 \qquad\qquad\qquad \text{при } x \leqslant 0.$$

Здесь $\Gamma(r)$ — *неполная гамма-*, или факториальная, *функция* [62, стр. 45]. Это весьма многообразное распределение. При $r = 1$ оно сводится к экспоненциальному. Оба этих распределения используются для описания интервалов повторяемости (или времени ожидания) при очень разнообразных ситуациях [51]. Деккер [19] с помощью гамма-модели удачно описал пространственное распределение районов, пострадавших от градобития.

Мы указали конкретные способы вывода этих распределений. Они могут быть, однако, получены и с помощью

других методов. Нормальные, экспоненциальные и гамма-распределения чаще всего используются в задачах о связи между величиною и частотой событий, а отрицательное биномиальное распределение и гамма важны при анализе «последействия» или гнездования дискретных событий. К этой последней теме мы и обратимся.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ, ГНЕЗДОВАНИЕ, ИЛИ ГРУППИРОВАНИЕ, И КОНТАГИОЗНОСТЬ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

Фактически наименее предсказуемые явления природы склонны проявляться как бы скопом. Смерчи, землетрясения, пятна на Солнце и метеориты регистрируются группами. При дискретных наблюдениях такие факты, как высокий или низкий расход реки, дождливые или сухие дни, видимо, тоже появляются «чередой». Дать физическую интерпретацию этой кажущейся связи трудно, но мы сперва рассмотрим те типы вероятностных процессов, которые приводят к подобным распределениям.

Простейшим типом связи между случайными событиями является процесс, в котором данное состояние или событие каким-то образом зависит исключительно от непосредственно предшествовавшего события. Физически такая картина может быть обусловлена случайными сочетаниями событий, которые, однако, приводят к конкретным исходам, зависящим от типа конкретного сочетания; или условиями с определенной вероятностной структурой, которые «включают» другую структуру состояний; или, чаще всего, непрерывной последовательностью явлений, случайно перемещающейся во времени или в пространстве. Этот процесс аналогичен модели, состоящей из нескольких урн с разными соотношениями шаров, причем каждое испытание предопределяет урну, из которой будет вытянут следующий шар [22, стр. 399]. В таком случае мы можем исходить из дискретной цепи Маркова с конечным рядом состояний $t_1 < t_2 < \ldots < t_{n-1} < t_n$, причем

$$P\{(X_n,\ t_n \mid X_1,\ t_1;\ \ldots;\ X_{n-1},\ t_{n-1})\} = P\{(X_n,\ t_n \mid X_{n-1},\ t_{n-1})\}.$$

Процесс указанного типа полностью определяется его вероятностным распределением первого порядка и «переходными вероятностными» состояний

$$P(X_2,\ t_2 \mid x,\ t).$$

Подобные модели применялись при анализе гидрологических и климатологических временны́х рядов — обычно после значительной модификации первичного ряда наблюдений [26, 51, 12, 75].

Перейдем теперь к важной отличительной черте отрицательного биномиального распределения — его мере момента:

$$\frac{\text{дисперсия } (\sigma^2)}{\text{среднее } (\lambda)} > 1;$$

в то же время для положительного биномиального распределения $\sigma^2/\lambda < 1$, а для распределения Пуассона $\sigma^2/\lambda = 1$. Одной из возможных причин появления большой дисперсии в естественном распределении может быть скопление событий, приуроченных к некоторым местам или интервалам времени; среднее значение такого распределения оказывается поэтому неустойчивой оценкой для числа событий (или объектов) в произвольно выбранном единичном интервале. Для описания таких ситуаций весьма подходящей моделью может оказаться отрицательное биномиальное распределение, а также гамма-распределение (по той же причине). Но в этих случаях наблюдаемые события уже не являются статистически независимыми, из чего мы исходили, определяя данные модели. Ясно, что если распределение обусловлено *одним и тем же* процессом, то некоторые удачные наблюдения так или иначе увеличивают вероятность большего числа зарегистрированных удачных наблюдений.

Чтобы учесть устойчивость последовательности событий, которая примерно согласуется с пуассоновым процессом, Эггенбергер и Пойа [см. цит. в 9] предложили модель, где члены обычного разложения в ряд Пуассона заменены устойчивым рядом:

$$\frac{1}{(1+\beta)},\ \frac{\lambda}{1!\,(1+\beta)^{\lambda/\beta+1}},\ \frac{\lambda(\lambda+\beta)}{2!\,(1+\beta)^{\lambda/\beta+2}}\ \ldots.$$

n-й член имеет, таким образом, вид

$$\frac{\lambda(\lambda+\beta)(\lambda+2\beta)\ldots[\lambda+(n-1)\beta]}{n!\,(1+\beta)^{\lambda/\beta+n}}.$$

Здесь λ — средняя плотность событий в выбранном периоде, а β определяется выражением $\sigma^2/\lambda - 1$. Брукс и Карру-

терс [9] установили, что с этим распределением хорошо согласуются наблюдения над заморозками в Гринвиче (Англия), а также над грозами, штормами, дождями, облачностью, туманами, снегопадами и днями со снежным покровом (стр. 317). Они предложили назвать член $(1+\beta)$ «фактором устойчивости» — s и пришли к выводу, что «в первом приближении явления, согласующиеся с фактором устойчивости s, имеют тенденцию появляться группами со средней численностью s. Это приводит к тому, что серии таких событий оказываются в s раз длиннее, а дисперсия количества их появлений за определенный интервал времени — в s раз больше, чем можно ожидать в серии, где фактор s не выражен» (стр. 318, см. также [15]).

Рассмотренное распределение — одно из тех, которые связаны с представлением о контагиозности процесса. Здесь мы исходим из строго физического представления о контагиозности как о материальном взаимодействии, благодаря которому само появление одного события увеличивает шансы на появление второго. Фактически почти любое вероятностное распределение можно представить в виде модели контагиозности [55]. Естественная ситуация, к которой применимо биномиальное распределение, указывающее на эффект контагиозности, может быть выведена и из примеров, рассмотренных выше. Так, при эрозии поля во время затяжного ливня, вызванной падением дождевых капель, их распределение остается биномиальным, но каждый отдельный удар капли о грунт ведет к изменению его поверхности, так что, рассматривая дождь как *эродирующую* совокупность событий, мы можем спустя несколько минут после начала ливня обнаружить в соответствующем распределении и тренд и контагиозность.

Однако физическое истолкование такой контагиозности представляет сложную задачу, при решении которой легко допустить много ошибок. Группирование событий может быть обусловлено просто сочетанием нескольких случайных процессов: события будут независимы, но их распределение окажется мультимодальным. Кажущееся группирование может быть следствием и неравноценности наблюдений. Еще больше трудностей связано с тем фактом, что многие природные события не зависят друг от друга, но в своей совокупности подчинены некоторым общим соотношениям.

Подытоживая общий вопрос о контагиозности в биологических науках, Катти и Слай [44] приходят к выводу, что:

«1. Не существует какого-либо одного теоретического распределения, которое описывало бы данные, относящиеся к большой области.

2. Для многих данных можно найти два (или больше) одинаково хорошо согласующихся с ними теоретических распределения, так что нет возможности выбрать какое-либо одно, исходя только из степени согласованности.

3. В основе одного и того же статистического распределения могут лежать две или несколько физических моделей процесса, так что оценка параметров распределения может и не быть однозначной.

4. ...различные методы оценивания параметров приводят к сильно разнящимся оценкам, несмотря на внутреннюю согласованность этих методов... имеется много разных эмпирических частотных распределений, к которым может быть подогнана одна и та же теоретическая функция с помощью различных, внутренне согласованных методов».

Реакция авторов на эту ситуацию состоит в том, чтобы придерживаться подхода, принятого в настоящей работе, то есть чтобы возможно больше соотносить статистические методы с физическими и феноменологическими основами наблюдаемых процессов.

Приведенные выше положения обильно проиллюстрированы примерами использования отрицательного биномиального распределения. Согласующиеся с ним эмпирические распределения не могут быть однозначно связаны с отрицательным биномиальным процессом [21, 3, 7]. Группирование событий может возникать не только вследствие контагиозности, но и в результате их неоднородности. В частности, модель бесконечного и составного процесса Пуассона, предложенная Гринвудом и Юлом [29], приводит к распределению, которое идентично контагиозным отрицательным биномиальным [21, 37]. Та же двойственность характерна и для распределения Пойя — Эггенбергера, которое может быть выведено и из зависимости, определяемой рядом последовательных испытаний (например, «урновой схемой Пойя»), и с помощью обычной биномиальной схемы, в которой последовательные испытания (извлечение шаров из урны) независимы, но веро-

ятность ϱ при этом изменяется согласно распределению бета-функции [23, стр. 94].

Последний вопрос, на котором мы остановимся,— это смысл и значение устойчивости дискретной серии наблюдений. С точки зрения, например, расчета устойчивости дамбы существует реальное различие между штормовым нагоном волн в течение суток и таким же нагоном, но продолжающимся несколько суток. Однако какие физические особенности, если не считать продолжительности во времени, отличают волну, расцениваемую в течение суточных наблюдений как контагиозную, от другой волны — случайной и независимой? В любом природном процессе можно выявить цепочку событий при условии достаточно детальных наблюдений.

ВЕЛИЧИНА И ЧАСТОТА ПОВТОРЯЕМОСТИ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

Изучение вероятности событий, разных по величине, весьма важно при составлении долгосрочных прогнозов, распределении водных ресурсов и выявлении степени опасности появления стихийных бедствий; оно приобретает ведущее место в геоморфологии [76]. Распределение величин не обязательно должно отличаться теми же статистическими свойствами, что и распределение подсчитываемых, но не дифференцируемых событий одного и того же типа. Величина может подчиняться арифметическому закону, а частота повторяемости — логарифмическому; величина может быть независимой переменной, а частота повторяемости — быть связанной с трендом или группированием, иногда же случается и наоборот. Например, приливы с резким пиком могут наступать в течение года случайно, но величина этого пика у данной станции наблюдений, который, помимо всего прочего, зависит и от расхода воды в конкретной реке, может быть подвержена сезонным изменениям. Иногда эта величина является дискретной переменной. Классическими примерами являются уровни энергии в электронной оболочке атома и длины волн излучения, испускаемого на разных уровнях. Ущерб от стихийных бедствий может быть существенно связан с достижением определенного порога, например критической площади распространения или критической нагрузки.

Однако в большинстве случаев распределение величины природных событий характеризуется непрерывностью изменений во всем интервале, представляющем для нас интерес.

Удобным приспособлением для изучения различных вероятностных распределений такого рода служит своеобразная модель «размещения» (occupancy model). Составим из набора ящиков подобие картотеки. Отведем каждый блок ящичков под один и тот же объект, а каждый ряд в нем — некоторой характеристике, или уровню, величины объекта. Ею может быть его высота, масса, площадь; мы будем пользоваться выражением «уровень энергии». Объекты, размещенные в каждом блоке, будут различными, но будут отличаться идентичностью характеристик в каждой «упаковке». Составим теперь следующую цепь заключений:

1) $n_j \equiv$ число «упаковок» на некотором уровне энергии;

2) $N \equiv \Sigma n_j$; число «упаковок» во всей системе;

3) $u_i \equiv$ уровень энергии (то есть величины) i-го ряда;

4) $\varepsilon_i \equiv$ энергия j-го «пакета»;

5) $U \equiv \Sigma \varepsilon_j$; энергия всей системы;

6) ограничения: $\max \{\varepsilon_j\} \leqslant U$; $\min \{\varepsilon_j\} \geqslant 0$;

7) условия: $\varepsilon_j = (0, 1, 2 \ldots m)$; энергия принимает только целые значения; кроме того, $\Delta\varepsilon_j = u_{i+1} - u_i$ и $\Delta U = \varepsilon_{j+1} - \varepsilon_j$; все изменения во времени происходят скачкообразно, меняясь на одну единицу энергии, и $p(\Delta\varepsilon_j) = p(\Delta\varepsilon_{j+1})$ для всех $\Delta\varepsilon_j$.

Такое распределение можно получить и непосредственно, приписывая единицы энергии перенумерованным (по числу всех «упаковок» системы) дискам, которые вытягивают из урны, хорошо перемешивая их после каждого исхода. Фактически можно рассчитать и соответствующее теоретическое распределение вероятностей, исходя из возможных перестановок и сочетаний элементов при заданных U и N. Если, например, $N = 5$, а $U = 4$, то $p(0) = 0{,}50$, $p(\varepsilon) = 0{,}29$, $p(2\varepsilon) = 0{,}14$, $p(3\varepsilon) = 0{,}06$, $p(4\varepsilon) = 0{,}01$.

Даже и на этом примере ясно видны особенности распределения, которые доминируют, когда N становится большим (а U близко к нему или больше). Вероятность того, что вся энергия будет приурочена к одной «упаковке» или к одному уровню, оказывается пренебрежимо малой. Наибольшее число перестановок относится к ситуа-

ций, когда «упаковки» охватывают наибольшее количество уровней энергии, и эта комбинация в максимальной степени отражает общее распределение вероятностей. При больших N и U отмеченная особенность полностью доминирует, так что вероятность сочетания $p^*(\varepsilon)$, в котором участвует наибольшее число уровней, описывает общее распределение вероятностей с пренебрежимо малой погрешностью. Отметим, наконец, что вероятность «размещения» на данном уровне энергии убывает по мере возрастания ε. Однако последнее утверждение не имеет силы, когда U намного выше N, и тем самым появление наиболее низких уровней оказывается менее вероятным, чем более высоких. (Эта ситуация характерна для распределения энергии во многих природных процессах). Все же отмеченная особенность иллюстрирует общий принцип постоянства распределения величин событий в случайных процессах.

Таким образом, при больших N и указанных выше ограничениях наша задача состоит лишь в том, чтобы установить ситуацию, для которой $(N!/n!, n_2!, ..., n_s!...) = G_a$ максимально, так как это позволит нам определить $p^*(\varepsilon)$. Это математическая задача, в которой U сохраняется фиксированным, а мы получаем возможность сосредоточить внимание на поведении G_a при небольших изменениях $\delta(n_j)$ n_1, n_2 и т. д. [см. 39].

Можно показать, что при решении этой задачи наиболее вероятные значения n_s^* из n_s могут быть найдены из соотношения:

$$\ln n_s = L_1 + L_2\varepsilon_s,$$

где L_1 и L_2 — множители Лагранжа [62]; так что

$$n_s^* = \exp[L_1 + L_2\varepsilon_s] = \exp(L_1)\exp(L_2\varepsilon_s).$$

Таким образом, вероятность «размещения» на определенном уровне энергии представляет экспоненциальную функцию энергии. Тем самым мы определили и меру погрешности решения, или статистическую энтропию, которая зависит от тех же ограничений задачи; непосредственно энтропия определяется значением $\ln G_{\max}$, которое изменяется медленнее, убывая при возрастании N и U [20]. Хорошо известное положение статистической термодинамики о том, что энтропия замкнутой системы стремится к максимуму, представляет не более чем формализованный вывод из приведенных выше соображений, а имен-

ло: состояние системы, рассредоточенной на возможно большее число микросостояний, является и наиболее вероятным состоянием. Резюмируя, можно сказать, что статистическая энтропия определяет меру нашей неспособности выделять различные конфигурации микросостояний.

Если установлено, что соотношение между величиной и частотой для ряда природных событий (или их измеренных параметров) подчинено нормальному распределению, то можно попытаться связать это с каким-либо случайным процессом рассеяния энергии, массы и т. п. Такая ситуация наиболее вероятна, когда интервалы между событиями (временные или пространственные) достаточно велики, чтобы предотвратить их взаимодействие или зависимость от общего, регулирующего их фактора [11].

Мы можем и не ограничиваться в нашем анализе случаем нормального распределения. Видоизменяя условия, принятые в рассматриваемой задаче, можно получить различные результаты (для этого годятся и смешанная выборка, и иррегулярные уровни энергии, и неравномерная дисперсия и т. п.). Наиболее известными вариантами таких распределений являются, конечно, статистики Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака для неразличимых «упаковок» или (во втором случае) для ограниченного их числа на заданном уровне энергии [20]. Однако в макромире, с которым мы имеем дело, эти методики еще предстоит испытать.

Выводя распределение для скоростей ветра, которое хорошо аппроксимирует фактические измерения, Давенпорт [18] начал с допущения об изотропном ветре со случайно распределенной направленной горизонтальной компонентой; он получил распределение Рэлея для скоростей ветра в небольшом диапазоне скоростей и узком секторе направлений. Это распределение, как и можно ожидать, оказалось экспоненциальным, имея вид:

$$p(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-x^2/2\sigma^2}, \quad x > 0.$$

Полученный конкретный результат показывает, как выбор меры переменного параметра влияет на полученное распределение. Вероятностное распределение Рэлея получается, когда мы рассматриваем огибающую случайного вектора, вращающегося согласно закону Гаусса. Функция плотности распределения этой огибающей сама по себе не

может быть нормальной [63]. Не удивительно, что Рэлей описывал распределение полной высоты морских волн, прибегая к допущениям, аналогичным давенпортовским (см. у Картрайта [11, стр. 582]). Давенпорт показал также, как видоизменить полученное распределение, чтобы учесть анизотропию и преобладающее направление ветра.

Распределения указанного типа можно получить и при другом теоретическом подходе. Если величина определенных макроскопических событий связана с физическим законом или эмпирической зависимостью, имеющей конкретную форму, то вероятностное распределение этих событий может отражать эту форму. Экспериментально было показано, что скорость наращивания ядрышек льда при образовании града экспоненциально возрастает при усиливающемся переохлаждении и экспоненциально убывает при фиксированной температуре [69]. Можно ожидать, что распределение размера градин и интенсивность его выпадения будут отражать эти закономерности. Предварительные данные показывают, что это так, хотя зависимость и не столь проста [69, стр. 25]. Отдельные события или соответствующие измерения могут вести себя как случайные переменные — наподобие того, как это было в описанной выше модели уровней энергии. Видимо, для их описания более подходят какие-либо стохастические процессы «роста» или «распада».

Мы еще не упоминали о распределении, которое часто используется при описании явлений природы и называется *логарифмически нормальным*. Соответствующая функция имеет вид:

$$p(x) = \frac{1}{(x-c)\,\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x-c)-m}{\sigma}\right]^2\right\} \text{ при } x > c,$$

$$= 0 \qquad \text{при } x \leqslant c.$$

Очевидно, $\ln(x-c)$ распределен нормально.

Точно так же, как нормальное распределение получается из суммы многих независимых идентично распределенных случайных переменных, логарифмически нормальное распределение получается из произведения таких переменных. Это распределение связывали прежде всего с процессами «роста» и многими «событиями» (рассматриваемыми в ходе времени), где нас интересует разрастание за счет накопления массы или энергии либо за счет концентрации или распространения вовне. Такой процесс может проте-

кать и в виде простого арифметического приращения; однако во многих биологических и экономических явлениях, в которых логарифмически нормальное распределение играет большую роль, рост или интенсификация природных «упаковок» зависит также и от их размера. Вслед за Крамером [14, стр. 219 — 220] допустим, что наша «упаковка», например какая-либо разновидность шторма, периода теплой погоды или паводковых вод, разрастается за счет ряда случайных поступлений ε_1, ε_2,..., ε_s. Обозначим тогда через x_u величину этого события в результате поступлений, получив ε_1,..., ε_u. Мы будем считать, что приращение, обусловленное поступлением ε_{u+1}, пропорционально ε_{u+1}, а также некоторой функции $g(x_u)$ от существующей величины события:

$$x_{u+1} = x_u + \varepsilon_{u+1} g(x_u).$$

Мы имеем тогда:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \cdots + \varepsilon_s = \sum_s \frac{x_{u-1} x_u}{g(x_u)}.$$

Если же с каждым поступлением связано лишь очень малое приращение, то мы можем перейти к

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \cdots + \varepsilon_s = \int_{x_0}^{x} \frac{d(t)}{g(t)}.$$

Крамер доказывает, что если $g(t) = t$, то $\log x$ асимптотически приближается к нормальному распределению (см. также Этчисон и Браун в [1]). Хотя этот «закон пропорционального воздействия» имеет некоторые серьезные логические и теоретические ограничения, соответствующие распределения представляют большую ценность. К тому же ряд физических законов, относящихся к явлениям природы или их воздействию на человека, по существу, не что иное, как логарифмически нормальные функции.

Более общий подход к тому, чтобы представить имеющееся распределение в виде нормального, параметры которого соотносимы с физическими факторами, возможен на основе метода Эджуорта — Каптейна. Пусть распределение имеет следующий вид:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma g \sqrt{2\pi}} \exp\left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{g(x) - m}{\sigma g} \right]^2 \right\} \left| \frac{dg}{dx} \right|,$$

где $g(x)$ выбрано в соответствии с нормальным распределением, а m и σg могут быть подсчитаны. Каждая случайная переменная x, которая подчиняется этому распределению, может быть представлена как предел последовательности случайных переменных вида

$$t_1 = t_0 + z_1 h(t_0) \quad t_2 = t_1 + z_2 h(t_1), \ldots,$$

где z_1, z_2,... — нормально распределенные случайные переменные, и

$$t_1 + t_2 + \cdots = \int_{x_0}^{x} \frac{d(t)}{h(t)} = g(x),$$

z_1, z_2... могут рассматриваться как показатели «величины» физического процесса, который последовательно проявляется в виде t_1, t_2... Аналогия с подходом Крамера очевидна.

ВЕРОЯТНОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Экстремальные события отличаются чрезмерно большой или чрезмерно малой величиной; к тому же, как правило, они редко случаются. Географы часто изучают события, экстремальные по отношению к другим районам и в то же время обычные в своем ближайшем окружении; однако работы по вероятностному распределению таких «локальных экстремумов» мне неизвестны.

Вероятностный анализ экстремальных событий тесно связан с математической теорией экстремальных значений и имеет дело преимущественно со случайными стационарными последовательностями. Большая часть содержательных исследований в этой области ведется, исходя из того, что частотою, трендом и корреляцией последовательности можно пренебречь (или исключить влияние этих факторов). Теория вероятности экстремальных значений связана в основном с работами фон Мизеса, Фреше, Фишера и Типпета, Гнеденко, а также Е. Д. Гамбла. Безусловно, работы Гамбла являются наиболее подробными и исчерпывающими и шире всего применяются. На них мы и будем в основном опираться [32, 33, 34, 35].

Для статистики экстремальных значений больным вопросом является то, насколько возможен здесь правдоподобный результат. Обычно оценка параметров распреде-

ления требует достаточно большой и представительной выборки, которая должна быть статистически однородной. В случае экстремальных событий это требование невыполнимо: при достаточно большом промежутке времени могут измениться даже самые стабильные свойства Земли или Вселенной, если же он мал, то исключается получение представительной выборки. То же самое относится и к пространственным границам.

В принципе имеются две возможности. Если мы найдем полное или первоначальное распределение, содержащее и экстремальные значения, то мы сможем определить их вероятности из самой структуры распределения. Однако, как правило, исследователи сталкивались с невозможностью определить первоначальное распределение. Поэтому рассмотрим возможное поведение экстремальных значений при любом первоначальном распределении, то есть прибегнем к методу так называемого «свободного распределения». Два вышеназванных подхода не исключают друг друга. Поведение экстремальных значений в изученных распределениях должно согласовываться с одной из моделей, разработанных при втором методе.

Суть рассуждений Гамбла, основанных преимущественно на работе Фишера и Типпета [24], состоит в математической оценке того, как может вести себя распределение, когда размер выборки из него стремится к бесконечности. После этого определяется критерий, позволяющий решить, ведет ли себя данное множество экстремальных значений в соответствии с тем или иным из возможных предельных или асимптотических распределений (асимптот), соответствующих наибольшему значению. Упомянутый критерий тесно связан с разработкой специальных сеток для графиков и условных правил графического представления данных. Именно эта графическая часть работы Гамбла, более, чем любая иная, способствовала ее широкому распространению (но и ложному истолкованию также). Мы, однако, коснемся здесь только вероятностных рассуждений.

В своей книге Гамбл [34] отводит некоторое место распределению экстремальных значений в тех вероятностных моделях, которые мы уже изучали. Наш разбор модели размещения на разных энергетических уровнях позволяет ожидать, что экспоненциальная функция играет при этом центральную роль. Для экспоненциального распределения вида $f(x)=e^x$ Гамбл показал [34, стр. 113—114], что наи-

более вероятное или модальное наибольшее значение определяется выражением

$$\overline{x}_n = \ln n,$$

что относится, конечно, к разобранным нами случаям. Далее автор показал, что мода в данном случае относится к важному в статистике *характеристическому наибольшему значению* u_n, определяемому из соотношения:

$$F(u_n) = 1 - 1/n, \quad n \geqslant 2.$$

Как правило, для экспоненциального распределения, а также нормального, логарифмически нормального и гамма-распределений, определенных выше, асимптотические вероятности наибольших значений относятся к одному и тому же типу (к типу I, описанному ниже). Но как и можно было ожидать, все эти асимптоты изменяются экспоненциально.

Для случая, когда первоначальное распределение неизвестно, Гамбл показал, что — в той мере, в какой данные могут быть подвергнуты статистической обработке, — соответствующие асимптоты распределений могут относиться лишь к одному из трех типов, определяемых следующим образом.

Тип I — экспоненциальный, его функция распределения не ограничена справа и стремится к единице так же, как e^{-x} стремится к нулю. Такие распределения охватывают все моменты.

Тип II — тип Коши или Парето, первоначальное распределение тоже не ограничено справа, но имеет более длинный хвост, так что оно не охватывает все моменты. Такое распределение получил Фрешет.

Тип III — ограниченный; первоначальное распределение в нем ограничено справа, и функция распределения достигает единицы при некотором конечном значении.

Для этих трех случаев Гамбл дает следующие асимптотические вероятности $\varphi^m(x)$ наибольших значений:

$$\varphi^{(1)}(x) = \exp\left[-e^{-\alpha(x-u)}\right], \quad -\infty < x < \infty;$$

$$\varphi^{(2)}(x) = \exp\left[-\left(\frac{u-\theta}{x-\theta}\right)^k\right], \quad x \geqslant \theta, \ u > \theta;$$

$$\varphi^{(3)}(x) = \exp\left[-\left(\frac{\omega-x}{\omega-u}\right)^k\right], \quad x \leqslant \omega, \ u > \omega.$$

Здесь α — параметр размерности $1/x$, u — параметр размерности x, так называемое характеристическое значение, 0 — нижний предел и ω — верхний предел случайной переменной. Так как эти соотношения симметричны для наименьших значений, то вероятности наименьших значений можно получить с помощью подходящей замены на обратные величины. Три описанных типа различаются графически благодаря тому, что вторые производные соответствующих кривых неодинаковы [41]:

$$\left.\begin{array}{l} \\ \dfrac{d^2x}{dy^2} \\ \\ \end{array}\right\} \begin{array}{l} = 0 \text{ для } \varphi^{(1)}\ x, \\ > 0 \text{ для } \varphi^{(2)}\ x, \\ < 0 \text{ для } \varphi^{(3)}\ x. \end{array}$$

Эти три асимптотических распределения играют важнейшую роль при изучении таких явлений природы, как паводки, сильные ветры, волнение на море, снегопады, землетрясения, дожди, максимальный размер частиц в осадочных породах. Этому посвящены краткие многочисленные обзоры и предложения по усовершенствованию анализа [45; 6; 36; 42; 48; 17; 67].

Основная теоретическая схема Гамбла, по-видимому, близка к направленности данной работы [34, стр. 345]. К сожалению, эта самая ценная из последних работ несовершенна с точки зрения возможностей ее практического применения. Теоретический подход Гамбла не выходит за пределы математических формулировок и не разработан применительно к реальным ситуациям. Доказательная сила его метода одновременно оборачивается и серьезной слабостью. Тот факт, что устойчивость асимптотического решения позволяет нам описывать экстремальные значения, не зная первоначального распределения, весьма полезен; но, с другой стороны, это означает, что при таком подходе можно оставить в стороне вопрос о процессе, лежащем в основе распределения. Если же мы могли бы определить этот процесс, то мы знали бы и все, что нужно для определения экстремальных событий. Интерпретация экстремальных значений особенно полезна тем, что позволяет нам использовать измерения крайних (самых больших или самых малых) измеренных значений наблюдаемого ряда данных. Обычно это годовые максимумы или минимумы. Почти все из известных нам исследований используют подобные наблюдения. Однако это в высшей степени при-

близительные и малопрезентативные наблюдения, и, по-видимому, для них не существует точного определения физического смысла.

Чтобы проиллюстрировать сказанное, я воспользовался методом Гамбла для изучения экстремальных разливов в верховьях Инда. Ежедневные наблюдения, собранные за сто лет, дают возможность установить типы паводков для многих годовых пиков уровня реки. Они располагаются в диапазоне от длительных паводков, обусловленных таянием снега и льда, до кратковременных разливов, возникающих либо по той же причине, либо при прорыве дамбы ледниковыми водами или оползнями, или при сильных ливнях. Все данные свидетельствуют, что различным причинам паводков соответствуют различные распределения повторяемости. Использование метода Гамбла позволяет прийти к выводу, что асимптотическое распределение годовых максимумов уровня соответствует типу I, если не считать некоторых спорных данных о наводнениях, описанных в истории. Я пришел к выводу, что, хотя полученное распределение эмпирически оправдано, оно в равной степени может служить и мерой нечувствительности метода, и мерой его гибкости [см. также 52 и 36, стр. 173]. Фактически мы располагаем лишь малым количеством работ по экстремальным событиям, где хорошо определена физическая сторона дела.

ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА АНАЛИЗА ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

Большая часть работ, посвященных анализу дискретных событий в природе, даже когда они изощренно разработаны с математической стороны, в лучшем случае носят лишь «разведывательный», предположительный характер, а в худшем — вводят в заблуждение. Этот довольно резкий вывод можно объяснить двумя причинами. Во-первых, при отсутствии ясного физического обоснования статистический анализ, который исследует и отображает самые разные наблюдения в обширнейшем диапазоне и самыми разными способами, не может не вызвать сомнений. Многие работы о дискретных событиях лишь крайне упрощают данные перед анализом (как было и в нашем примере с уровнем озера), чтобы проверить их согласованность всего только с одним или двумя подходящими распределениями.

Во-первых, поскольку наука движется от словесного, типологического описания объектов и переменных параметров к их количественному анализу, картина существенных особенностей непрерывности и прерывистости может радикально измениться. При измерении напряжений, площадей, интервалов времени, процесса формообразования и направляющих его условий и т. д. те явления, которые в свете повседневного опыта представлялись дискретными и обособленными, сливаются или оказываются иным образом связанными с другими, на вид независимыми явлениями или условиями; причем именно в этом может оказаться ключ для правильной интерпретации данных. И наоборот, в явлениях, которые считались одинаковыми, обнаруживаются значительные различия. Эти соображения приобретают особую значимость, когда мы рассматриваем вероятностные распределения, лежащие в основе реального ряда событий. Методы, которые не учитывают сказанного или не опираются на четко сформулированную и проверяемую физическую теорию, неполноценны и могут ввести в за-

Таблица 2

Вероятность появления экстремальных событий

Распределение Гамбла (Фишера — Типпета), тип I
1. Высокие уровни реки (паводки, например, в США, Бразилии, Новой Зеландии, Франции, Канаде, Китае и т. д.) [32; 33; 34; 35; 41; 8; 43][1].
2. Низкие уровни реки (засухи) [32, 34].
3. Сильные ветры [13; 18].
4. Максимумы давления водяного пара [41].

Распределение Гамбла (Фишера — Типпета), тип II
1. Высокие уровни реки [32; 34].
2. Низкие уровни реки [34].
3. Сильные ветры [67].

Распределение Гамбла (Фишера — Типпета), тип III
1. Высокие уровни реки [41].
2. Низкие уровни реки [34].

Логарифмически нормальное распределение
1. Высокие уровни реки [53; 71; 43].

Логарифмическое распределение Пирсона, тип III
1. Высокие уровни реки [74; 42].

Распределение Пирсона, тип III
1. Высокие уровни реки [25; 43].

[1] В квадратных скобках даны ссылки на литературные источники.

блуждение. Так как большинство работ, ссылки на которые помещены в табл. 1 и 2, использует только эмпирические данные о событиях, которые часто рассматриваются как точечные измерения с сомнительным физическим смыслом, то их значимость весьма условна. (Важным исключением являются работы Давенпорта [18] и Пирсона [56].) Поэтому следует очень тщательно проследить за логикой анализа дискретных событий, что, возможно, позволит сделать его чем-то большим, чем набор приемов для предварительных исследований.

Любой статистический анализ явлений природы должен быть сформулирован с учетом по крайней мере трех аспектов, которые мы будем называть пространством физических переменных, пространством наблюдений и пространством оценок. По сути дела, изучая природу, мы пытаемся «перевести» один из этих аспектов на язык другого. Наша задача — рассмотреть логический статус аспектов и возможные между ними соотношения эквивалентности.

РЕАЛЬНАЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФИЗИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ И ПРОСТРАНСТВО НАБЛЮДЕНИЙ

Среда, окружающая человека, содержит бесконечно много элементов; некоторые измеряемые их свойства, по-видимому, изменяются непрерывно, другие — дискретно, а иногда (в различных случаях) и непрерывно и дискретно в одно и то же время. Существует бесконечное множество наблюдений или сообщений. В исследовательской деятельности мы определяем содержательную часть поступающей информации, или *пространство наблюдений*. Логически эта ситуация совпадает с передачей по каналам связи, когда сообщение, вышедшее из источника информации, содержательно лишь в той мере, в какой оно может быть принято и правильно истолковано получателем. Хотя *пространство физических переменных* и имеет свою логическую закономерность, мы не можем познать его непосредственно, а лишь используя пространство наблюдений. Возможно, что мы никогда не познаем образ этого физического пространства, хотя, пользуясь методикой проверки научных теорий и проведения решающих испытаний, мы придаем ему высокую значимость. Таким образом, сведе-

ния о природных процессах касаются нас лишь в той степени, в какой мы способны воспринять их и перевести их на наш собственный «язык».

При изучении дискретных событий простейшим условием наблюдения является восприятие событий, исходящее из понятия о его единичности. С этой точки зрения физическая переменная (или источник) может посылать только два сообщения: $u_1(t)$, указывающее на наличие явления, и $u_0(t)$, указывающее на его отсутствие, так что наблюдения представляют, по сути, чередование нулей и единиц. Что же, однако, мы делаем при переводе событий реального мира в пространство наблюдений, сталкиваясь с такими абсолютно разнородными событиями, как, например, смерч или животное-самец? Фактически, чтобы удостовериться в сообщении $u_1(t)$ (идентифицировать его), необходимо получить одновременное подтверждение очень большого числа признаков; то же относится и к сообщению $u_0(t)$. Когда же мы начинаем «переводить» наблюдения в *пространство оценок,* то критерий идентификации теряет свое самостоятельное значение. Правда, критерий идентификации помогает найти распределение вероятностей, позволяя идентифицировать ту информацию, которая может быть использована при анализе.

Поскольку существует теоретическая возможность упорядочивать и отбирать наблюдения таким образом, чтобы они удовлетворяли любому распределению, то хотелось бы иметь формальный алгоритм того, как получать такую выборку наблюдений, которая с большой степенью вероятности отражала бы реальный мир. Часто полагают, что единственное, что для этого требуется, — это получить достаточно нейтральную и большую (репрезентативную) выборку. На самом деле суть научного подхода состоит в том, чтобы пространство событий, определенное для наблюдаемой переменной, совпадало с пространством вероятностей в источнике. Добиться этого можно только в процессе поиска, когда последовательно проверяются гипотезы, сформулированные при учете физической теории и следствий из нее.

ОБЛАСТЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ: ПРОСТРАНСТВО ОЦЕНКИ И ПРОСТРАНСТВО НАБЛЮДЕНИЙ

Явлениям реального мира противостоит — в нашем случае вероятностного анализа — логическая система, позво-

ляющая приписывать вероятности множеству чисел или других символов и включающая формальные процедуры для проверки «согласованности» этих данных с различными вероятностными распределениями.

Отметим, однако, стержневую роль наблюдений. Они перекрывают не только область, логически соответствующую физической переменной, но и область ее оценки. Что касается последней, то для нее должны быть разработаны формальные положения и ограничения, обеспечивающие такой характер и систему наблюдений, при которых возможна оценка наблюдений в рамках исчисления вероятностей. Наблюдения должны соответствовать логике статистического анализа.

После того как получен набор приемлемых наблюдений, мы переходим к пространству оценок, с которым может быть связано не менее трех процессов: упрощение, отбор или преобразование основных данных; их подгонка к априорным распределениям; наконец, проверка с целью выбора самого подходящего распределения. На каждом из этих этапов фактическая методика работы определяется решениями, принимаемыми на основе статистических (или детерминистических) критериев. С точки зрения физики при решении рациональнее ориентироваться на средние значения. Принятые решения должны быть логичными и согласовываться со схемой вероятностного анализа, а главное — они должны в явном виде отражать модели или гипотезы, выдвинутые в связи с формальными или феноменологическими особенностями самого рассматриваемого явления. Все остальное — это «разговоры о разговорах», которые мешают осмысленной проверке выводов перед лицом фактов.

ЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ

Утверждения, сделанные выше, относятся ко всем работам статистического плана. Они высказаны здесь потому, что их редко принимают во внимание в работах, посвященных изучению дискретных событий в природе. Игнорировать очевидное хуже, чем повторяться.

Мы находим отображение физического события в пространстве наблюдений с помощью «критерия распознавания». Я хочу, в частности, указать на возможность так

называемого «логического скачка» (logical jump), который может быть с этим связан. Он особенно часто *возникает*, когда нас интересует некоторое главное явление (например, ущерб от наводнения, засухи, проливного дождя), в то время как соответствующие данные представляют *стандартные записи* — ситуация самая обычная.

Возьмем, например, вероятность возникновения, продолжительность и степень ущерба от паводков на станции, где ведется регулярная регистрация уровня реки. Мы интересуемся, по существу, лишь теми отметками уровня, которые находятся выше определенного *порога «безопасности»*. Лишь они имеют значение в качестве сигнала бедствия. Но образуют *ли они физически* обособленное множество событий с особым порождающим их процессом в рассматриваемой гидрологической системе? Почти наверняка нет. Возможно ли, что наши недифференцированные события (паводки) имеют более чем один источник и принадлежат более чем к одному вероятностному распределению? Вполне возможно. Отметки уровня при паводках, по существу, непрерывно переходят в *«непаводковые» отметки*. Если наша цель — нечто большее, чем простая оценка порядка величины *уровня ради прогноза*, то указанные вопросы должны быть рассмотрены; обычно этого не делают. Фактически же мы выделяем *событие* (в смысле, принятом в данной работе) и определяем его как статистическое событие с помощью некоторого соотношения эквивалентности: то есть выделяем его как тип множества или класс точек в пространстве вероятностей, которое может быть представлено диаграммой *Эйлера*. *При* фундаментальных исследованиях нужны очень серьезные основания, чтобы сокращать, *деформировать* или иным образом видоизменять (то есть делать «выборку») пространство вероятностей. Данные регулярных наблюдений на станции, использованные как исходные данные статистического анализа, образуют основу нашего определения статистического события и средство для определения пространства *вероятностей* (s). Паводки, как событие, образуют подкласс в пределах собранных данных и *могут принадлежать* одному или нескольким типам статистических событий. В подобных *случаях большое значение* имеет и физический смысл дискретных отметок уровня, о чем говорилось выше.

В целом нам часто недостает надежной физической теории, позволяющей установить эквивалентное соотноше-

ние между реальным миром и наблюдениями; выход заключается в том, чтобы изучать как можно больше данных с помощью наиболее чувствительных методов анализа — *предпочтительно таких, которые в значительной степени* позволяют данным «говорить самим за себя». Отметим, что некоторые не упомянутые здесь методы оказываются в этом отношении более подходящими; таковы спектральный анализ, статистический анализ волн в гидрологии [11] и другие отпочкования статистической теории связи. Эти методы позволяют использовать мощные и чувствительные приемы вычислений с перебором большого объема данных и достаточно строгим анализом событий в широком диапазоне частот. О них следовало здесь сказать, поскольку значительная часть работы с дискретными событиями в природе фактически сводится к отбору данных измерений, проводимых на станциях раз в сутки (и аналогичных), а такие данные особенно подходят для применения указанных методов анализа. С их помощью лучше всего решать и задачи по определению первоначального распределения экстремальных или редких событий. Разумеется, каковы бы ни были аналитические методы, логический аспект проблемы, о котором говорилось выше, сохраняет важное значение. Вместе с тем все еще имеется большая область, в которой применение описанных нами вероятностных распределений для дискретных событий остается и и полезным и уместным. Работы подобного плана являются также важным дополнением к другим видам анализа. Однако имеющаяся литература показывает, что фаза прикидок — попыток просто найти, какое вероятностное распределение согласуется с экспериментально установленной картиной, — уже не может дать много полезного. Теперь нам нужно исследовать и устанавливать процессы, в ходе которых распределения могут *возникать* в условиях различных ограничений, а также вникать в логику предлагаемых параллелей между естественными событиями и вероятностными распределениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aitchison J., J. A. C. Brown., «The Lognormal Distribution», Monograph № 5, Department of Applied Economics, University of Cambridge: Cambridge University Press, 1957.

2. American Insurance Association. Studies of Floods and Flood Damage 1952—1955. New York, 1956.

3. Anscombe F. J., «The Statistical Analysis of Insect Counts Based on the Negative Binomial Distribution», Biometrics, 5, 1949, p. 165—173.

4. Asada T., «Observations of Near — By Micro — Earthquakes with Ultra — Sensitive Seismometers». Journal of the Physics of the Earth (Tokyo), 5, 1957, p. 83—113.

5. Barger G. L., H. C. S., Thom, «Evaluation of the Drought Hazard», Agronomy Journal, 41, 1949, p. 519—526.

6. Benson M. A., «Average Probability of Extreme Events», Water Resources Research, 3, 1967.

7. Bliss C. I., «Fitting Negative Binomial Distribution to Biological Data», Biometrics, 9, 1953, p. 176—200.

8. Boyd D. W., G. R. Kendall, «Statistics of Extreme Values», Royal Meteorological Society, Canada, 7, 1956, p. 1—12.

9. Brooks C. E. P., N. Carruthers, «Handbook of Statistical Methods in Meteorology», Meteorological Office Publication M. O. 538, H. M. S. O. London, 1953.

10. Bruce J. P., R. H. Clark, Introduction to Hydrology. Oxford, Pergamon Press, 1966.

11. Cartwright D. E., «Waves — Analysis and Statistics», The Sea — Ideas and Observations on Progress in the Study of the Sea. Edited by M. N. Hill. New York, 1962, p. 567—589.

12. Caskey J. E., «Markov Chain Model of Cold Spells at London», Meteorological Magazine, 93, 1964, p. 136—138.

13. Court A., «Wind Extremes as Design Factors», Journal of the Franklin Institute, 256, 1953.

14. Cramer H., Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press, 1946.

15. Dacey M. F., «Modified Poisson Probability Law For Point — Patterns More Regular Than Random», Annals of the Association American Geographers, 54, 1964, p. 559—565.

16. Dacey M. F., «Order Distance in an Inhomogeneous Random Point Pattern», Canadian Geographer, 9, 1965, p. 144—153.

17. Dalrymple T., «Flood Frequency Analysis», U. S. Geological Survey Water Supply Paper 154—3A, 1960.

18. Davenport A. G., «The Depedence of Wind Loads on Meteorological Parameters», Wind Effects on Buildings and Structures. International Research Seminar. Toronto: University of Toronto Press, Vol. I, 1968, p. 19—82.

19. Decker W. L., «Hail — Damage Frequencies for Iowa and a Method of Evaluating the Probability of a Specified Amount of Hail Damage», Transactions, American Geophysics Union, 3, 1952, p. 204—210.

20. Fast J. D., Entropy. New York: McGraw Hill, 1962.

21. Feller W., «A General Class of Contagious Distributions», Annals of Mathematical Statistics, 14, 1943, p. 389—400.

22. Feller W., An Introduction to Probability Theory and Its Application, Vol. I. New York: Wiley, 1957.

23. Feller W., An Introduction to Probability Theory and Its Application, Vol. II. New York: Wiley, 1966.

24. Fisher R. A., L. H. C. Tippet, «Limiting Forms of the Frequency Distribution of the Largest and Smallest Member of a Sample», Proceedings, Cambridge Philosophical Society, 24, 1928, p. 180—190.

25. Foster H. A., «Theoretical Frequency Curves and Their Application to Engineering Problems», Transactions, American Society of Civil Engineers, 87, 1924.
26. Gabriel K. R., J. Neumann, «A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrence at Tel Aviv», Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 88, 1962, p. 90—95.
27. Gaddum J. H., «Log, normal Distributions», Nature, 156, 1945, p. 463—66, 747.
28. Golde R. H., «Frequency of Occurrence of Lightning Flashes to Earth», Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, London, 71, 1945.
29. Greenwood M., G. U. Yule, «An Inquiry into the Nature of Frequency Distributions Representative of Multiple Happenings, with Particular Reference to the Occurrence of Multiple Attacks of Diseases or of Reported Attacks», Journal Royal Statistical Society, 83, 1920.
30. Griffiths J. C., Scientific Method in Analysis of Sediments. New York: McGraw-Hill, 1967.
31. Gringorten I. I., «Estimates of the Duration of a Continuous Variate by Markov Process», Proceedings, First Statistical Meteorological Conference, American Meteorological Society, Hartford, 1968.
32. Gumbel E. J., «Statistical Theory of Extreme Values and Some Applications: National Bureau of Standards (U. S.)», Applied Mathematics Series № 33, Washington, D. C., 1954.
33. Gumbel E. J., «Statistical Theory of Droughts», Proceedings, American Society Civil Engineers, 8, 1954.
34. Gumbel E. J., Statistics of Extremes. New York: Columbia University Press, 1958.
35. Gumbel E. J., «Statistical Theory of Floods and Droughts, Journal, Institute of Water Engineers, London, 12, p. 157—184; and Correspondence, 13, 1958, p. 71—102.
36. Gumbel E. J., «Extreme Value Analysis of Hydrologic Data; Statistical Methods in Hydrology», Proceedings, Hydrology Symposium № 5, Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa: Quenn's Printer, 1967, p. 147—181.
37. Harvey D. W., «Some Methodological Problems in the Use of the Neyman Type A and the Negative Binomial Probability Distributions for the Analysis of Spatial Point Patterns», Transactions and Papers, Institute of British Geographers, 44, 1968, p. 85—95.
38. Hawkins G. S., E. K. L. Upton, «The Influx Rate of Meteors in the Earth's Atmosphere», Astrophysics Journal, 128, 1958, p. 727—735.
39. Hewitt K., «Probabilistic Approaches to Discrete Natural Events», University of Toronto Natural Hazards Research, Discussion Paper № 8, 1959.
40. Hill M. N., ed. The Sea — Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. Physical Oceanography, Vol. I, New York: Interscience, 1962.
41. Jenkinson A. F., «The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or minimum) Values of Meteorological Elements», Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 87, 1955, p. 158—171.
42. Jennings M. E., M. A. Benson, «Frequency Curves of

the Annual Flood Series With Some Zero Events or Incomplete Data», Water Resources Research, 5, 1969, p. 276—280.

43. Kaczmarek Z., «Efficiency of the Estimation of Floods With a Given Return Period», International Association for Scientific Hydrology. Publication № 45, General Assembly of Toronto, 3, 1957, p. 144—159.

44. Katti S. K., L. E. Sly., «Analysis of Contagious Data Through Behavioristic Models», Classical and Cotagious Discrete Distributions». Edited by G. P. Patil. Calcutta: Statistical Publishing Society, 1965.

45. Kendall G. R., «Statistical Analysis of Extreme Values», Symposium on Spillway Design Floods, Hydrology Symposium № 1. Ottawa: Queen's Printer, 1959.

46. Kitagawa T., «The Weakly Contagious Discrete Stochastic Process in Classical and Contagious Discrete Distributions». Edited by G. R. Patil, 1964.

47. Kundu M. R., Solar Radio — Astronomy. New York: Interscience, 1965.

48. Langbein W. B., «Annual Floods and the Partial — Duration Series», Transactions of the American Geophysical Union, 30, 1949, p. 879—880.

49. LaPaz L., «The Effects of Meteorites Upon the Earth (Including Its Inhabitants, Atmosphere and Satellites)», Advances in Geophysics 4. New York: Academic Press, 1958, p. 217—350.

50. Longuet—Higgins J. S., «On the Statistical Distribution of the Height of Sea Waves», Journal of Marine Research, 11, 1952, p. 245—266.

51. McGilchrist C. A., K. D. Woodyer, T. G. Chapman., «Recurrence Intervals Between Exceedances of Selected River Levels — I. Introduction and Markov Model — II. Alternatives to a Markov Model», Water Resources Research, 4 (1968/1969), p. 183—189; and 5 (1968/1969), p. 268—275.

52. Moran P. A. P., «The Statistical Treatment of Flood Flows», Transactions of the American Geophysical Union, 18, 1957.

53. Olofgors G., «Probability of High Floods», International Association for Scientific Hydrology. General Assembly of Brussels, 4, 1951.

54. Parzen E., Stochastic Processes. San Francisco: Holden-Day, 1962.

55. Patil G. P., ed. Classical and Contagious Discrete Distribution. Calcutta: Statistical Publishing Society, 1965.

56. PiersonW. J., «An Interpretation of the Observable Properties of Sea Waves in Terms of the Energy Spectrum of the Gaussian Record», Transactions of the American Geophysical Union, 35, 1954, p. 747—757.

57. Putz R. R., «Statistical Analysis of Wave Records», Institute University Research of California Series 3, Issue № 359, 1954.

58. Schrödinger E., Statistical Thermodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 1946.

59. Scrase F. J. «The Sampling Errors of the Aitken Nucleus Counter», Quarterly Journal Royal Meteorological Society, 61, 1935.

60. Shapiro R., N. J., Macdonald, «A Test of the Reality of Hainfall Singularities», Journal of Meteorology, 18, 1961, p. 704—705.

61. Shoemaker E. M., «Preliminary Analysis of the Fine Structure of the Lunar Surface in Mare Cognitum», The Nature of the Lunar Surface, Edited by W. N. Hess, D. H. Menzel and J. A. O'Keefe. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1966.

62. Sokolnikoff I. S., R. M. Redheffer., Mathematics of Physics and Modern Engineering. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1966.

63. Stewart J. L., Fundamentals of Signal Theory. New York: McGraw-Hill, 1960.

64. Stidd C. K., «Cube-Root Norman Precipitation Distributions», Transactions of the American Geophysical Union, 34, 1953, p. 31—35.

65. Thom H. C. S., «The Frequency of Hail Occurrence», Archiv für Meteorologie Geophysic und Bioklimatologie, Ser. B., Bd 8, 1957, S. 185—194.

66. Thom H. C. S., «Tornado Probabilities», Monthly Weather Review, 1963, p. 730—736.

67. Thom H. C. S., «Toward a Universal Climatological Extreme Wind Distribution», Wind Effects on Buildings and Structures. International Research Seminar 1967 — Vol. I. Toronto: University of Toronto Press, 1968, p. 669—683.

68. Uttinger H., «Die Niederschlagsverhältnisse der Südschweiz, 1901—1940», Annaler Schweizerische Meteorologische Zentralen Institut, 82, 1945.

69. Vali G., E. J. Stansbury, «Time — Dependent Characteristics of the Heterogeneous Nucleation of Ice», McGill University Stormy Weather Group Scientific Report № MW — 41, 1965.

70. Van Dorn, W. G., «Tsunamis», Advances in Hydroscience. Vol. II. Edited by Ven Te Chow. New York: Academic Press, 1965, p. 7—48.

71. Ven Te Chow, «The Log — Probability and Its Engineering Application», Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 80, 1954, Separate 536.

72. Wallis J. R., B. B. Mandelbrot, «Self — Similar Synthetic Hydrology; the Use of Analog und Digital Computers in Hydrology», International Association for Scientific Hydrology. Publication № 81, 1968, p. 738—755.

73. Wanner E., «Niederschlagsfrequenzkurven». Meteorologisches Zeitung Braunschweig, 59, 1942.

74. Water Resources Council. «A Uniform Technique for Determining Flood Flow Frequencies», Hydrology Committee Bulletin № 15, Washington, D. C., 1966.

75. Weiss L. L., «Sequence of Wet and Dry Days Described by a Markov Chain Probability Model», Monthly Weather Review, 92, 1964, p. 169—176.

76. Wolman M. G., J. P. Miller, «Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes», Journal of Geology, 68, 1960, p. 54—75.

Структура и пространственная дифференциация физико-географической сферы как кибернетической системы[1]

ЙОЗЕФ КРХО

1. ВВЕДЕНИЕ

Географическая сфера в соответствии с работами [8, 9, 10] понимается как кибернетическая система с собственной пространственной организацией, которая складывается из двух автономных субсистем, а именно из антропосферы и из физико-географической сферы, *находящихся во взаимодействии*. Под антропосферой [9] понимаем человеческое общество с его многообразной сложной пространственной деятельностью. Физико-географическая сфера в свою очередь образует природную среду, в которой протекает деятельность человека. Обе эти субсистемы *дифференцированы в пространстве*, причем каждая из них имеет свою собственную пространственную организацию.

Взаимодействие обеих субсистем вследствие их пространственной дифференциации так же дифференцировано в пространстве и имеет многомерный характер.

Современный ландшафт является, собственно говоря, результатом пространственного взаимодействия антропосферы и физико-географической сферы, как основы жизнедеятельности человека.

Наряду с общими *закономерностями, которыми* управляются процессы в обеих указанных субсистемах, автономные субсистемы имеют и свои собственные закономерности, и свои собственные механизмы саморегулирования, которыми управляются процессы, происходящие в них.

Изучение физико-географической *сферы, как жизненной* среды человека, является целью этого исследования. Человека как общество мы рассматриваем здесь только с точки зрения его взаимодействия с этой сферой.

---

[1] Josef Krcho, Geografický časopis, Bratislava, 1974, XXVI, 2.

Процессы саморегулирования в физико-географической сфере имеют определенный прерывистый характер.

Нарушения, вызванные взаимодействием человека с физико-географической сферой, характеризуются определенным временным и пространственным расположением. Физико-географическая сфера, как кибернетическая система, имеет известные резервы, которые позволяют ей ликвидировать последствия этих нарушений изменением своей пространственной организации и дифференциации в определенном пространственном объеме. Однако эти нарушения часто приобретают столь большие размеры, что резервы ее механизмов саморегулирования по многим показателям приближаются к своей верхней границе, после перехода которой структура системы разрушается, что ведет к полному опустошению физико-географической сферы в определенных пространственных границах.

Чтобы предотвратить подобные нарушения, эксплуатация ландшафта должна руководствоваться стратегией оптимального использования физико-географической сферы, исключающего неблагоприятные последствия.

Все частные вмешательства человека в отдельные составные части физико-географической сферы должны проводиться не изолированно, с учетом лишь максимальной выгоды для определенной отрасли хозяйства, а с позиций восприятия физико-географической сферы, как комплексной, единой системы.

Этот комплексный подход к ландшафту, как к системе, требует основательного знания как всех его составляющих, так и связей между ними, то есть он требует точного знания структуры этой системы и способов управления ею; это позволит выработать прогноз ее развития при различных вмешательствах.

Понимаемый таким образом комплексный подход к ландшафту требует оперирования количественными данными и расчетной точности. Системно-кибернетический подход к физико-географической сфере дает возможность формулировать эту проблему на высшем уровне.

Кибернетический подход позволяет с помощью автоматических счетных машин осуществить моделирование как процессов, свойственных физико-географической сфере, с учетом их пространственного размещения, так и организации и дифференциации всей системы во времени.

При подобном моделировании, преследующем цель оптимального использования физико-географической сферы и управления ею человеком, должны быть выработаны различные стратегии. Таковы, например, стратегия сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования ландшафта с точки зрения наиболее оптимального пространственного размещения отдельных типов и способов сельскохозяйственного и лесного производств как формы интенсивной эксплуатации, стратегия сырьевого и других видов использования физико-географической сферы для промышленных целей, стратегия оптимального размещения отдельных отраслей промышленности и т. д.

Проблемой пространственного аспекта физико-географической сферы, как кибернетической системы, занимались А. Д. Арманд [1], А. С. Девдариани [5] и другие. А. Д. Арманд в своих работах оригинальным способом разбирает проблему движения и передачи информации в природных комплексах; он же использует и термин «природные системы». Отдельные природные комплексы в понимании А. Д. Арманда [1, 2, 3] соответствуют пространственным субсистемам S_{GFn} [см. работы автора этой статьи 6, 8, 9, 10]. В одной из работ А. Д. Арманда [2] намечается и проблема моделирования этих природных комплексов с точки зрения теории информации.

Мы считаем, что в недалеком будущем моделирование физико-географической сферы с помощью автоматических счетных машин (ЭВМ) станет весьма важным, если не ключевым способом выработки прогноза управления ею в пространстве и времени. В этом смысле карта получает новую специфическую задачу — задачу средства моделирования.

Проблему изучения физико-географической сферы, как кибернетической системы, можно в основном разделить на две части, а именно: на формирование теории физико-географической сферы, как кибернетической системы, с выявлением ее состава и структуры и на моделирование этой системы особыми, так называемыми гомоморфными, моделирующими системами.

Здесь в развитие идей, изложенных в наших предыдущих работах [8, 9, 10], остановимся на первой части этой проблемы.

2. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СФЕРЫ, КАК КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Согласно работам [8, 9, 10], считаем географическую сферу материальной кибернетической системой:

$$S_G = \{S_{AG},\ S_{FG}\}, \qquad (2.1)$$

складывающейся из двух автономных субсистем S_{AG}, S_{FG}, где S_{AG} — субсистема антропосферы (рассматриваем чело-

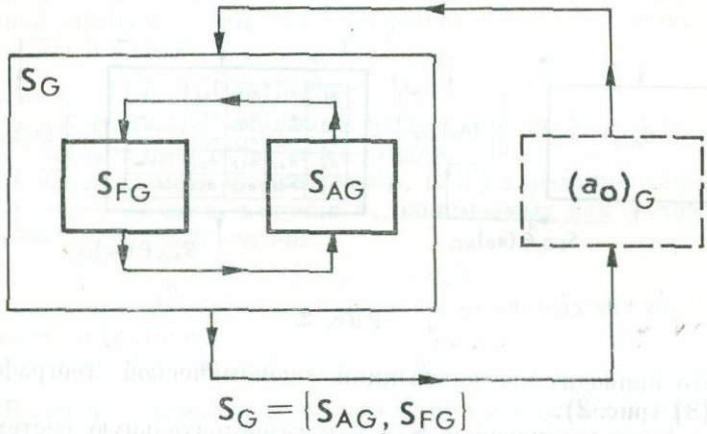


Рис. 1.

века как общество с его комплексной пространственной деятельностью), S_{FG} — субсистема физико-географической сферы.

Субсистемы S_{AG}, S_{FG} находятся во взаимодействии (рис. 1). Исходя из смысла указанных работ [8, 9, 10] мы можем исследовать субсистемы S_{AG} и S_{FG} как самостоятельные системы:

$$S_{AG} = \{G_{AG},\ R_{AG}\},\ S_{FG} = \{G_{FG},\ R_{FG}\}, \qquad (2.2)$$

где

$$G_{AG} = \{A_l\},\ G_{FG} = \{a_k\}$$

являются множествами элементов ($l = 1, 2, 3, \ldots, k = 1, 2, 3, 4, 5$), из которых складываются системы S_{AG}, S_{FG};

$$R_{AG} = \{r_{ij}\}_{AG}$$

является множеством отношений и зависимостей между элементами системы S_{AG} и равным образом между элементами системы S_{AG} и ее средой $(a_0)_{AG}$;

$$R_{FG} = \{r_{ij}\}$$

является множеством отношений и зависимостей, во-первых, между элементами системы S_{FG} и равным образом между указанными элементами и средой системы $(a_0)_{FG}$.

Если мы изучаем S_{AG} как самостоятельную систему, то по смыслу работ [8, 9, 10]

$$S_{FG} \in (a_0)\, S_{FG},$$

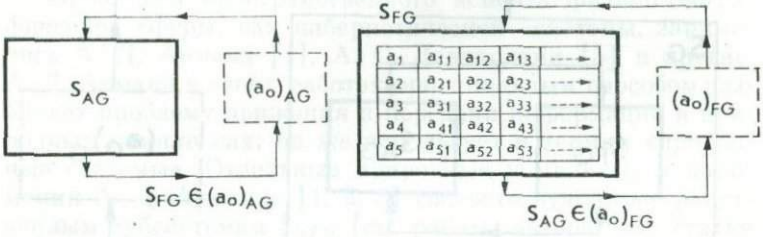


Рис. 2.

что приводит нас на позиции экономической географии [8] (рис. 2).

Если мы изучаем S_{AG} как самостоятельную систему, то по смыслу тех же самых указанных работ (рис. 2)

$$S_{AG} \in (a_0)_{FG}.$$

Так как S_{AG}, S_{FG} являются пространственными системами, то и их взаимодействие пространственно дифференцировано и имеет многомерный характер.

В дальнейшем будем заниматься S_{FG} как самостоятельной пространственной системой. Ее множество

$$G_{FG} = \{a_k\} \qquad (2.3)$$

($k = 1, 2, 3, 4, 5$) складывается из 5 элементов, а именно из: a_1 (атмосфера), a_2 (гидросфера), a_3 (литосфера), a_4 (подосфера), a_5 (биосфера), из которых каждый имеет пространственное расположение. Эти элементы множества (2.3) представляют собой компоненты физико-географической сферы. Заметим, что компоненты физико-географической сферы с точки зрения возникновения и развития этой

сферы не находятся на одинаковом уровне. Основными компонентами являются элементы a_1, a_2, a_3. Особое положение в системе $\mathbf{S}_{FG}$ имеют формы рельефа. Формы рельефа являются нематериальной величиной, материальный элемент является носителем этих форм. Этой проблемы мы коснемся в дальнейших частях работы. Кроме множества $\mathbf{G}_{FG}$, введем еще множество

$$\mathbf{B}_{FG} = \{a_o,\ a_1,\ a_2,\ a_3,\ a_4,\ a_5\}. \qquad (2.3')$$

Если множество $\mathbf{G}_{FG}$ состоит только из элементов системы $\mathbf{S}_{FG}$, то множество $\mathbf{B}_{FG}$, помимо элементов системы $\mathbf{S}_{FG}$, включает еще элемент a_0 — показатель недифференцированной среды системы $\mathbf{S}_{FG}$. Последнее множество можно выразить и в виде

$$\mathbf{B}_{FG} = \{(a_o)_{FG},\ \mathbf{G}_{FG}\},$$

где элемент $(a_0)_{FG}$ выражает среду системы $\mathbf{S}_{FG}$, а $\mathbf{G}_{FG}$ соответствует множеству ее элементов.

Каждый элемент множества $\mathbf{B}_{FG}$ (2.3′) характеризуется множеством входных величин v_n, понимаемых как составные части входного вектора

$$\mathbf{v} = \{v_1,\ v_2, \ldots,\ v_n\},$$

и множеством выходных величин w_n, понимаемых как части выходного вектора

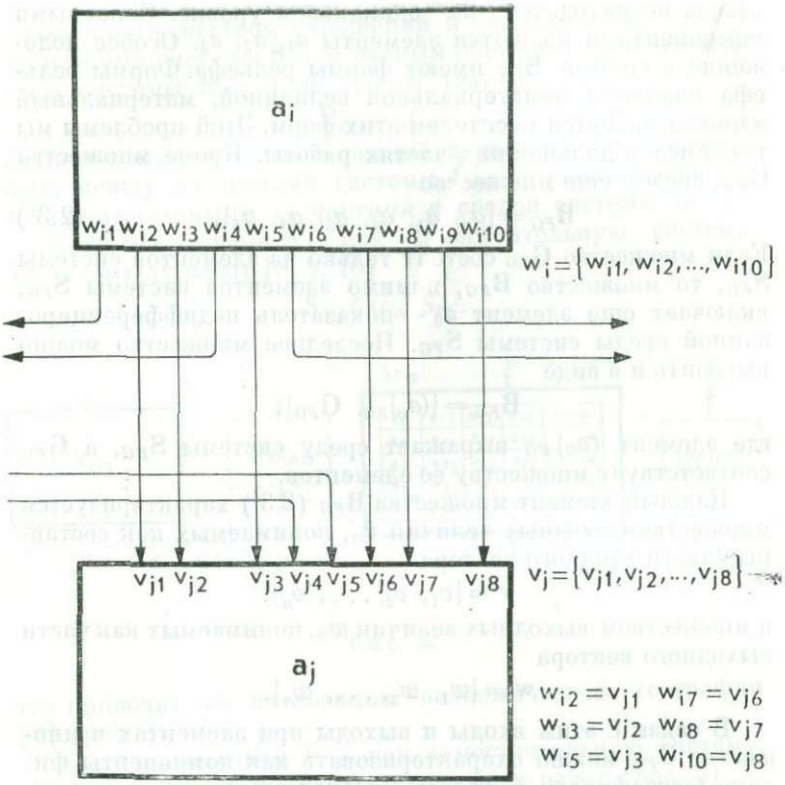
$$\mathbf{w} = \{w_1,\ w_2, \ldots,\ w_n\}.$$

В связи с этим входы и выходы при элементах в множестве $\mathbf{G}_{FG}$ можно охарактеризовать как компоненты физико-географической сферы. За входы отдельных элементов множества $\mathbf{G}_{FG}$ примем те их части, которые подвергаются воздействиям извне, за выходы — те части тех же самых элементов, с помощью которых они воздействуют на окружающую их среду. Однако входами и выходами должны быть не только определенные части этих элементов, но и сами элементы, так как они как целое воспринимают воздействия извне, будучи в одном функциональном состоянии, а затем, изменив это состояние, опять же как целое влияют на свою сферу.

В множестве отношений и зависимостей между элементами множества $\mathbf{B}_{FG}$ (2.3′), то есть в множестве

$$\mathbf{R}_{FG} = \{r_{ij}\} \quad ij = 1,\ 2,\ 3, \ldots,$$

примем во внимание порядок индексов **i**, **j**. Элемент этого множества r_{ij} означает зависимости входных величин эле-



$$V_{ij} = \begin{pmatrix} 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 1,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,1,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,1,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,1,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,1,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 \\ 0,0,0,0,0,0,0,0,0,1 \end{pmatrix}$$

Рис. 3.

мента a_j от выходных величин элемента a_i, в то время как r_{ij} означает зависимости входных величин элемента a_i от выходных величин элемента a_j.

Если принять во внимание все зависимости при $i \neq j$, то, учитывая множество (2.3′), можно выразить множество $\mathbf{R}_{FG}$ в форме матрицы:

$$\mathbf{R}_{FG} = \begin{bmatrix} 0, & r_{01}, & r_{02}, & r_{03}, & r_{04}, & r_{05} \\ r_{10}, & 0, & r_{12}, & r_{13}, & r_{14}, & r_{15} \\ r_{20}, & r_{21}, & 0, & r_{23}, & r_{24}, & r_{25} \\ r_{30}, & r_{31}, & r_{32}, & 0, & r_{34}, & r_{35} \\ r_{40}, & r_{41}, & r_{42}, & r_{43}, & 0, & r_{45} \\ r_{50}, & r_{51}, & r_{52}, & r_{53}, & r_{54}, & 0 \end{bmatrix}, \tag{2.4}$$

которая имеет $(k-1)^2$ элементов, из них k^2-k не равных нулю. Связь $\mathbf{V}_{ij}$ между элементами a_i, a_j, согласно работе [12] ($i, j = 1, 2, 3,...$, причем $i, j \leqslant k$), понимаем как части выходного вектора $\mathbf{w}_i$, некоторого элемента a_i, общие с частями входного вектора $\mathbf{y}_j$ элемента a_j (рис. 3), то есть

$$v_{i1} = v_{j1}$$

и выражаем ее в форме так называемой связующей матрицы $\mathbf{V}_{ij}$.

При $\mathbf{V}_{ij} \neq 0$ $r_{ij} \neq 0$. Однако при $r_{ij} \neq 0$ получаем $\mathbf{V}_{ij} \neq 0$ или $\mathbf{V}_{ij} = 0$.

Если $\mathbf{V}_{ij} \neq 0$, то между элементами a_i, a_j существует прямая зависимость; если $\mathbf{V}_{ij} = 0$ ($\mathrm{r}_{ij} \neq 0$), то это указывает на наличие непрямой, или опосредствованной, зависимости между указанными a_i, a_j через некоторый иной элемент a_l. Но при $r_{ij} = 0$ всегда и $\mathbf{V}_{ij} = 0$.

Расширенную структуру физико-географической сферы как системы $\mathbf{S}_{FG}$ в кибернетическом смысле понимаем как матрицу

$$[\mathbf{V}_{FG}]_c = \begin{bmatrix} 0, & \mathbf{V}_{01}, & \mathbf{V}_{02}, & \mathbf{V}_{03}, & \mathbf{V}_{04}, & \mathbf{V}_{05} \\ \mathbf{V}_{10}, & 0, & \mathbf{V}_{12}, & \mathbf{V}_{13}, & \mathbf{V}_{14}, & \mathbf{V}_{15} \\ \mathbf{V}_{20}, & \mathbf{V}_{21}, & 0, & \mathbf{V}_{23}, & \mathbf{V}_{24}, & \mathbf{V}_{25} \\ \mathbf{V}_{30}, & \mathbf{V}_{31}, & \mathbf{V}_{32}, & 0, & \mathbf{V}_{34}, & \mathbf{V}_{35} \\ \mathbf{V}_{40}, & \mathbf{V}_{41}, & \mathbf{V}_{42}, & \mathbf{V}_{43}, & 0, & \mathbf{V}_{45} \\ \mathbf{V}_{50}, & \mathbf{V}_{51}, & \mathbf{V}_{52}, & \mathbf{V}_{53}, & \mathbf{V}_{54}, & 0 \end{bmatrix}, \tag{2.5}$$

элементами которой являются связующие матрицы $\mathbf{V}_{ij}$ и которая подобно матрице $\mathbf{R}_{FG}$ (2.4) имеет $(k-1)^2$ эле-

ментов, причем k^2-k элементов, возможно, не равны нулю.

На главной диагонали находятся только нулевые элементы, так как связь какого-либо элемента с самим собою во внимание не принималась.

Более узкая структура системы $\mathbf{S}_{FG}$ (без элемента $(a_0)_{FG}$), то есть связующее соединение между элементами множества $\mathbf{G}_{FG}$, выражена в форме матрицы

$$\mathbf{V}_{FG}=\begin{bmatrix} 0, & \mathbf{V}_{12}, & \mathbf{V}_{13}, & \mathbf{V}_{14}, & \mathbf{V}_{15} \\ \mathbf{V}_{21}, & 0, & \mathbf{V}_{23}, & \mathbf{V}_{24}, & \mathbf{V}_{25} \\ \mathbf{V}_{31}, & \mathbf{V}_{32}, & 0, & \mathbf{V}_{34}, & \mathbf{V}_{35} \\ \mathbf{V}_{41}, & \mathbf{V}_{42}, & \mathbf{V}_{43}, & 0, & \mathbf{V}_{45} \\ \mathbf{V}_{51}, & \mathbf{V}_{52}, & \mathbf{V}_{53}, & \mathbf{V}_{54}, & 0 \end{bmatrix}, \tag{2.6}$$

имеющей k^2 элементов, из которых $k(k-1)$ не равны нулю.

Однако на выбранном уровне анализа в множестве $\mathbf{G}_{FG}$ (2.3) невозможно выразить пространственное расположение отдельных элементов. Если повысить уровень анализа, то каждый из приведенных элементов можно считать самостоятельным множеством

$$a_k=\{a_{k1},\ a_{k2},\ \ldots,\ a_{knk}\}, \tag{2.7}$$

которое при каждом отдельном $k = 1, 2, 3, 4, 5$ складывается из следующих элементов: a_{kn} $(n=1, 2, 3,\ldots,\ k=1, 2, 3, 4, 5)$.

В результате элементы множества (2.7) образуют собственные части, из которых складываются отдельные компоненты a_k $(k = 1, 2, 3, 4, 5)$ физико-географической среды. Множество (2.7) рассматриваем как n_k-членный вектор a_k, частями которого являются, согласно порядку расположения, отдельные элементы множества (2.7).

Выразим, как и в [9], множество (2.3) в виде столбцовой матрицы

$$\mathbf{G}_{FG}=\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix}, \tag{2.8}$$

причем каждый ее элемент в соответствии с формулой (2.7) будем понимать как n_k-членный вектор $\mathbf{a}_k$ $(k = 1, 2,$

3, 4, 5). Тогда множество элементов $\mathbf{G}_{FG}$ системы $\mathbf{S}_{FG}$ можно записать в форме матрицы

$$\mathbf{G}_{FG} = \begin{vmatrix} a_{11}, & a_{12}, & \ldots, & a_{1n_1} \\ a_{21}, & a_{22}, & \ldots, & a_{2n_2} \\ a_{31}, & a_{32}, & \ldots, & a_{3n_3} \\ a_{41}, & a_{42}, & \ldots, & a_{4n_4} \\ a_{51}, & a_{52}, & \ldots, & a_{5n_5} \end{vmatrix}, \tag{2.9}$$

с помощью которой теоретически опишем размещение элементов в любом из выбранных мест в пространстве.

Между элементами матрицы (2.9) существуют следующие отношения и зависимости: 1) между отдельными элементами в каждой строке матрицы, то есть внутристрочные, и 2) отношения между определенными элементами каждой соответствующей выбранной строки и элементами в остальных строках, то есть междустрочные.

Так как каждый n_k-членный вектор матрицы (2.9) содержит части, или элементы, между которыми существуют указанные отношения и зависимости, то все их по отдельности можно считать подсубсистемами

$$\mathbf{S}a_k = \{\mathbf{G}a_k, \ \mathbf{R}a_k\}, \tag{2.10}$$

где $\mathbf{G}a_k$ при каждом отдельном $k = 1, 2, 3, 4, 5$, n_k-членный вектор элементов в k-й строке матрицы образован множеством (2.7), а $\mathbf{R}a_k$ является множеством дальнейших отношений и зависимостей, а именно: между отдельными элементами в каждой строке матрицы (множество внутристрочных отношений и зависимостей); между элементами каждой соответствующей строки и элементами в остальных строках (множество междустрочных отношений и зависимостей) и между элементами каждой k-й строки и их более широкой средой $(a_0)_{\mathbf{S}a_k}$.

Каждая подсубсистема $\mathbf{S}a_k$ (2.10) имеет, таким образом, свою более широкую среду $(a_0)_{\mathbf{S}a_k}$, к которой всегда относятся все остальные подсубсистемы, кроме только что рассмотренной.

Это означает, что, согласно работе [10], для подсубсистемы атмосферы

$$\mathbf{S}a_1 = \{\mathbf{G}a_1, \ \mathbf{R}a_1\}$$

остальные подсубсистемы $Sa_{k=2,3,4,5} \in (a_0)S_{a_1}$, для подсубсистемы гидросферы

$$Sa_2 = \{Ga_2,\ Ra_2\},$$

остальные подсубсистемы $Sa_{k=1,3,4,5} \in (a_0)S_{a_2}$, и т. д., наконец, для подсубсистемы биосферы

$$Sa_5 = \{Ga_5,\ Ra_5\}$$

остальные подсубсистемы $Sa_{k=1,2,3,4} \in (a_0)S_{a_5}$.

Расширенная структура каждой из этих подсубсистем Sa_k определена матрицей структуры

$$[Va_k]_c = \begin{bmatrix} 0, & V_{0k,\,k1}, & V_{0k,\,k2}, & \ldots, & V_{0k,\,kn_k} \\ V_{k1,\,0k}, & 0 & V_{k1,\,k2}, & \ldots, & V_{k1,\,kn_k} \\ V_{k2,\,0k}, & V_{k2,\,k1}, & 0, & \ldots, & V_{k2,\,kn_k} \\ & \vdots & & & \\ V_{kn_k 0k}, & V_{kn_k k1}, & V_{kn_k k2}, & \ldots, & 0 \end{bmatrix}, \quad (2.11)$$

элементы которой образованы матрицами связей, во-первых, элементов a_{kn_k} каждой подсубсистемы между собой ($k = 1, 2, 3, 4, 5$) и, во-вторых, матрицами связей элементов a_{kn_k} каждой подсубсистемы Sa_k с определенной средой соответствующей подсубсистемы.

Более узкая структура каждой подсубсистемы Sa_k будет определена матрицей структуры

$$Va_k = \begin{pmatrix} 0, & V_{k1,\,k2}, & \ldots, & V_{k1,\,kn_k} \\ V_{k2,\,k1}, & 0, & \ldots, & V_{k2,\,kn_k} \\ & & \vdots & \\ V_{kn_k\,k1}, & V_{kn_k k2}, & \ldots, & 0 \end{pmatrix}, \quad (2.12)$$

элементами которой являются матрицы связей только между самими элементами a_{kn_k} соответствующей подсубсистемы Sa_k ($k=1, 2, 3, 4, 5$). Эта матрица имеет $(n_k-1)n_k$ возможных ненулевых элементов под главной и над главной диагональю. Элементы под главной диагональю, как следует из работы [12], обозначают обратную связь с соответствующими им элементами над главной диагональю.

В матрице расширенной структуры $[V_{ak}]_c$ связи соответствующих элементов a_{kn_k} подсубсистемы Sa_k с ее окружением=средой $(a_0)_{Sa_k}$ выражены связующими матрицами $V_{ok,\,kn_k}$, соответственно $V_{kn_k,\,ok}$. Эти матрицы выражают связь элемента a_{kn_k} с недифференцированной

средой $(a_0)_{Sa_k}$ подсубсистемы Sa_k, что означает, что среда $(a_0)_{Sa_k}$ подсубсистемы Sa_k ($k=1, 2, 3, 4, 5$) является, согласно указанному множеству B_{FG} (2.3′) и дефиниции среды, не *дифференцированной* более точно, и принимается во внимание как элемент этого множества. Разделение системы S_{FG} на подсубсистемы Sa_k и выражение структуры этих подсубсистем имеет значение и для классификации дисциплин землеведения с точки зрения установления предмета их изучения. Каждая из подсубсистем Sa_k имеет собственную структуру и свою собственную среду (свое собственное окружение), так что может изучаться как самостоятельная система.

Элементы каждого ряда матрицы G_{FG} (2.9) системы $S_{FG} = \{G_{FG}, R_{FG}\}$ образуют множество элементов $Ga_k = \{a_{kn_k}\}$ подсубсистем (2.10), причем каждая из этих подсубсистем Sa_k имеет свое собственное дефинированное[1] множество отношений и зависимостей Ra_k, то есть каждая из них имеет свою собственную структуру (2.11) в соответствии с (2.12). Исходя из этого, матрицу элементов G_{FG} (2.9) системы S_{FG} можно выразить в форме следующей столбцовой матрицы

$$G_{FG} = \begin{pmatrix} Ga_1 \\ Ga_2 \\ Ga_3 \\ Ga_4 \\ Ga_5 \end{pmatrix}. \qquad (2.13)$$

Множество *зависимости* R_{FG} этой системы S_{FG} также, учитывая *зависимости* между субсистемами Sa_k (*междустрочные отношения* и зависимости между элементами), может быть выражено в форме столбцовой матрицы

$$R_{FG} = \begin{pmatrix} Ra_1 \\ Ra_2 \\ Ra_3 \\ Ra_4 \\ Ra_5 \end{pmatrix}, \qquad (2.14)$$

[1] Множество, которому дана строгая дефиниция.— *Прим. перев.*

элементами которой являются матрицы

$$\mathbf{R}a_k = \begin{pmatrix} 0, & r_{0k,\,k1}, & r_{0k,\,k2}, & \ldots, & r_{kk0\;kn_k} \\ r_{k1,\,0k}, & 0, & r_{k1,\,k2}, & \ldots, & r_{k1,\,kn_k} \\ r_{k2,\,0k}, & r_{k2,\,k1}, & 0, & \ldots, & r_{k2,\,kn_k} \\ & & \ldots & & \\ r_{knk,\,0k}, & r_{kn_k,\,k}, & r_{kn_k,\,k2}, & \ldots, & 0 \end{pmatrix}. \qquad (2.15)$$

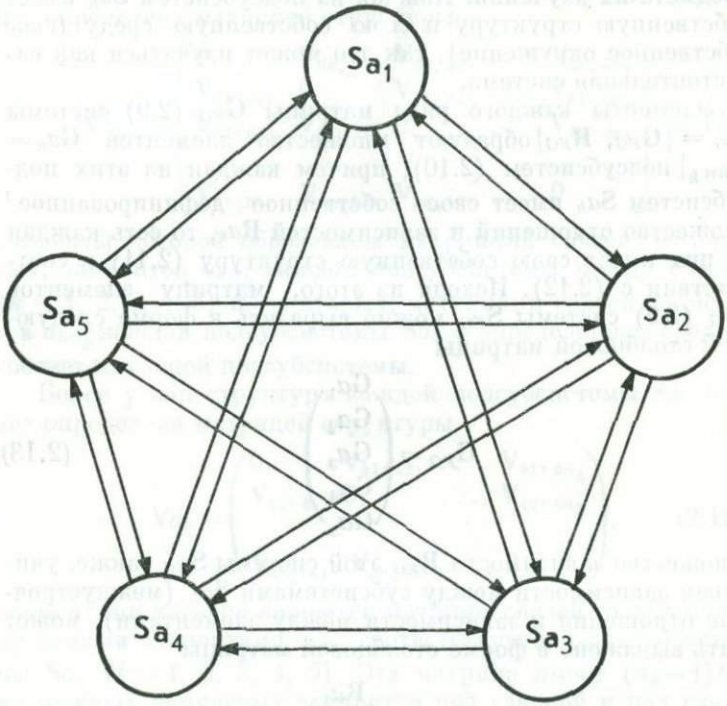


Рис. 4.

Элементы матриц (2.15) *для отдельных* $k = 1, 2, 3, 4, 5$ образуются уже дефинированными отношениями и зависимостями. Например, элемент $r_{0k,\,k1}$ выражает зависимость среды $(a_0)\mathbf{S}_{a_k}$ системы $\mathbf{S}a_k$ с ее первым элементом a_{k1} и т. д.

Принимая во внимание матрицы (2.13) и (2.14), систему S_{FG} можно выразить в матричной форме как множество

$$S_{FG} = \left[\begin{pmatrix} Ga_1 \\ Ga_2 \\ Ga_3 \\ Ga_4 \\ Ga_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ra_1 \\ Ra_2 \\ Ra_3 \\ Ra_4 \\ Ra_5 \end{pmatrix} \right]. \qquad (2.16)$$

Следовательно, система S_{FG} в каждом отдельном месте любой изучаемой части пространства образуется пятью вертикально ранжированными подсистемами Sa_k, которые соединены обратными связями (рис. 4).

Система S_{FG}, выраженная с помощью подсубсистем Sa_k, как целое имеет свою собственную матрицу структуры, которая с точки зрения этих отдельных подсубсистем Sa_k имеет вид

$$V_{FG} = \begin{pmatrix} Va_{11}, & Va_{12}, & Va_{13}, & Va_{14}, & Va_{15} \\ Va_{21}, & Va_{22}, & Va_{23}, & Va_{24}, & Va_{25} \\ Va_{31}, & Va_{32}, & Va_{33}, & Va_{34}, & Va_{35} \\ Va_{41}, & Va_{42}, & Va_{43}, & Va_{44}, & Va_{45} \\ Va_{51}, & Va_{52}, & Va_{53}, & Va_{54}, & Va_{55} \end{pmatrix}, \qquad (2.17)$$

элементы которой, Va_{11}, Va_{22}, Va_{33}, Va_{44}, Va_{55}, на главной диагонали являются матрицами суженной структуры (2.12) подсубсистем Sa_1, Sa_2, Sa_3, Sa_4, Sa_5.

Впрочем, матрицы Va_{12}, Va_{13},... над главной диагональю и матрицы Va_{21}, Va_{31},... под главной диагональю являются связующими матрицами каждого материального элемента a_{in_i} соответствующей подсубсистемы Sa_i со всеми остальными элементами a_{jn_j} остальных подсубсистем Sa_j, где $i, j \leqslant k$ при $k = 1, 2, 3, 4, 5$, причем $i \neq j$.

Каждая из этих матриц имеет n_i, n_j элементов, образованных связующими матрицами соответствующего элемента a_{in_i} определенной подсубсистемы Sa_i с элементами a_{jn_j} остальных подсубсистем Sa_j ($i, j \leqslant k = 1, 2, 3, 4, 5$ $i \neq j$).

Не равные нулю матрицы под главной диагональю матрицы (2.17) выражают обратные связи соответствующих им ненулевых матриц над главной диагональю (например,

$\mathbf{V}a_{31} \neq 0$, $\mathbf{V}a_{13} \neq 0$ и т. д.). Так, например, матрица $\mathbf{V}a_{12}$ как элемент матрицы (2.17) выражает связь элементов $a_{11}, a_{12}, \ldots, a_{1n_1}$ подсубсистемы $\mathbf{S}a_1$ с элементами подсубсистемы $\mathbf{S}a_2$. Матрица $\mathbf{V}a_{13}$ выражает связь элементов подсубсистемы $\mathbf{S}a_1$ с элементами подсубсистемы $\mathbf{S}a_3$ и т. д. Матрица $\mathbf{V}a_{21}$ под главной диагональю выражает связь элементов подсубсистемы $\mathbf{S}a_2$ с элементами подсубсистемы $\mathbf{S}a_1$. Если, таким образом,

$$\mathbf{V}a_{21} \neq 0, \ \mathbf{V}a_{12} \neq 0,$$

следовательно, связующие матрицы в матрице $\mathbf{V}a_{21}$ выражают обратные связи со связующими матрицами как элементами матрицы $\mathbf{V}a_{12}$. Указанное конкретно покажем на упомянутых матрицах $\mathbf{V}a_{12}$, $\mathbf{V}a_{21}$, которые после переписывания будут иметь форму:

$$\mathbf{V}a_{12} = \begin{pmatrix} \mathbf{V}_{11,21}, & \mathbf{V}_{11,22}, & \ldots, & \mathbf{V}_{11,2n_2} \\ \mathbf{V}_{12,21}, & \mathbf{V}_{12,22} & \ldots, & \mathbf{V}_{12,2n_2} \\ & \vdots & & \\ \mathbf{V}_{1n_1,21}, & \mathbf{V}_{1n_1,22}, & \ldots, & \mathbf{V}_{1n_1,2n_2} \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{V}a_{21} = \begin{pmatrix} \mathbf{V}_{21,11}, & \mathbf{V}_{21,12}, & \ldots, & \mathbf{V}_{21,1n_1} \\ \mathbf{V}_{22,11}, & \mathbf{V}_{22,12}, & \ldots, & \mathbf{V}_{22,1n_1} \\ & \vdots & & \\ \mathbf{V}_{2n_2,11}, & \mathbf{V}_{2n_2,12}, & \ldots, & \mathbf{V}_{2n_2,1n_1} \end{pmatrix}.$$

Подобным образом можно было бы переписать все 20 подматриц матрицы $\mathbf{V}_{FG}$ (2.17), включая ее подматрицы на главной диагонали, которые, однако, имеют форму (2.12).

Если, таким образом, в матрице $\mathbf{G}_{FG}$ (2.9) обозначим число элементов в ее i-й строке символом n_i, а число элементов в ее j-й строке символом n_j, то общее число возможных связей в матрице $\mathbf{V}_{FG}$ (2.17), обнаруживающееся и в ее отдельных элементах, которые образованы связующими матрицами $\mathbf{V}a_{ij}$ $(i, j \leqslant k = 1, 2, 3, 4, 5)$, будет после переписывания выражено суммой

$$\begin{aligned} \Sigma\mathbf{V} = {} & (n_1 - 1)\, n_1 + n_1 n_2 + n_1 n_3 + n_1 n_4 + n_1 n_5 + \\ & + (n_2 - 1)\, n_2 + n_2 n_1 + n_2 n_3 + n_2 n_4 + n_2 n_5 + \\ & + (n_3 - 1)\, n_3 + n_3 n_1 + n_3 n_2 + n_3 n_4 + n_3 n_5 + \\ & + (n_4 - 1)\, n_4 + n_4 n_1 + n_4 n_2 + n_4 n_3 = n_4 n_5 + \\ & + (n_5 - 1)\, n_5 + n_5 n_1 + n_5 n_2 + n_5 n_3 + n_5 n_4. \end{aligned} \tag{2.18}$$

Здесь каждая строка как сумма выражает общее число возможных комбинаций в связующих матрицах матрицы $\mathbf{V}_{FG}$ (2.17) в той ее соответствующей строке, которая отвечает строке суммы (2.18).

Однако если для отдельных членов отношения (2.18) универсально принято, что

$$n_i n_j = n_j n_i,$$

где $i, j \leqslant k = 1, 2, 3, 4, 5$, причем $i \neq j$, то можно отношение (2.18) выразить в следующей форме:

$$\begin{aligned}\Sigma \mathbf{V} = {} & (n_1 - 1)\, n_1 + 2n_1 n_2 + 2n_1 n_3 + 2n_1 n_4 + 2n_1 n_5 + \\ & + (n_2 - 1)\, n_2 + 2n_2 n_3 + 2n_2 n_4 + 2n_2 n_5 + \\ & + (n_3 - 1)\, n_3 + 2n_3 n_4 + 2n_3 n_5 + \\ & + (n_4 - 1)\, n_4 + 2n_4 n_5 + \\ & + (n_5 - 1)\, n_5 = \\ & = \sum_{k=1}^{k=5} (n_k - 1)\, n_k + \sum_{i,\, j=1}^{i,\, j=5} 2n_i n_j,\end{aligned} \tag{2.19}$$

при $i, j \leqslant k = 1, 2, 3, 4, 5$ и $i \neq j$, так что число всех членов $2n_i n_j$ в (2.19) составляет

$$\binom{k}{2} = \binom{5}{2} = 10.$$

Многие субматрицы $\mathbf{V}a_{ij}$ в матрице (2.17) ($i, j \leqslant k$; $i \neq j$) будут, однако, в действительности иметь больше нулевых элементов, причем и некоторые субматрицы $\mathbf{V}a_{ij}$ матрицы $\mathbf{V}_{FG}$ будут нулевые, так что число реальных ненулевых связей по сравнению с числом всех возможных ненулевых связей значительно снизится. К этой проблеме мы вернемся позднее в связи с обсуждением пространственного размещения элементов матрицы (2.9) системы $\mathbf{S}_{FG}$.

Одно из значений матрицы (2.17) заключается в том, что, объясняя структуру, она делает возможным систематическое изучение всех зависимостей в системе $\mathbf{S}_{FG}$ и определение их порядка согласно значению.

Элементы множества (2.7), образующие n_k-членный вектор матрицы (2.9), не являются равномерно взаимозамещаемыми в пространстве. Это означает, что для любой произвольно выбранной точки пространства в каждой строке матрицы (2.9) некоторые элементы могут отсутствовать, а другие, наоборот, присутствовать.

Отсутствующие элементы матрицы назовем нулевыми (2.9) и обозначим их символом «0», а присутствующие — ненулевыми (2.9). Эти ненулевые элементы каждой строки матрицы (2.9), согласно работам [8, 9, 10], встречаются в исследуемой точке пространства не в произвольном составе, а образуют так называемые допускаемые комбинационные группировки $\mathbf{C}_{P(k)}$, определяемые, с одной стороны, внутристрочными зависимостями и, с другой стороны, междустрочными зависимостями в матрице (2.9). Число всех возможных комбинаций $\mathbf{C}_{M(k)}$ группировки элементов от всех нулевых до всех ненулевых для каждой из строк матрицы (2.9) определяется как

$$\boldsymbol{C}_{M(k)} = \sum_{i=1}^{n_k} \binom{n_k}{i} + 1 = \binom{n_k}{1} + \binom{n_k}{2} + \cdots + \binom{n_k}{n_k - 1} + \binom{n_k}{n_k} + 1 \qquad (2.20)$$

($k = 1, 2, 3, 4, 5$), причем для $\mathbf{C}_{P(k)}$ и $\mathbf{C}_{M(k)}$ действует правило, что

$$\boldsymbol{C}_{P(k)} < \boldsymbol{C}_{M(k)}.$$

Все элементы каждой строки матрицы (2.9) образуют так называемый n_k-членный вектор, в то время как ее ненулевые элементы образуют так называемый модифицированный n_k-членный вектор. В пространстве всегда встречаются только модифицированные n_k-членные векторы, складывающиеся лишь из ненулевых элементов и образующие в каждой точке модифицированные множества a_k при $k = 1, 2, 3, 4, 5$. Это означает, что отдельные компоненты физико-географической сферы, конкретно встречающиеся в соответствующей модификации в данном месте, образуют отдельные модифицированные множества a'_k, которые являются собственно модифицированными элементами матрицы (2.8), что позволяет, имея в виду матрицы (2.8) и (2.13), написать матрицу модифицированных элементов и в форме:

$$\mathbf{G}'_{FG} = \begin{pmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ a'_3 \\ a'_4 \\ a'_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{G}'a_1 \\ \mathbf{G}'a_2 \\ \mathbf{G}'a_3 \\ \mathbf{G}'a_4 \\ \mathbf{G}'a_5 \end{pmatrix}. \qquad (2.21)$$

Эта матрица описывает уже действительное размещение основных компонентов физико-географической сферы в пространстве.

Теоретическое множество внутристрочных и междустрочных *отношений и зависимостей, выраженное* в матричной форме (2.14), можно с учетом конкретных элементов системы, встречающихся в выбранном для изучения месте и учтенных в матрице (2.21), модифицировать в конкретное реализованное множество *отношений и зависимостей*; оно поддается записи в форме столбцовой матрицы

$$\mathbf{R}_{FG} = \begin{pmatrix} \mathbf{R}'a_1 \\ \mathbf{R}'a_2 \\ \mathbf{R}'a_3 \\ \mathbf{R}'a_4 \\ \mathbf{R}'a_5 \end{pmatrix}. \qquad (2.22)$$

Модифицированные элементы $\mathbf{G}'a_k$ матрицы (2.21) и $\mathbf{R}'a_k$ матрицы (2.22), принимая во внимание (2.10), образуют пространственные подсубсистемы:

$$(\mathbf{S}'a_k)_{n=1,\,2,\,3,\,\ldots} = \{\mathbf{G}'a_k,\ \mathbf{R}'a_k\}_{n=1,\,2,\,3,\,\ldots}. \qquad (2.23)$$

В подсубсистемах (2.23) $\mathbf{G}'a_k$ является (при каждом $k=1, 2, 3, 4, 5$) множеством ненулевых элементов в каждой строке матрицы (2.9), $\mathbf{R}'a_k$ является, с одной стороны, множеством внутристрочных зависимостей для каждого соответствующего $k = 1, 2, 3, 4, 5$, с другой стороны, междустрочных отношений и зависимостей соответствующей подсубсистемы $\mathbf{S}'a_k$ с ее средой $(a_0)\mathbf{S}'_{a_к}$.

Модификация элементов a_k подсубсистемы $\mathbf{S}a_k$ в элементы a'_k, образующие множества элементов $\mathbf{G}'a_k$ отдельных подсубсистем $\mathbf{S}'a_k$, в результате приводит к модификации матрицы структуры $\mathbf{V}a_k$ (2.12) каждой подсубсистемы $\mathbf{S}a_k$ в матрицу структуры $\mathbf{V}'a_k$. В каждой модифицированной подсубсистеме $(\mathbf{S}'a_k)_n$ ее матрица структуры $[\mathbf{V}'a_k]_n$ будет иметь уменьшенное число ненулевых субматриц, образующих элементы матрицы (2.12). Число ненулевых элементов в модифицированной матрице структуры $\mathbf{V}'a_k$ каждой модифицированной подсубсистемы $\mathbf{S}'a_k$, то есть число ненулевых связей субматриц матрицы $\mathbf{V}'a_k$, будет понижено на число связей между нулевыми элементами, *а также на число связей* между нулевыми и нену-

левыми элементами матрицы (2.9); это означает, что для каждой подсубсистемы $(S'a_k)_{n=1;2;3;\ldots}$ (2.23), согласно модификации множества ее материальных элементов

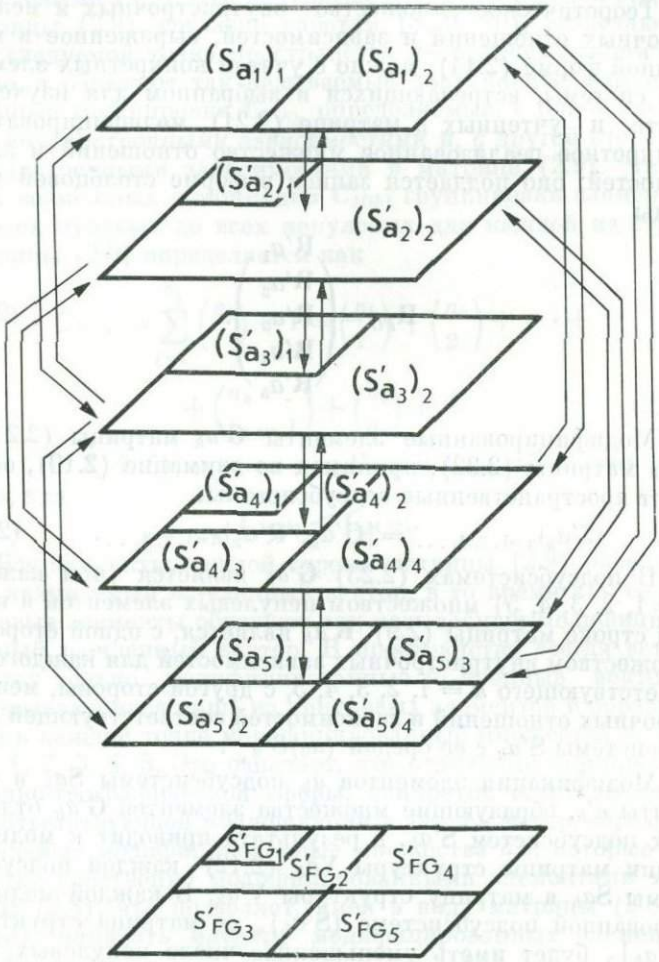


Рис. 5.

$\{G'a_k\}_{n=1;2;3;\ldots}$, окажется модифицированной и матрица структуры $\{V'a_k\}_{n=1;2;3\ldots}$.

Следовательно, подсубсистемы (2.10) при каждом отдельном k пространственно дифференцируются в подсуб-

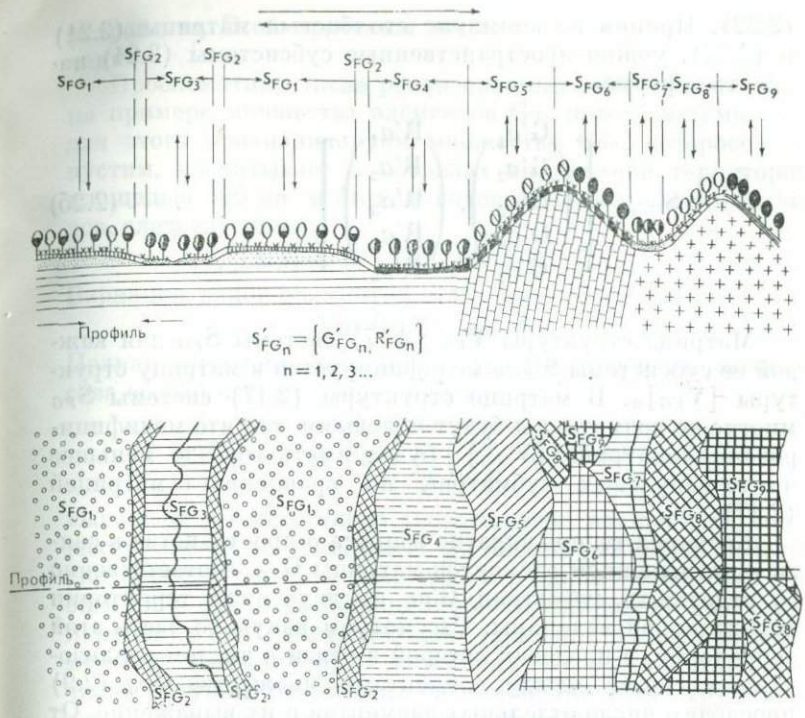


Рис. 6.

системы (2.23). Эти подсубсистемы (2.23) при каждом отдельном $k=1, 2, 3, 4, 5$ образуют в пространстве ареалы, как пространственные единицы, ограниченные согласно порядку n (рис. 5).

Система $\mathbf{S}_{FG}$ в результате неравномерного распределения в пространстве отдельных основных компонентов дифференцируется в территориальные субсистемы

$$\mathbf{S}'_{FG_n} = \{\mathbf{G}'_{FG},\ \mathbf{R}'_{FG}\}_n, \tag{2.24}$$

которые образуют ареалы, как комплексные территориальные единицы (рис. 6); при этом множество $\mathbf{G}'_{FG}$, образованное для соответствующего ареала множеством ненулевых элементов матрицы (2.9), выражено столбцовой матрицей (2.21), а множество конкретно реализованных отношений и зависимостей $\mathbf{R}'_{FG}$ — столбцовой матрицей

(2.22). Приняв во внимание столбцовые матрицы (2.21) и (2.22), можно пространственные субсистемы (2.24) написать в форме

$$\mathbf{S}'_{FG_n} = \left[\begin{pmatrix} \mathbf{G}'a_1 \\ \mathbf{G}'a_2 \\ \mathbf{G}'a_3 \\ \mathbf{G}'a_4 \\ \mathbf{G}'a_5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \mathbf{R}'a_1 \\ \mathbf{R}'a_2 \\ \mathbf{R}'a_3 \\ \mathbf{R}'a_4 \\ \mathbf{R}'a_5 \end{pmatrix} \right]_{n=1, 2, 3, \ldots} . \qquad (2.25)$$

Матрица структуры $\mathbf{V}_{FG}$ (2.17) системы $\mathbf{S}_{FG}$ для каждой ее субсистемы $\mathbf{S}'_{FGn}$ модифицируется в матрицу структуры $[\mathbf{V}_{FG}]_n$. В матрице структуры (2.17) системы $\mathbf{S}_{FG}$ многие ее подматрицы будут нулевыми, так что модифицированная матрица $[\mathbf{V}'_{FG}]_n$ будет иметь гораздо меньшее число ненулевых субматриц по сравнению с матрицей (2.17).

Коснемся теперь вкратце вопроса о пространстве в связи с размещением элементов матрицы $\mathbf{G}_{FG}$, соответственно ее отдельных субматриц $\mathbf{G}'a_k$ *на изучаемой территории* определенной величины. Рассмотрим какую-то часть этой территории, в пределах которой в связи с числом реализованных связей между элементами множества $\mathbf{G}_{FG}$ (2.9) проследим число отдельных элементов и их выражение. От величины выбранной части территории зависит и избрание масштаба изучения, так же как и уровень анализа элементов в подсубсистемах $\mathbf{S}'a_k$ системы $\mathbf{S}_{FG}$.

Так как в физико-географической сфере мы сталкиваемся в ее отдельных подсубсистемах с большим количеством элементов, отдельные элементы ее матрицы (2.9) следует определять как статистические совокупности (или сочетания). Только при очень подробном изучении пространственной динамики $\mathbf{S}_{FG}$ на очень небольшой территории и при очень крупном масштабе можно, например, при подсубсистеме $\mathbf{S}a_5$ за отдельные элементы множества $\mathbf{G}a_5$ считать отдельные единицы растительности (деревья), положение которых определено координатами x и y в избранной системе координат $<O, x, y>$. Размеры изучаемой территории, исходя из числа деревьев и других входных данных, характеризующих остальные подсубсистемы $\mathbf{S}a_1$, $\mathbf{S}a_2$, $\mathbf{S}a_3$, $\mathbf{S}a_4$, при моделировании, однако, ограничиваются емкостью-мощностью автоматического счетного

устройства. Этой проблемы мы кратко коснемся в заключении.

Проблематику числа реализованных связей рассмотрим на примере множества элементов $\mathbf{G}a_5$ подсубсистемы $\mathbf{S}a_5$; для этого проанализируем множество $\mathbf{G}a_5$, которое, допустим, насчитывает в пределах выделенной территории площадью 300 кв. м 56 элементов четырех различных видов, следовательно,

$$\mathbf{G}a_5 = 10 + 15 + 25 + 6 = 56.$$

Вариация видов элементов этого множества равна

$$\mathbf{Var}\,\mathbf{G}a_5(4) = 2 \text{ бит.}$$

Полная вариация этого множества $\mathbf{G}a_5$ при учете количества особей каждого вида, то есть

$$\mathbf{VAR}\,\mathbf{G}a_5 = \log_2\left[\sum_{i=1}^{i=4}\binom{4}{i}\right] = 3{,}90689 \text{ бит.},$$

выражает в битах число теоретически возможных сообществ или число возможных состояний указанной подсубсистемы $\mathbf{S}a_5$ при условии, что ни в одном сообществе (то есть ни в одной комбинационной группировке) нет доминантного вида. Действительная вариация, однако, заметно меньше (ограничение вариации) вследствие того, что число могущих реализоваться комбинационных группировок меньше числа теоретически допустимых.

Если бы для полноты мы рассматривали теоретически возможные сообщества с учетом теоретически возможных доминантных элементов в каждом из них, то число теоретически возможных комбинаций при числе видов n_5 было бы определено отношением:

$$\binom{n_5}{1} + \left[\binom{2}{1} + \binom{2}{2}\right]\binom{n_5}{2} + \left[\binom{3}{1} + \binom{3}{2} + \binom{3}{3}\right]\binom{n_5}{3} + \cdots +$$
$$+ \left[\binom{n_5}{1} + \binom{n_5}{2} + \cdots + \binom{n_5}{n_5 - 1} + \binom{n_5}{n_5}\right]\binom{n_5}{n_5} =$$
$$= \sum_{x=1}^{x=n_5}\left[\binom{n_5}{x}\sum_{i=1}^{i=x}\binom{x}{i}\right] = \sum_{x=1}^{x=n_5}\binom{n_5}{x}(2^x - 1).$$

Это означает, что в выбранном нами примере при $n_5 = 4$ существует 65 возможных комбинаций; таким образом, полная вариация такой растительной подсубсистемы в битах будет выглядеть как

$$\mathbf{VAR}\,\mathbf{G}a_5(4) = 6{,}02236 \text{ бит.}$$

Если же число реально осуществимых комбинационных группировок меньше числа теоретически возможных, то из-за ограничения вариации получим:

$$\mathbf{var}\ G a_5 < \mathbf{VAR}\ G a_5.$$

Обратим внимание на число связей между упомянутыми 56 элементами. Учитывая отношения (2.18), можно образовать 3080 возможных ненулевых связей. На рис. 7 изображено взаимодействие элементов при 3080 ненулевых связях.

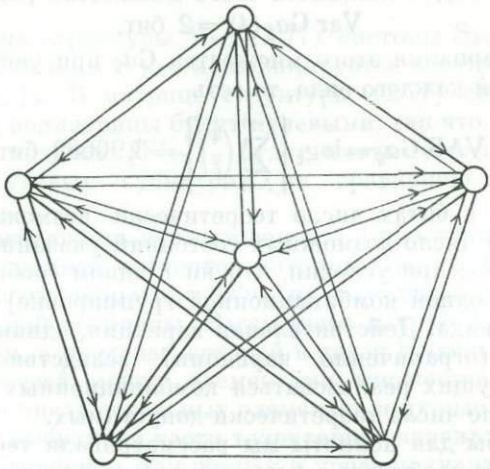
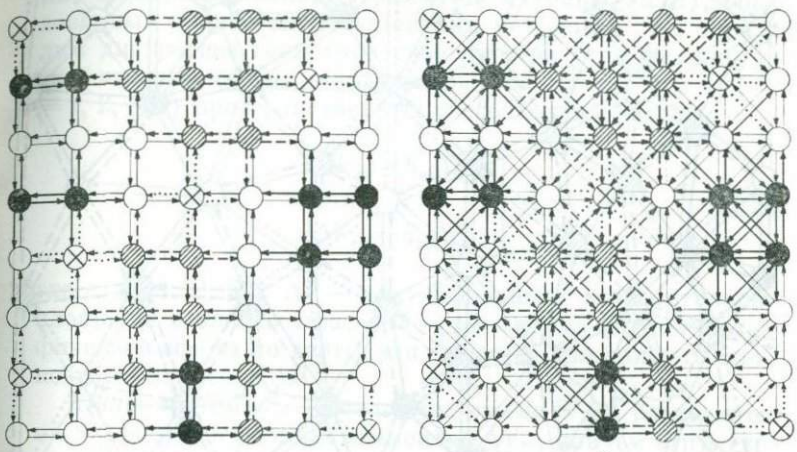


Рис. 7.

Действительное число связей будет, однако, меньшим. Прежде всего для простоты разместим элементы в форме квадрата, учитывая вначале взаимосвязи между ними вдоль сторон квадрата (рис. 8, а). Если предположить, что из возможных 3080 ненулевых связей будут реализованы только связи между соседними элементами, с помощью которых осуществляется перенос информации между этими элементами, то число связей сократится до 224 (рис. 8, а). При предположении, что краевые элементы имеют меньшее число связей с соседними элементами, чем внутренние элементы, число связей сократится до 194. Если же предположить, что каждый элемент взаимосвязан со всеми соседними (учитывая и связи по диагона-

лям), то есть каждый элемент обладает 8 связями, то общее число связей составит 448. Но из-за того, что краевые элементы располагают меньшим числом связей, чем внутренние элементы, общее число связей сократится до 362 (рис. 8, б).



а б

Рис. 8.

Если же предположить неравномерное размещение элементов на изучаемой территории (рис. 9), то число действительных ненулевых связей при каждом элементе (кроме краевых элементов) будет статистически колебаться около чисел 6 и 7. При 7 число связей у всех 56 элементов должно быть равным 392. Но и оно, однако, сократится из-за меньшего (чем 7) числа связей у краевых элементов.

Взаимосвязи между элементами множества $\mathbf{G}a_5$ в действительности сложнее, так как непосредственное влияние оказывается не только на соседние элементы, хотя между этими последними интенсивность взаимодействия наибольшая. Это позволяет расширить число связей по градации интенсивности взаимосвязей. Приведенный пример интересен для нас с той точки зрения, что он иллюстрирует сложность явления взаимосвязи. Указанный подход имеет важное значение для моделирования как отдельных подсубсистем $\mathbf{S}a_k$, так и самой системы $\mathbf{S}_{FG}$. Рассмотрим

в связи с этим теоретическую сторону проблемы, чтобы при построении моделей правильно использовать упрощающие предпосылки.

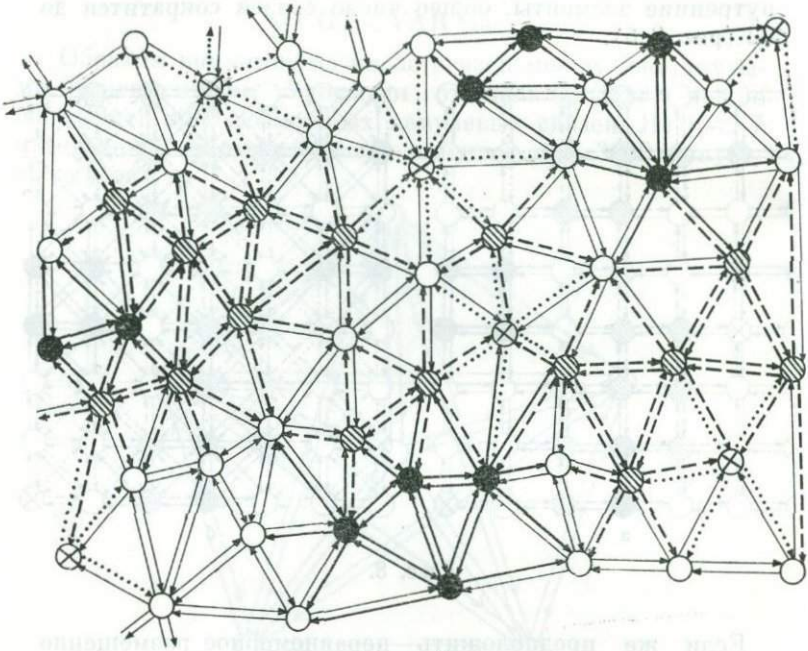


Рис. 9.

Как уже говорилось, такой подробный анализ при изучении системы S_{FG} допустим лишь при очень детальном, крупномасштабном ее изучении в пределах очень небольшой территории. При большом количестве данных и отношений исследование становится очень чувствительным к возможностям автоматического счетного устройства, и поэтому при изучении физико-географической сферы, как системы S_{FG}, в пределах большей территории мы будем оперировать обширными статистическими совокупностями, рассматриваемыми как единицы (элементы): так, например, статистическую совокупность одного растительного сообщества будем считать одним элементом множества. Следует помнить при этом, что в действительности размещение элементов матрицы (2.21) в пространстве является очень сложным.

В дальнейших рассуждениях рассмотрим изучаемое пространство в системе координат $<O, x, y>$, а географические координаты φ, λ будем считать константами, приведенными к началу отсчета этой системы координат [8].

Чтобы упрощенно описать пространственное размещение модифицированных элементов матрицы (2.21), образованных ненулевыми элементами матрицы (2.9), определим дискретное геометрическое пространство физико-географической сферы, складывающееся из $m=r$, s (r, $s=1, 2, 3,...$) пространственных обособленных частей.

$$\left.\begin{array}{c} \Delta V_m = h_m \Delta P_m \\ \text{соотв.} \\ \Delta V_{rs} = h_{rs} \Delta P_{rs} \end{array}\right\}, \qquad (2.26)$$

где r, $s=1, 2, 3...$, ΔP — это отдельные горизонтальные площадки в плоскости x, y, h — амплитуда физико-географической сферы по вертикали (высоте) для каждого плоскостного элемента ΔP.

Далее система $\mathbf{S}_{FG}$ с ее субсистемами $\mathbf{S}'_{FGn}$ разделяется на m пространственных элементов ΔV_m, причем структура множества ее элементов описана для каждого пространственного элемента (2.26) одной матрицей (2.21), так что для всего пространства получаем m матриц (2.21)

$$[\mathbf{G}_{FG}]_m = {}_{1, 3, 3} \cdots \qquad (2.27)$$

Единицы пространства ΔV_m с одинаковой структурой элементов в матрицах (2.21) образуют в пространстве ареалы из отдельных субсистем $\mathbf{S}'_{FGn}(n<m)$ (рис. 10). Форма плоскостных элементов может быть треугольной, квадратной или шестиугольной [10]. На рис. 10 для простоты и наглядности изображены квадраты.

Если число элементов рассматриваемого дискретного геометрического пространства физико-географической сферы $m = r, s$, то размещение структуры элементов в этом пространстве можно выразить в форме матрицы

$$\begin{pmatrix} [\mathbf{G}'_{FG}]_{11}, & [\mathbf{G}'_{FG}]_{12}, & \ldots, & [\mathbf{G}'_{FG}]_{1s} \\ [\mathbf{G}'_{FG}]_{21}, &]\mathbf{G}'_{FG}]_{22}, & \ldots, & [\mathbf{G}'_{FG}]_{2s} \\ & \vdots & & \\ [\mathbf{G}'_{FG}]_{r1}, & [\mathbf{G}'_{FG}]_{r2}, & \ldots, & [\mathbf{G}'_{FG}]_{rs} \end{pmatrix}. \qquad (2.28)$$

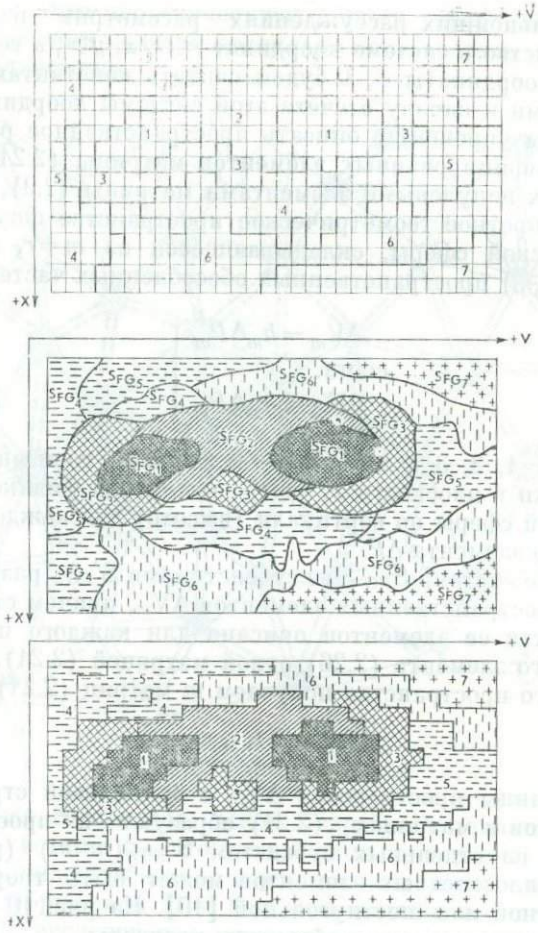


Рис. 10

3. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЬЕФА КАК ФОРМЫ В МАТЕРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ S_{FG}

Одним из наиважнейших факторов, влияющих в избранной части пространства в системе координат $<O, x, y, z>$ на пространственную дифференциацию отдельных подсубсистем Sa_k, является рельеф,— основная составная

часть физико-географической сферы и, следовательно, относится к системе S_{FG}. Однако, несмотря на это, он в наших рассуждениях не включался в эту систему. Это делалось потому, что мы определяли систему S_{FG} как вещественную и в связи с этим исследовали ее структуру так же, как и пространственное размещение ее отдельных вещественных элементов.

Однако формы, в которые воплощается рельеф, являются невещественной величиной; вещественными являются только носители этих форм, а именно литосфера и соответственно педосфера, как подсубсистемы Sa_3, Sa_4 системы S_{FG}. Особенности вещественного носителя этих форм, то есть подсубсистем Sa_3 и Sa_4, проявляется в том, что в результате процессов, вызванных взаимодействием отдельных материальных подсубсистем Sa_k, рельеф проявляется в их пространственном размещении на поверхности раздела между твердым субстратом и атмосферой или гидросферой (рельеф морского или океанического дна).

Следовательно, с достаточным приближением можно сказать, что выражением этого разграничения в пространстве являются формы рельефа, в которых отражаются особенности их носителя. Исследуем затем эти формы рельефа в определенном, правильно выбранном масштабе M; в нем же одновременно исследуем и систему S_{FG}. Распределение этих форм в пространстве выразим далее в каждой произвольно взятой точке $P(x, y, z)$ изучаемой части пространства в выбранной системе координат $<O, x, y, z>$ с помощью множества количественных показателей.

Так как формы рельефа связаны с процессами, которые в своем развитии изменяют их количественные показатели в каждой точке пространства с ходом времени, а они в свою очередь влияют на эти процессы, мы должны исследовать эти формы в их связи с соответствующими процессами. Таким образом, формы рельефа являются динамической пространственной величиной, охарактеризованной в каждой точке пространства множеством количественных показателей.

Заменим рельеф в определенном избранном масштабе M топографической плоскостью, причем для целей количественного морфологического выражения абстрагируемся от процессов и преобразуем в соответствии с геометрическим аспектом теории поля морфометрические показатели рельефа, так чтобы они одновременно удовлетворяли фи-

зическим условиям. Далее исследуем размещение количественных показателей в каждой точке пространства. Полученные таким образом морфометрические показатели, характеризующие рельеф как геометрическую поверхность, одновременно могут быть сопоставлены функционально с физическими процессами. В соответствии с работой [11] выразим формы рельефа в каждой его произвольно выбранной точке множеством количественных параметров z, γ_N, A_N..., где z является высотой над уровнем моря как скалярная величина, γ_N — углом наклона в направлении линии падения, A_N — ориентацией относительно стран света. Величина z является функцией местоположения x, y в системе координат $<O, x, y, z>$ и определена обобщенным отношением

$$z = f(x, y). \tag{3.1}$$

Угол наклона γ_N преобразован в уравнении (3.1) так, что его $\operatorname{tg} \gamma_N$ выражает абсолютную величину вектора-градиента z, определенного отношением

$$|\operatorname{grad} z| = \operatorname{tg} \gamma_N = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}. \tag{3.2}$$

Вектор-градиент z и скаляр z являются очень надежными морфометрическими показателями, так как градиент $|\operatorname{grad} z|$ (3.2) определяет величину наклона, а направление вектора-градиента z определяет ориентацию рельефа относительно стран света (рис. 11).

Как уже упоминалось, значения показателей z, γ_N, A_N,... и следующих являются равнодействующей процессов и в то же время сами оказывают обратное влияние на процессы, преобразующие формы рельефа, в отдельных подсубсистемах Sa_k и во всей физико-географической сфере, как в системе S_{FG}.

Поскольку систему S_{FG} из-за сложности ее пространственного размещения мы выразили, имея в виду конечную цель моделирования, в дискретном пространстве, то в этом же самом пространстве выразим и подсубсистему S_{RF}. Каждому плоскостному элементу дискретного пространства придадим по одному среднему значению z, γ_N, A_N,... и т. д., которые характеризуют форму рельефа в каждом соответствующем элементе.

Множество количественных показателей форм рельефа в каждой точке их пространственного размещения функ-

ционально тесно между собой связано, будучи одновременно связанным также с процессами, ареной для которых служат эти формы рельефа. Мы не ставим задачу математически выразить функциональные связи между процессами и морфометрическими показателями, а лишь стремимся из

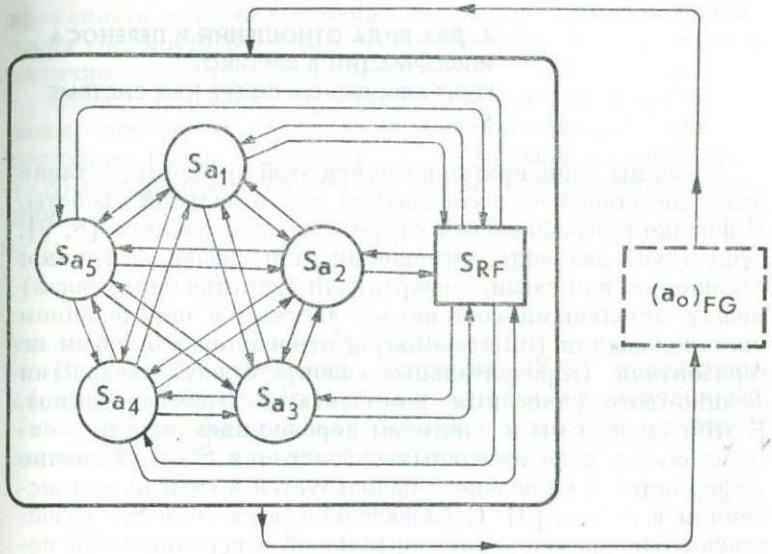


Рис. 11.

них исходить при формулировании форм рельефа как особой невещественной подсубсистемы S_{RF}, характеризующейся как

$$S_{RF} = \{Q,\ R_{RF}\}, \qquad (3.3)$$

где Q — множество морфометрических количественных показателей, определенных взаимными функциональными отношениями, а R_{RF} — множество функциональных отношений и зависимостей как между морфометрическими показателями, так и между этими показателями и окружением-средой системы $(a_0)_{RF}$, с которым система S_{RF} находится во взаимодействии. Этим окружением-средой будут состояния отдельных материальных подсубсистем и изменения состояний, вызванные, с одной стороны, процессами в самих этих подсубсистемах, а с другой стороны,

взаимодействием между ними. Подсубсистема S_{RF} (3.3) является составной частью физико-географической среды, как системы состояний, характеризующейся ее внутренними величинами состояния. Этой проблемы мы коснемся позже в разделе о величинах состояния системы S_{FG}.

4. ДВА ВИДА ОТНОШЕНИЙ И ПЕРЕНОСА ИНФОРМАЦИИ В ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СФЕРЕ КАК СИСТЕМЕ S_{FG}

Здесь мы лишь кратко коснемся этой проблемы, оставив более детальное ее исследование *для отдельной работы*. В физико-географической сфере, согласно работам [8, 9], существует два вида отношений, или связей, а именно: отношения, или связи, по вертикали (вертикальные связи) между отдельными составными частями в определенном *местоположении* (interrelation) и отношения ,или связи, по горизонтали (горизонтальные связи) между отдельными физико-географическими комплексами (interconnection). В этом смысле мы и понимаем перенос информации в системе S_{FG} и в ее отдельных субсистемах S'_{FGn}. Понятие информации и ее переноса используется в смысле, разъясненном в работе [9]. Следовательно, в системе S_{FG} существуют одновременно горизонтальный и вертикальный переносы информации. Вертикальный перенос информации совершается в пределах одного местоположения между отдельными подсубсистемами Sa_k (рис. 5) в одной субсистеме S'_{FGn}, горизонтальный перенос происходит между отдельными субсистемами S'_{FGn}. Изложенное показано на рис. 6.

5. ВЫРАЖЕНИЕ ВЕЛИЧИН СОСТОЯНИЯ Z_n $[n = 1, 2, 3, ...]$ СИСТЕМЫ S_{FG} И ВРЕМЕННОЙ АСПЕКТ В СИСТЕМЕ S_{FG}

Система S_{FG} в данный *момент времени в выделенной* части пространства находится в некотором пространственно-дифференцированном состоянии, охарактеризованном множеством величин его внутреннего состояния. В этих величинах состояния сохранена последовательность предыдущих воздействий, которые оказывали влияние на систему.

Предположим, что физико-географическая сфера в результате происходящих в ней процессов, вызванных взаимодействием всех ее составных частей и в соответствии с их *взаимосвязями, изменяется при определенных* постоянных условиях за время T от определенного исходного состояния к определенному финишному состоянию, так называемому состоянию равновесия. Однако еще до оценки временно́го аспекта состояния системы $\mathbf{S}_{FG}$ выразим величины состояния без символа времени. Время соотнесем с величинами состояния позднее.

Общее состояние системы $\mathbf{S}_{FG}$ в каждый момент времени *определено состояниями его элементов* a_k, *причем* состояние каждого элемента a_k столбцовой матрицы $\mathbf{G}_{FG}$ (2.8) определено множеством величин внутреннего состояния

$$\mathbf{Z}_k = \{(\mathbf{Z}_k)_n\}, \tag{5.1}$$

где $k = 1, 2, 3, 4, 5$; $n = 1, 2, 3\ldots$.

Величины внутренних состояний $(\mathbf{Z}_k)_n$ определены своими значениями $(z_k)_n$, так называемыми значениями (*числовыми*) *величин внутреннего состояния*, *поэтому* множество (5.1) определено множеством величин

$$\mathbf{z}_k = \{(z_k)_n\}. \tag{5.2}$$

Отдельные значения $(z_k)_n$ в множестве (5.2) в избранном местоположении изменяются в интервалах

$$<[(z_k)_n]_d,\ [(z_k)_n]_h>,$$

где d *означает нижнюю границу величин* $(z_k)_n$, а h — верхнюю границу величин $(z_k)_n$.

Границы величин приведенных интервалов меняются со сменой географического положения и ходом времени.

Величины состояния, определенные множеством (5.1) в выбранном моменте времени, пространственно размещены, а их величины, определенные множеством (5.2), пространственно дифференцированы.

Так как каждый элемент a_k *в столбцовой матрице* $\mathbf{G}_{FG}$ определяется множеством упомянутых величин внутреннего состояния (5.1), то столбцовую матрицу вещественных

элементов (2,8) можно выразить следующей столбцовой матрицей:

$$\mathbf{Z}_{FG}=\begin{pmatrix}\mathbf{Z}_1\\ \mathbf{Z}_2\\ \mathbf{Z}_3\\ \mathbf{Z}_4\\ \mathbf{Z}_5\end{pmatrix}, \tag{5.3}$$

элементами которой являются состояния элементов матрицы (2.8). Матрицу (5.3), учитывая множество (5.2), выразим матрицей значений величин внутренних состояний:

$$\mathbf{z}_{FG}=\begin{pmatrix}\mathbf{Z}_1\\ \mathbf{Z}_2\\ \mathbf{Z}_3\\ \mathbf{Z}_4\\ \mathbf{Z}\end{pmatrix}. \tag{5.4}$$

Одновременно можно выразить элементы матрицы (2.9) величинами их внутреннего состояния:

$$\mathbf{Z}_{FG}=\begin{pmatrix}\mathbf{Z}_{11}, \mathbf{Z}_{12}, \ldots, \mathbf{Z}_{1n_1}\\ \mathbf{Z}_{21}, \mathbf{Z}_{22}, \ldots, \mathbf{Z}_{2n_2}\\ \mathbf{Z}_{31}, \mathbf{Z}_{32}, \ldots, \mathbf{Z}_{3n_3}\\ \mathbf{Z}_{41}, \mathbf{Z}_{42}, \ldots, \mathbf{Z}_{4n_4}\\ \mathbf{Z}_{51}, \mathbf{Z}_{52}, \ldots, \mathbf{Z}_{5n_5}\end{pmatrix}. \tag{5.5}$$

Эта матрица выражает состояния элементов матрицы (2.9). Каждый элемент матрицы (5.5) выражает множество величин внутреннего состояния, характеризующих состояние соответствующего ему вещественного элемента в матрице (2.9). Матрицу величин внутренних состояний (5.5), принимая во внимание значения этих величин (5.2), выразим далее в виде матрицы значений величин внутренних состояний

$$\mathbf{z}_{FG}=\begin{pmatrix}\mathbf{Z}_{11}, \mathbf{Z}_{12}, \ldots, \mathbf{Z}_{1n_1}\\ \mathbf{Z}_{21}, \mathbf{Z}_{22}, \ldots, \mathbf{Z}_{2n}\\ \mathbf{Z}_{31}, \mathbf{Z}_{32}, \ldots, \mathbf{Z}_{3n_3}^{2}\\ \mathbf{Z}_{41}, \mathbf{Z}_{42}, \ldots, \mathbf{Z}_{4n_4}\\ \mathbf{Z}_{51}, \mathbf{Z}_{52}, \ldots, \mathbf{Z}_{5n_5}\end{pmatrix}. \tag{5.6}$$

Пространственное размещение величин внутреннего состояния матрицы (5.5) в дискретном пространстве можно выразить в матрице следующей формы:

$$\begin{pmatrix} [\mathbf{Z}_{FG}]_{11}, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{12}, & \ldots, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{1s} \\ [\mathbf{Z}_{FG}]_{21}, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{22}, & \ldots, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{2s} \\ & \vdots & & \\ [\mathbf{Z}_{FG}]_{r1}, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{r2}, & \ldots, & [\mathbf{Z}_{FG}]_{rs} \end{pmatrix}. \tag{5.7}$$

Ее элементами являются отдельные матрицы (5.5). Пространственное размещение значений величин внутреннего *состояния в том же самом дискретном пространстве* можно аналогично выразить в форме матрицы

$$\begin{pmatrix} [\mathbf{z}_{FG}]_{11}, & [\mathbf{z}_{FG}]_{12}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{FG}]_{1s} \\ [\mathbf{z}_{FG}]_{21}, & [\mathbf{z}_{FG}]_{22}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{FG}]_{2s} \\ & \vdots & & \\ [\mathbf{z}_{FG}]_{r1}, & [\mathbf{z}_{FG}]_{r2}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{FG}]_{rs} \end{pmatrix}. \tag{5.8}$$

Каждый элемент этой матрицы образован одной матрицей (5.6), которая описывает значения величин внутренних состояний в каждом отдельном пространственном элементе дискретного пространства.

Каждый элемент матрицы (5.5) выражает, исходя из матрицы (2.13), величины внутренних состояний элементов подсубсистем $\mathbf{S}a_k$ системы $\mathbf{S}_{FG}$, а каждая строка матриц (5.6) выражает значения величин внутренних состояний этих подсубсистем $\mathbf{S}a_k$.

Пространственное размещение *значений величин* внутренних состояний элементов отдельных подсубсистем $\mathbf{S}a_k$ можно в рассматриваемом дискретном пространстве описать в матричной форме, *подобно тому как мы в матричной* форме (5.8) описали пространственное размещение значений величин внутренних состояний элементов всей *системы* $\mathbf{S}_{FG}$. *Однако элементами рассматриваемой* матрицы в этом случае будут отдельные n_k-членные векторы для отдельных значений $k = 1, 2, 3, 4, 5$ строкам матрицы (5.6). Аналогично пространственное размещение значений величин внутренних состояний отдельных подсубсистем

Sa_k в рассматриваемом дискретном пространстве будет выражаться матрицей

$$\begin{pmatrix} [\mathbf{z}_{kn_k}]_{11}, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{12}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{1s} \\ [\mathbf{z}_{kn_k}]_{21}, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{22}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{2s} \\ & \vdots & & \\ [\mathbf{z}_{kn_k}]_{r1}, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{r2}, & \ldots, & [\mathbf{z}_{kn_k}]_{rs} \end{pmatrix}. \tag{5.9}$$

Таким образом, матрица (5.9) при отдельных $k = 1, 2, 3, 4, 5$ описывает пространственное размещение значений величин внутренних состояний подсубсистем Sa_k в дискретном пространстве. В результате мы можем выделить пространственные ареалы равных значений величин внутренних состояний в отдельных подсубсистемах.

Описанные внутристрочные и междустрочные связи, как и зависимости в матрице (2.6), действительны и для матриц состояний (5.5), (5.6), и систему S_{FG} можно поэтому выразить с точки зрения ее величин состояния в определенный момент времени как систему состояний

$$\mathbf{S}_{FG} = \{\mathbf{Z}_{FG}, \mathbf{R}_{FG}\}. \tag{5.10}$$

Таким же образом с помощью величин состояния можно выразить и ее отдельные подсубсистемы Sa_k как подсубсистемы состояний

$$\mathbf{S}a_k = \{\mathbf{Z}a_k, \mathbf{R}a_k\} \tag{5.11}$$

для отдельных $k = 1, 2, 3, 4, 5$.

Так как рельеф мы характеризовали как форму с помощью множества количественных показателей **Q** в каждой его точке **P**(x, y, z), то, принимая во внимание, что между его показателями существуют взаимные функциональные связи и зависимости, будем считать его особой подсубсистемой состояний $\mathbf{S}_{RF}$ системы состояний $\mathbf{S}_{FG}$ (5.10).

5.1. Временной аспект в системе S_{FG}. С точки зрения цели нашего исследования, то есть с точки зрения управления физико-географической сферой как кибернетической системой, мы можем понимать состояния этой системы, исходя из двух основных критериев времени, причем в первом из них представляется возможным детальнее выделить два временны́х аспекта. Первым является временной критерий повторяющихся состояний физико-географической сферы как относительно замкнутых трансформа-

ций. Оператором этих трансформаций мы рассматриваем изменение угловой высоты Солнца. Этот критерий может быть в целях детализации подразделен на две составляющие.

Одна из них образует временной аспект при изучении состояний физико-географической сферы в течение любого избранного дня (части дня), причем один день с точки зрения хода значений величин состояний можно рассматривать как относительно замкнутый цикл состояний и соответственно как относительно замкнутую трансформацию. Исходя из такого понимания, обозначим время символом τ, а в качестве основной дискретной единицы времени, влияющей на изменение значений величин состояний системы S_{FG}, выберем интервал $\Delta\tau = 15$ минут (может быть, и меньше). Другую составляющую образует изучение состояний системы S_{FG} в течение одного года, который можно считать более высоким, относительно замкнутым циклом состояний, соответственно относительно замкнутой трансформацией. Время здесь обозначаем символом t, а за основную дискретную единицу времени Δt принимаем день ($\Delta t = 1$ дню).

Вторым критерием служит изучение изменений и состояний системы S_{FG} в течение ее долговременных периодов эволюции за n лет, то есть долговременный критерий развития этой системы. Обозначим его символом $\mathbf{T}$ и за основную единицу времени $\Delta\mathbf{T}$ возьмем 1 год ($\Delta\mathbf{T} = 1$ год).

Отметим, что приведенные критерии являются своего рода рабочей гипотезой с точки зрения исследования частоты состояний значений величин внутренних состояний системы S_{FG}.

Как уже указывалось, при рассмотрении временны́х изменений состояния системы S_{FG} в течение одного дня время обозначалось символом τ, а основной оператор этой трансформации (изменение угловой высоты Солнца) — символом $\delta\odot$, который для любого выбранного дня мы принимали за константу. Более детализованным специфическим оператором этой трансформации является изменение высоты Солнца над горизонтом в течение дня ($h\odot$) (то есть оператором служит вращение Земли вокруг оси). При условии, что за основной шаг времени избираем $\Delta\tau_n = 15$ мин, получим

$$\Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \cdots + \Delta\tau_{96} = \sum_{i=1}^{i=96} \Delta\tau_i.$$

Состояние отдельных элементов подсубсистем Sa_k, так же как и всей системы S_{FG}, в течение каждого дня D_1, D_2,... D_{365} повторяются, однако значения величин их внутренних состояний неодинаковы. В течение каждого дня возникает так называемый остаточный, или резидуальный, вектор состояний $\Delta z\tau$, на величину которого от одного дня к другому меняются состояния (рис. 12а). На рис. 12а жирной

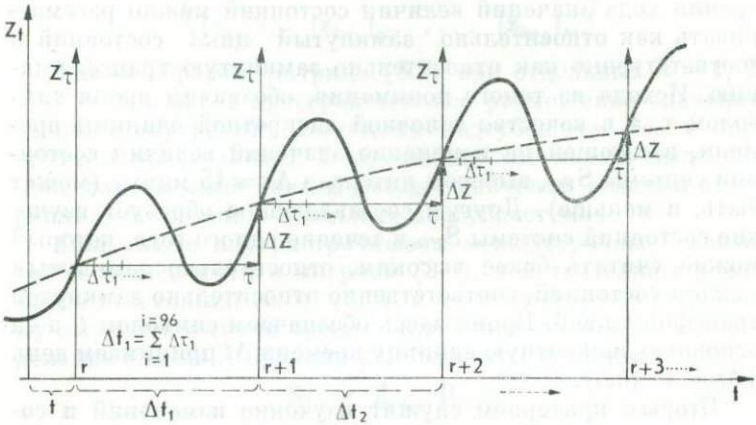


Рис. 12а.

линией показан идеализированный ход величин состояния в течение трех последовательных дней; показан и резидуальный вектор $\Delta z\tau$.

Отметим, что ход значений величин состояния элементов системы S_{FG} имеет стохастический характер, поэтому стохастический характер имеет и значение резидуального вектора $\Delta z\tau$. Действительный ход состояний отличается от идеального, теоретического. Размер их отклонений для каждого выбранного дня можно выразить с помощью показателя степени энтропии. Этому посвящена самостоятельная работа. Для выбранного дня $D_s (s = 1, 2, 3,... 365)$ выразим множество значений величин внутренних состояний при выбранном шаге времени $\Delta\tau_i$ $(i = 1, 2, 3,... 96)$ в виде

$$Z_k < \tau + \Delta\tau_i >_{Ds} = \{[Z_k < \tau + \Delta\tau_i >_n]\}_{Ds}, \qquad (5.1.1)$$

где значение или величина τ означает время, которое прошло от первого шага, то есть

$$\tau = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \cdots + \Delta\tau_{i-1},$$

где $(k = 1, 2, 3, 4, 5; s = 1, 2, 3, ... 365)$.

При определенном времени τ элементы матрицы (5.3) относятся к этому времени и выражаются с помощью (5.1.1), так же и пространственное размещение величин внутренних состояний и их значений в течение времени $\tau+\Delta\tau_i$ для выбранного дня может быть в дискретном пространстве описано матрицей (5.9).

Исследование этого временно́го критерия имеет значение как для изучения резидуального вектора $\Delta z\tau$ и его пространственного размещения, так и для краткосрочного прогноза изменения состояний системы S_{FG} и их пространственного размещения.

На рис. 12а жирной прерывистой линией вычерчен идеализированный ход состояний за один год (критерий времени t). Оператором этих трансформаций является угловая высота Солнца $\delta\odot$ обусловленная наклоном земной оси к плоскости орбиты Земли и вращением Земли вокруг Солнца. Состояния системы S_{FG}, характеризующие для выбранного места отдельные времена года, каждый год повторяются, причем имеют стохастический характер. В этой трансформации мы не рассматриваем повторяемость состояний в отдельные дни, а учитываем лишь равнодействующую состояний за каждый день как резидуальные векторы $\Delta z\tau$. Эта равнодействующая состояний на рис. 12а обозначена жирной штриховой линией. Основной единицей времени является день ($\Delta t = 1$ дню), так что

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 + \cdots + \Delta t_{365} = \sum_{i=1}^{365} \Delta t_i.$$

Каждодневные состояния системы S_{FG} зависят, с одной стороны, от значений входов на этот день, а с другой стороны, от величин внутренних состояний, как равнодействующих предыдущих состояний.

Множество величин внутренних состояний в матрице (5.3) выразим применительно к этим условиям для определенного дня:

$$Z_k(t+\Delta t_i) = [[Z_k(t+\Delta_i t)]_n]. \qquad (5.1.2)$$

Здесь величина $t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots + \Delta t_{i-1}$ означает время в днях, которое прошло от выбранного начала отсчета.

Один год, как относительно замкнутую трансформацию, можно выразить и в форме, предлагаемой в работе [4]. В качестве ее элементов возьмем, например, отдельные сезоны года, характерные для выбранного места. Пусть это

буду: весна (J), лето (L), осень (N), зима (Z); трансформаци/ в этих случаях может быть изображена в виде

$$T: \downarrow \begin{matrix} J & L & N & Z \\ L & N & Z & J \end{matrix} \qquad (5.1.3)$$

или в матричной форме:

↓	J	L	N	Z
J	0	0	0	1
L	1	0	0	0
N	0	1	0	0
Z	0	0	1	0

Каждый ее элемент J, L, N, Z охарактеризован повторяемостью определенных значений состояний системы $\mathbf{S}_{FG}$. Если бы состояния в течение каждого года точно повторялись, тогда один год был бы совершенно замкнутой трансформацией и резидуальный вектор $\Delta \mathbf{z}_t$ имел нулевое значение. Система $\mathbf{S}_{FG}$ постепенно достигла бы состояния равновесия и при неизменных условиях сохранила это равновесное состояние. Достичь этого состояния можно было бы в случае, когда все подсубсистемы $\mathbf{S}a_k$ пришли бы в состояние равновесия, то есть общее состояние равновесия системы $\mathbf{S}_{FG}$ наступило бы в тот момент времени, в который достигли бы этого состояния все подсубсистемы $\mathrm{S}a_k$.

В другом критерии времени (T) основной единицей времени является один год ($\Delta T = 1$ году). Ход состояний $\mathbf{Z}_{FG}$ (5.3), (5,5) системы $\mathbf{S}_{FG}$ можно выразить здесь с помощью резидуальных векторов за каждый отдельный год ΔT, где $\Delta T = \Sigma \Delta t = t$. Это показано на рис. 12б, где вычерчен ход состояний в каждом отдельном году с конечными резидуальными векторами состояний на примере 6 лет и ход конечных состояний системы $\mathbf{S}_{FG}$, характеризующих ее долговременное развитие.

Общее состояние системы $\mathbf{S}_{FG}$ за время $T + \Delta T_i$ охарактеризовано множеством величин внутренних состояний:

$$\mathbf{Z}_k(T + \Delta T_i) = [(Z_k(T + \Delta T_i)]_n], \qquad (5.1.4)$$

где величина $T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \ldots + \Delta T_{i-1}$ выражает время, которое прошло от первого выбранного шага.

При избрании в качестве меры времени T элементы матрицы (5.3) относятся к этому времени. Система $\mathbf{S}_{FG}$

в ходе времени T *при установившихся* условиях от первого шага, когда эти условия начали действовать, стремится к некоторому конечному состоянию равновесия. Проблематику условий, нарушений и изменений в физико-географической среде в результате вмешательств *извне мы* рассматривали в предыдущей работе [9].

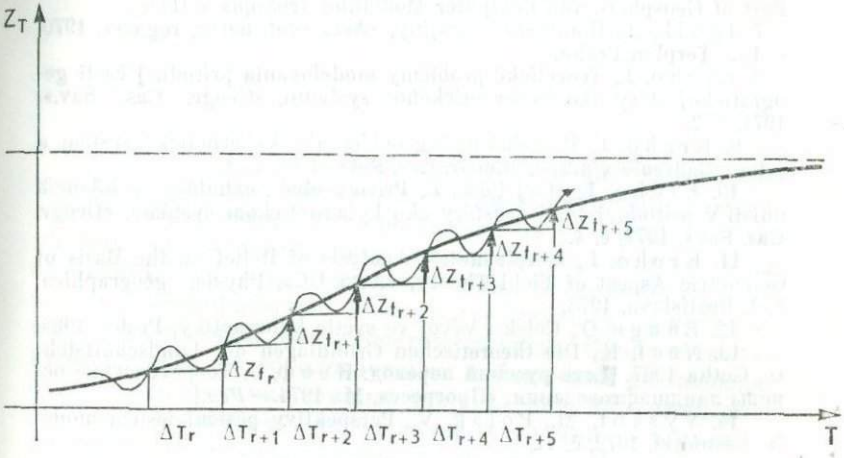


Рис. 12б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе мы хотели показать значение системно-кибернетического подхода к физико-географической среде с точки зрения познания ее структуры, пространственной *организации и дифференциации* для последующего моделирования системы S_{FG}. Одновременно с помощью матриц структуры мы попытались показать, что структура системы S_{FG} совершенно иная, нежели структура ее отдельных подсубсистем Sa_k, *что важно для точного разграничения* предмета исследования отдельных землеведческих дисциплин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд, А. Д. Природные комплексы как саморегулируемые системы, «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1966, № 2.

2. Арманд, А. Д., Использование теории информации для моделирования природных систем, «Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока», 1972, № 34.

3. Арманд, А. Д., Метод информационных градиентов в географическом районировании, «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1973, № 3.
4. Ashby, R. W., Kybernetika, Praha, 1961.
5. Девдариани, А. С., Грейсух, В. Л., Роль кибернетических методов в изучении и преобразовании природных комплексов, «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1967, № 6.
6. Haverlík, I., Krcho, J., Spatial Organisation in Natural Part of Geosphere and Computer Modelling (rukopis v tlači).
7. Jeník, J., Homeostase krajiny, «Acta ecol. natur, region», 1970, č. 1, 2, Terplan Praha.
8. Krcho, J., Teoretické problémy modelovania prírodnej časti geografickej sféry ako kybernetického systému, «Geogr. Čas. Sav.», 1971, č. 2.
9. Krcho, J., Prírodná časť geosféry ako kybernetický systém a jeho vyjadrenie v mape, «Geogr. Čas. Sav», 1968, č. 2.
10. Krcho, J., Hajdúk, J., Priemyselné exhaláty a bilancia imisií v prírodnej časti geosféry ako kybernetickom systéme, «Geogr. Čas. Sav», 1972, č. 4.
11. Krcho, J., Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory, «Acta UC», Physic. geographica, č. 1, Bratislava, 1973.
12. Lange, O., Celek i vývoj ve světle kybernetiky, Praha, 1964.
13. Neef, E., Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Gotha 1967. [Есть русский перевод: Неефф, Э. Теоретические основы ландшафтоведения, «Прогресс», М., 1974.— *Ред.*]
14. Vyskot, M., Polák, V., Perspektivy pěstění lesu a modely, Lesnictví, 1972, č. 11.

Климатологическое исследование баланса энергии в системе город—человек[1]

ВЕРНЕР Х. ТЕРЬЯНГ И СОТРУДНИКИ

Многие географы видят содержание и задачу современной климатологии в фиксации и осреднении стандартных метеорологических данных. Однако, какими бы статистически утонченными ни были анализы, основанные на этих показателях, они затемняют существенные географические особенности явлений, приуроченных к различным поверхностям раздела. Существующая ныне система метеорологических наблюдений не позволяет ответить на такие важные вопросы, как, например, взаимосвязь процессов, определяющих влияние климата на урожайность, на экосистемы, на человека. При производстве наблюдений метеорологи стремятся избежать локальных влияний со стороны растительности, почв, строений, в то время как для выяснения сложных взаимосвязей между климатическими, физическими и биологическими процессами вблизи поверхностей раздела атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы необходимы именно такие измерения, которые учитывают эти влияния.

Согласно современным представлениям, индивидуальность климата определяется характером потока энергии, вещества (например, влаги, CO_2) и количества движения между подстилающей поверхностью, небесным сводом, или эпидермисом, и атмосферой [2]. Процессы, протекающие на этих поверхностях раздела, часто никак не отражаются на уровне стандартной метеобудки. Разнообразные балансы между приходящими и уходящими потоками теп-

---

[1] Werner H. Terjung and collaborators. The Energy Balance Climatology of a City — Man System, Annals of the Association of American Geographers, Volume 60, № 3, September 1970, p. 466—492 [1]. [Все примечания авторов, указанные цифровым индексом, вынесены в конец статьи.— *Прим. ред.*]

ла и влаги являются главными детерминантами «климата».

Поскольку почти все физические и биологические процессы связаны с использованием, преобразованием и переносом энергии, изучение этих вопросов имеет исключительное значение для физической географии в целом и биогеографии от микро- до макроуровня [3]. При исследовании бюджетов тепла и влаги растений, животных, обнаженных поверхностей или человека используют одну и ту же методику, так как законы сохранения энергии и массы одинаково применимы ко всем этим категориям. Установление подобных закономерностей представляет значительный интерес и для экономической географии, ибо человек при освоении и использовании земли постоянно изменяет ее поверхность и баланс энергии и влаги [4].

Тем не менее крупномасштабные климатологические исследования специфических поверхностей городского ландшафта практически отсутствуют. Почти все исследования по климатологии города сводятся к наблюдению и анализу традиционных параметров: температуры воздуха, влажности, ветра [5]. Для изучения бюджетов влаги и энергии поверхностей города необходимы совершенно иные характеристики, что связано с большим разнообразием шероховатости этих поверхностей и их радиационных свойств, относительной непроницаемостью, быстрым высыханием после увлажнения, высокими значениями альбедо, большой теплоемкостью и большими величинами поступлений тепла и загрязнения. Отсутствие охлаждения за счет процесса испарения приводит к увеличению энергии, идущей на нагревание воздуха, мостовых и зданий.

Несмотря на уникальность поверхностей города как интенсивного преобразователя энергии и вещества, существует лишь незначительное число количественных данных, необходимых для исследования подобных бюджетов энергии; полный же климатический бюджет энергии города пока еще никем не вычислялся [6, 7, 8, 9].

Проблема создания климатологии нового типа, которая не зависела бы слепо от данных, собираемых метеорологами, а занималась наблюдениями, имеющими большую ценность для географа, представляет трудную, но требующую решения задачу. Поскольку создание регулярной сети для сбора данных «нужного» типа в ближайшем будущем не предвидится, мы предлагаем в качестве возможного рабочего варианта систему исследований, направленных

на классификацию превалирующих типов синоптических ситуаций в связи с их влиянием на бюджет энергии и влаги различных поверхностей. Такие динамические погодные системы можно было бы рассматривать как подвижные экологические «возмущения», прохождение которых вызывает изменение экологической ткани (ecological fabric) Земли. Каждая из этих подвижных систем имеет свой бюджет энергии и влаги и часто вызывает разнообразные нарушения ритма нашей жизни. Необходимо создать перечни ряда различных «типовых» систем. При таком более общем подходе устраняются недостатки, обусловленные неправомерной концентрацией внимания на исследовании какого-либо отдельного параметра (например, солнечной радиации или загрязнения воздуха) при одновременном пренебрежении другими географическими реальностями. Построив подобную схему (для города и любых других важных поверхностей), мы сможем делать более обоснованные прогнозы появления синоптических ситуаций того или иного типа, уже случавшихся в прошлом, заблаговременно подготавливаться к встрече с ними.

СИНОПТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

В Южной Калифорнии наиболее часты следующие синоптические ситуации: 1) квазипостоянные антициклоны восточной части Тихого океана, 2) теплые антициклоны Большого бассейна, 3) ветры Санта-Ана, 4) фронты и циклоны, 5) высотные ложбины и гребни и 6) вихри Каталина [10].

Данная работа представляет результат исследований одного из этих типов погоды, а именно вихря Каталина, наблюдаемого в районе Лос-Анджелеса во время теплого сезона. Этот локализованный циклонический вихрь получил свое название в связи с тем, что он часто центрируется в районе о. Санта-Каталина, расположенного у берегов Южной Калифорнии. Несмотря на разногласия среди метеорологов по поводу причины возникновения вихря Каталина, обычно считается, что его образованию способствует характер расположения прибрежных гор по отношению к господствующим ветрам. В связи с тем что береговая линия, простирающаяся севернее мыса Консепсьон с севера на юг, к югу от него меняет направление

на широтное, влияние берегового горного барьера на воздушные потоки изменяется: северо-западные ветры у наветренной стороны этой орографической линии местами переходят в южные. Это вызывает конвергенцию и восхождение мощного слоя морского воздуха, в результате чего днем над всем районом Лос-Анджелеса распространяется покров слоистых облаков (высокослоистые в день наблюдения) [11].

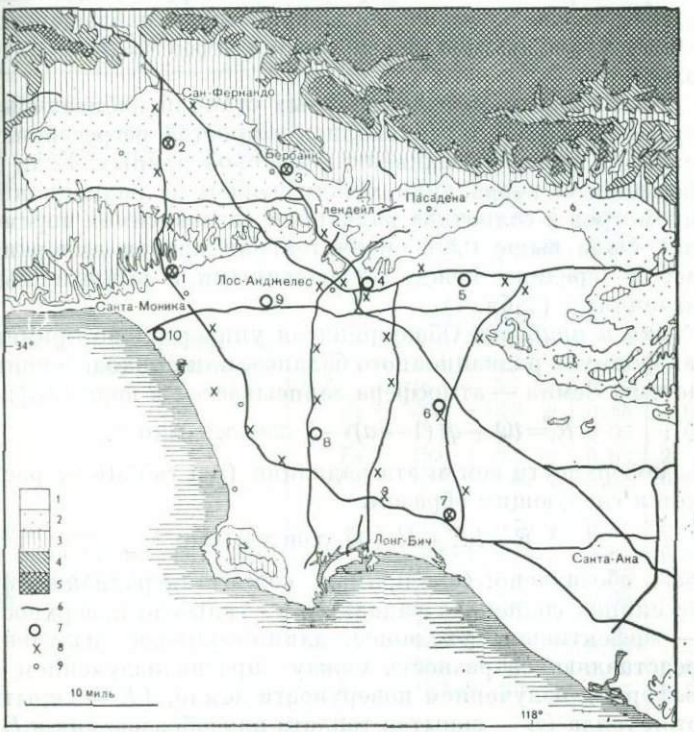
Данная работа является продолжением предыдущего исследования, в котором сделана попытка оценить некоторые из основных компонентов энергетического баланса для небольшого участка в деловом районе Лос-Анджелеса и изучить возможность климатологического описания энергобаланса города путем наблюдения лишь сравнительно малого его участка [12]. Один из полученных выводов заключался в том, что исследования такого крупного масштаба в настоящее время крайне неэффективны с точки зрения использования приборов и исследовательского труда. 15 сентября 1968 года было проведено новое исследование по климатологии города, охватившее, в противоположность прежнему, обширную территорию, которая включала в себя практически весь метрополитенский район Лос-Анджелеса. Измерения проводились весь день, начавшись перед восходом и закончившись незадолго до захода Солнца.

МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ

Исследуемый район простирается примерно на 40 км с востока на запад и на 50 км с севера на юг. Он почти полностью занят городами и пригородами. Здесь расположились небоскребы оффисов, территории, занятые промышленными предприятиями, торговые центры, склады, автострады, стоянки атомобилей, жилые многоквартирные дома и отдельные особняки. Горизонталь 300 м примерно оконтуривает основной район урбанизации (рис. 1).

Методика полевых наблюдений и сбора данных. Район Лос-Анджелеса был покрыт сетью точек наблюдения. Температуры по сухому и смоченному термометрам регистрировались в 26 точках, компоненты энергетического баланса и радиационные температуры — в 10, данные по загрязнению воздуха собраны на 9 станциях контрольного района наблюдений за загрязнением воздуха (рис. 2). Наблю-

дения за температурой выполнялись с шести автомобилей (три на севере и три на юге района), которые беспрерывно повторяли свои маршруты в течение светлого времени суток; отсчеты брались на ряде остановок. Фиксировалось



Р и с. 1. Район Лос-Анджелеса.

1 — 0—500 футов (0—152 м); 2 — 500—1000 футов (152—305 м); 3 — 1000—2000 футов (305—609 м); 4 — 2000—3000 футов (609—914 м); 5 — 3000—5000 футов (914—1525 м); 6 — *автострады*; 7 — *пункты наблюдений (пронумерованы)* составляющих энергобаланса; 8 — пункты наблюдений за температурой воздуха; 9 — пункты наблюдений за загрязнением воздуха.

точное время отсчетов, которые наносились на графики и соединялись прямой линией. Таким способом выполнялась интерполяция последовательных значений величин, *зарегистрированных на каждой станции* на какой-либо общий момент времени между посещениями. Указанная методика была опробована несколько раз в предшествующий

подготовительный период. Она достаточно надежна при однородных условиях погоды. Седьмой автомобиль, оснащенный необходимыми для радиационных измерений приборами, перемещался в радиусе 190 км между десятью пунктами. На полный «энергетический круг» уходило около трех часов времени, тогда как точки наблюдений за температурой посещались примерно через часовые интервалы.

Данные всех 10 радиационных станций набивались на перфокарты IBM и запускались в простой регрессионный анализ с целью сглаживания графиков данных. Если коэффициенты корреляции между любым из радиационных параметров и солнечной радиацией (независимая переменная) были выше 0,80, окончательная кривая вычерчивалась по средним между наблюденными и вычисленными значениями (табл. 1).

Теория и приборы. Общепринятая универсально применимая формула радиационного баланса, или прихода энергии, системы Земля — атмосфера записывается в виде [13]:

$$R=(Q+q)(1-a)-I \text{ ланглей}\cdot\text{мин}^{-1}. \quad (1)$$

На поверхности земли эта радиация (net radiation) расходуется следующим образом:

$$R=LE+H+G \text{ ланглей}\cdot\text{мин}^{-1}. \quad (2)$$

Здесь обозначено: Q — прямая солнечная радиация, q — рассеянная солнечная радиация, a — альбедо поверхности, I — эффективное уходящее длинноволновое излучение, представляющее разность между противоизлучением атмосферы и излучением поверхности земли, LE — скрытый поток тепла (L — скрытая теплота парообразования и E — величина испарения), или количество энергии, затрачиваемой на испарение, H — ощутимый поток тепла, или количество энергии, расходуемой на нагревание воздуха, G — поток тепла от подстилающей поверхности к нижележащим слоям, или запас энергии в почве.

Какие-либо другие значимые потоки энергии и влаги отсутствуют [14]. Уравнение (2), которое часто называют уравнением теплового баланса, применимо к любой поверхности, в любом месте и в любое время. Чтобы балансовый метод не противоречил закону сохранения вещества и энергии, все величины прихода и расхода энергии в уравнениях (1) и (2) должны измеряться независимо одна от

Таблица 1

Корреляция данных по отдельным станциям, где измерялась солнечная радиация

Станция	Уравнение регрессии	r*	SE**
Сансет (1) 4,5 мили от океана, высота 500 футов над уровнем моря	$R = -0{,}01 + 0{,}62\ q$	0,97	0,05
	$G = 0{,}01 + 0{,}05\ q$	0,96	0,01
	$T_s = 22{,}0 + 13{,}5\ q$	0,96	1,27
	$T_{sky} = 16{,}3 + 8{,}7\ q$	0,99	0,28
	$T_t = 20{,}1 + 10{,}4\ q$	0,97	0,93
	$T_e = 18{,}2 + 9{,}6\ q$	0,99	0,56
	$T_d = 18{,}5 + 4{,}3\ q$	0,96	0,43
	$T_w = 16{,}6 + 1{,}7\ q$	0,94	0,21
Роско (2) 13,5 мили от океана, высота 300 футов над уровнем моря	$R = -0{,}05 + 0{,}62\ q$	0,97	0,07
	$G = 0{,}01 + 0{,}08\ q$	0,70	0,04
	$T_s = 21{,}4 + 14{,}7\ q$	0,89	3,39
	$T_{sky} = 16{,}4 + 5{,}7\ q$	0,89	1,29
	$T_t = 20{,}5 + 12{,}9\ q$	0,88	3,03
	$T_e = 18{,}5 + 9{,}3\ q$	0,97	1,03
	$T_d = 19{,}0 + 3{,}8\ q$	0,62	2,14
	$T_w = 15{,}4 + 1{,}8\ q$	0,68	0,89
Бербанк (3) 16,0 мили от океана, высота 600 футов над уровнем моря	$R = -0{,}04 + 0{,}50\ q$	0,97	0,06
	$G = -0{,}04 + 0{,}13\ q$	0,86	0,04
	$T_s = 21{,}5 + 13{,}3\ q$	0,95	2,21
	$T_{sky} = 15{,}3 + 8{,}2\ q$	0,99	0,43
	$T_t = 19{,}9 + 9{,}8\ q$	0,98	1,10
	$T_e = 17{,}3 + 7{,}9\ q$	0,93	1,50
	$T_d = 18{,}8 + 3{,}7\ q$	0,90	0,86
	$T_w = 15{,}4 + 1{,}9\ q$	0,87	0,52
Мишен (4) 15,5 мили от океана, высота 300 футов над уровнем моря	$R = -0{,}02 + 0{,}53\ q$	0,98	0,02
	$G = -0{,}03 + 0{,}12\ q$	0,69	0,02
	$T_s = 20{,}4 + 18{,}9\ q$	0,98	0,69
	$T_{sky} = 15{,}6 + 10{,}1\ q$	0,97	0,39
	$T_t = 19{,}7 + 16{,}3\ q$	0,96	0,72
	$T_e = 17{,}7 + 13{,}2\ q$	0,97	0,49
	$T_d = 19{,}2 + 5{,}6\ q$	0,94	0,33
	$T_w = 15{,}4 + 4{,}6\ q$	0,95	0,23
Розмед (5) 22,0 мили от океана, высота 275 футов над уровнем моря	$R = -0{,}05 + 0{,}67\ q$	0,95	0,03
	$G = -0{,}03 + 0{,}31\ q$	0,89	0,02
	$T_s = 18{,}5 + 30{,}8\ q$	0,98	0,87
	$T_{sky} = 15{,}1 + 12{,}5\ q$	0,99	0,21
	$T_t = 17{,}5 + 20{,}9\ q$	0,98	0,50
	$T_e = 16{,}3 + 16{,}7\ q$	0,99	0,26
	$T_d = 17{,}8 + 10{,}8\ q$	0,90	0,69
	$T_w = 15{,}2 + 5{,}7\ q$	0,86	0,45

Станция	Уравнение регрессии	r*	SE**
Файрстоун (6) 12,0 мили от океана, высота 105 футов над уровнем моря	$R = -0{,}08+0{,}62\ q$	0,99	0,01
	$G = -0{,}02+0{,}08\ q$	0,54	0,03
	$T_s = 25{,}9 +8{,}3\ q$	0,52	2,75
	$T_{sky} = 16{,}3 +7{,}8\ q$	0,92	0,65
	$T_t = 21{,}2 +9{,}6\ q$	0,73	1,82
	$T_e = 18{,}7 +8{,}6\ q$	0,82	1,24
	$T_d = 20{,}9 +3{,}0\ q$	0,43	1,27
	$T_w = 17{,}1 +1{,}2\ q$	0,39	0,55
Пало-Верде (7) 3,3 мили от океана, высота 17 футов над уровнем моря	$R = -0{,}04+ 0{,}45\ q$	0,93	0,03
	$G = -0{,}01+ 0{,}01\ q$	0,09	0,01
	$T_s = 21{,}0 +20{,}4\ q$	0,79	2,77
	$T_{sky} = 15{,}6 + 6{,}5\ q$	0,81	0,84
	$T_t = 20{,}4 +16{,}9\ q$	0,83	1,99
	$T_e = 18{,}0 +11{,}7\ q$	0,95	0,66
	$T_d = 19{,}8 + 4{,}8\ q$	0,85	0,51
	$T_w = 16{,}8 + 3{,}3\ q$	0,87	0,34
Розкранс (8) 7,2 мили от океана, высота 70 футов над уровнем моря	$R = 0{,}03+ 0{,}30\ q$	0,74	0,06
	$G = -0{,}02+ 0{,}11\ q$	0,95	0,01
	$T_s = 19{,}6 +19{,}7\ q$	0,91	2,12
	$T_{sky} = 15{,}0 + 4{,}9\ q$	0,77	0,96
	$T_t = 18{,}9 +12{,}1\ q$	0,84	1,88
	$T_e = 16{,}9 + 8{,}5\ q$	0,95	0,68
	$T_d = 19{,}7 + 2{,}7\ q$	0,83	0,42
	$T_w = 16{,}6 + 2{,}5\ q$	0,92	0,25
Креншо (9) 8,6 мили от океана, высота 110 футов над уровнем моря	$R = -0{,}10+ 0{,}55\ q$	0,99	0,01
	$G = 0{,}04+ 0{,}04\ q$	0,33	0,03
	$T_s = 17{,}4 +24{,}5\ q$	0,95	1,23
	$T_{sky} = 14{,}4 +12{,}7\ q$	0,95	0,66
	$T_t = 18{,}2 +19{,}3\ q$	0,96	0,91
	$T_e = 16{,}3 +16{,}0\ q$	0,97	0,64
	$T_d = 19{,}8 + 3{,}2\ q$	0,75	0,44
	$T_w = 15{,}4 + 4{,}6\ q$	0,90	0,36
Линкольн (10) 0,8 мили от океана, высота 90 футов над уровнем моря	$R = -0{,}05+ 0{,}56\ q$	0,93	0,03
	$G = -0{,}03+ 0{,}13\ q$	0,59	0,02
	$T_s = 23{,}0 +19{,}0\ q$	0,70	2,69
	$T_{sky} = 14{,}4 +13{,}9\ q$	0,99	0,08
	$T_t = 20{,}9 +14{,}9\ q$	0,87	1,14
	$T_e = 17{,}7 +14{,}3\ q$	0,96	0,55
	$T_d = 19{,}2 + 3{,}4\ q$	0,86	0,27
	$T_w = 16{,}1 + 4{,}2\ q$	0,90	0,28

* r—коэффициент корреляции.
** SE — стандартное отклонение оценки.

другой: в этом случае они позволяют контролировать степень точности наблюдений. К счастью, это легче осуществить при изучении именно городских, а не природных поверхностей.

Суммарная радиация $(Q+q)$ измерялась с помощью пиранометра Эпли с 50 спаями термобатарей и углом обзора 180°. Пиранометр измеряет суммарную коротковолновую радиацию с длинами волн менее 4 микрон (мкм). Сигнал с выхода датчика поступает в портативный микровольт-милливольтный регистратор, в котором используется принцип фотоэлектрической обратной связи, что в сочетании с транзисторным усилителем позволяет получить линейный отклик на сигналы в микровольтном диапазоне. Этот же регистратор использовался при измерении потока тепла в почве. Регистратор питается от двадцативольтовой батареи постоянного тока. Перед наблюдениями это устройство калибровалось по пиранометру Эпли в международном аэропорту Лос-Анджелеса. Устойчивость градуировочного коэффициента составила $\pm 2\%$.

Значения альбедо можно получить, переворачивая пиранометр и определяя

$$\frac{(Q+q)\,a}{(Q+q)_h} \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \qquad (3)$$

где индекс h означает горизонтальную поверхность. В данном исследовании значения $(Q+q)a$ не измерялись, а выполнялась другая программа определений, включавшая наблюдения ряда асфальтовых и бетонных покрытий. Так как в период данного исследования солнце совершенно не проглядывало сквозь толстый покров слоистых облаков, можно считать, что $Q+q=q$, в связи с чем в данной работе записи $Q+q$ или q используются взаимозаменяемо.

Составляющие эффективного уходящего излучения I измерялись при помощи радиометра Столла-Харди с инфракрасным фильтром с покрытием из сернистого серебра, который пропускает лучистую энергию при длине волны $\leqslant 3$ мкм. Этот прибор измеряет величину инфракрасной радиации, приходящей от поля обзора в 20°, и в соответствии с законом Стефана-Больцмана дает температуру поверхности или предмета либо поток излучения от сектора неба [15]. Выход приемника, имеющего две пары термисторов толщиной 10 мкм, соединен с микроамперметром, позволяющим отсчитывать температуру в градусах Цель-

сия. Прибор часто калибровался с помощью кубика Лесли (Lieslie Cube). Одно из достоинств этого дорогостоящего прибора заключается в том, что он позволяет измерять истинную (а не обычную приближенную) температуру поверхности без физического контакта с поверхностью.

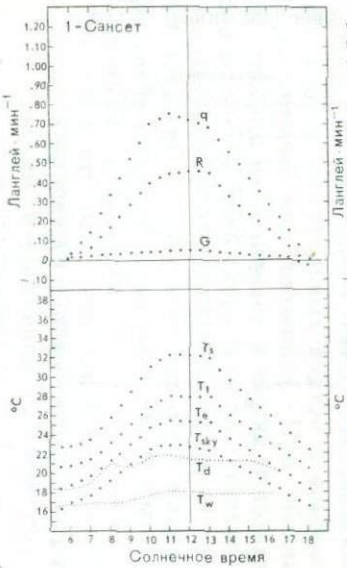
Эффективное уходящее излучение I можно определить как

$$I = I\uparrow - I\downarrow \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \qquad (4)$$

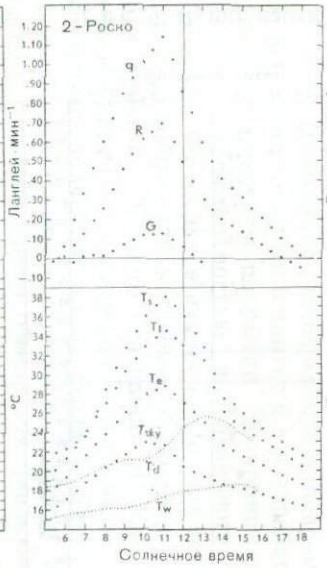
где $I\uparrow$ — земное длинноволновое излучение и $I\downarrow$ — противоизлучение атмосферы. Для получения последней величины выполнялись измерения радиационной температуры основных секторов небесного свода (север, юг, восток, запад, зенит). Радиационная температура неба соответствует температуре, которую должно было бы иметь черное тело, чтобы создать тепловое (инфракрасное) излучение, равное противоизлучению неба $I\downarrow$. После осреднения результатов наблюдений в пяти секторах неба получаем среднюю радиационную температуру неба. В соответствии с законом Стефана — Больцмана [16] она пересчитывалась в ланглей·мин$^{-1}$. Аналогичным образом получали истинную температуру поверхности различных дорожных покрытий — часть «температуры местности» (terrain temperature), — которую пересчитывали в величины земного излучения $I\uparrow$. Остаточную радиацию, или радиационный баланс земной поверхности (net radiation), можно определить по уравнению (1).

Остаточную радиацию измеряли непосредственно при помощи приемной термобатареи, защищенной двумя полусферическими полиэтиленовыми колпаками и соединенной с портативным регистратором. *Возможная ошибка* устройства составляет примерно $\pm 5\%$.

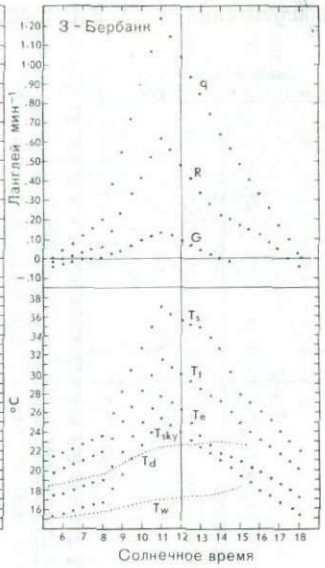
Поток тепла от подстилающей поверхности к нижележащим слоям, *или поток тепла в почве*, G, измеряли с помощью специального воспринимающего диска. Разность температур верхней и нижней поверхности такого диска пропорциональна этому потоку. Разница воспринимается заключенной в капсулу термобатареей, выход которой соединен с регистратором. Диаметр диска равен 25 мм при толщине 2,6 мм, что гарантирует минимум возмущения в среде, в которую он помещается. Воспринимающий диск устанавливался непосредственно под поверхностью почвы и параллельно ей, поскольку преследовалась цель полу-



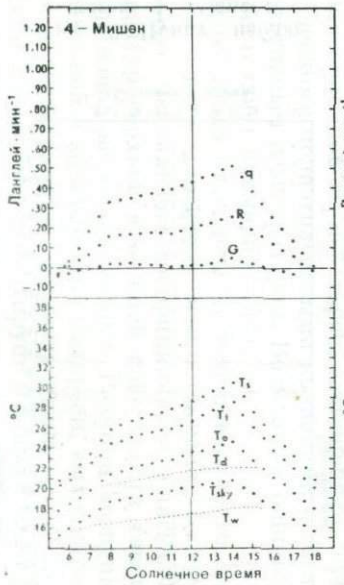
Р и с. 2. Пункт наблюдения 1 — Сансет



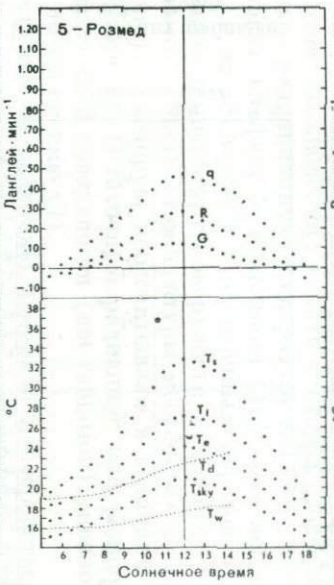
Р и с. 3. Пункт наблюдения 2 — Роско



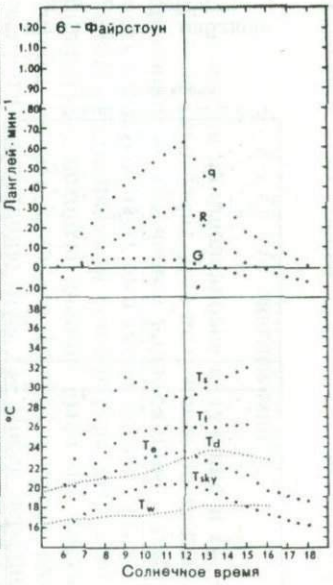
Р и с. 4. Пункт наблюдения 3 — Бербанк



Р и с. 5. Пункт наблюдения 4 — Мишен



Р и с. 6. Пункт наблюдения 5 — Розмед



Р и с. 7. Пункт наблюдения 6 — Файрстоун

чить значения потока, возможно более близкие к его величине на поверхности раздела.

Городская «поверхность раздела» создает особую проблему при определении G. После предварительных исследований было решено отобрать плитки дорожного покрытия типа «макадам» с ровными параллельными поверхностями, которые по своим характеристикам максимально приближаются к структуре, альбедо и теплопроводности «усредненных» асфальтово-бетонных поверхностей города. Эти плитки имели толщину примерно 40 мм и средний диаметр около 180 мм. Мы исходили из предположения, что такие плитки, помещенные в десяти пунктах, где регистрировались величины радиации, будут имитировать городские «поверхности». Например, деловой центр Лос-Анджелеса занят такими поверхностями на 85% ($\pm 5\%$), в то время как жилые районы покрыты ими только на 35% ($\pm 10\%$). На каждой станции с этой целью использовали две плитки. В процессе эксперимента одновременно сравнивались потоки энергии в плитке и в раздробленном и измельченном *дорожном покрытии. Воспринимающий* диск помещали под поверхностью измельченного материала, как это было бы в случае измерения потока тепла в почве. Оба потока наблюдали в течение нескольких часов в условиях яркого солнечного освещения. Полученный средний коэффициент расхождения между ними вводился в наблюденные значения потока тепла в почве. Последующие исследования показали, что в условиях яркого солнечного освещения важно обеспечить близкую аппроксимацию альбедо контрольных плиток к альбедо поверхности, на которой они находятся. При облачной погоде таких проблем не возникает и можно использовать почти любой материал, коль скоро известна степень отклонения его характеристик от характеристик естественной поверхности. Понятно, что эта методика обеспечивает получение лишь грубо приближенных величин, и поэтому в настоящее время она уточняется.

Так как *остаточная радиация* R *и поток тепла от подстилающей* поверхности к нижележащим слоям G известны из измерений, в уравнении (2) остается определить потоки скрытого и ощутимого тепла LE и H:

$$R - G = LE + H \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}. \quad (5)$$

Разделение LE и H выступило бы в качестве основной за-

дачи при увлажненной поверхности, когда для ее решения пришлось бы использовать отношение Боуэна (H/LE) [17]. Для этого потребовались бы очень чувствительные приборы [18]. К счастью, во время нашего исследования поверхности города были совершенно сухими в результате засухи, длившейся все лето. Поэтому мы были вправе предположить, что

$$R - G = H \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}. \quad (6)$$

Температуры по смоченному и сухому термометрам регистрировались при помощи обычных пращевых психрометров, хотя они и менее точны по сравнению с аспирационными психрометрами, способными воспринимать разницу температур в 0,2°С.

Для ясности данные, зафиксированные на физических поверхностях и на поверхности тела человека, приводятся раздельно.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ГОРОДА

Остаточная радиация R постоянно имела высокую корреляцию с q, а поток тепла в почве G — наименьшую корреляцию (табл. 1). Температуры по сухому и смоченному термометрам обычно имели низкие коэффициенты корреляции. Это не было неожиданным, поскольку поток G на обнаженных поверхностях обычно характеризуется большими величинами до полудня, тогда как температуры воздуха из-за косвенного нагрева его от поверхности раздела приобретают наибольшие значения после полудня. Изменения условий в голом дорожном покрытии происходят в точном соответствии с изменением остаточной радиации. Так как скорость, с которой тепло распространяется в горизонтах подстилающей поверхности, прямо пропорциональна вертикальному градиенту температуры между этими горизонтами, то после полудня отмечается больший градиент температуры, с чем связаны большие значения G.

Несмотря на довольно однородный облачный покров (по наблюдениям с Земли), солнечная радиация была больше в долине Сан-Фернандо (станции 2 и 3), чем в остальной части района Лос-Анджелеса (рис. 2—11). На станциях 1, 2 и 3 максимум солнечной радиации отмечался до

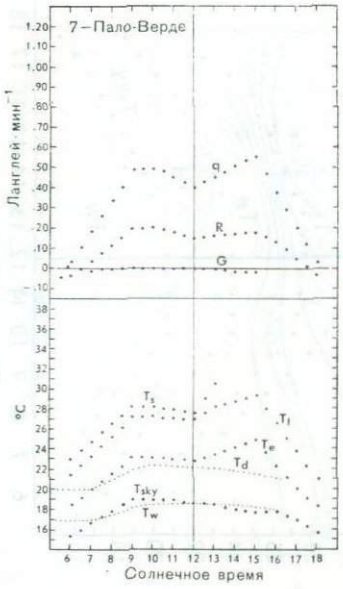


Рис. 8. Пункт наблюдения 7 — Пало-Верде

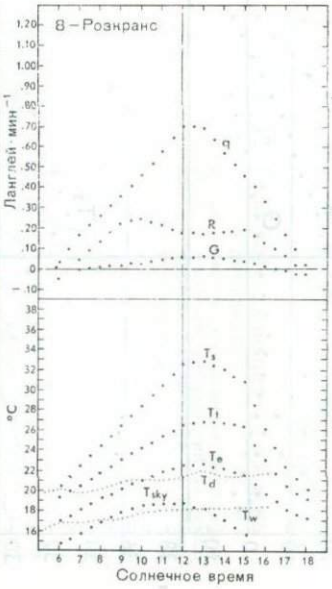


Рис. 9. Пункт наблюдения 8 — Розкранс

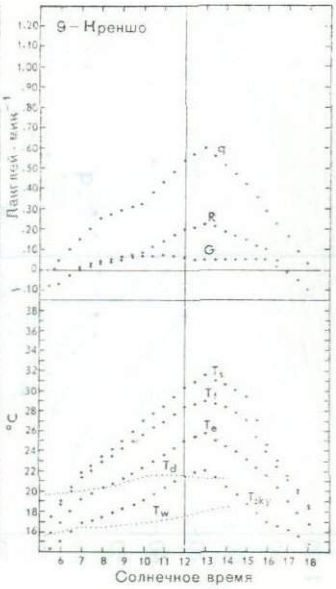


Рис. 10. Пункт наблюдения 9 — Креншо

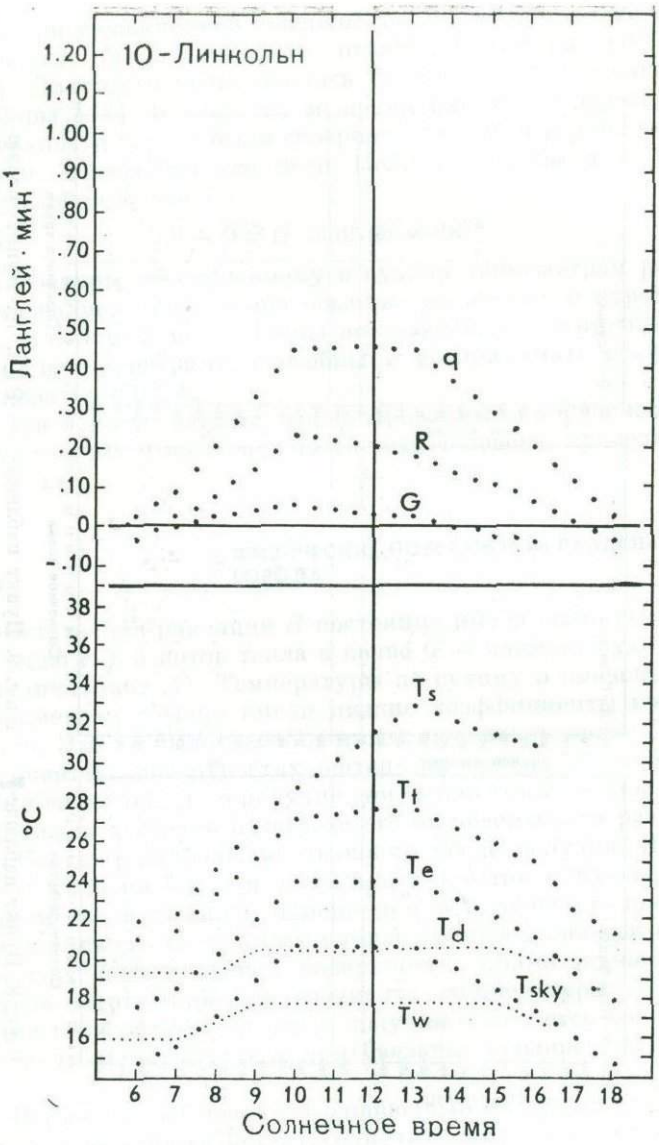


Рис. 11. Пункт наблюдения 10 — Линкольн

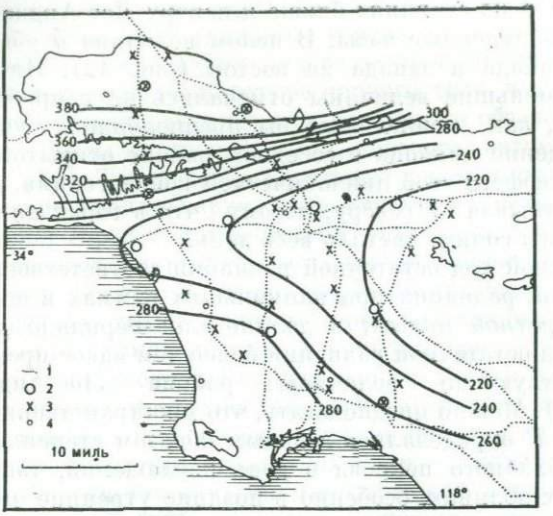


Рис. 12. Солнечная радиация (q за день в ланглеях).

1 — автострады; 2 — пункты наблюдения составляющих энергобаланса; 3 — пункты наблюдений за температурой воздуха; 4 — пункты наблюдений за загрязнением воздуха.

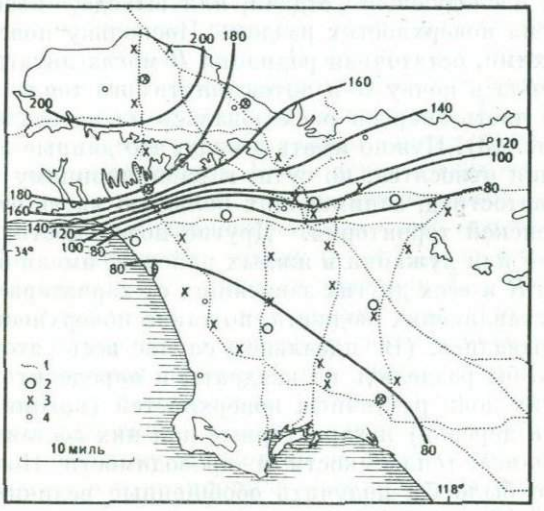


Рис. 13. Дневная остаточная радиация (R за день в ланглеях). Обозначения те же, что на рис. 12.

полудня, а на станциях ближе к центру Лос-Анджелеса — в послеполуденные часы. В целом величина q убывала с северо-запада и запада на восток (рис. 12). Интересно, что наименьшие величины отмечались не в прибрежных районах, как можно было бы предположить, учитывая прохождение циклона в соседнем районе открытого моря. Однако эффект этой циклонической конвергенции, видимо, быстро убывал к северу, потому что в горах на севере котловины солнце светило весь день.

Дневной ход остаточной радиации соответствовал ходу солнечной радиации при наименьших суммах в центральной широтной полосе; в долине Сан-Фернандо дневная величина остаточной радиации более чем вдвое превышала соответствующие величины района Лос-Анджелеса (рис. 13). Можно предполагать, что пространственные различия в R определялись главным образом степенью плотности облачного покрова в день наблюдений, так как в северных долинах, особенно в поздние утренние часы, облака выглядели наименее плотными [20].

Остаточная радиация поверхностей города — важнейшая статья полного энергетического бюджета, поскольку она показывает количество действительно «работающей» энергии. Тем самым она определяет верхний и нижний пределы последующей отдачи, или выхода, избыточной энергии на поверхностях раздела. Поскольку поверхности были сухими, остаточная радиация R могла питать только поток тепла в почву G и поток ощутимого тепла H. Наибольшая часть энергии расходовалась на нагревание воздуха (рис. 13). Нужно иметь в виду, что данные этого исследования относятся, по сути, к радиационному балансу улиц и автострад, занимающих большую часть этой метрополитенской территории. Другие поверхности, такие, как парки или лужайки в жилых районах, имели бы иные значения R и всех других зависящих от характера поверхности составляющих бюджета, но такие поверхности нами не учитывались. (В идеальном случае весь этот район следовало бы разделить на квадраты и определить в каждом из них доли различных поверхностей (крыши, бетон, асфальт и деревья) и характерные для них составляющие энергобаланса, теплоемкости и проводимости. После этого можно было бы получить обобщенные величины различных компонентов энергии, осредненных по всем квадратам).

Пытаясь получить параметры, наиболее хорошо описывающие поверхности реального города, мы определяли радиационную температуру подстилающей поверхности T_t, соответствующую температуре черного тела, чье тепловое излучение равно фактическому излучению объектов окружающей среды (строений, улиц, деревьев, автомобилей и людей) [21]. Такие данные регистрировались приемником радиометра Столла-Харди, направляемого в четыре основные точки городской территории. Для вычисления T_t полученные отсчеты, включая истинную температуру поверхности, осредняли. Температура T_t представляет гораздо более важную характеристику городских ландшафтов (напоминающих узкие долины и каньоны, леса и открытые пространства, усеянные огромными скалами и валунами), чем на ровных поверхностях с открытой линией горизонта, где направление обзора не играет никакой роли. Повышенная температура городских улиц — глубоких каньонов — объясняется отчасти многократным отражением от стен строений инфракрасного излучения поверхностей. Эффект города, как «теплового острова», особенно выраженный ночью, представляет, возможно, результат высоких T_t и энергии G, высвобождающейся из накопителей.

Аналогичной T_t величиной является радиационная температура неба T_{sky}, равная температуре черного тела, инфракрасное излучение которого равно излучению, приходящему от небесного свода. Инфракрасный приемник направляли в четыре основные точки неба и в зенит. Средняя величина из этих отсчетов принимается за T_{sky}. На радиационную температуру неба сильно влияют влажность воздуха и облачный покров. Более ясное и «сухое» небо всегда «холодное» и служит стоком для тепловой радиации. Из-за слоистого облачного покрова часто отмечаемая [22] обратная зависимость между Q и T_{sky} не имела места. В действительности высокие значения T_{sky} совпадали с высокими $q(r=0{,}85)$, и, чем меньше была плотность облаков (вследствие чего в атмосферу поступало большее количество солнечной энергии), тем выше были в этот день радиационные температуры неба. Неясно, каким образом проникающая сквозь облака солнечная радиация влияла на T_{sky}, поскольку эти потоки не зависят друг от друга.

Сочетание радиационной температуры подстилающей поверхности T_t и радиационной температуры неба T_{sky} в виде $0{,}5(T_{sky}+T_t)$ дает суммарную радиационную темпе-

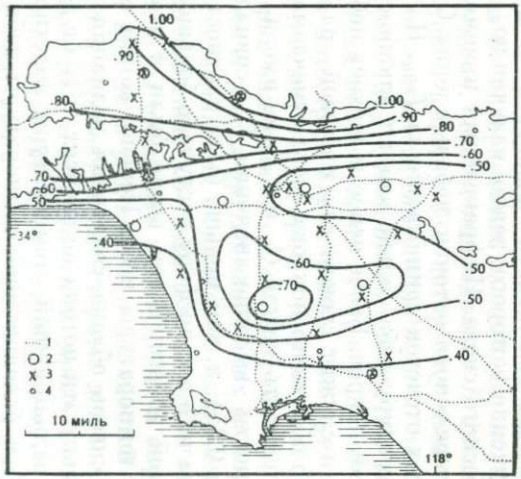


Рис. 14. Солнечная радиация в полдень (ланглей·мин$^{-1}$). Обозначения см. под рис. 12.

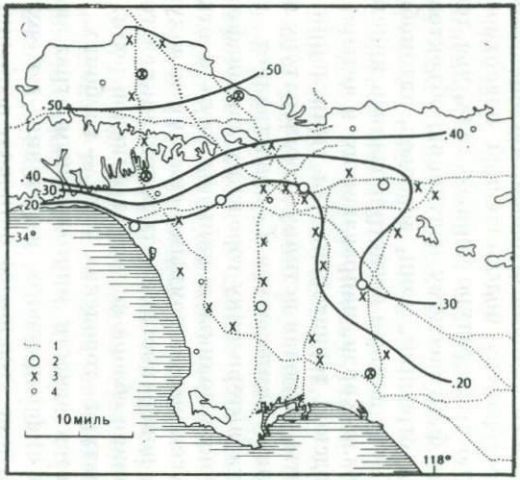


Рис. 15. Остаточная радиация в полдень (ланглей·мин$^{-1}$). Обозначения см. под рис. 12.

ратуру среды T_e (total environmental radiant temperature). Эта «температура» характеризует среднее инфракрасное излучение, которое падает на поверхность раздела, предмет или живой организм. Человек, здание, автомобиль или растение обмениваются радиацией друг с другом и средой в в целом. Например, радиационная температура тела человека определяется температурой его тела и радиационной температурой его окружения. Это в значительной мере определяет нагрев или потери тепла телом человека. Так, во время исследований в альпийской тундре на высоте 3600 м в середине июля в 6 часов утра T_d составляла примерно 8°С, тогда как температура среды были ниже нуля [23]. Температура воздуха T_d обнаруживает лишь слабую корреляцию ($r=0{,}78$) с экологически значимой радиационной температурой среды. В ранние часы утром и вечером T_e была ниже температуры воздуха, но значительно превышала ее около полудня (рис. 2—11).

Чтобы показать пространственное распределение элементов баланса и сравнить их с температурами воздуха, мы выбрали полуденное время (рис. 14—23). Распределение солнечной радиации в полдень подобно распределению ее дневных сумм, за исключением прибрежных районов, где отмечается самый низкий приход энергии (рис. 14). Такие же особенности имеет картина распределения остаточной радиации (рис. 15). Вычитая поток тепла в почву G (рис. 16) из R (рис. 15), получим представление о величине энергии H, расходуемой на нагревание воздуха. Насколько надежны зарегистрированные величины G, покажут лишь дальнейшие исследования. В условиях солнечной погоды наблюдались очень большие ее значения, приближающиеся к R (рис. 15). В то же время низкие значения G (рис. 16) почти попадали в пределы инструментальной ошибки.

Истинная радиационная температура подстилающей поверхности T_s измерялась радиометром Столла-Харди и сравнивалась с температурой сухого термометра T_d, измеренной на средней высоте метеорологической будки (около 1,5 м). Разница $\Delta T=T_s-T_d$ дает величину отклонения температуры «поверхности» (сообщаемой в ежедневных сводках погоды и указываемой в общих публикациях Бюро погоды США) от действительной температуры поверхности раздела. Даже в течение облачного дня зарегистрированные в полдень значения ΔT составляли от 5° до 12°С

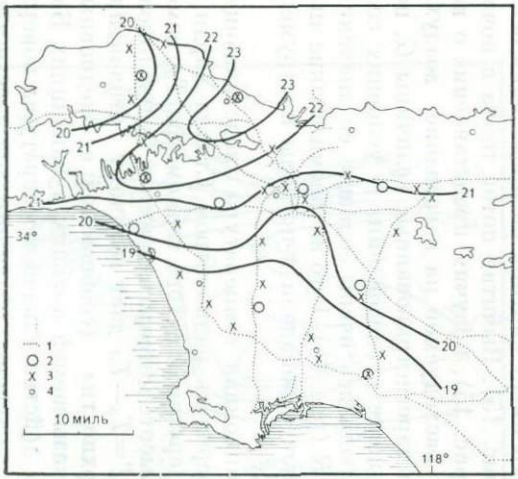


Рис. 16. Поток тепла в почву в полдень (ланглей·мин$^{-1}$). Обозначения см. под рис. 12.

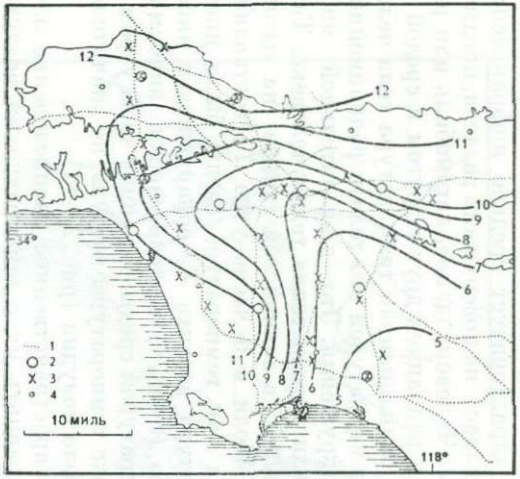


Рис. 17. Разность температуры на высоте метеобудки и истинной температуры поверхности в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

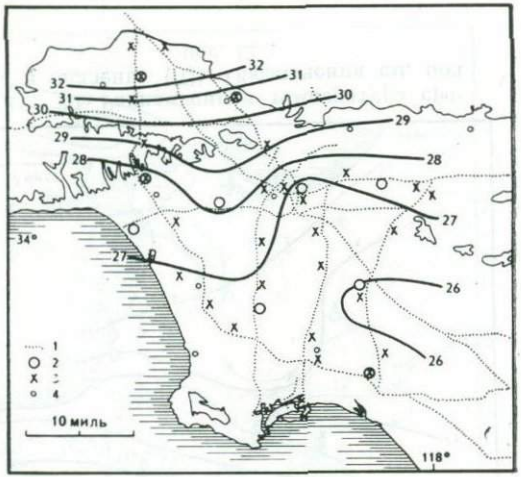


Рис. 18. Радиационная температура подстилающей поверхности в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

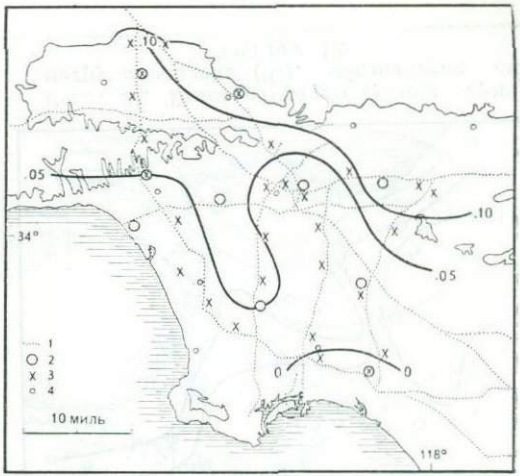


Рис. 19. Средняя радиационная температура неба в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

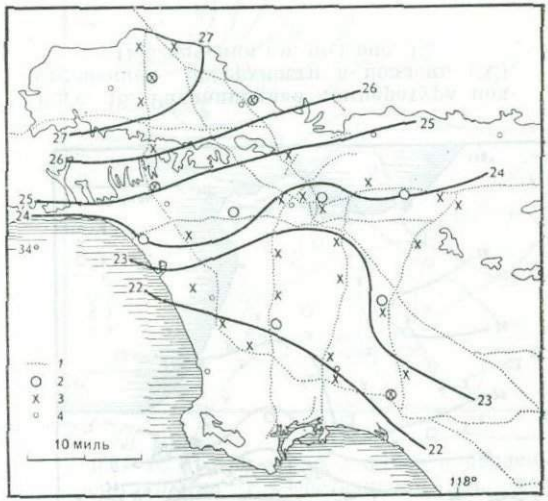


Рис. 20. Радиационная температура среды в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

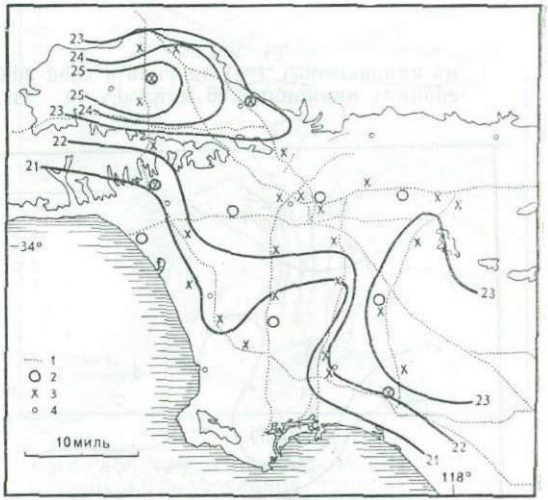


Рис. 21. Температура по сухому термометру в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

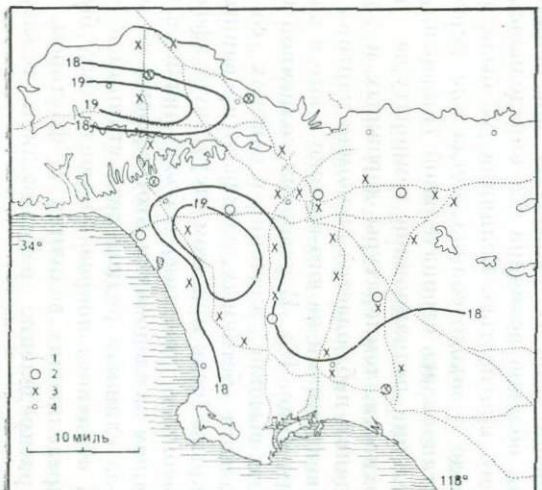


Рис. 22. Температура по смоченному термометру в полдень (°С). Обозначения см. под рис. 12.

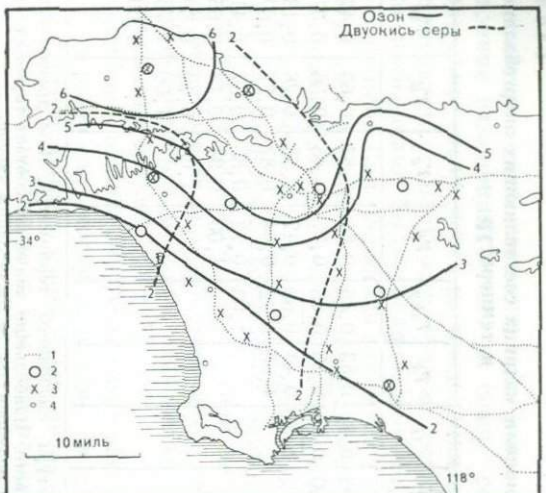


Рис. 23. Некоторые компоненты загрязнения воздуха (O_3 и SO_2) в полдень. Обозначения см. под рис. 12.

Таблица 2

Корреляционная матрица составляющих энергобаланса и температур

Переменная	q	R	G	T_s	T_{sky}	T_t	T_e	T_d	T_w	ΔT
q	1,00	0,93	0,63	0,83	0,85	0,84	0,87	0,65	0,47	0,78
R		1,00	0,69	0,75	0,85	0,77	0,86	0,56	0,37	0,75
G			1,00	0,44	0,63	0,42	0,58	0,28	0,13	0,44
T_s				1,00	0,72	0,94	0,87	0,77	0,69	0,93
T_{sky}					1,00	0,72	0,85	0,57	0,41	0,71
T_t						1,00	0,93	0,78	0,65	0,84
T_e							1,00	0,70	0,59	0,81
T_d								1,00	0,75	0,53
T_w									1,00	0,57
ΔT										1,00

T_w — температура смоченного термометра. Все другие обозначения определены в тексте. Наибольшие значения соответствующих коэффициентов корреляции подчеркнуты. — *Вычисления автора.*

(рис. 17). Так как T_s имеет невысокую корреляцию (r=0,77) с T_d (табл. 2), температуры воздуха на высоте метеобудки плохо отражают действительные условия на подстилающей поверхности. По-видимому, при наличии покрова слоистых облаков величина ΔT определялась главным образом его плотностью. Величина ΔT была небольшой при восходе и заходе солнца, когда она пересекала кривую T_d и становилась отрицательной (инверсия).

В распределении радиационной температуры подстилающей поверхности, температуры дорожных и уличных покрытий и зданий наблюдается знакомая картина с наименьшими их величинами на юго-востоке и юге и наибольшими на севере (рис. 18). В условиях солнечной погоды T_t обычно имеет высокие значения в районах со значительным процентом бетонных, заасфальтированных поверхностей и крыш (если при этом отсутствует эффект затенения их высокими зданиями) и более низкие в жилых районах. В нашем исследовании этот эффект не мог наблюдаться из-за слишком редкой сети станций и потому, что плотность облачного покрова, по-видимому, была основным из определяющих величину T_t фактором. Пространственное распределение радиационной температуры

неба оказалось более неожиданным (рис. 19). Основное направление изменения с юга на север сохранялось, и, следовательно, зависимость распределения высоких и низких температур от плотности облаков оставалась в силе. Однако необычными были сравнительно высокие по сравнению с долиной Сан-Фернандо значения T_{sky} близ делового центра Лос-Анджелеса, где поступление энергии было много меньше. Распределение радиационной температуры среды, объединяющей излучение дорог, зданий и неба, напоминает распределение остаточной радиации (рис. 20). За исключением различий в восточной части района, по крайней мере около полудня отмечается общее сходство в пространственном изменении температур по показаниям сухого термометра (рис. 21) и T_e.

В сентябре в районе Лос-Анджелеса обычно отмечается сильное загрязнение воздуха, однако в условиях вихря Каталина интенсивность смога была незначительной. Это могло быть связано также с тем, что наблюдения проводились в воскресенье. Загрязнение характеризуется распределением озона O_3 и двуокиси серы SO_2 в полдень (рис. 23) [24]. Содержание других атмосферных поллютантов слишком незначительно и не позволяет картировать их распределение. При попытке сопоставления содержания основных поллютантов (O_3, NO_2, SO_2, CO и CH_4) с величинами q, R и T_{sky} получены низкие значения корреляции, не превышавшие даже 0,50. Мы считаем, однако, что в дни сильного распространения смога зависимость между составляющими баланса энергии и загрязнением воздуха (особенно содержанием твердых частиц) будет обнаруживаться. Несмотря на довольно слабое загрязнение, в долинах пригородной зоны и деловом центре Лос-Анджелеса отмечалось наибольшее содержание смога.

Коэффициенты корреляции между всеми наблюденными в течение дня параметрами вычислены для всех 10 станций (табл. 2). При объединении данных по всей котловине Лос-Анджелеса оказывается, что солнечная радиация q обнаруживает сравнительно высокие значения корреляции с большинством зависящих от нее характеристик, за исключением потока тепла в почву G. Температуры по сухому и смоченному термометрам имеют низкую корреляцию с любыми данными. В связи с этим в будущих исследованиях энергобаланса города такие параметры — особенно поток тепла в почву — необходимо измерять от-

дельно. Их суточный ход, видимо, нельзя хорошо предсказать по эмпирическим зависимостям с другими измеренными параметрами.

Используя q как независимую переменную, мы получили (методом наименьших квадратов) следующие эмпирические зависимости ($r \geqslant 0{,}80$) для котловины в целом [25]:

$$R = -0{,}05 + 0{,}55q \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \quad (7)$$

$r = 0{,}93$; SE $= 0{,}06$;

$$T_s = 22{,}7 + 14{,}0q \ ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

$r = 0{,}83$, SE $= 2{,}6$;

$$T_{sky} = 16{,}0 + 7{,}3q \ ^\circ\text{C}, \quad (9)$$

$r = 0{,}85$; SE $= 1{,}2$;

$$T_t = 20{,}1 + 11{,}3q \ ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

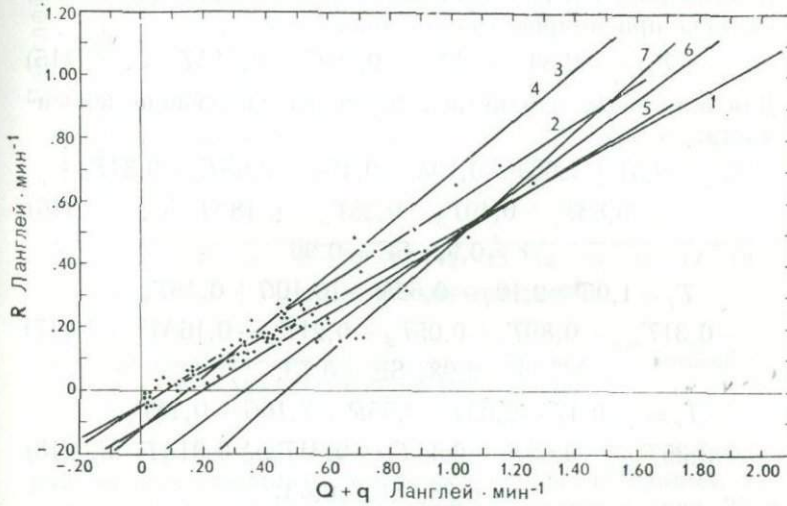
$r = 0{,}84$; SE $= 2{,}0$;

$$T_e = 18{,}5 + 8{,}8q \ ^\circ\text{C}, \quad (11)$$

$r = 0{,}87$; SE $= 1{,}4$.

Уравнение (7) довольно хорошо аппроксимирует данные всего района (прямая 1, рис. 24). Например, результаты наблюдений в горах Уайт-Маунтинс в Калифорнии, выполненных в течение недели в июле, указывают на аналогичную зависимость между $Q+q$ и R [26]. Прямая 5 [$R = -0{,}12 + 0{,}61(Q+q)$] относится к результатам трехсуточных наблюдений в сосновом лесу в горах Уайт-Маунтинс. Прямая 6 [$R = -0{,}27 + 0{,}75(Q+q)$] характеризует условия альпийской тундры, а прямая 7 [$R = -0{,}40 + +0{,}88(Q+q)$] — условия на голой скалистой вершине. Для всех уравнений коэффициент корреляции превышает 0,90, что представляется странным, поскольку указанные наблюдения выполнены в условиях солнечной прозрачной атмосферы в совершенно иной среде. Накагава (Nakagawa) получил уравнение радиационного баланса для рисового поля в летний период, подобное нашим [$R = -0{,}06 + +0{,}65(Q+q)$] [27]. Подобная же зависимость между измеренными величинами обнаружилась в пункте Девис, Калифорния, в апреле — июле над травянистой поверхностью (прямая 4) [28]. Последнее уравнение [$R = -0{,}13 + +0{,}83(Q+q)$] совпадает с уравнением, полученным Феде-

рером (Federer) (прямая 3) для леса в Нью-Гэмпшире [29]. Результаты исследований в течение трех месяцев, которые выполнялись при различных погодных условиях и на значительном участке поверхности в городе Пасадена, Калифорния, практически полностью совпадают с нашими наблюдениями [$R=-0{,}06+0{,}55(Q+q)$], представленными прямой 1. Будущие исследования покажут, насколько верны эти зависимости.



Р и с. 24. Зависимость между $Q+q$ и R (ланглей·мин$^{-1}$).

Обозначено: 1 = $R = -0{,}05 + 0{,}55q$; 2 = $R = -0{,}66 + 0{,}65\ (Q + q)$; 3 = $R = -0{,}13 + 0{,}83\ (Q + q)$; 4 — такая же, как 3; 5 = $R = -0{,}12 + 0{,}61\ (Q + q)$; 6 = $R = -0{,}27 + 0{,}75\ (Q + q)$: 7 = $R = -0{,}40 + 0{,}88\ (Q + q)$. Точки относятся к прямой 1.

Повышения степени предсказуемости можно достичь, последовательно связав q со всеми другими параметрами (множественная корреляция) в уравнениях множественной линейной регрессии. Для этого на каждом этапе в уравнении регрессии добавлялась одна переменная, которая сводила к минимуму сумму квадратических ошибок:

$$R = 0{,}01 + 0{,}39q + 0{,}40G - 0{,}02T_s + 0{,}02T_e + \\ + 0{,}03T_d - 0{,}03T_w + 0{,}02\Delta T \text{ ланглей·мин}^{-1}, \qquad (12)$$

$$r = 0{,}96;\ \mathrm{SE} = 0{,}05;$$

$$G = 0{,}05 + 0{,}03q + 0{,}14R + 0{,}01T_s - 0{,}01T_t + 0{,}01T_e \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \quad (13)$$

$$r = 0{,}77;\ \mathrm{SE} = 0{,}03;$$

$$T_s = -0{,}58 + 1{,}75q - 4{,}82R + 7{,}34G - 0{,}03T_{sky} + 0{,}44T_t - 0{,}18T_e + 0{,}90T_d - 0{,}14T_w + 0{,}75\Delta T \ ^\circ\mathrm{C} \quad (14)$$

$$r = 0{,}99;\ \mathrm{SE} = 0{,}69.$$

В последнем случае значение $r = 0{,}99$ было достигнуто сначала при аппроксимации вида

$$T_s = -2{,}84 + 0{,}30T_t + 0{,}86T_d + 0{,}71\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}. \quad (15)$$

Для остальных параметров получены следующие зависимости:

$$T_{sky} = 9{,}31 + 4{,}06q - 0{,}19R - 0{,}49G - 0{,}05T_s - 0{,}54T_t + 0{,}83T_e + 0{,}40T_d - 0{,}28T_w + 0{,}18\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (16)$$

$$r = 0{,}92;\ \mathrm{SE} = 0{,}96;$$

$$T_t = 1{,}05 + 2{,}10q - 0{,}62R - 10{,}10G + 0{,}49T_s - 0{,}31T_{sky} + 0{,}89T_e + 0{,}05T_d - 0{,}21T_w - 0{,}16\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (17)$$

$$r = 0{,}98;\ \mathrm{SE} = 0{,}73;$$

$$T_e = -0{,}17 - 2{,}03q + 3{,}55R + 7{,}16G - 0{,}15T_s + 0{,}35T_{sky} + 0{,}65T_t - 0{,}11T_d + 0{,}31T_w + 0{,}01\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (18)$$

$$r = 0{,}98;\ \mathrm{SE} = 0{,}63;$$

$$T_d = 0{,}98 - 0{,}70q + 3{,}06R - 3{,}12G + 0{,}48T_s + 0{,}11T_{sky} + 0{,}02T_t - 0{,}07T_e + 0{,}51T_w - 0{,}48\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (19)$$

$$r = 0{,}94;\ \mathrm{SE} = 0{,}51;$$

$$T_w = 6{,}64 + 0{,}58q - 3{,}25R - 1{,}29G - 0{,}08T_s - 0{,}08T_{sky} - 0{,}10T_t + 0{,}21T_e + 0{,}53T_d + 0{,}19\Delta T \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (20)$$

$$r = 0{,}83;\ \mathrm{SE} = 0{,}52;$$

$$\Delta T = -1{,}87 - 1{,}82q + 6{,}46R - 7{,}11G + 1{,}03T_s + 0{,}13T_{sky} - 0{,}19T_t + 0{,}02T_e - 1{,}23T_d + 0{,}46T_w \ ^\circ\mathrm{C}, \quad (21)$$

$$r = 0{,}98;\ \mathrm{SE} = 0{,}81.$$

За исключением управления потока тепла в почву G, все эти уравнения указывают на высокую предсказуемость, даже если речь идет о температуре воздуха.

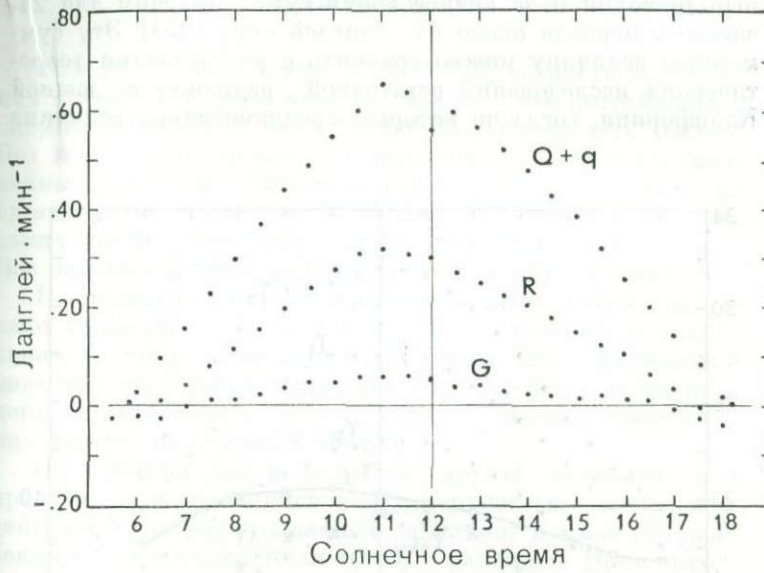


Рис. 25. Составляющие радиационного баланса по котловине Лос-Анджелес в целом (ланглей·мин$^{-1}$).

При осреднении данных, собранных за день наблюдений на всех станциях, получается семейство кривых, характеризующих район Лос-Анджелеса в целом (рис. 25 и 26). Если эффективность захвата приходящей солнечной радиации поверхностью раздела оценить как

$$R_{ef} = \frac{R}{Q+q}\,100\,\%, \qquad (22)$$

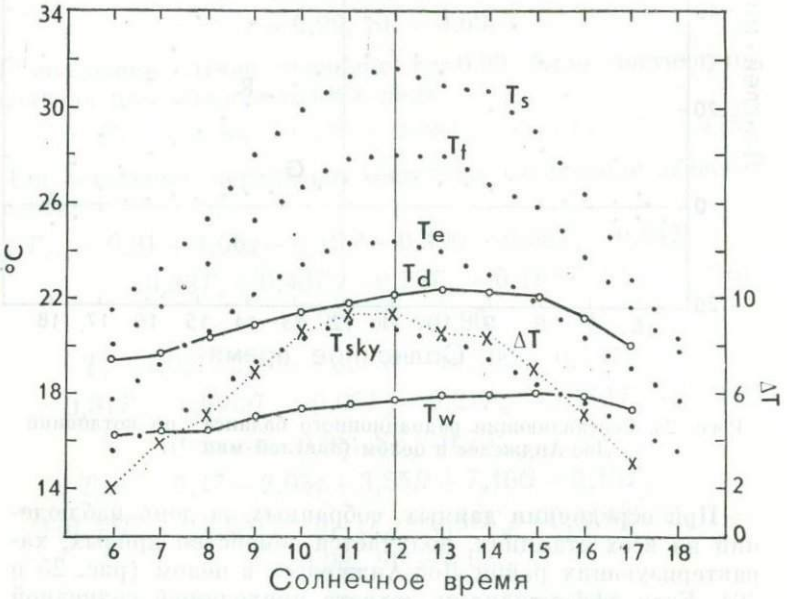
то в полуденное время для района Лос-Анджелеса получим величину 50%. Сравнивая этот результат с данными для земного шара в целом, видим, что такая эффективность соответствует условиям семиаридных климатов [30].

При суммировании остаточной радиации по формуле

$$R_{\text{день}} = \sum_{\text{Восход}}^{\text{Заход}} R\Delta t \text{ ланглей}\cdot(\text{дневное время суток})^{-1} \qquad (23),$$

где t — время ($\Delta t = 30$ мин), получим 116,3 ланглея за дневное время суток. Если вычесть средние отрицатель-

ные значения R за ночное время суток, получим для 24-часового периода около 84 ланглей · сут$^{-1}$ [31]. Эту суммарную величину можно сравнить с результатами теоретических исследований остаточной радиации в южной Калифорнии, согласно которым среднемесячная величина



Р и с. 26. Составляющие температуры по котловине Лос-Анджелес в целом (°С).

для района Лос-Анджелеса в целом составляет 100 ланглей·сут$^{-1}$ [32]. С учетом покрова слоистых облаков полученная величина представляется правдоподобной.

При максимуме R поток энергии G в дорожные покрытия составлял около 20% остаточной радиации. Согласно теории [уравнение (6)], остальные 80% от R должны расходоваться на турбулентное нагревание воздуха H. По сути, это соответствует условиям климата пустыни, где большая часть доступной энергии превращается в поток ощутимого тепла.

Как утверждает Гейтс (Gates) [33], «единственно важная потребность всех живых существ — это потребность в энергии. Энергия — это способность производить работу. Без энергии не совершается никакой работы и все жизненные процессы остановились бы... Раз среда влияет на организм, она влияет на него через перенос энергии... никаких других процессов, кроме переноса энергии, нет. Все взаимодействия можно свести к обмену энергией».

На поверхности тела человека (кожа+одежда) протекают те же процессы излучения, трансформации и накопления, которые обсуждались применительно к физической поверхности. Поэтому, пытаясь хотя бы грубо выяснить цепь взаимосвязей в системе город — человек, можно использовать аналогичный подход.

На человека, как и на любой другой организм или предмет, возвышающийся над поверхностью земли, воздействуют три вида солнечной радиации: прямая (Q), рассеянная (q) и отраженная $(Q+q)a$ радиация. Прямая солнечная радиация Q_m, падающая на человека, которая в период данного исследования отсутствовала, рассматривалась в других наших работах [34].

Допуская изотропность распределения рассеянной радиации, применительно к человеку можно использовать те же уравнения, которые первоначально использовались Кондратьевым и Маноловой (Kondratyev, Manolova) при изучении величины рассеянной и отраженной коротковолновой радиации на склонах. Суммарный приход коротковолновой радиации на склоны описывается уравнением

$$[Q+q+(Q+q)a]_{sl}=Q_{sl}+\cos^2 s/2\,q_h+ \\ +\sin^2 s/2\,[(Q+q)a]_h, \qquad (24)$$

где индекс sl относится к склонам, индекс h — к горизонтальной поверхности, s означает угол склона (вертикальный, равный 90°) и a — альбедо поверхности. Второе слагаемое уравнения учитывает рассеянную радиацию от неба к склону, а третье — отраженную радиацию от подстилающей поверхности к склону. Как видно из уравнения (24), вертикальные поверхности получают примерно половину рассеянной q и отраженной $(Q+q)a$ радиации, падающей на горизонтальную поверхность.

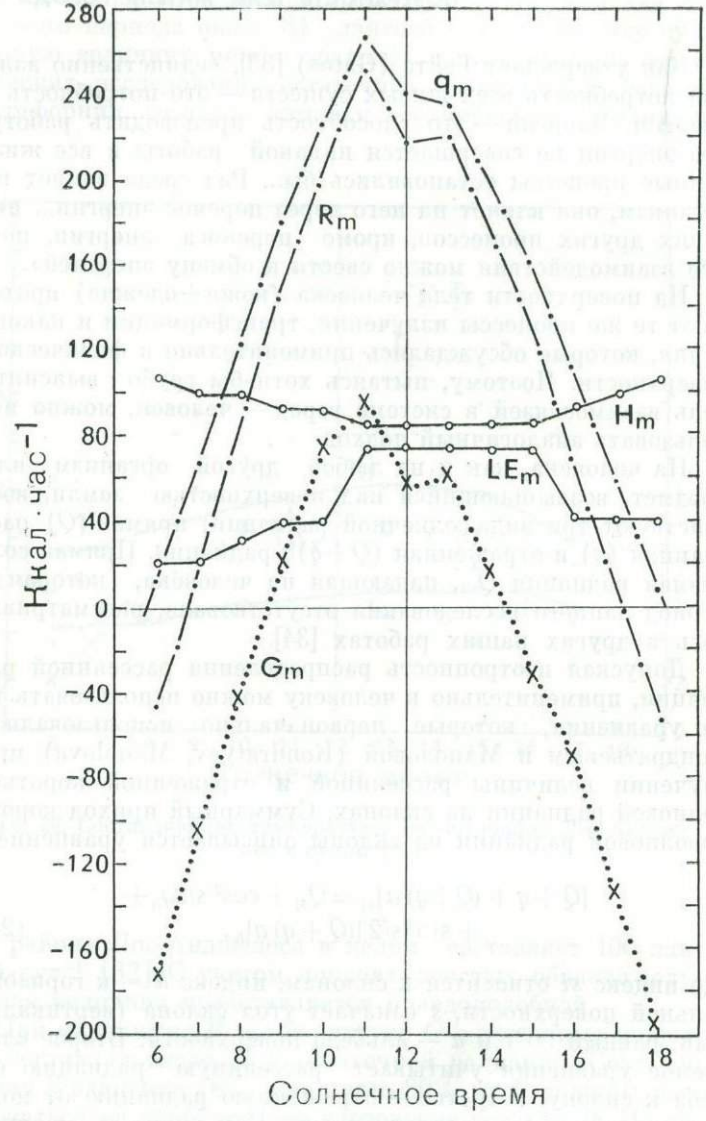


Рис. 27. Компоненты теплового баланса человека и баланс влаги по котловине Лос-Анджелес в целом (ккал·час$^{-1}$).

Запишем уравнение (24) в форме, более удобной для изучения радиационного баланса человека:

$$(Q+q)_m = [Q_m + 0{,}5q_h A + 0{,}5[(Q+ + q)a]_h A]\{1-a_m\} \text{ ккал}\cdot\text{ч}^{-1}, \quad (25)$$

где A — площадь поверхности тела человека и a_m — альбедо кожа+одежда (предполагающиеся равными 1,86 м^2 и 0,43 соответственно) [36]. Это уравнение описывает суммарную величину солнечной энергии, поглощаемой телом человека. Как уже упоминалось, в день наблюдений, когда отмечалась сплошная облачность, величина Q_m не учитывалась (q_m см. на рис. 27). От общей величины солнечной радиации, поступившей на горизонтальную поверхность в течение дня и составившей (ланглей·мин$^{-1}\times 600\times$ $\times 1{,}86$), тело человека получило 37%. При перечисленных условиях этот процент в облачные дни, по-видимому, устойчив. Солнечную радиацию на горизонтальную поверхность q_h можно пересчитать в q_m согласно зависимости

$$q_m = 0{,}684q_h \text{ ккал}\cdot\text{ч}^{-1}, \quad (26)$$

где q_h выражено в ккал · м$^{-2}$ ч$^{-1}$. Такой пересчет применяется только для указанных условий.

Исследуя радиационный баланс тела человека теми же методами, что и радиационный баланс физической поверхности, следует вычислить остаточную радиацию R_m для тела человека. Она определяет результирующий перенос инфракрасной радиации между человеком и окружающей его средой. По аналогии с уравнением (1) и (4) запишем

$$R_m = q_m - I_m \quad (27)$$

и

$$I_m = I_b - I_e, \quad (28)$$

где I_m — эффективное уходящее излучение тела человека, I_b — излучение, продуцируемое телом, и I_e — полное излучение среды (соответствующее величине T_e, пересчитанной в единицы энергии). Применяя закон Стефана — Больцмана для серого тела (W_g), получим

$$W_g = \varepsilon\sigma T^4, \quad (29)$$

где ε — излучательная способность [37], σ — постоянная Стефана — Больцмана ($8{,}14\cdot 10^{-11}$ ланглей·мин$^{-1}$ °К$^{-4}$) и T — абсолютная температура (°К=°С+273,2).

Теперь эффективное уходящее излучение тела человека можно представить как [38]

$$I_m = \sigma\varepsilon_1\varepsilon_2 (T_m^4 - T_e^4) A_r \text{ ккал}\cdot\text{ч}^{-1}, \quad (30)$$

где ε_1 — излучательная способность тела человека, ε_2 — излучательная способность среды, T_m — абсолютная температура поверхности кожа + одежда и A_r — эффективная излучающая площадь тела человека, представляющая ту его часть, которая осязает среду и обменивается

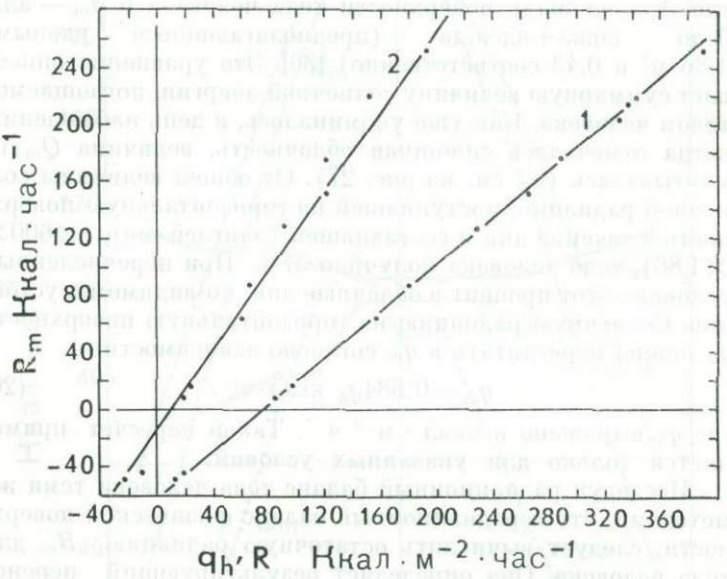


Рис. 28. Зависимость между R_m и q_h, R (в указанных единицах).
$1 = R_m = -60{,}77 + 0{,}81 q_h$; $2 = R_m = -15{,}79 + 1{,}41\,R$.

с ней излучением ($A_r \approx 1{,}5$ м^2) [39]. Среднюю температуру поверхности кожа + одежда определяли взвешиванием отсчетов температуры в зависимости от типа и степени покрытия поверхности тела [40]. В течение этого сравнительно холодного дня незащищенными одеждой были только голова и руки (соответственно 7% и 5% площади поверхности всего тела). Средняя температура кожи почти не отклонялась от 33°С, тогда как температура одежды менялась в течение дня от 25° до 30°С (по измерениям радиометром Столла — Харди). Излучательные способности принимались равными 1. Значения R_m как результат расчета по уравнениям (30) и (27) показаны на рис. 28. Из сопоставления этих величин с величиной ос-

таточной радиации, падающей на сравнимую по размерам горизонтальную поверхность R, следует, что в период от 8 до 15 часов тело человека получило около 70% от R. В другое время дня отмечались значительные отклонения.

При нанесении на график остаточной радиации тела человека q_h (ордината) и R (рис. 28, *прямые 1 и 2* соответственно) получены следующие зависимости:

$$R_m = -60{,}77 + 0{,}81 q_h \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (31)$$
$$r = 0{,}99;\ \text{SE} = 2{,}56;$$

$$R_m = -15{,}79 + 1{,}41 R \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (32)$$
$$r = 0{,}99;\ \text{SE} = 14{,}83,$$

где q_h и R взяты в ккал $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ ч$^{-1}$. Очевидно, в период нашего исследования R_m можно было бы предсказывать непосредственно по q_h без большой потери в точности. Новые исследования таких зависимостей позволят выяснить обоснованность подобных соотношений между q_h, R и R_m.

Как и в случае любой другой поверхности, излучение R_m соответствует, по аналогии, уравнению (2). На поверхности тела R_m складывается в результате теплообмена путем конвекции и теплопроводности или из ощутимого потока тепла H_m в результате охлаждения испарением, или из скрытого потока тепла LE_m и в результате внутреннего теплообмена, или потока тепла G_m через поверхность тела. Последний влияет на внутреннюю температуру тела человека (которая равна примерно 37°C). Ранее Ли (Lee) ввел ряд уравнений для составляющих R_m [41]. Потоки ощутимого тепла от поверхности тела, укрытого одеждой, H_{mc} и от поверхности незащищенной кожи H_{mc} определяются как

$$H_{mc} = \left[\frac{5{,}55\,(T_{sk} - T_d)}{r_a + r_c}\right] 1{,}64 \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (33)$$

$$H_{ms} = \left[\frac{5{,}55\,(T_{sk} - T_d)}{r_a}\right] 0{,}22 \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (34)$$

где T_{sk} — температура кожи, T_d — температура сухого термометра (обе в °C), r_a — сопротивление окружающего воздуха переносу тепла от тела (при наблюдавшихся скоростях ветра r_a принималось равным примерно 0,3) и

r_c — то же от одежды ($r_c \approx 1{,}0$). Доля соответствующих участков поверхности тела составляла 1,64 и 0,22.

Охлаждение испарением с поверхности одежды LE_{mc} и незащищенной кожи LE_{ms} можно представить как

$$LE_{mc} = \left[\frac{5\,(e_s - e)}{r_w + r_{cw}}\, w \right] 1{,}64 \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \qquad (35)$$

$$LE_{ms} = \left[\frac{5\,(e_s - e)}{r_w}\, w \right] 0{,}22 \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \qquad (36)$$

где e_s — упругость насыщенного пара при данной температуре кожи (°С и мм рт. столба), e — давление пара в прилегающем воздухе, r_w — сопротивление воздуха переносу водяного пара от тела ($r_w \approx 0{,}2$), r_{cw} — то же от одежды ($r_{cw} \approx 5{,}0$ см эквивалентного спокойного воздуха), w — пропорциональное увлажнение кожи [42]. Последняя величина нуждается в подтверждении данными, поскольку соответствующих лабораторных исследований выполнено сравнительно мало. В соответствии с результатами, полученными Харди и Робинсоном (Hardy, Robinson) для зависимости между w и T_w, до 6 часов утра принималось значение $w = 0{,}05$, между 8 и 10 и между 16 и 18 часами — $w = 0{,}10$ и в остальное время — $w = 0{,}20$. Однако такая методика не гарантирована от серьезных ошибок. Поэтому в будущем необходимо попытаться использовать отношение Боуэна (Bowen) с определением e и T_d у поверхности тела и на некотором удалении от него. Можно надеяться, что это позволит решить проблемы, связанные с определением w.

Повышенные значения H_m утром и вечером (рис. 27) объясняются увеличенным градиентом $T_{sk} - T_d$. Максимум LE_m сдвинут в послеполуденный период, что объясняется влиянием T_d на w. Тепловой поток G_m внутри тела получен как остаток, который является отрицательным при потере тепла телом и положительным, когда тело получает тепло. Очевидно, G_m содержит все ошибки, связанные с решением предыдущих уравнений для отдельных компонент, и полученные абсолютные значения не слишком надежны. На данной стадии величину теплового потока следовало бы рассматривать как в значительной мере умозрительную.

Наилучшие эмпирические зависимости для составляющих R_m были получены, когда за независимую переменную принималась q_h.

$$LE_m = 23{,}40 + 0{,}12q_h \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (37)$$

$$r = 0{,}73; \ \text{SE} = 15{,}01;$$

$$H_m = 104{,}79 - 0{,}06q_h \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (38)$$

$$r = 0{,}90; \ \text{SE} = 3{,}68;$$

$$G_m = -188{,}96 + 0{,}75q_h \text{ ккал} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad (39)$$

$$r = 0{,}99; \ \text{SE} = 11{,}22.$$

Исходя только из температуры воздуха, влажности и здравого смысла, человек воспринимал климатические условия окружающей его среды как «холодные» ранним утром и как «комфортные» в остальную часть дня.

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции между составляющими радиационного баланса поверхности тела человека

Переменная	q_h	R	R_m	LE_m	H_m	G_m
q_h	1,00	0,99	0,99	0,73	—0,90	0,99
R		1,00	0,99	0,70	—0,87	0,99
R_m			1,00	0,74	—0,90	0,99
LE_m				1,00	—0,87	0,66
H_m					1,00	—0,87
G_m						1,00

Соответствующие наибольшие коэффициенты корреляции подчеркнуты.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В работе описан тип погоды в районе Лос-Анджелеса, где в теплый сезон обычно наблюдается значительная облачность. Исследовано влияние этого типа погоды на энергобаланс городских поверхностей, а также на баланс тепла и влаги поверхности тела человека.

При суммировании основных составляющих баланса (уравнение 23) *для района в целом для светлого времени*

суток (с 6 часов до 18) получены следующие величины: солнечная радиация (в данном случае рассеянная) составила примерно 282 ланглея, а радиационный баланс поверхностей города — 116 ланглеев. Эти потоки были разделены далее на коротковолновые, длинноволновые и всеволновые и сведены в нисходящие и восходящие потоки излучения (табл. 4). Такой прием позволяет выполнить

Таблица 4

Дневной радиационный баланс поверхности города, ланглей·сутки$^{-1}$

Направление	Коротковолновая радиация		Длинноволновая радиация	Всеволновая радиация
Вниз от атмосферы	$Q+q$	282	$I\downarrow$ 416	$(Q+q)+I\downarrow$ 698
Вверх от поверхности	$(Q+q)a$	85	$I\uparrow$ 480	$(Q+q)a+I\uparrow$ 565
Поток остаточной радиации	$(Q+q)(1-a)$	197	I —64	*Вычисленное* R* 133 Наблюденное R 116

*Значение R вычислено по уравнению (1). Q — прямая солнечная радиация, q — рассеянная солнечная радиация, $I\downarrow$ — противоизлучение атмосферы, $I\uparrow$ — излучение земной поверхности, a — альбедо земной поверхности, $(Q+q)a$ — отраженная солнечная радиация, $(Q+q)(1-a)$ — поглощенная солнечная радиация, I — эффективное уходящее излучение, R — остаточная радиация.— *Вычисления автора.*

независимую проверку правильности определения баланса. Коротковолновые компоненты (вторая колонка) измерялись пиранометром Эпли, а длинноволновые — независимо радиометром Столла — Харди. Средняя радиационная температура неба T_{sky} и истинная температура поверхности T_s пересчитаны в соответствии с законом Стефана — Больцмана в ланглей·мин$^{-1}$. Таким путем получено *противоизлучение атмосферы* $I\downarrow$ *и излучение земной поверхности* $I\uparrow$ соответственно. Третья строка в таблице представляет разность этих дневных значений. Вычисленную остаточную радиацию можно сравнить с измеренной остаточной радиацией (по независимым данным радиометрических измерений радиационного баланса). Довольно незначительное расхождение между ними, достигающее ~13%, по-видимому, следует в основном отнести на счет отраженной солнечной радиации, которая во время дан-

ного исследования не измерялась. Среднее альбедо в 30% для осредненной городской поверхности принято согласно другим исследованиям.

Данный опыт климатологического исследования радиационного баланса города не следует рассматривать как характерный или обязательный для определенных климатических условий: он дает лишь возможность изложить методику работы. При этом получены следующие результаты для физической поверхности раздела города:

1. Несмотря на то что облачный покров выглядел плотным и однородным, отмечена значительная пространственная изменчивость в интенсивности и ходе солнечной радиации и большинства других наблюденных параметров.

2. В дневное время поверхность метрополитенской территории отражала около 30% приходящей солнечной радиации (85 ланглеев), остальные 70% поглощались (197 ланглеев, табл. 4). После нагревания искусственных покрытий автострад и улиц и обмена инфракрасным излучением с небом 32% энергии рассеивалось в виде длинноволнового эффективного уходящего излучения (64 ланглея). Другая часть составляла излишек энергии, или остаточную радиацию, падавшую на поверхности города (133 ланглея); она равнялась 47% исходной приходящей солнечной радиации.

3. Что касается распределения остаточной радиации (или выполненной ею работы), то в связи с тем, что подстилающие поверхности города были совершенно сухими, энергия могла расходоваться только на нагревание воздуха или накопление в поверхностных слоях. В поверхностных слоях грунта накапливалось только около 18% избыточной энергии. Остальные 82% расходовались на конвективный нагрев воздуха.

4. Найдены хорошие в смысле возможности прогноза эмпирические зависимости между солнечной радиацией и большинством других радиационных параметров. Представляется, что в сочетании с результатами предыдущих исследований и после необходимой проверки такие регрессионные зависимости могут приобрести практическую ценность (при отсутствии сети наблюдений за составляющими энергобаланса) при подготовке экспериментальных карт приходных и расходных частей энергетического баланса для крупных районов и разнообразных ландшафтов.

5. В большинстве случаев наблюдалось несоответствие между величиной теплового потока в дорожные покрытия и температурой воздуха, с одной стороны, и радиационными компонентами — с другой. Судя по низким коэффициентам корреляции, представляется, что такие данные не могут быть удовлетворительно аппроксимированы регрессионными уравнениями, в которых в качестве независимых переменных используются компоненты энергии.

6. Температуры воздуха по сухому и смоченному термометрам обнаруживают слабую связь с режимом уходящей радиации. Температуры по сухому термометру (наиболее часто использующиеся в климатологических исследованиях) обычно превышают общую температуру среды (total environmental temperature) в ночные и утренние часы и оказываются ниже ее в полуденные часы. На отсутствие прямой зависимости между температурами воздуха и величинами радиации указывает также непостоянное значение разности между температурами воздуха и подстилающей поверхности. Даже в облачный день, соответствующий дню наблюдений, между обоими уровнями обнаруживалась разница в 5—12°С.

7. В условиях сплошной облачности радиационная температура неба, или противоизлучение атмосферы, была меньше в случае меньшей плотности облачного покрова. Это противоречило обычным наблюдениям в ясные дни. Такое же явление отмечалось при исследовании баланса энергии и влаги во время прохождения циклона. По-видимому, при прояснении неба, когда экранирование облаками исчезает и поверхность земли «видит» холодное небо, эта «аномальная ситуация» тотчас же изменяется. Таким образом, наблюдается промежуточное состояние, когда повышенное противоизлучение отмечается при некоторой оптимальной плотности облачного покрова, за пределами которой излучение атмосферы снова убывает. Это явление, очевидно, связано с поглощением солнечной радиации водяным паром.

Поверхность тела городского жителя поглощала 1865 ккал солнечной радиации q_m, тогда как ее радиационный баланс R_m составлял в дневное время суток 1465 ккал. 1104 ккал из этого избытка рассеивалось путем теплопроводности — конвекции (поток ощутимого тепла H_m), 613 ккал расходовалось на охлаждение испарением (поток

скрытого тепла LE_m), и 252 ккал составлял поток тепла G_m в теле человека.

В отношении радиационного баланса поверхности тела городского жителя можно сделать следующие выводы:

1. Человек получал лишь около 37% рассеянной солнечной радиации, поступавшей на горизонтальную поверхность города, и около 70% остаточной радиации, приходившейся на искусственные покрытия города. Это указывает на возможную ошибочность обобщений, которые проводятся при использовании данных о величинах радиации для горизонтальной поверхности (часто единственно доступных), когда речь идет о воздействии радиации на вертикальную поверхность тела человека. К счастью, по крайней мере во время данного исследования, все относящиеся к человеку радиационные характеристики имели высокую эмпирическую корреляцию с данными для поверхности, что позволило сделать корректный пересчет.

2. В утренние часы и вечером остаточная радиация тела человека расходовалась путем теплопроводности — конвекции (ощутимый поток тепла), а в более теплую часть дня, когда начиналось легкое потение, распределялась почти поровну между испарением (скрытый поток тепла) и теплопроводностью — конвекцией.

3. Величина расходной части энерго- и влагобаланса поверхности тела представляла в лучшем случае лишь ориентировочную оценку действительных условий из-за значительной неточности определения степени увлажнения кожи и сопротивления одежды переносу водяного пара. В будущем мы попытаемся выполнить полевые наблюдения потоков скрытого и ощутимого тепла с поверхности тела, используя отношение Боуэна.

4. Поток тепла в теле крайне изменчив. Это замечание можно, видимо, отнести и к его абсолютной величине, поскольку в наблюдавшихся условиях тело пребывало в совершенно устойчивом состоянии. Иначе говоря, процессы метаболизма в полной мере компенсировали любые воздействия нагревания и охлаждения на поверхности незащищенной кожи и одежды. Они, по-видимому, предотвращали и сглаживали любые изменения внутренней температуры тела.

Ряд эмпирических соотношений, обсуждавшихся в основной части этой статьи, оказался статистически значимым. Подобные эмпирические модели типа «черного ящи-

ка» могут найти практическое применение, однако необходимо пытаться построить теоретические модели типа «белого ящика». Такие теоретические модели, основанные, хотя бы частично, на известных физических законах, оказываются гораздо более удовлетворительными при поиске причин и следствий и, в конечном счете, закономерностей в климатологии.

Для предвычисления суточной величины радиационного баланса земля — атмосфера в день исследований использовалась полуфизическая модель, применявшаяся ранее для определения среднемесячного значения радиационного баланса в южной Калифорнии [45]:

$$R = (Q+q)(1-a) - I_0(1-kn^2) - \\ -4\varepsilon\sigma T^3(T_s - T_d) \text{ ланглей} \cdot \text{сут}^{-1}, \qquad (40)$$

где I_0 — эффективная уходящая радиация при ясном небе, $1-k$ — отношение эффективной уходящей радиации при сплошном облачном покрове ($n=1{,}0$) к ее значению при ясном небе, n — степень облачности (в десятых долях), T — абсолютная температура по сухому термометру (°К) и T_s — истинная температура подстилающей поверхности (°С). Среднесуточная величина I_0 получена по «интегральному графику Эльзассера» [46]. Для этого потребовались величины средней суточной температуры (минимум 19°, максимум 22°, средняя 20,5°С) и общего содержания водяного пара (по радиозондовым наблюдениям в Санта-Монике); последние вычислены с помощью номограммы [47]. Согласно Селлеру (Sellers), для высокослоистых облаков, которые являлись преобладающим типом облаков в этот день, $1-k=0{,}20$ [48]. При расчете по уравнению (40) для средних условий суток получена величина 79,5 ланглей$\times$ $\times$сут$^{-1}$. Фактические наблюдения днем дают 116 ланглеев. Из этой величины нужно вычесть отрицательные значения R в ночное время (минимум $R=-0{,}05$ ланглей$\cdot$мин$^{-1}$). Получим $116-32=84$ ланглей$\cdot$сут$^{-1}$ при расхождении только в 4,5 ланглея/24 часа.

Поскольку, как было показано, солнечная радиация являет собой наиболее хороший предиктор из всех рассмотренных параметров, представляется полезным исследовать возможность теоретического определения $Q+q$ (q

для этого конкретного дня). Исходное теоретическое уравнение имеет вид [49]:

$$Q_s = S(\overline{d}/d)^2 \cos Z \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \qquad (41)$$

где Q_s — солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность на верхней границе атмосферы, S — *солнечная постоянная* (2,0 *ланглея·мин*$^{-1}$ и Z — зенитное расстояние Солнца. Влияние эллиптичности траектории Земли вокруг Солнца $(\overline{d}/d)^2$ ($\overline{d}$ — среднее расстояние между Землей и Солнцем, d — мгновенное расстояние между ними) на величину солнечной постоянной, достаточно незначительное в момент исследований (10 сентября $\overline{d}/d^2 = 0{,}985$), не учитывалось. Расчет по уравнению (41) для отдельных моментов времени показывает, что в этот облачный день процент солнечной радиации, поглощенной поверхностью раздела города, был низким (табл. 5).

Таблица 5

Солнечная радиация (ланглей·мин$^{-1}$), поглощенная поверхностями города
(в %)

Составляющая	Время						
	06,00	08,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00
Q	0,04	0,94	1,56	1,78	1,56	0,94	0,04
$(Q+q)(1-a)$	0,02	0,21	0,39	0,42	0,39	0,21	0,02
Процент радиации, поглощенной поверхностями города	50	22	25	24	25	22	50
Радиация, отраженная или поглощенная атмосферой	50	78	75	76	75	78	50

Приходящую к поверхности Земли солнечную энергию, включающую поглощенную и рассеянную ее части, можно представить в виде

$$Q = Sp^m \cos Z \text{ ланглей} \cdot \text{мин}^{-1}, \qquad (42)$$

где p — коэффициент прозрачности атмосферы и m — оптическая масса атмосферы. Значение оптической массы атмосферы можно аппроксимировать (на протяжении большей части дня) в виде $m = \sec Z$. Уравнение (42), ко-

торое применяют для вычисления прямой солнечной радиации, использовалось для определения интенсивности коротковолнового излучения; в день исследований оно было полностью диффузным. При значении $p=0{,}4$ в указанном уравнении в период от 9 до 15 часов в ходе вычисленной и наблюденной радиации отмечается довольно хорошее соответствие (табл. 6). Странно, что в остальную часть дня такая аппроксимация наблюденных значений достигается только при $p=0{,}6$. В это время процент солнечной радиации, поглощенной поверхностью или отраженной атмосферой, был низким (табл. 5). Сравнение значений из табл. 6 с данными Бенера (Bener), получен-

Таблица 6

Вычисленные и наблюденные величины солнечной радиации (ланглей·мин$^{-1}$)

Способ определения	Время				
	08,00	10,00	12,00	14,00	16,00
Вычислены при $p=0{,}4$	(0,14)	0,48	0,64	0,48	(0,14)
Вычислены при $p=0{,}6$	0,32	(0,81)	(1,01)	(0,81)	0,32
По Бенеру	0,20	0,52	0,60	0,52	0,20
Наблюденные	0,30	0,55	0,62	0,48	0,26

ными при соответствующей высоте Солнца и типе облачности, указывает на достаточно хорошее их соответствие, хотя исследования Бенера дают картину для условий облачности зимнего типа и результирующей рассеянной радиации [52].

Независимо от того, насколько приближенными являются эти исходные зависимости, солнечную радиацию, радиационный баланс Земля — атмосфера и даже радиационный баланс поверхности тела в этот день можно было бы определить, используя соответствующие значения коэффициентов прозрачности, оптических масс атмосферы и определенные эмпирические соотношения. Так, согласно уравнению (42),

$$R = -0{,}05 + 0{,}55\,(Sp^{\sec Z}\cos Z) \text{ ланглей·мин}^{-1}, \quad (43)$$

$$R_m = -60{,}77 + 0{,}81\,[0{,}684\,(600 q_h)]\ \text{ккал}\cdot\text{ч}^{-1}, \qquad (44)$$

или

$$R_m = -15{,}79 + 1{,}41\,\{[-0{,}05 + 0{,}55\,(Sp^{\sec Z}\cos Z)]\}\,600\ \text{ккал}\cdot\text{ч}^{-1}. \qquad (45)$$

Мы попытались обосновать более рациональный подход к изучению системы город — человек и климата города. Чтобы построить теоретико-причинную модель, географам необходимо принять унифицирующую схему и климатологические концепции энерго- и влагобаланса. Современные климатологические исследования, посвященные преимущественно изучению температур и осадков (над городом и другими ландшафтами), не могут способствовать углубленному познанию процессов и причин, к которому должна стремиться географически ориентированная климатология. Подлинная проблема заключается в том, как *внешние факторы влияют на физическую поверхность* или организм, и ее решение не должно заканчиваться неясными намеками на «зависимости» (relations). Недаром Гейтс (Gates) задавался вопросом: «Какое отношение имеет температура воздуха к реакции организма на внешнюю среду?.. Посредством какого механизма осуществляется воздействие температуры?..» [53]. Исследование должно отвечать на вопрос: «Что представляют собой «показатели взаимодействия» («coupling factors») между поверхностью и атмосферой?»

Примечания к статье

1. Доктор Терьянг — ассистент-профессор географии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе.

2. C. W. Thornthwaite, The Task Ahead, «Annals», Association of American Geographers, Vol. 51, 1961, pp. 345—356; M. I. Budyko, I. P. Gerasimov, The Heat and Water Balance of the Earth's Surface, the General Theory of Physical Geography and the Problem of the Transformation of Nature, «Soviet Geography: Review and Translation», Vol. 2, 1961, pp. 3—12; H. E. Landsberg, Goals for Climatology, «Journal of the Washington Academy of Science», Vol. 52, 1962, pp. 85—90; D. H. Miller, The Heat and Water Budget of the Earth's Surface, «Advances in Geophysics», Vol. II, 1965, pp. 175—302; A. D. Tweedie, Challenges in Climatology, «Australian Journal of Science», Vol. 29, 1967, pp. 273—278.

3. D. H. Miller, A Survey Course: The Energy and Mass Budget of the Earth, Washington, D. C.: Association of American Geographers, 1968; C. C. Nikiforoff, Reappraisal of the Soil,

«Science», Vol. 129, 1959, pp. 186—196; E. S. Roth, Temperature and Water Content as Factors in Desert Weathering, «Journal of Geology», Vol. 73, 1965, pp. 454—468; G. E. Hutchinson, A Treatise on Limnology, New York: Wiley, 1957; W. D. Sellers, The Energy Balance of the Atmosphere and Climatic Change, «Journal of Applied Meteorology», Vol. 3, 1964, pp. 337—339; D. M. Gates, Toward Understanding Ecosystems, «Advances in Ecological Research», Vol. 5, 1968, pp. 1—35; D. M. Gates, Energy Exchange in the Biosphere, New York: Harper & Row, 1962; J. H. Linford, An Introduction to Energetics, London: Butterworths, 1966; W. E. Billings, Plants and the Ecosystem, Belmont, California: Wadsworth, 1964; W. E. Reifsnyder, H. W. Lull, Radiant Energy in Relation to Forests, Washington: Government Printing Office, 1965; J. H. Chang, Climate and Agriculture: An Ecological Survey, Chicago: Aldine, 1968.

4. L. D. Stamp, The Measurement of Land Resources, «Geographical Review», Vol. 48, 1958, pp. 1—15; D. L. Linton, The Geography of Energy, «Geography», Vol. 50, 1965, pp. 197—228; H. V. Warren, Some Pertinent Facts in Energy Studies, «Canadian Geographer», Vol. 5, 1961, pp. 16—23; A. Garnett, Insolation, Topography and Settlement in the Alps, «Geographical Review», Vol. 25, 1935, pp. 601—617.

5. A. Sundborg, Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area, «Tellus», Vol. 2, 1950, pp. 222—232; F. S. Duckworth, J. S. Sandberg, The Effect of Cities Upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients, «Bulletin of the American Meteorological Society», Vol. 35, 1954, pp. 198—207; J. M. Mitchell, The Temperature of Cities, «Weatherwise», Vol. 14, 1961, pp. 224—229; T. J. Chandler, London's Urban Climate, «Geographical Journal», Vol. 128, 1962, pp. 279—302; C. A. Woollum, Notes from a Study of the Microclimatology of the Washington, D. C., Area for the Winter and Spring Season, «Weatherwise», Vol. 17, 1964, pp. 263—271; W. Eriksen, Das Stadtklima: seine Stellung in der Klimatologie und Beiträge zu einer witterungsklimatologischen Betrachtungsweise, «Erdkunde», Vol. 18, 1964, pp. 257—266; T. Sekiguti, Local Climate and City Climate, «Tokyo Journal of Climatology», Vol. I, 1964, pp. I—5; T. Sekiguti et al., Geographical Distribution of Lower Upper Air Temperature Above City Area, «Tokyo Journal of Climatology», Vol. I, 1964, pp. 29—34; K. Sasakura, On the Distribution of Relative Humidity in Tokyo and Its Secular Change in the Heart of Tokyo, «Tokyo Journal of Climatology», Vol. 2, 1965, pp. 45—46; R. J. Hutcheon et al., Observations of the Urban Heat Island in a Small City, «Bulletin of the American Meteorological Society», Vol. 48, 1967, pp. 7—9; A. Garnett, Some Climatological Problems in Urban Geography with Reference to Air Pollution, «Transactions», Institute of British Geographers, № 42, 1967, pp. 21—43; S. Lindqvist, Studies on the Local Climate in Lund and Its Environs, «Geografiska Annaler», Vol. 50A, 1968, pp. 79—93.

6. R. E. Munn, Descriptive Micrometeorology, New York: Academic Presss, 1966, p. 196; Miller, op. cit., footnote 3, p. 14.

7. P. A. Kratzer, Das Stadtklima, Braunschweig: Verlag Vieweg, 1956; A. Garnett, W. Bach, An Estimate of the Ratio of Artificial Heat Generation to Natural Radiation Heat in Sheffield, «Monthly Weather Review», Vol. 93, 1965, pp. 383—385; I. F. Hand, Transmission of the Total and the Infrared Component of Solar Ra-

diation Through a Smoky Atmosphere, «Bulletin of the American Meteorological Society», Vol. 24, 1943, pp. 201—204; P. A. Sheppard, The Effect of Pollution on Radiation in the Atmosphere, «International Journal of Air and Water Pollution», Vol. I, 1958, pp. 31—43.

8. R. F. Fuggle, Preliminary Thoughts on Long-Wave Radiative Flux Divergence and the Urban Heat Island, «Climatological Bulletin», № 4, 1968, pp. 31—39; T. Sekiguti and Collaborators, The Geographical Distribution of Solar Radiation in the Tokyo Metropolitan Area, «Tokyo Juornal of Climatology», Vol. I, 1964, pp. 35—44; T. Fujita, G. Baralt, K. Tsuchiya, Aerial Measurement of Radiation Temperatures Over Mt. Fuji and Tokyo Areas and Their Application to the Determination of Ground-and Water-Surface Temperatures, «Journal of Applied Meteorology», Vol. 7, 1968, pp. 801—816; M. Neiburger, Weather Modification and Smog, «Science», Vol. 126, 1957, pp. 637—645; W. Bach, W. Patterson, Heat Budget Studies in Greater Cincinnati, «Proceedings», Association of American Geographers, Vol. I, 1969, pp. 7—11.

9. I. M. Osokin, The Study of the Climate of Cities as an Urgent Present-Day Task for University Geographers, «Soviet Geography: Review and Translation», Vol. 3, 1962, pp. 55—58.

10. G. A. DeMarrais, G. C. Holzworth, C. R. Hosler, Meteorological Summaries Pertinent to Atmospheric Transport and Dispersion Over Southern California, Washington, D. C. Government Printing Office, 1965, p. 64.

11. *Превосходные спутниковые снимки* развития вихря Каталина см. в статье: J. Rosenthal, Picture of the Month — A Catalina Eddy, «Monthly Weather Review», Vol. 96, 1968, pp. 472—473.

12. W. H. Terjung, Urban Energy Balance Climatology: A Preliminary Investigation of the City-Man System in Downtown Los Angeles, «Geographical Review», Vol. 60, 1970, pp. 31—53.

13. Ланглей = 1 кал/см^2 = 3,655 британской тепловой единицы на 1 кв. фут = 4,1855 джоуля на 1 кв. см.

14. В число других очень незначительных и локальных компонентов, которыми обычно пренебрегают, входят диссипация энергии ветром, волнами, течением; энергия, затрачиваемая в разные сезоны на таяние снега и льда; энергия, используемая *на фотосинтез*; поступления энергии, образующейся при сжигании веществ и при вулканических извержениях. Все эти величины можно легко ввести в приведенные *уравнения*.

15. Более полное описание прибора см. в работе: Gates, op. cit., footnote 3, pp. 86—89.

16. *Закон Стефана — Больцмана* гласит, что количество энергии, излучаемой черным телом, пропорционально четвертой степени абсолютной температуры объекта. Пересчеты выполнены с *помощью* таблиц, приведенных в работе К. Я. Кондратьева: K. Ya. Kondrat'yev, Radiative Heat Exchange in the Atmosphere, Oxford: Pergamon Press, 1965, p. 407.

17. W. D. Sellers, Physical Climatology, Chicago: University of Chicago Press, 1965, pp. 144—146; C. B. Tanner, Comparison of Energy Balance and Mass Transport Methods for Measuring Evaporation, in Conference Proceedings: Evapotranspiration and Its Role in Water Resources Management, St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1966, pp. 45—53; E. K. Webb,

Aerial Microclimate, Meteorological Monographs, Vol. 6, 1965, pp. 27—58; I. C. Mclleroy, D. E. Angus, Grass, Water and Soil Evaporation at Aspendale, «Agricultural Meteorology», Vol. I, 1964, pp. 201—224; E. I. Mukammal, K. M. King, H. F. Cork, Comparison of Aerodynamic and Energy Budget Techniques in Estimating Evapotranspiration from a Cornfield, «Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie», Serie B, Vol. 14, 1966, pp. 384—395; W. O. Pruitt, F. J. Lourence, Tests of Aerodynamic, Energy Balance and Other Evaporation Equations Over a Grass Surface, in F. A. Brooks and W. O. Pruitt, eds., Investigation of Energy, Momentum and Mass Transfers Near the Ground, Davis: University of California, Department of Agricultural Engineering and Department of Water Science, 1966, pp. 37—63.

18. Предпринималась попытка определить испарение и другие составляющие уравнения баланса энергии для поверхности города во время прохождения тропического циклона.

19. Sellers, op. cit., footnote 17, p. 114; Munn, op. cit. footnote 6, p. 39; Chang, op. cit., footnote 3, p. 47, 54; W. Mahringer, Das Temperaturegime einer Betonoberfläche, «Archiv für Meteorologie», Geophysik und Bioklimatologie, Series B, Vol. II, 1962, pp. 533—559.

20. M. Neiburger, Reflection, Absorption, and Transmission of Insolation by Stratus Cloud, Journal of Meteorology, Vol. 6, 1949, pp. 98—104.

21. W. H. Terjung, op. cit., footnote 12.

22. A. M. Stoll, J. D. Hardy, Thermal Radiation Measurements in Summer and Winter Alaskan Climates, «Transactions», American Geophysical Union, Vol. 36, 1955, pp. 213—226.

23. W. H. Terjung et al., Energy and Moisture Balances of an Alpine Tundra in Mid-July, Arctic and Alpine Research, Vol. I, 1969, pp. 247—266.

24. Данные предоставлены Службой наблюдений за загрязнением воздуха в контрольном районе Лос-Анджелеса.

25. r — коэффициент корреляции; SE — стандартное отклонение оценки.

26. W. H. Terjung et al., Terrestrial, Atmospheric and Solar Radiation Fluxes on a High Desert Mountain in Mid-July: White Mountain Peak, California, «Solar Energy», Vol. 12, 1969, pp. 363—375; W. H. Terjung et al., op. cit., footnote 23; W. H. Terjung, The Energy Budget of Man at High Altitudes, «International Journal of Biometeorology», Vol. 14, 1970.

27. Согласно Chang, op. cit., footnote 3, p. 19.

28. F. A. Brooks, W. O. Pruitt, eds., op. cit., footnote 17.

29. C. A. Federer, Spatial Variation of Net Radiation, Albedo and Surface Temperature of Forests, Journal of Applied Meteorology, Vol. 7, 1968, pp. 789—795.

30. W. H. Terjung, Some maps of Isanomalies in Energy Balance Climatology, «Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie», Series B, Vol. 16, 1968, pp. 279—315.

31. Наименьшее значение R, наблюдавшееся около 4 часов утра, принималось равным $\approx 0{,}05$ ланглей·мин$^{-1}$.

32. W. H. Terjung et al., The Annual March of the Topoclimatic Spatial Patterns of Net Radiation in Southern California, «Ar-

chiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie», Series B, Vol. 16, 1968, pp. 21—50.

33. Gates, op. cit., footnote 3, 1968, p. 6.

34. W. H. Terjung, op. cit., footnote 12; Terjung, op. cit., footnote 26.

35. K. J. Kondratyev, M. P. Manolova. The Radiation Balance of Slopes, «Solar Energy», Vol. 4, 1960, pp. 14—19.

36. Для пересчета в ккал·ч$^{-1}$ нужно умножить число ланглей·мин$^{-1}$ на 600.

37. Для поверхности кожи человека она равна примерно 0,99. Большинство других поверхностей города характеризуются в излучательном диапазоне длин волн почти таким же излучением, как у почти черных тел.

38. J. D. Hardy, Heat Transfer, in L. H. Newburgh, ed. Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing, Philadelphia: W. B. Saunders, 1949, p. 78—108, esp. p. 81.

39. A. Guibert, C. L. Taylor, Radiation Area of the Human Body. «Journal of Applied Physiology», Vol. 5, 1952, pp. 24—37.

40. Terjung, op. cit., footnote 12.

41. D. H. K. Lee, Heat and Cold Effects and their Control, Washington, D. C.: Government Printing Office, 1964.

42. L. Fourt and M. Harris. Physical Properties of Clothing Fabrics, in L. H. Newburgh ed., Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing, Philadelphia: W. B. Saunders, 1949, pp. 291—319.

43. Hardy, op. cit., footnote 38, p. 105; S. Robinson, Physiological Adjustments to Heat, in L. H. Newburgh, ed., op. cit., footnote 42, pp. 193—231.

44. W. H. Terjung, World Patterns of the Distribution of the Monthly Comfort Index, «International Journal of Biometeorology», Vol. 12, 1968, pp. 119—151.

45. Sellers, op. cit., footnote 17, p. 240; Terjunget, al., op. cit., footnote, 32.

46. Sellers, op. cit., footnote 17, p. 55.

47. S. E. Tuller. World Distribution of Mean Monthly and Annual Precipitable Water, Monthly Weather Review, Vol. 96, 1968, pp. 785—797.

448. Sellers, op .cit., footnote 17.

49. G. J. Haltiner. F. L. Martin, Dynamical and Physical Meteorology, New York: McGraw-Hill, 1957, p. 90; Sellers, op. cit., footnote 17, p. 14.

50. N. Robinson, ed., Solar Radiation, Amsterdam: Elsevier. 1966. p. 31.

51. F. Kasten, A New Table and Approximation Formula for the Relative Optical Air Mass. «Archiv für Meteorology, Geophysik und Bioklimatologie», Series B, Vol. 14. 1966, pp. 206—223.

52. P. Bener, Der Einfluss Der Bewölkung auf die Himmelsstrahlung; «Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie», Series B., Bd. 12, 1963, pp. 442—457.

53. Gates, op. cit., footnote 3, 1968, p. 6.

Энтропия и пространственная геометрия[1]

МАЙКЛ БЭТТИ

В последнее десятилетие рядом исследователей высказывалось предположение, что энтропия является подходящей статистикой для измерения пространственного распределения различных географических явлений. Так, Леопольд и Лангбейн (Leopold, Langbein, 1962) используют критерий энтропии при установлении того факта, что наиболее вероятная форма продольного профиля рек описывается отрицательно-экспоненциальной зависимостью. Карри (Curry, 1964) показал, что с помощью энтропии можно объяснить распределение городов по ранговому размеру, а Вильсон (Wilson, 1970) разработал метод максимизации функции энтропии, который можно использовать для описания самых различных размещенных явлений от распределения челночных миграций (distributions of trip-making behavior) до распределения населения. Более того, Могридж (Mogridge, 1972) в превосходном обзоре, посвященном понятию энтропии, продемонстрировал «исключительное значение (энтропии) для понимания экономических и пространственных систем». Однако вопрос о размерах пространства, в котором фиксируются различные явления и подсчитываются статистические характеристики, во всех этих работах остается невыясненным. Почти не уделяется внимания способу разбиения пространства, поскольку большинство энтропийных моделей, видимо, основано на предположении, что распределения измеряются в пределах пространства, разбитого на равные участки или интервалы. Но это предположение не всегда справедливо; географам давно известно, что из сходных распределений, измеренных при разных способах разбиения, можно получить различные и часто противоре-

[1] Michael Batty, Entropy and spatial geometry «Area», Vol. 4, № 4.

чивые схемы. Хотя в последние годы указанная проблема широко изучалась, например, при помощи пространственных автокорреляционных функций, вопросу построения оптимальных для географического анализа или планирования размещения пространственных систем уделялось очень мало внимания. Так, Нефт (Neft, 1966) в своей классической работе по пространственному анализу почти не затрагивает эту проблему.

В данной работе ставится цель кратко исследовать геометрию пространственных систем в связи с измерением размещенных явлений с привлечением статистической характеристики — энтропии. Представляется, что с различными пространственными статистиками связаны различные идеальные геометрии. Здесь с эмпирической и теоретической точек зрения будет рассмотрена геометрия, согласующаяся с понятием энтропии. Предварительно остановимся вкратце на использовании энтропии при анализе размещений.

ДИСКРЕТНАЯ ЭНТРОПИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Наиболее широко используемое в географической литературе определение энтропии принадлежит Шеннону (Shannon, Weaver, 1949). Ее называют также мерой информации или неопределенности. Эту меру можно записать в виде

$$H(r) = -\sum_i p_i \ln p_i, \qquad (1)$$

где p_i есть вероятность явлений, имеющих место в r_i. Суммирование выполняется по всем дискретным интервалам, обозначенным индексом i; уравнение (1) нормировано так, что $\sum_i p_i = 1$. Проблему выбора подходящей длины интервала r_i можно лучше всего проиллюстрировать с помощью метода максимизации энтропии Вильсона (Wilson, 1970). Вильсон максимизирует уравнение (1), где p_i определяется как вероятность местоположения, налагая различные ограничения, касающиеся этого местоположения и стоимости размещения некоторой деятельности. В целом такое решение задачи предполагает, что деятельность размещается вокруг некоторого центра в соответствии с какой-либо убывающей монотонной функцией, например функцией

путевых издержек или расстояния, подобной отрицательно-эспоненциальной или обратно-степенной функции. Получаемый при этом результат, однако, указывает на постоянный размер интервала, Бродбент (Broadbent, 1969) предложил заменить дискретную меру вероятности в уравнении (1) на вероятность, нормированную относительно размера интервала или площади (этот размер может меняться в зависимости от распределения). В таком случае модель максимизации энтропии превращается в модель размещения плотности, а не абсолютного размера деятельности и становится более общей.

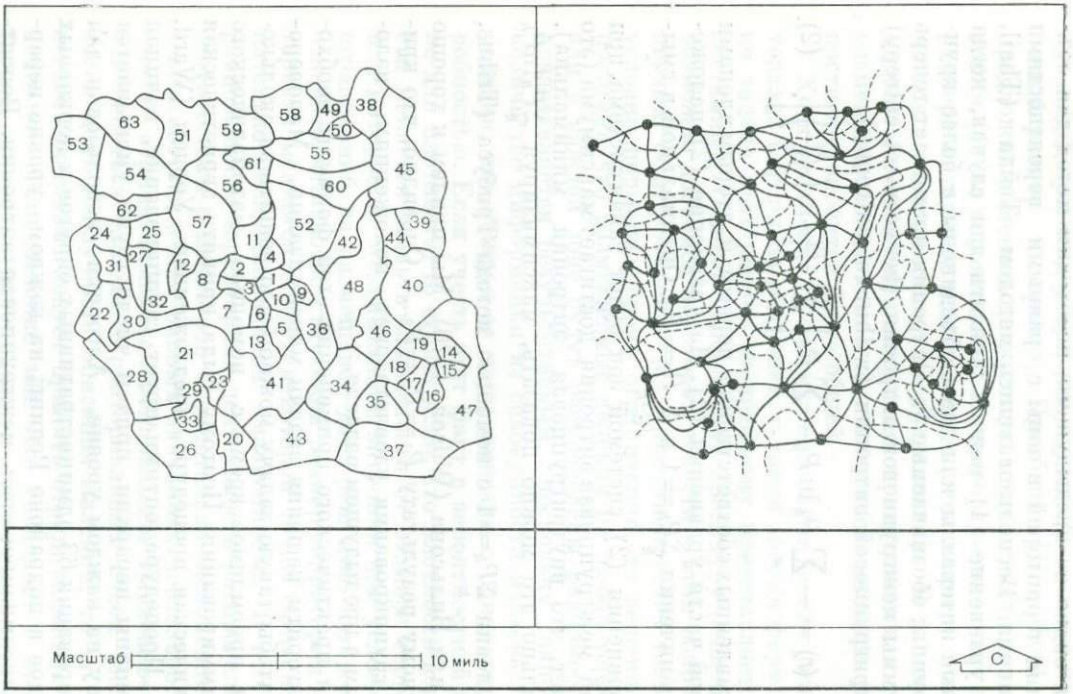
Хотя уточнение Бродбента позволяет ввести размер интервала в формулу энтропии, с точки зрения формулировки задачи этот размер по-прежнему представляется внесистемным. Однако, видоизменив процедуру решения, мы, возможно добьемся некоторой ясности в этом вопросе. Во-первых, если уравнение (1) максимизируется только при условии нормализующего ограничения, то решение предполагает, что размещенные явления на любой территории или в каждой зоне будут распределены равномерно. Это представляется результативным, поскольку наибольшее количество информации из совокупности извлекается при условии, что каждая ее часть описана с одинаковой подробностью. Если учесть этот факт в вероятностной формуле для плотности, то станет ясно, что плотность вероятности меняется лишь в зависимости от размера территории или интервала. Максимизация энтропии при условии этих ограничений на размещение дает решение, которое будет означать, что соответствующий размер территории или интервала меняется вокруг некоторой точки согласно отрицательно-экспоненциальной зависимости. В итоге при равновеликих территориях деятельность распределяется в соответствии с некоторой отрицательно-экспоненциальной зависимостью, а при равных значениях деятельности, согласно отрицательно-экспоненциальной зависимости, будет меняться система территориальных ячеек. Если ставится цель наилучшего описания явлений, то по вполне ясным причинам следует принять отрицательно-экспоненциальное распределение зон. Это совпадает с выводами Тоблера (Tobler, 1963), который получил сходный результат, используя другой способ доказательства. Более формальное изложение этого обоснования мы не будем здесь приводить, так как оно заняло бы много места.

Как видно из предыдущего, необходим метод для объединения территорий в зоны с равными вероятностями размещения. Воспользовавшись методом Тейла (Thail, 1967), уравнение (1) можно записать для случая, когда исходные интервалы или зоны объединены в более крупные группы, обозначаемые S_k. Энтропия принимает теперь вид суммы межгрупповой энтропии (between-set entropy) и внутригрупповой энтропии (within-set entrophy):

$$H(r) = -\sum_k P_k \ln P_k - \sum_k P_k \left[\sum_{i \in S_k} \frac{p_i}{P_k} \ln \left(\frac{p_i}{P_k} \right) \right], \quad (2)$$

представленных соответственно первым и вторым членами в правой части уравнения (2). На уравнение (2) наложены ограничения $\sum_k P_k = 1$ и $\sum_{i \in S_k} P_i = P_k$. Оптимальной в смысле уравнения (2) системой зон будет такая система, при которой межгрупповая энтропия достигает максимума (это означает, что внутригрупповая энтропия минимальна). Формально это можно показать, максимизируя $\sum_k P_k \ln P_k$ при условии $\sum_k P_k = 1$ с помощью метода Трибуса (Tribus, 1969) или Вильсона (Wilson, 1970). Мы придем к хорошо известному результату $P_1 = P_2 = P_3 \ldots$. Очевидно, что критерий группирования удовлетворяет положениям, изложенным в предыдущем разделе.

Для практического применения этой формулы необходим алгоритм решения задачи максимизации. Маловероятно, чтобы такую задачу можно было решить за сколько-нибудь приемлемое время с помощью математического программирования. Поэтому была принята эвристическая иерархическая процедура, предложенная Уордом (Ward, 1963). Процедура оптимизирует группирование, начиная от вершины иерархии, причем число групп уменьшается на одну на каждом уровне. Алгоритм использован для группирования 63 административных округов и церковных приходов в подрайоне Рединг; на каждом уровне иерархии максимизировалась межгрупповая энтропия. Вероятности в уравнении (2) соответствуют наблюдаемому распределению населения в этом подрайоне. На рис. 1 пока-



Р и с. 1. Фактическая геометрия подрайона Рединг.

Слева: административные округа и церковные приходы подрайона Рединг; *справа:* условия смежности в подрайоне, показанные в виде плоского и двойственного ему графов.

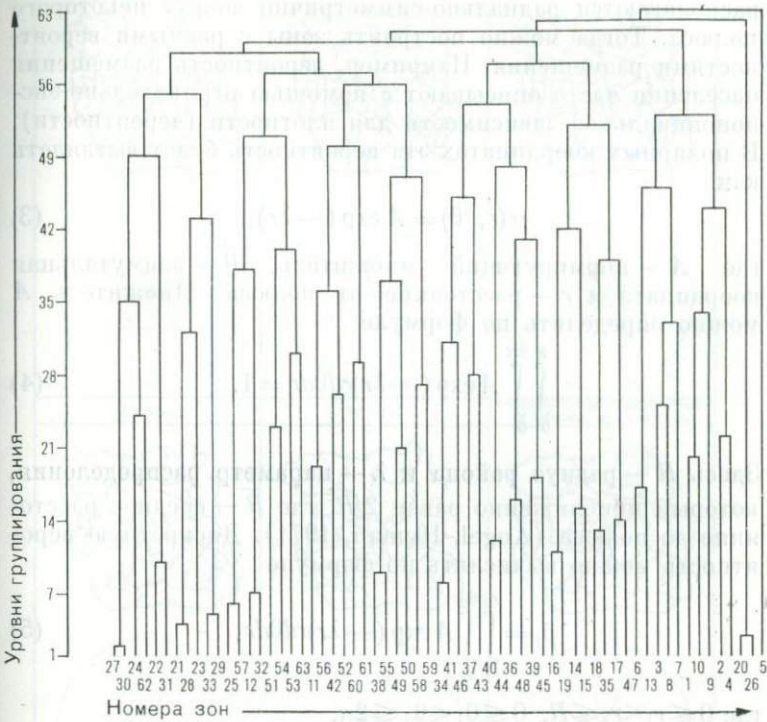


Рис. 2. Уровни группирования в пространстве.

зано распределение исходных зон в подрайоне. В виде плоского графа представлены условия смежности, необходимые для обеспечения реалистичного пространственного объединения. На рис. 2 изображены уровни объединения, которое максимизирует межгрупповую энтропию.

ИДЕАЛИЗОВАННАЯ ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В противоположность действительной геометрии пространства, которая в значительной мере определяется исходной системой районирования (basic zoning system). можно построить идеализованную, но упрощенную геометрию для заданного числа районов. Предположим, что вероятности размещения можно описать с помощью какой-либо математической функции, согласно которой они

располагаются радиально-симметрично вокруг некоторого полюса. Тогда можно построить зоны с равными вероятностями размещения. Например, вероятность размещения населения часто описывают с помощью отрицательно-экспоненциальной зависимости для плотности (вероятности). В полярных координатах эта вероятность будет выглядеть как

$$p(r, \theta) = A \exp(-\lambda r), \tag{3}$$

где A — нормирующий множитель, θ — азимутальная координата и r — расстояние от полюса. Множитель A можно определить по формуле

$$\int_0^R \int_0^{2\pi} A \exp(-\lambda r) r d\theta dr = 1. \tag{4}$$

Здесь R — радиус района и λ — параметр распределения, который приближенно равен $2/\overline{R}$, где $\overline{R}$ — среднее расстояние до полюса (Angel, Hyman, 1971). Дискретную вероятность можно вычислить по формуле

$$p_i = \int_{r_1}^{r_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} A \exp(-\lambda r) r d\theta dr, \tag{5}$$

где $0 \leqslant r_1 < r_2 \leqslant R$, $0 \leqslant \theta_1 < \theta_2 \leqslant 2\pi$.

В системе из n-зон с равными вероятностями в каждой зоне уравнение (5) можно решить при $p_i = 1/n$. При разных n уравнение (5) решали в две стадии, определяя сначала кольца с равной вероятностью, начиная от $r_1 = 0$, и разделяя затем радиально-симметричную систему на равновеликие секторы. Это лишь один из методов решения уравнения (5), а поэтому полученная идеализованная схема несколько произвольна. Тем не менее можно наблюдать интересные различия на каждом уровне между объединением зон в соответствии с алгоритмом Уорда и идеализованной системой. На рис. 3 сравниваются названные фактическая и идеальная геометрия. Ясно видно, что фактическая геометрия несет заметный отпечаток исходного районирования. Последняя диаграмма на рис. 3 показывает одну из возможных идеальных систем районирования из 24 зон и 5 центров с примерными размерами и местоположением центров, соответствующими Рединту, Уокин-

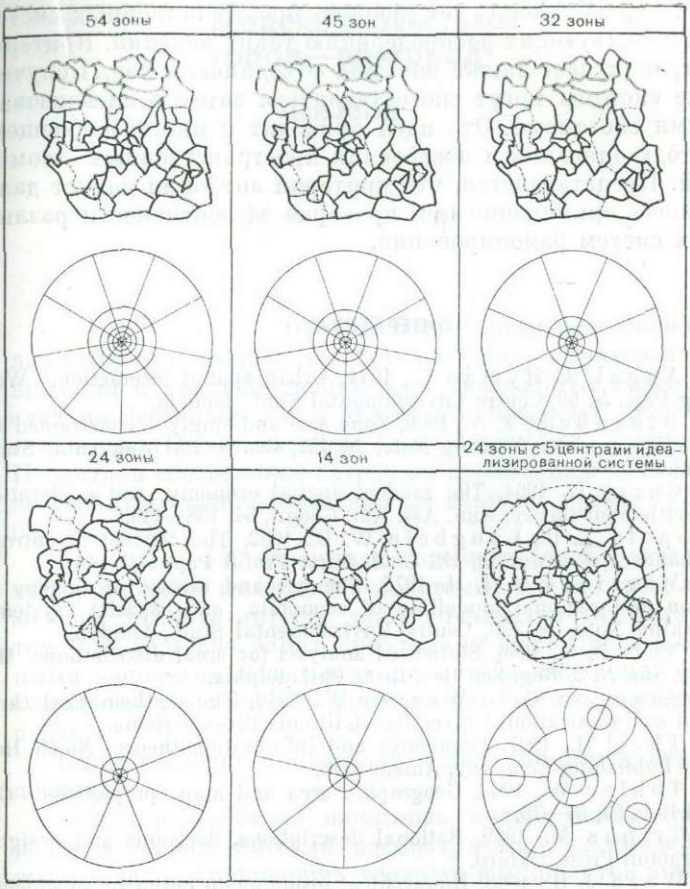


Рис. 3. Фактическая и идеализированная системы районирования.

гему, Хенли-он-Темс, Пангборну и Бургфильду. Эта система районирования была построена по данным, вычисленным по уравнению (5) применительно к каждому центру с последующей итерацией и согласованием результатов. В этом случае соответствие между действительной и идеальной системами гораздо лучше.

В заключение отметим, что использование понятия «энтропия» при объяснении географических явлений мо-

жет способствовать построению пространственных систем, соответствующих распределению таких явлений. Критерий энтропии дает также способы объединения зон. Полученные системы могут сосоставляться затем с идеализованными системами. Эта идея приводит к многообещающему методу описания и построения пространственных геометрий. Представляется, что критерий энтропии найдет дальнейшее применение при проверке эффективности различных систем районирования.

ЛИТЕРАТУРА

Angel S., Hyman G., 1971, Urban spatial interaction. Working Pap., № 69, Centre Environmental Stud., London.

Broadbent T. A., 1969, Zone size and singly — constrained interaction models. Working Note, № 132, Centre Environmental Stud., London.

Curry L., 1964. The random spatial economy: and exploration in settlement theory. Ann. Ass. Am. Geogr., 54, 138—146.

Leopold L. B., Langbein W. B., 1962, The concept of entropy in Landscape evolution. US Geol. Surv. Prof.fl Pap. 500 — A.

Mogridge M. J. H. 1972. The use and misuse of entropy in urban and regional modelling of economic and spatial systems. Working Note, № 320, Centre Environmental Stud., London.

Neft D. S., 1966, Statistical analysis for areal distributions. Monogr. Ser. № 2, Reg. Sci. Res. Inst., Philadelphia.

Shannon C. E., Weaver W., 1949, The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.

Theil H., 1967, Economics and information theory. North Holland Publishing Company, Amsterdam.

Tobler W., 1963. Geographic area and map projections. Geogrl Rev. 53, 59—78.

Tribus M., 1969, Rational descriptions, decisions and designs. Pergamon Press, Oxford.

Ward J. H., 1963, Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. statist. Ass., 58, 236—244.

Wilson A. G., 1970, Entropy in urban and regional modelling Pion Press, London.

Модель экосистемы город—пригород[1]

МАК-ЛЕОД

Вильям Дж. Портоу подготовил доклад о Проекте модели экосистемы город — пригород, обобщающий и анализирующий идеи, разрабатываемые в последние несколько лет в отделе метеорологии Университета штата Оклахома. Дж. Амос Эдди был директором Проекта, а обеспечение затрат на публикацию доклада было гарантировано Агентством по защите среды (2РО—68—02—5347).

Доклад на 340 страницах содержит столь детальную информацию об имитации экосистемы, что она вряд ли может представить интерес для большинства читателей. Но тем, кто серьезно занят проблемами экологии и конкретными вопросами использования метода имитации, мы настоятельно рекомендуем внимательно проштудировать эту работу.

Ниже дословно приводится текст аннотации автора к докладу:

«Была разработана машинная модель экосистемы город — пригород, которая рассматривает взаимодействие выбранных составляющих главных компонентов экосистемы. Экосистема представлена пятью основными подпрограммами [атмосфера, гидросфера, городская среда, животный мир (и человек, как организм) и растительный мир], которые управляются (контролируются) принимающей решение исполнительной программой. Модель имеет модульную структуру и использует различные стохастические и детерминированные процессы, для того чтобы имитировать феномен, создаваемый экосистемой город — пригород. Решение использовать указанные составляющие

---

[1] McLeod D., An Urban — Rural Ecosystem Model, «Simulation», 1973, Vol. 20, № 1, p. 33—35.

экосистемы основано на действительном наличии присущих экосистеме в целом различных компонентов и определенного уровня сложности. Модель разработана с учетом того, чтобы ее легко можно было использовать для получения информации о тех компонентах экосистемы город — пригород, которые в данный момент не анализируются.

Разработка модели, способной имитировать феномен человек — окружающая среда, была стимулирована сознанием того, что человечество в весьма сильной степени изменяет природную среду и чрезвычайно быстрыми темпами потребляет природные ресурсы. Создание же частной модели экосистемы город — пригород мотивировано тем, что влияние человека на среду его обитания развивается именно в такой системе. Назначение экосистемных моделей состоит прежде всего в том, чтобы 1) обеспечить механизм, позволяющий сконцентрировать и реализовать современные знания об экосистеме, 2) создать схему взаимодействий между различными компонентами системы и 3) приобрести в результате этого могущественный инструмент исследования.

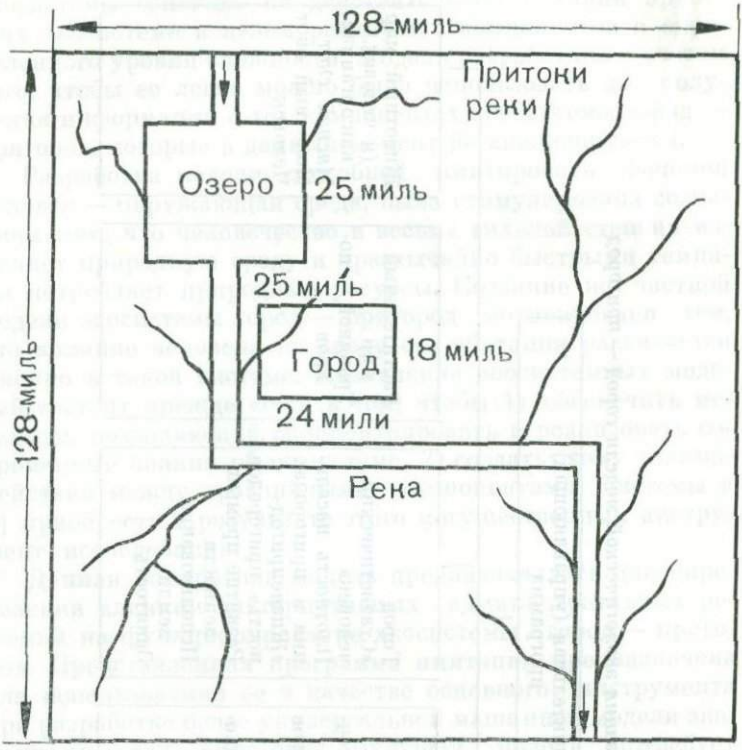
Данная конкретная модель предназначалась для определения влияния альтернативных административных решений на функционирование экосистемы город — пригород. *Представленная программа имитации предназначена* для использования ее в качестве основного инструмента при разработке более универсальной машинной модели экосистемы город — пригород. Будущая модель потребует включения в нее различных новых компонентов экосистемы и использования большого количества имеющихся данных для калибровки и повышения надежности (достоверности) модели. Разработанная модель экосистемы отличается от других моделей тем, что пытается проанализировать главным образом эволюцию экосистемы город—пригород и те проблемы человека, которые возникают в крупном современном городе и противостоят национальным или глобальным проблемам».

Вторая глава доклада касается принципов моделирования; она посвящена характеристикам моделей (детерминистические — стохастические, непрерывные — дискретные, динамические — статистические, иерархические — одноуровневые) и проблемам моделирования.

Третья глава описывает структуру модели. На рис. 1 схематически изображена моделируемая экосистема, а в

Таблица 1. *Организация экологической модели город — пригород*

Исполнительная (управляющая) программа				
Атмосфера Скорость ветра Направление ветра Относительная влажность Осадки Загрязнение воздуха Температура воздуха Температура почвы Солнечная радиация Облачность	Гидрология Испарение Влажность почвы Сеть водотоков Загрязнение воды Уровень водного зеркала озера	Город «Статистический человек» Плотность населения в пригородах «Жизнепригодность» пригородов Развитие промышленности Использование земли Занятость	Растительный мир Травяной покров	Животный мир (и человек, как организм) Мясной скот Молочный скот Человек



Р и с. 1. Общий размер экосистемы.

табл. 1 проиллюстрирована организация (блок-схема) модели. Другие рисунки и таблицы доклада детализируют отдельные блоки, показанные в табл. 1.

Программа для ЭВМ предназначена к прогону в Национальном центре атмосферных исследований (NCAR — National Center for Atmospheric Research) на системе CDC 6600. Эта система ЭВМ обладает возможностями обработать большую числовую модель (сердечник на 60 тыс. слов, вместительные ленточные и барабанные средства).

Большая емкость сердечника вынуждала использовать систему overlay, позволяющую сегментам большой программы пользоваться частью памяти, ранее занятой сегментами, чьи функции уже выполнены. Такая система

предусматривает включение off-line памяти индивидуальных подмоделей, которые могут быть запрошены в систему управляющей программой. Система, следовательно, находится в режиме on-line по отношению к субмоделям. Пять первичных субмоделей программируются как индивидуальные программы overlays и запрашиваются раздельно в on-line систему в функциях времени и пространственных шкал (масштабов) индивидуальных субмоделей.

Программа для машины использует 50 тыс. слов сердечника, 2 магнитные ленты и 2 барабана. 40 тыс. слов памяти сердечника используются для того, чтобы установить общий блок, который запоминает (накапливает) данные для использования различными overlays-программами, в то время как два барабана используются для запоминания рекурентных данных.

Одна из магнитных лент запоминает выходные данные в конце каждого интервала времени (временного шага), а вторая магнитная лента используется совместно с процедурой повторного допуска, предусмотренной в данной NCAR системе ЭВМ.

Двумя наиболее важными характеристиками общей программы являются модульность и иерархия структуры. Модульная структура иллюстрируется использованием overlays к программе индивидуальных субмоделей. Подстановка новых вариантов в старые субмодели и добавление новых субмоделей легко осуществляется путем добавления новых overlays. Иерархия структуры демонстрируется использованием управляющей программы, руководящей операциями overlays; при этом индивидуальные субмодели запрашиваются в on-line систему как функцию относительного времени и пространственных шкал.

Назначение субмодели «Атмосфера» состоит в имитации погодных условий по данным ежедневных наблюдений за периоды времени до 30 лет.

Субмодель «Гидрология» рассматривает аспекты гидрологического цикла, который влияет на эволюцию экосистемы город — пригород. Имитации поддается большинство рассматриваемых параметров экосистемы, связанных с водой. Структура имитационной модели основана на эмпирических соотношениях, сведения о которых черпались из многочисленных литературных источников. Гидрологическая модель — детерминистическая по структуре, хотя

первичные входные параметры имитируются в основном стохастической атмосферной моделью.

Субмодель «Город» организована так, чтобы имитировать динамику населения, изменения характеристик определенных социальных подгрупп, использование земли, индекс индустриализации урбанизированной территории. Модель в первую очередь рассматривает динамику населения и рост большого города. Город взят в определенных границах, к нему примыкают пригороды, имеющие свои границы внутри урбанизированной территории. Границы и города и пригородов изменяются в процессе эволюции урбанизированной территории. Внутри каждого пригорода выделяются кварталы городской застройки и единицы «статистического (осредненного) человека», характеризующие жителей конкретного пригорода.

Субпрограммы определяют население для каждого квартала городской застройки и характеристики каждого индивидуума в пределах урбанизированной территории. Признаки группируются по различным классам, и создается гистограмма классов, показывающая число людей в каждом классе для каждого пригорода. Характеристики, придающиеся «статистическому человеку», выбираются из частотного распределения свойств, связанных с конкретным пригородом, в котором проживает этот «статистический человек». Модель обеспечивает имитацию двух механизмов — диффузного и прерывистого движения, которые определяют перемещения «статистического человека» в зависимости от «жизнепригодности» условий конкретного пригорода. Для каждого пригорода хранятся записи характеристик распределения жилья, уровней рождаемости и смертности. Эта городская модель использует при имитации эволюции различных рассматриваемых параметров как стохастические, так и детерминированные процессы.

Детерминистическая субмодель «Растительный мир» имитирует рост травяного покрова в экосистеме, а именно накопление суммарной надземной и подземной биомассы травянистых растений за теплый сезон в функции времени года. Основными параметрами, влияющими на рост травы, являются степень влажности почвы, количество осадков, температура почвы и воздуха, величины солнечной радиации и скорость ветра. Большинство из этих параметров зависят от стохастической атмосферной модели.

Субмодель «Животный мир (и человек, как организм)»

имитирует производство молока и мяса и потребление этих продуктов жителями урбанизированной территории. Модель учитывает размеры поголовья мясного и молочного скота, вовлеченного в это производство. Скот питается травой непосредственно на пастбищах или же сеном в загонах. Эта модель, также детерминистическая по структуре, фактически дает ответ на выходные данные модели растительного мира и, следовательно, оказывается вторичной по отношению к ней.

Исполнительная модель (управляющая программа) предназначена для контроля и управления мгновенными результатами взаимодействия пяти первичных субмоделей, а также для оптимизации регулирования ресурсов экосистемы.

В частности, исполнительная модель использует линейное программирование как для оптимизации размещения водных ресурсов, так и для оптимизации промышленного производства, направленной на уменьшение загрязненности воздуха. Для определения оптимальных (по принципу наименьших затрат) вариантов административных мероприятий принятая теория решений пользуется Булевой логикой, чтобы манипулировать простыми геофизическими и биологическими лимитами.

Четвертая глава касается вопроса проверки модели, а пятая подводит итог всему исследованию; в ней автор приходит к выводу, что «эта модель продемонстрировала, как могут быть использованы стохастические процессы для анализа социальных систем и как можно пользоваться линейным программированием для оптимизации регулирования ресурсов».

В заключение говорится: «Влияние человека на эволюцию экосистемы город — пригород представляет собой один из наиболее важных показанных фактов... Имитационное моделирование десятилетнего периода существования экосистемы проиллюстрировало огромное воздействие административных решений на эволюцию экосистемы. В частности, имитация продемонстрировала влияние человека на водный баланс в экосистеме и зависимость человека от наличия достаточного водоснабжения. Указанные результаты и процесс усовершенствования модели показали, что [ее] прогнозная ценность... ограничена отсутствием определенных сведений о действиях человека в будущем и что реальные модели биологических и геофизических аспектов

экосистемы могут быть усовершенствованы. Развитие моделей управления, которые обращаются к реальным геофизическим и биологическим подсекциям, желательно, так как они могут быть использованы для имитации возможного влияния человека на эволюцию экосистемы. Результаты этих исследований должны учитываться при планировании будущей деятельности человечества».

Доклад содержит девять страниц библиографии и приложения:

1. «Результаты проверки схемы, полученные на атмосферной модели».
2. «Результаты проверки схемы, полученные на гидрологической модели».
3. «Результаты исследования городской модели».
4. «Результаты проверки схемы, полученные на модели растительного мира».
5. «Результаты проверки схемы исполнительной программы».

Для получения более подробной информации о Проекте читатель может написать в отдел метеорологии Университета штата Оклахома: Meteorology Department, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma 73069.

Региональная (районная) модель межотраслевых взаимодействий с окружающей средой[1]

ДЖОН Х. КАМБЕРЛЕНД,
РОБЕРТ Д. КОРБАЧ

Региональная наука восходит к представлению о территориальной упорядоченности физических или природных объектов; но это представление по своему смыслу предваряет основополагающую концепцию о возникновении региональной структуры в ходе приспособления человека к окружающей среде. *Морис Гарнси. «Сфера региональной науки»* [1].

РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ

В наши дни опасения, высказанные Морисом Гарнси на конференции Ассоциации региональной науки около 20 лет тому назад по поводу отношения человека к окружающей среде, оказались более чем пророческими. Специалисты по региональной науке стали расширять область применимости своих аналитических моделей, стремясь включить в них те понятия многих отраслевых наук, которые, согласно Гарнси, составляют суть регионального анализа. В этом отношении одной из самых далеко идущих и обнадеживающих работ явилась модель, объединившая экономические модели с экологическими системами, о которой в 1967 г. Изард и его коллеги доложили на конференции Ассоциации региональной науки [2]. Другой возможный подход, также выдвинутый на конференции Ассоциации региональной науки [3], в настоящее время разрабатывается в Университете штата Мэриленд. В данной работе описаны некоторые аспекты исследований, прово-

[1] John H. Cumberland, Robert J. Korbach, A Regional Interindustry environmental model. Red. Science Association «Papers», Vol. 30, 1973, p. 61—75.

димых в Мэриленде, в том числе модель, прогнозирующая взаимодействие экономики и окружающей среды в пределах штата, теоретическая модель связанных с этим процессов, система учета взаимодействий со средой, на которую опирается модель, а также сводка эмпирических результатов, полученных до сих пор [1].

Хотя многие экономисты, занятые прежде всего изучением проблем национальной экономики, все еще озабочены в основном вопросами роста производства в целом, специалисты по региональной экономике все более убеждаются, что ожидаемые выгоды от развития экономики часто не приносят реального результата или достаются слишком дорогой ценой. Развитие промышленности подчас не обеспечивает работой бóльшую часть нуждающихся в ней жителей данного района и благоприятствует скорее мигрантам. Доходы, поступающие от новых предприятий, часто перекрываются общественными расходами на их содержание и обслуживание. К тому же рост индустриализации влечет за собой все возрастающее ухудшение окружающей среды и качества жизни. Поэтому обычное априорное допущение, что выгоды развития превзойдут издержки, уже не является столь бесспорным для любого конкретного проекта строительства в любом конкретном районе. К тому же все чаще решающее значение приобретает вопрос о распределении выгод и потерь между группами населения с различным доходом, секторами экономики и районами. Все более утверждается осознание того факта, что экономическое развитие, как правило, несет выгоды наиболее обеспеченным группам населения за счет менее обеспеченных его групп [4]. Лишь при весьма жестких условиях ограничения любой предложенный план развития будет удовлетворять общим условиям Парето, характеризующим оптимальное развитие района, при котором равно не страдают доход на душу населения в частном секторе, чистый доход в общественном секторе и качество окружающей среды [3].

Значение сказанного для региональной науки заключается в том, что все большую роль приобретают крупномасштабные модели, в которых можно было бы порознь ана-

[1] Ввиду недостатка места приводятся лишь сводные данные, извлеченные из более полных таблиц, которые можно получить, запросив об этом авторов по адресу: c/o University of Maryland College Park Md.

лизировать изменения в экономике и территориальном размещении, а также фактор времени. Все более широкое участие общественности в принятии хозяйственных решений и возрастающее беспокойство за качество экономического развития вызвали потребность в аналитических методах, которые позволили бы охватить все аспекты стратегии экономического, территориального и изменяющего среду развития общества. Такие модели должны быть достаточно действенными и надежными, чтобы их можно было использовать в местном масштабе, невзирая на ограниченность фактических данных и исследовательских ресурсов; они должны быть и настолько гибкими, чтобы, помимо простой проверки выгод и издержек любого конкретного проекта развития, способствовать и формулировке оптимальной стратегии развития и сопоставлять различные возможные ее варианты.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы наметить некоторые предварительные шаги в разработке действенной модели локального масштаба и обеспечить соответствующие данные, которые позволят сравнить (для того же масштаба) вероятные последствия различных возможных программ развития района, а также сопоставить ожидаемые экономические выгоды с вероятными издержками этого развития и его воздействием на окружающую среду.

МЕЖРАЙОННЫЕ ПОТОКИ ОТХОДОВ

Оценивая возможные выгоды и издержки различных вариантов развития, существенно учитывать не только обычные потоки хозяйственной продукции, но и главные потоки отходов. Для таких замкнутых систем, как наша планета в целом или экономика отдельной страны — достаточно большой и автономной, чтобы развиваться при небольшом объеме внешней торговли и минимальном загрязнении внешней (по отношению к ней) и внутренней среды,— межрайонный перенос всевозможных отходов не имеет решающего значения. Однако в масштабах менее крупных экономических районов с обширными торговыми связями и потоками, отводимыми в окружающую среду, межрайонный перенос отходов необходимо включать в структуру соответствующей модели. Поэтому мы будем проводить различие между суммарными «отходами», на которые и сделан упор в нашей модели, и последующим

физическим перемещением этих отходов, которое можно моделировать с помощью различных моделей диффузии.

Существенно, что хозяйственное значение межрайонных потоков товаров и отходов противоположно. Если в районе создаются экспортируемые товары и услуги, то это порождает внутрирайонный поток отходов в ответ на приток кредитов и отток товаров. Поэтому некогда общепризнанная цель региональной экономики — увеличение экспорта — должна теперь оцениваться в свете того, что она достигается за счет ухудшения качества окружающей среды. И наоборот, если район импортирует товары для секторов экономики, соответствующих промежуточному или конечному спросу, то тем самым создаются потоки отходов в других районах в обмен на приток товаров и отток кредита в импортирующем районе. Качество среды в нем не ухудшается, однако это происходит за счет снижения занятости и доходов.

Следует отметить, что отходы одинаково создаются как на стадии потребления, так и на стадии производства. Правда, специализируясь на импорте, район может избежать больших трудностей, связанных с проблемой отходов производства отдельных товаров; но и в этом случае вопрос не решается полностью вследствие того простого факта, что все товары в конечном счете превращаются в отходы. Производственные секторы экономики сталкиваются с отходами непосредственно в ходе обработки или упаковки изделий. Отходы в секторах потребления обычно возникают с определенной задержкой по сравнению с производством: тара и потребительские товары краткосрочного пользования быстро переходят в разряд отходов, тогда как товары длительного пользования попадают туда через десятилетний и больший отрезок времени; здания могут сохраняться в течение столетий. Поэтому модель системы экономика — среда должна наряду с фактором пространства учитывать и фактор времени.

СИСТЕМА УЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Даже при несистематическом изучении потоков производственных отходов и сточных вод быстро выясняется, что процесс перемещения производственных материалов

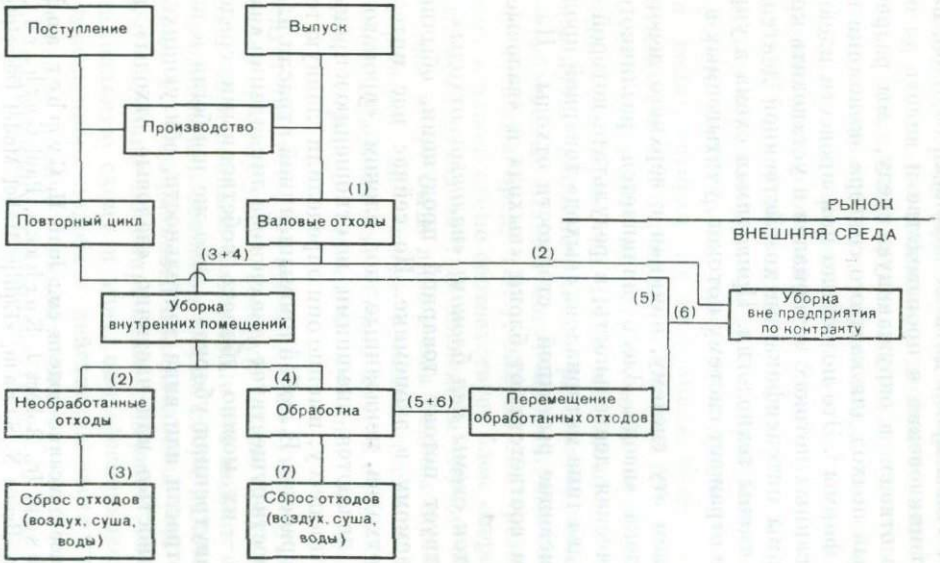


Рис. 1. Схема потоков системы экономика — окружающая среда.

протекает столь сложно, что систематический анализ этих материалов, при котором они не подсчитывались бы повторно и не пропускались бы неучтенными, требует выработки исчерпывающей системы учета потоков отходов. Поэтому, чтобы проследить за потоками отходов, начиная от их возникновения в производстве и вплоть до окончательного отвода в окружающую среду, мы разработали системный подход для каждого сектора экономики или отдельной фирмы [1]. Это позволило нам провести идею о сбалансированных потоках материалов и установить критические нормы интенсификации хозяйственной деятельности и точки смены технологии. Приводимая схема в упрощенном виде отражает систему потоков, учитываемых в нашей работе.

Опишем эту систему, начиная с верхнего левого угла схемы-блока «ввод». Здесь начинается различного рода экономическая деятельность, в результате которой производится два типа материалов: «выход» товарной продукции и не имеющие рыночной стоимости отходы. На нашей схеме им соответствуют блоки «выход» и «валовые отходы».

Участок схемы над блоком «валовые отходы» (GR)[2] соответствует потоку товарной продукции, обычно рассматриваемому в экономике. Но сейчас нас интересуют потоки отходов, показанные под блоком «производство», которые являются внешними по отношению к производственному процессу; именно они определили главную тему настоящей работы. В любой промышленной отрасли или виде деятельности существует два способа ликвидации «валовых отходов» — их можно убирать собственными средствами (блок «внутренняя уборка») либо же прибегая к помощи другой отрасли или вида деятельности, обязующихся удалять полностью или частично «валовые отходы» данной

---

[1] Полное описание модели см.: John H. Cumberland, Charles S. Gibson, Jr., Robert J. Korbach, Paul Gerhardt, James R. Hibbs, Bruce N. Stram, «Equips-Mabet Model Description and Worksheet Instructions for Preliminary Demonstration Phase of the Environmental Quality Information and Planning System», Bureau of Business and Economic Research, University of Maryland, College Park, Md., September, 1970, mimeographed.

[2] Этими сокращениями в скобках в следующем разделе обозначены векторы груза соответствующих отходов в математических уравнениях.

отрасли на договорных началах (блок «внешняя уборка по контракту» EC).

Данные о доле отходов (если таковые есть), удаляемой в окружающую среду при помощи «уборки по контракту» следует получать (во избежание двойного учета) в муниципальных органах или организациях, занятых вывозом отбросов. «Валовые отходы», удаляемые путем «внутренней уборки», могут подвергаться или не подвергаться обработке и соответственно относятся к блокам «необработанные отходы» (UT) и «обработанные отходы» (T). Если отходы отводятся в окружающую среду без обработки, то следует лишь учесть характер той природной среды (воздух, земля или вода), которая их восприняла. Если же отходы обрабатываются той отраслью, в которой они возникли, то необходимо проследить их путь до места их окончательного отвода после обработки. Наша модель предусматривает здесь два пути с дополнительным разветвлением одного из них. Отработанные отходы могут быть окончательно отведены во внешнюю среду (DE), или же они «резервируются», чему в нашей схеме соответствует блок «перемещение обработанных отходов» [1]. В последнем случае обработанные отходы могут быть либо снова поданы после вторичной обработки на «ввод» производственного процесса (IR), либо переданы для уборки другой организации, что на схеме отражено потоком «уборки по контракту» (TEC).

Следует отметить, что эта схема, по существу, представляет собой систему учета, которую можно легко приспособить для сбора данных. Фактически эта модель вначале и использовалась как основная форма сбора данных, запрашиваемых у Федерального правительства (см. прим. к стр. 186). Однако моделирование содержит больше, чем принципиальную схему и учет; оно обеспечивает некоторое упрощенное подобие действительности в форме, поддающейся количественному анализу при использовании математических символов. К этому мы сейчас и перейдем.

---

[1] Процесс обработки может и не быть столь простым, как это вытекает из нашей схемы. Некоторые отходы подвергаются более чем одному виду обработки перед тем как их отводят в место сброса.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Схема учета, разработанная в предыдущем разделе, является своего рода остовом опирающейся на нее теоретической модели. Для этого надо точно выявить соответствующие функциональные соотношения. Установив их с помощью подходящих эмпирических оценок, можно создать действенную модель, построенную исключительно на «выходных» показателях модели межотраслевых экономических связей. С аналитической точки зрения такая модель может быть разработана с использованием самых различных математических соотношений: простой линейной зависимости, степенной, логарифмической или многочленной зависимостей или системы уравнений. Мы начали с простейшего допущения о наличии линейной зависимости. Грузопоток отходов рассматривается пропорциональным количеству выпускаемой продукции, так что при удвоенном выпуске удваиваются и отходы. Хотя это допущение до очевидности просто, есть основания считать, что оно правомерно для широкого диапазона отраслей промышленности. Например, при производстве сыра из 10 фунтов молока получается 1 фунт сыра и 9 фунтов отходов в виде сыворотки, Это соотношение — вес отходов/выпуск, равное 9:1, сохраняется повсеместно в сыроваренной промышленности для различных сортов сыра и размеров заводов. Такое линейное соотношение между отходами и выпускаемой продукцией, по-видимому, довольно точно выполняется и на автомобильном, сталелитейном или консервном заводах, как и на любом другом предприятии с циклическим производственным процессом. Регулированию прежде всего поддаются рабочая сила, зарплата и издержки управления, но не исходные материалы. Таким образом, допущение о линейной связи опирается на существование циклического производственного процесса при нормированных исходных материалах.

Основываясь на этом, мы можем составить специфические уравнения для потока отходов. Их общая форма имеет вид:

$$P_{jk} = P_{ijk} X_i, \qquad (1)$$

где P_{jk} — количество загрязнителя j в матрице k, в тыс. т, P_{ijk} — коэффициент загрязнения, в тыс. т загрязнителя

j в матрице k на 1 млн. долл. выпуска продукции в отрасли i; X_i — выпуск продукции в отрасли i в млн. долл.

Семь основных уравнений системы имеют ту же форму, что и уравнение (1). Они характеризуют контрольные точки (соответствующие блоки показаны на схеме). Во всех уравнениях величина слева от знака равенства относится к вектору столбца, характеризующему груз отходов по типам, величина справа от знака равенства — матрица коэффициентов загрязнения по типу отходов и секторам экономики, а последнее значение справа — вектор столбца выпуска продукции по секторам экономики.

Первая контрольная точка соответствует измерениям «валовых отходов» первоначального грузопотока отходов:

$$GR = pX, \tag{2}$$

«Валовые отходы» могут быть направлены по трем возможным путям: непосредственно удаляться в необработанном виде (UT), быть подвергнутыми обработке (T) либо быть переданными для удаления другой организацией по соответствующему соглашению (EC):

$$GR = a_1GR + a_2GR + a_3GR, \tag{3}$$

где a_1 — процент необработанных отходов, удаленных самой фирмой, a_2 — процент отходов, обработанных фирмой, и a_3 — процент отходов, переданных по договору другой фирме.

Раскрывая правую часть уравнения (2) для «валовых отходов», получим:

$$UT = b_1X, \tag{4}$$

$$T = b_2X, \tag{5}$$

$$EC = b_3X, \tag{6}$$

где b_1, b_2 и $b_3 = (a_1, a_2, a_3) * p$.

Отходы, обработанные фирмой (T), могут быть отведены во внешнюю среду (DE), повторно введены в цикл производственного процесса (IR) или переданы для удаления другой фирме (TEC).

$$T = c_1T + c_2T + c_3T, \tag{7}$$

где c_1 — процент отходов, подвергаемых вторичной обработке в пределах фирмы, c_2 — процент отходов, передаваемых другой фирме, и c_3 — процент отходов, отводимых во внешнюю среду.

Подставляя в уравнение (7) правую сторону уравнения (5), мы получим:

$$IT = d_1X, \tag{8}$$

$$TEC = d_2X, \tag{9}$$

$$DE = d_3X, \tag{10}$$

где d_1, d_2, $d_3 = (c_1, c_2, c_3) * b_2$.

Уравнения (2), (4), (5), (6), (8), (9) и (10) и представляют собой семь основных уравнений модели. Эмпирические оценки матриц коэффициентов p, b_1, b_2, b_3, d_1, d_2, d_3 рассчитаны и могут быть получены у авторов [1].

Здесь стоит сделать несколько замечаний. Помимо оценки семи матриц коэффициентов загрязнения среды, важное значение имеют и эмпирические данные о выпуске продукции в разных секторах экономики. Соответствующие оценки легко получить из модели межотраслевых связей. Кроме того, разработанная модель детального учета отходов позволяет легко выбрать и оценить различные варианты мероприятий по улучшению окружающей среды. Наиболее ясным элементом нашей модели, подсказывающим такой выбор, является уравнение (3), которое определяет соотношение отходов на различных путях их перемещения. Простое изменение этих процентных соотношений приведет к изменению уровня обработки отходов. В этом смысле уравнение (7) менее пригодно для выбора хозяйственных решений. Хотя и верно, что мы можем изменить долю отходов, возвращаемых во вторичную переработку или окончательно сбрасываемых в окружающую среду (подразумевается различная эффективность их обработки), эти доли больше зависят от технологии, чем от административных решений. Другие возможности связаны с лучшей очисткой исходных материалов или с большей эффективностью производственного процесса (то есть с изменением матрицы p). Заметим, наконец, что предлагаемая модель может включить и территориальный аспект проблемы, если учитывать вывоз или ввоз, осуществляемые за счет «внешней договорной уборки» отходов.

---

[1] Полный список коэффициентов и указаний на источники данных см. в [5].

Хотя разработанная нами модель элементарна — как в принципе, так и по форме,— ее можно легко видоизменять, имея в виду различные задачи планирования. Мы провели такую работу в двух направлениях: разработали таблицы для планирования и программу для анализа воздействий на экономику [(далее, в сокращенном обозначении (I. A. P.)].

Таблицы для планирования

Используя простые матрицы линейных коэффициентов загрязнения в сочетании с данными межотраслевой модели, мы сумели получить еще три меры для грузопотока отходов (см. пр. к стр. 186). Начнем с того, что будем рассматривать введенные выше матрицы коэффициентов как матрицы прямых коэффициентов, указывающих количество отходов типа j в p тыс. т, произведенных в промышленной отрасли i на каждый млн. долл. выпускаемой продукции. Последующее умножение матрицы прямых коэффициентов на обратную матрицу межотраслевых связей даст нам матрицу прямых и косвенных коэффициентов. Они указывают количество отходов j в тыс. т, произведенных прямо и косвенно в результате возрастания покупок конечного спроса на 1 млн. долл. в промышленной отрасли i:

$$p[I-A]^{-1}=G, \qquad (11)$$

где p — матрица прямых коэффициентов отходов, G — матрица прямых и косвенных коэффициентов отходов, а $[I-A]^{-1}$ — обратная матрица модели межотраслевых связей.

Правда, можно считать, что при региональном анализе уместнее рассматривать доход, а не выпуск продукции. Но чтобы это учесть, достаточно просто разделить матрицу прямых и косвенных коэффициентов на мультипликаторы дохода из модели межотраслевых связей [1]. В результате мы получаем коэффициенты груза отходов j, образующих-

[1] Эта мера была впервые предложена в работе [6].

ся при увеличении местных доходов на 1 млн. долл. в связи с возросшим выпуском продукции в отрасли i:

$$G[\hat{M}]^{-1} = E, \qquad (12)$$

где G — матрица прямых и косвенных коэффициентов отходов, $[\hat{M}]^{-1}$ — обратная величина приведенного к диагонали вектора мультипликаторов дохода M, E — мультипликаторы системы доходы — окружающая среда.

Мультипликаторы уравнения (12) приблизительно указывают, как «обменивается» рост доходов, обусловленный ростом производства в определенной отрасли промышленности, на увеличение груза отходов, созданных этим промышленным ростом. Данное уравнение позволяет рассматривать прежде всего предложение, а не спрос, поскольку оно ничего не говорит нам о том, на какой «обмен» возросшего числа товаров на чистоту окружающей среды готов потребитель.

Аналогичную матрицу можно вывести, используя мультипликаторы занятости. Поскольку региональное развитие часто изучают, опираясь на данные о новых рабочих местах, появляющихся в связи с новыми проектами строительства или фирмами, то мы можем оценить «предложение» в рассматриваемом нами «обмене», исходя также из данных о занятости. В результате мы получаем коэффициенты возрастания грузопотока отходов j, который обусловлен появлением 100 новых рабочих, нанятых в связи с увеличением выпуска продукции в отрасли i. Именно:

$$G[\hat{N}]^{-1} = F, \qquad (13)$$

где G — матрица прямых и косвенных коэффициентов отходов, $[\hat{N}]^{-1}$ — обратное значение приведенного к диагонали вектора мультипликаторов занятости N, а F — мультипликаторы системы занятость — окружающая среда.

Программа анализа взаимодействий (I.A.P.)

Помимо таблиц для планирования, мы разработали также программу I.A.P. для анализа возможных вариантов планов регионального развития. По существу, она включает три вида данных: обычную обратную матрицу модели межотраслевых связей наряду с коэффициентами

для оценки стоимости, добавленной в процессе производства (VA), и изменений занятости [1], упрощенную модель доходов штата и модель грузопотока отходов. Модель I.A.P. оценивает изменения в выпуске продукции, занятости, стоимости, добавленной в процессе производства, доходах и расходах штата, а также в грузопотоке отходов для любых изменений конечного спроса. Ее описывают следующие уравнения:

$$[I-A]^{-1}[\Delta Y]=[\Delta X], \tag{14}$$

$$[\Delta X]g=[\Delta VA], \tag{15}$$

$$[\Delta X]e=[\Delta E], \tag{16}$$

$$[\Delta VA]ft=[\Delta SR], \tag{17}$$

$$[\Delta VA]q=[\Delta SG], \tag{18}$$

$$(\Delta X)p=[\Delta GR]. \tag{19}$$

Здесь $[I-A]^{-1}$ — обратная матрица модели межотраслевых связей, $[\Delta Y]$ — вектор столбца изменений конечного спроса (по группам потребителей), $[\Delta X]$ — вектор столбца изменений выпускаемой продукции, $[\Delta VA]$ — вектор столбца изменений в стоимости, добавленной в процессе производства, $[\Delta E]$ — вектор столбца изменений занятости, $[\Delta SR]$ — матрица изменений доходов штата, $[\Delta SG]$ — матрица изменений расходов штата, $[\Delta GR]$ — матрица изменений исходной величины отходов (валовые отходы), g — вектор столбца отношений стоимости, добавленной в процессе производства к выпуску продукции, e — вектор столбца отношений занятости к выпуску продукции, f — матрица коэффициентов дохода от налогов, приходящихся на стоимость, добавленную в процессе производства, p — матрица грузотопока отходов в коэффициентах выпуска продукции, t — установленные ставки налогов, q — матрица коэффициентов расходов штата, приходящихся на стоимость, добавленную в процессе производства [2].

В связи с приведенными уравнениями уместны некоторые замечания. Во-первых, модель доходов штата чрезвычайно упрощена, поскольку в ней обособляются стоимости, добавленные в процессе производства, а установленные ставки налогов предполагаются пропорциональными.

[1] Полное описание модели см. в [7].
[2] Еще не определены.

Различие доходов обусловлено тем, что основной налог на стоимость, добавленную в процессе производства (относительно выпуска), в разных промышленных отраслях различен. В настоящее время предпринимаются попытки существенно улучшить анализ, с тем чтобы не только более реалистично оценивать общественные доходы, но и включить в него все еще не учитываемую часть общественных расходов. Отдаленная цель проводимых работ состоит в том, чтобы получить полную картину воздействий общественного сектора, включая как прибыли, так и издержки.

Второе замечание относится к уравнениям грузопотоков отходов. В данной работе оцениваются только валовые отходы и не рассматриваются отходы при вторичном производственном цикле, при обработке отходов, а также другие потоки отходов. Матрицы, связанные с этими остальными шестью уравнениями, не были учтены, потому что разброс соответствующих данных, по всей видимости, слишком велик, чтобы оправдать их использование при составлении проектов; другая причина — неполноценность имеющихся данных как в количественном, так и в качественном отношении. Фактически на сегодня главный вывод из нашей работы состоит в констатации ненадежности данных о взаимодействиях с окружающей средой и в необходимости получения более точных сведений — таких, какие могли бы быть получены при переписях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ

Недавнее участие департамента планирования штата Мэриленд в предложении создать обширную зону отдыха типа парка Диснейленд дало случай проверить рассмотренную здесь модель. Предполагалось освоить строительством участок площадью 800 акров; сооружение комплексной зоны отдыха должно было, как ожидалось, увеличить объем ежегодного конечного спроса в штате на 50—60 млн. долл. в год открытия комплекса, причем за последующие 10 лет эта цифра должна была возрасти до 125 млн. долл. Проектируемые вложения составляли свыше 70 млн. долл. ко времени открытия комплекса и в конечном счете (через 10 лет) должны были достичь 160 млн. долл. Наша цель состояла в том, чтобы предоставить штату объективную информацию о вероятных последствиях предложенного про-

екта по сравнению с последствиями (имелось в виду сочетание благоприятных возможностей и издержек) других вариантов развития данного района.

Отдавая себе отчет в том, что с точки зрения общественности важными считаются именно долговременные последствия проекта для судеб экономического развития, и вместе с тем учитывая, что значительная доля средств на финансирование поступает от отраслей, которые в районном разрезе более всего интересуются быстрой отдачей от строительства, мы сделали как ближайшие, так и длительные прогнозы эксплуатации комплекса. Результаты этой работы представлены в таблице.

Чтобы оценить издержки, связанные с выгодными сторонами данного проекта, мы также сопоставляли количественные результаты его осуществления с аналогичными показателями для других вариантов развития того же участка. Эти сопоставляемые варианты рассчитывались применительно к проектам, осуществление которых привело бы к продаже товаров конечного спроса (в аналогичных условиях деятельности) на ту же сумму. Расчеты можно было бы с тем же успехом проводить и исходя из равной занятости населения, одинакового использования земли или одинаковых вложений. Они приводят к противоречивым результатам, чем подчеркивается «компенсационный» характер планов регионального развития (отставание по одним показателям развития компенсируется опережением по другим). Так, согласно расчетам, основанным на ежегодном спросе на товары, зона отдыха и развлечений оказывается на втором месте (среди других проектов) по показателю выпуска продукции, на первом — по добавленной стоимости и грузу отходов, на третьем — по суммарному доходу. При расчетах, основанных на занятости (по числу работающих), рассматриваемый проект оказывается по выпуску продукции на четвертом месте, по удорожанию — на втором, по доходам — на третьем и по грузу отходов — на первом. Если исходить из традиционных критериев выпускаемой продукции и стоимости, добавленной в процессе производства, то этот проект выглядит привлекательным, хотя он менее привлекателен с точки зрения занятости. Изменения дохода от налогов выглядят при этом впечатляюще, но плата — имея в виду груз валовых отходов — очень велика. Узловой момент проблемы состоит в том, какое ухудшение среды может считаться

Таблица

Воздействие различных проектов регионального развития на экономику штата в целом. Прямые, косвенные и индуцированные воздействия на экономику штата, привязанные к намеченному конечному спросу[1]

Различные проекты регионального развития	Развлечения и отдых	Электронное оборудование	Издательства и печать	Электробытовые товары	Приборы и часы	Фотодело и оптика
Ежегодное воздействие развития при привязке к конечному спросу						
Δ Выпуск 1000 долл.	158 589	148 261	152 757	160 464	148 836	142 567
Δ Стоимость, добавленная в процессе производства, 1000 долл.	89 255	78 693	77 559	70 212	78 678	82 229
Δ Занятость (количество рабочих мест)	6 784	7 717	6 002	6 236	5 885	7 569
Δ Доход от налогов, 1000 долл.	10 487	12 864	10 719	7 429	8 972	7 489
Δ Валовые отходы, 1000 т	119 640	86 550	93 960	98 711	82 320	80 880
Δ Выпуск/Δ Занятость	23,380	19,212	24,450	25,731	25,293	18,835
Δ V.A./Δ Занятость	13,160	10,197	12,922	11,259	13,370	10,863

Δ T.R./Δ Занятость	1,547	1,667	1,786	1,191	1,525	0,989
Δ G.W./Δ Занятость	0,018	0,011	0,016	0,016	0,014	0,011
Разовое воздействие от вложений, необходимых, чтобы создать нужные объекты						
Δ Выпуск 1000 долл.	177 104	43 288	211 680	37 596	51 029	53 468
Δ Стоимость, добавленная в процессе производства, 1000 долл.	102 314	24 270	120 707	20 251	27 449	30 625
Δ Занятость (количество рабочих мест)	7 658	1 838	8 883	1 513	2 047	2 270
Δ Доход от налогов, 1000 долл.	1 418	3 205	15 969	2 663	3 626	4 380
Δ Валовые отходы, 1000 т	154 700	36 880	165 570	29 490	39 000	40 870
Δ Выпуск/ Δ Занятость	23,128	23,549	23,830	24,849	24,932	23,551
Δ V.A./Δ Занятость	13,361	13,203	13,589	13,385	13,411	13,489
Δ T.R./Δ Занятость	1,935	1,744	1,800	1,730	1,772	1,929
Δ G.W./Δ Занятость	0,020	0,020	0,019	0,019	0,019	0,018

[1] При привязке к конечному спросу он принимается равным 59 466 тыс. долл. для каждого из возможных проектов развития.

допустимым, если при этом возрастают заработки и занятость, хотя доход от налогов, вероятно, не компенсирует эту потерю. Данная тема будет обсуждена в последнем разделе.

ОГРАНИЧЕНИЯ

Наше допущение о линейности основных уравнений легко оспорить, обратившись к непромышленным секторам экономики. Эрозия и выщелачивание почвы создают трудности в сельском хозяйстве, горном деле и строительстве. Хотя, безусловно, верно, что, чем больше возделывается земли, чем большую площадь занимают горные выработки и чем больше строится новых зданий, тем более эти трудности усугубляются, из этого вовсе не следует, что соответствующие уравнения линейны. Проведение горных работ, интенсивное использование удобрений и строительство высоких зданий не приводят к возрастанию почвенной эрозии. Нарушению линейной зависимости способствует недостаток стандартизации на «вводе» производственного процесса, а также отсутствие вторичных производственных циклов. В настоящее время мы изучаем другие возможные подходы к измерению соответствующих процессов, чтобы лучше оценить эти секторы экономики. Поскольку нашу модель можно подразделить на автономные участки, то для любого из них можно заново сформулировать соответствующие уравнения и в нужном месте включить полученный результат в модель.

Другое очевидное ограничение модели состоит в том, что в ней нет места конечному спросу. Из сбалансированности потока материалов следует, что все товары в конечном счете переходят в отходы, так что необходимо учесть и те секторы экономики, где происходит потребление продукции.

С математической точки зрения это может быть сделано следующим образом:

$$[p_1 : p_2 : \cdots : p_n] \begin{matrix} X \\ Y_1 \\ \vdots \\ Y_{n-1} \end{matrix} = P. \qquad (20)$$

Здесь p — матрица коэффициентов отходов для разных отраслей производства, $p_2 \ldots p_n$ — матрицы коэффициентов

отходов для конечного спроса, X — вектор столбца выпуска по отраслям, $Y_1 \ldots Y_{n-1}$ — векторы столбцов конечного спроса, оцениваемые по промышленным отраслям, а P — вектор столбца суммарного груза отходов (по их типу).

Чтобы учесть отходы конечного спроса, мы добавляем матрицу загрязнения для каждого из секторов конечного спроса (то есть расходов на личное потребление, на оборудование, административных расходов) с подразделениями на производителя товара (отрасль) и на тип отходов, а затем умножаем эти матрицы на соответствующие (для каждого сектора) оценки конечного спроса, тоже подразделенные по промышленным отраслям. Коэффициенты этих матриц отходов конечного спроса зависят от исходных материалов, а не от выпускаемой продукции (как это имеет место при анализе производства). Для оценки этих коэффициентов надо разработать уравнения износа и замены материалов, чтобы учесть воздействие вложений. В отличие от обычного анализа производственного цикла от исходных материалов до выпуска, когда матрицы строительства и оборудования используются для оценки конечного спроса, мы считаем конечный спрос заданным и пытаемся оценить коэффициенты по матрицам. Пока наши усилия ограничиваются здесь оценкой коэффициентов матрицы расходов на личное потребление товаров краткосрочного пользования.

Еще одно ограничение наших данных состоит в том, что до сих пор они не распространялись на энергетические траты в форме тепла, шума и излучения. Мы предполагаем включить и их, учитывая принципиальную связь между потоками энергии и материалов, а также ввиду растущего значения потерь энергии, особенно в энергетических отраслях экономики. Отметим и ограничение, связанное с использованием коэффициентов, относящихся ко всей стране, особенно когда они затрагивают технологию производства и полуфабрикаты. Поскольку полученные нами коэффициенты отходов представляют средние значения для США в целом, то вероятность, что положение в штате Мэриленд полностью им соответствует, весьма мала, если учитывать технологию производства и полуфабрикаты. Мы пытаемся справиться с этой трудностью, моделируя территории меньшего размера, чем штат, что позволяет использовать местные данные.

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ О ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОЛИТИКЕ (В СВЯЗИ С МОДЕЛЯМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ)

Мы считаем региональный подход при построении моделей окружающей среды важным шагом для понимания основных проблем этой темы, которая полностью раскрывается лишь в пространственном аспекте. Всестороннее овладение региональным подходом к экономическим проблемам обеспечивает и необходимую обратную связь для принятия решений об охране окружающей среды в национальном масштабе, да и в масштабе всей планеты, что является конечной целью хозяйственной политики по отношению к окружающей среде в век техники. Наши модели и блок-схема указывают на некоторые возможности, которые позволяют сократить загрязнение и улучшить качество окружающей среды. Наиболее очевидные пути связаны с обработкой отходов, с возвращением их в повторный производственный цикл, с употреблением более очищенных исходных материалов, с улучшением технологии производственных процессов, с более продуманным выбором места и времени сброса отходов, а также с изменением общей величины и состава конечного спроса (а тем самым и валовой продукции). Очевидно, что необходимо эффективное и изобретательное проведение в жизнь таких мероприятий и их сочетаний. Делая выбор между этими мерами и принимая решение, в какой степени их применять, экономист, стремящийся к эффективности и оптимальности (в смысле выполнения условий Парето), может руководствоваться тем, что идеальные решения будут соответствовать уменьшению сброса отходов до такой степени, когда маргинальная общественная выгода от запрета загрязнения среды окажется равной маргинальным общественным издержкам по контролю над этим запретом. Экономический анализ может также подсказать весьма действенные меры хозяйственной политики (например, крупный штраф за загрязнение), направленные на достижение указанной цели. Однако логика таких действий требует, чтобы были рассчитаны маргинальные выгоды и издержки контроля для каждого типа отходов и эмиссий применительно к каждому типу местности и любому сочетанию условий. Особенно важен такой анализ выгод и издержек

при проектировании таких крупных сооружений, как атомные электростанции, или оценка программ воздействия на климат и т. п.

Помимо трудностей оценки и подсчета выгод и издержек, соответствующих различным вариантам планов развития, возникает дополнительная трудность, связанная с распределением этих выгод и издержек. Типичной является ситуация, когда выгоды регионального развития достаются приехавшим извне строителям, туристам, поселенцам, привлеченным в район перспективами его развития, тогда как коренные жители несут все издержки, имея в виду растущие налоги и тому подобное, уж не говоря о тяготах возросшей скученности населения и ущербе, наносимом окружающей среде. Поэтому критерии оптимальных условий, выдвинутые Парето, не будут удовлетворены без наличия какого-либо жизнеспособного механизма для компенсации тех, кто оказался в проигрыше. Так что если издержки освоения среды не могут быть равномерно интернализованы (то есть распределены внутри района) или приемлемым образом компенсированы, то преамбула об оправданности регионального развития, как такового (независимо от других связанных с ним преимуществ), несмотря на наносимый ущерб природе, не имеет достаточного основания.

Если, однако, обратиться к дальним перспективам, то окажутся необходимыми изобретательные мероприятия и хозяйственные методы, выходящие за пределы маргинального анализа выгод и ущерба. Если человечество движется по пути все большего роста населения, увеличивающихся технократии, экономического развития и урбанизации, то это потребует, помимо соблюдения принципа интернализации, всеобъемлющего планирования, которое будет включать как экономические, так и социальные процессы; при этом все отходы должны будут в максимально возможной степени перерабатываться для использования в повторных производственных циклах или в качестве материалов в других производственных процессах. Проведенный Вальтером Изардом анализ промышленного комплекса, который был задуман с целью ускорить процесс экономического развития, обеспечил методику планирования, позволяющую рассматривать как единое целое сложные технологические системы в целях их оптимизации; при этом можно не только оптимизировать ускоренный промышлен-

ный рост, но и планировать минимальное выделение отходов [8]. Экономический анализ располагает многими мощными математическими методами и позволяет наметить новые меры хозяйственной политики и способы улучшения качества окружающей среды. Тем не менее, поскольку проблема окружающей среды затрагивает все аспекты жизни человека, сам по себе экономический анализ не способен разрешить эту проблему, которая, как это отметил Гарнси, по самому своему существу обращается к компетенции многих наук. Поэтому улучшение окружающей среды в глобальном масштабе требует в конечном счете применения не только экономических средств, но и явного участия хозяйственной политики в системе таких мероприятий, как планирование роста населения, усовершенствование транспортных средств, оптимизация использования природных ресурсов и земли и проектирование городов. Независимо от того, разделяем мы или нет опасения авторов книги «Пределы роста» [13], трудно оспаривать общий вывод, что достижение цели в области сохранения окружающей среды требует не только использования ряда особых приемов, но и согласованно направляемой хозяйственной политики во всех связанных с этой проблемой областях. Поэтому нет ничего удивительного в предположении, что наше возросшее понимание ответственности за сохранение окружающей среды на планете ограниченных размеров приведет к новому синтезу наук о Земле, наук о жизни и наук об обществе в единую науку о Человеке и всем его окружении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morris E. Garnsey, «The Dimensions of Regional Science», Papers and Proceedings of the Regional Science Association, II, 1956, p. 2—9.

2. Walter Isard, Kenneth Basset, Charles Choguill, John Furtado, Ronald Izumita, John Kissin, Eliahu Romanoff, Richard Seyforth, and Richard Tatlock, On the Linkage of Socio-Economic and Ecologic Systems, Regional Science Association, Papers, XXI, 1968, p. 79—99. See also: Walter Isard, Charles L. Choguill, John Kissin Richard H. Seyforth, and Richard Tatlock with the assistance of Kenneth Basset, John G. Furtado, and Ronald M. Izumita, Ecologic-Economic Analysis for Regional Development (New York: Free Press, 1972).

3. John H. Cumberland, «A Regional Interindustry Model for Analysis of Development Objectives», Regional Science Association Papers, XVI, 1966, p. 65—94.

4. John H. Cumberland, Regional Development: Experiences and Prospects in the United States of America, United Nations Research Institute for Social Development (Paris: Mouton, 1971).

5. Cumberland, «A Regional Interindustry Model», op. cit.

6. John H. Cumberland, Charles S. Gibson, Jr., Robert J. Korbach, Paul Gerhardt, James R. Hibbs, and Bruce N. Stram, «Equips-Mabet Model Description and Worksheet Instructions for Preliminary Demonstration Phase of the Environmental Quality Information and Planning System», Bureau of Business and Economic Research, University of Maryland, College Park, Md., September, 1970, mimeographed.

7. Cumberland et al., «Equips-Mabet Model Description», op. cit.

8. Robert J. Korbach, «An Environmental Linkages Model of the State of Maryland», Bureau of Business and Economic Research Monograph, University of Maryland, June, 1972.

9. Cumberland et al., op. cit. p. 106—162.

10. James C. Hite and Eugene A. Laurent, «Empirical Study of Economic-Ecological Linkages in a Coastal Area», Water Resources Research, VII (October, 1971), p. 1070—1078.

11. Curtis C. Harris, Jr., «1970 Interindustry Model of the State of Maryland», October, 1971.

12. Walter Isard et al., «Industrial Complex Analysis», Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science (New York: John Wiley and Sons, 1960), p. 375—412.

13. Dennis Meadows et al., The Limits to Growth (New York: Universal Books, 1972).

Анализ пространственных взаимодействий Некоторые идеи, связанные с общей теорией относительности[1]

ВАЛЬТЕР ИЗАРД

Эта статья является третьей из серии работ, связанных с интерпретацией понятий пространства и времени в общей теории относительности. В первой [9], представленной в прошлом (1970) году в Санта-Монике, я пытался:

1. Изложить некоторые понятия и метрики времени, полезные при описании многочисленных и разнообразных процессов социальной, экономической и политической жизни, в том числе понятие «потенциал времени» (time potential).

2. Показать их применение в качестве компонент вектора времени в связи с анализом ряда процессов, которые играют роль в ситуации решения, включающей такую действенную единицу, как политический лидер.

3. Исследовать взаимосвязь времени и расстояния как таковых и изучить практическое применение этих представлений о времени и метриках для определения вероятностей исходов, проецируемых в будущее.

Характерная особенность моей второй работы [10], доложенной на общеевропейской встрече представителей региональной ассоциации наук в Лондоне в августе нынешнего (1971) года, заключалась в том, что я в ней специально подчеркнул неявно высказанное в первой работе предположение, что «если академические круги и планировщики найдут мои идеи приемлемыми, то можно было бы однозначно определить соответствующие величины и способы их измерения, которые вошли бы в обиход исследователей, планировщиков и лиц, принимающих решения

[1] Walter Isard, Spatial interaction analysis: Some Suggestive thoughts from general relativity physics, Reg. Science Assoc., «Papers», Vol. 27, 1971, p. 17—38.

по принципиальным вопросам, во всем мире». Я особо указал на большое разнообразие социальных культур в нашем мире и условий, в которых действуют лица, ответственные за принятие решений. Я указал на различные скорости изменения (развитие и распад релевантных величин) и изменение в этих скоростях (ускорение и замедление — accelaration and deceleration), которые присущи этим культурам, и настаивал на том, что различные темпы (скорости) и ускорения приводят их к неадекватным восприятиям пространства и времени, к совершенно различным оценкам явлений и приписыванию разных весов переменным, играющим роль при принятии решений. Поэтому я настаивал на том, что в удовлетворительной мультирайонной теоретической схеме следует отказаться от предположения о статичных (unaccelerated) районах.

Развивая предложенную мной общую теорию [11], в своей лондонской статье я вплотную подошел к идеям общей теории относительности. В этой статье я высказал пожелание о пересмотре наших представлений о действии масс (присутствующих в теории размещения — location theory — и других региональных теориях) таким образом, чтобы силы стяжения (agglomeration forces), связанные с любой массой, можно было бы мыслить как некое силовое поле. В любой точке этого поля величина силы, порожденной массой, изменяется обратно пропорционально некоторой функции от расстояния точки до массы. Я высказал также предположение о том, что в случае размещения в некотором месте какой-либо промышленной или экономической деятельности мы должны учитывать ее в явном виде как некую новую массу в этом месте, соответственно изменяющую все силовое поле размещения (location force field), то есть учитывать эффект обратной связи. Наконец, наши наблюдения над тяготением важных видов деятельности и людей к размещению вдоль линий связи, или путепроводов движения (channals of movement) — автострад, водных путей, железных дорог, — указывают на необходимость введения в теорию размещения объема и состава потоков в виде энергетических величин, которые имеют массу и потому влияют на силовое поле размещения.

Говоря более конкретно, я утверждал, что те варианты наших гравитационных моделей (gravity models), которые основаны лишь на законе обратной квадратной пропорциональности, способны характеризовать лишь статичные

узко местные группы и неприменимы к реальности развивающихся обществ. Эти варианты следует преобразовать, чтобы ввести по меньшей мере два других типа соотношений. Один из них вытекает из различия в темпах (скоростях) развития любой пары из зарождающихся и заканчивающих формирование регионов (районов и подрайонов). Второй вытекает из различия в *скорости изменения* этих скоростей, то есть в ускорениях развития любой пары регионов названной категории. Для исследования я избрал простую модель аддитивного типа.

Признавая значительные трудности, связанные с охватом в единой всеобъемлющей теории полных эффектов всех масс в системе, а также энергий, связанных со всеми потоками в этой системе, я высказал затем предположение, что было бы по меньшей мере полезно исследовать метод поля. При этом я настаивал на необходимости удовлетворения принципа общей ковариантности. Иначе говоря, я настаивал на необходимости формулирования законов социального развития в мультирайонной системе таким способом, чтобы они имели неизменную форму в любой системе координат (прямоугольной или криволинейной), которая применяется или считается подходящей для отдельных обществ в этой системе. Это требование заставляет нас покинуть мир скаляров и векторов и перейти в мир скаляров, векторов и тензоров. Мы должны покинуть мир эвклидова пространства и войти в мир риманова пространства — пространства, которое приспособлено для криволинейно-координантных систем обществ, ускоряющихся относительно друг друга; в мир, где зависимости, существующие между тензорами, сохраняются при переходе от одной криволинейной системы к другой. Наконец, я высказал в этой статье несколько замечаний по поводу различий в геометрии четырехмерного пространства с точки зрения обществ, живущих при разных скоростях и ускорениях, сравнив, в частности, восприятие жителя Аппалачей и интеллектуала из Чапл-Хилла.

Теперь я хотел бы более конкретно и глубоко рассмотреть некоторые из этих идей. Вновь обращаясь к результатам, полученным физиками, я сопоставлю их с интуитивными представлениями, к которым я пришел в результате многолетних исследований в области региональной теории и теории размещения и связанных с ними проблем.

Возьмем самый простой случай, в котором рассматриваются житель Аппалачей и огромная масса города Нью-Йорк. Представим исследователя, который «находится в покое» относительно системы отсчета с центром в Нью-Йорке, но наблюдения производит в каком-либо месте района Аппалачей [1]. Какой, по наблюдениям исследователя, будет сила, действующая со стороны Нью-Йорка на этого жителя Аппалачей? Исследователь может фиксировать величину этой силы в виде вероятности или возможности миграции жителя Аппалачей в направлении Нью-Йорка. Допустим, что другие массы и движения в системе отсутствуют. Вообразим, что Нью-Йорк и район Аппалачей соединяет прямая дорога, расположенная вдоль оси Y (рис. 1) и что влияние массы этого отдельного жителя Аппалачей на силовое поле в системе пренебрежимо мало. При этих условиях мы воспроизводим ситуацию, в которой применимо известное решение Шварцшильда [2]. Решение Шварцшильда относится к случаю значительной сферической симметричной массы и некоторой частицы в условиях статического равновесия (в том смысле, что распределение масс не изменяется во времени). Примерно такую ситуацию мы наблюдаем в случае Солнца и планет в поле Солнца или в случае Земли и спутника на некотором расстоянии от нее. Решение Шварцшильда—строгое решение, это не аппроксимация. Оно дает кривизну пространственно-временного континуума, особую геометрию, которая «обусловлена» массой. Расстояние R' между двумя любыми

Рис. 1.

[1] То есть его пространственные координаты (x, y, z) фиксированы относительно Нью-Йорка. Изменяется только временна́я координата.

[2] См.: Adler et al. [1], chap. 6; Anderson [2], chap. 11; McVittie [13], chap. 5.

точками R и R_0 на «радиусе» («radial»), соединяющем частицу и массу, определяется уравнением

$$R' = \sqrt{R^2 - 2mR} - \sqrt{R_0^2 - 2mR_0} + \\ + m \log \frac{R - m + \sqrt{R^2 - 2mR}}{R_0 - m + \sqrt{R_0^2 - 2mR_0}} \qquad (1)$$

при R, $R_0 > 2m$, которое можно представить приближенно в виде

$$R' = (R - R_0)\left[1 + \frac{m}{R - R_0}\left(\log \frac{R}{R_0}\right) + \cdots\right] \text{ при } R,\ R_0 > 2m,$$

где $m = GM/c^2$, M — масса тела, G — гравитационная постоянная и c — постулируемый верхний предел скорости распространения любого взаимодействия в природе, а именно скорости света [1].

Посмотрим теперь, какое отношение имеет это решение к нашей задаче. Обратимся к рис. 2, который получен на основе рис. 1. На нем прямолинейный отрезок R_0R иллюстрирует кривизну пространственно-временного континуума, когда $M = M_0 = 0$, а а дуги RM_1R_0 и RM_2R_0 — кривизну при $M = M_1$ и $M = M_2$ соответственно, причем $M_2 > M_1$. Рис. 2 приведен только с целью пояснения замысла. Чтобы раскрыть наше понятие кривизны и геометрии, перейдем теперь к рис. 3.

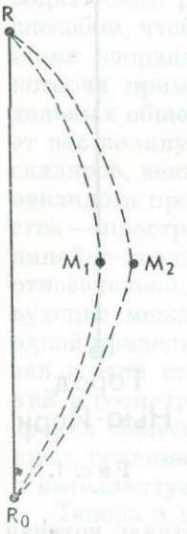


Рис. 2.

На рис. 3 будем измерять радиальное расстояние по оси y (вертикальная ось) и время по оси t (горизонтальная ось). Допустим, что бокового движения нет, так что для изложения наших идей мы можем использовать двумерное пространство y—t. Сначала рассмотрим частицу в точке (y_0, t_0) и некоторый объем с массой M. Предположим сперва, что объем не имеет массы. $M = M_0 = 0$, то есть что тонкостенная сфера с пренебрежимо малым весом будет пустой. В таком случае этот объем не будет

[1] Если частица свободно «падает», радиальная составляющая v_r или ее скорость, равна $v_r = [1/(1 - 2m/r)](dr/dt)$. Мы предполагаем здесь, что расстояние от центра массы до ее поверхности превышает $2m$.

порождать в поле никакой гравитационной силы. Наблюдатель в системе отсчета, связанной с этим объемом, но находящийся в точке (y_0, t_0), заметит, что луч света, выпущенный в момент, когда частица находилась в координатах (y_0, t_0), будет распространяться с ходом времени по

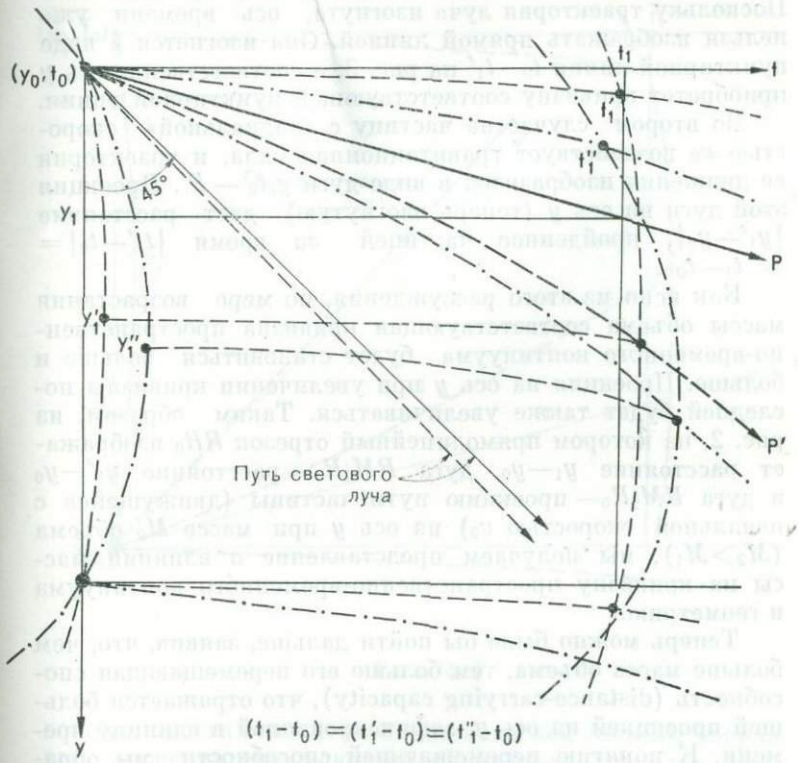


Рис. 3.

прямой линии, которая, как показано, исходит из (y_0, t_0) и образует с осью времени угол 45°. Если бы при этом частица двигалась с некоторой постоянной скоростью v_0, меньшей скорости света, она переместилась бы по прямолинейной траектории $y_0t_0 - P$. Проекция этой линии на ось y дала бы расстояние $|y_1 - y_0|$, пройденное частицей за время $|t_1 - t_0|$.

Рассмотрим теперь второй случай, предполагая, что объем обладает массой M_1. С этой массой будет связана не-

которая гравитационная сила, а мы знаем, что в результате ее присутствия будет отклоняться даже луч света. Поэтому на рис. 3 мы изобразили изогнутую траекторию (пунктирная линия) светового луча, проходящую через точку (y_0, t_0) в гравитационном поле объема с массой M. Поскольку траектория луча изогнута, ось времени уже нельзя изображать прямой линией. Она изогнется в виде пунктирной линии $t_0—t_1'$ на рис. 3, и соответственно ось y приобретет кривизну соответствующей пунктирной линии.

Во втором случае на частицу с «радиальной» скоростью v_0 воздействует гравитационная сила, и траектория ее движения изобразится в виде дуги $y_0t_0 — P'$. Проекция этой дуги на ось y (теперь изогнутую) дает расстояние $|y_1'—y_0|$, пройденное частицей за время $|t_1'—t_0| = t_1—t_0$.

Как ясно из этого рассуждения, по мере возрастания массы объема соответствующая кривизна пространственно-временно́го континуума будет становиться больше и больше. Проекция на ось y при увеличении кривизны последней будет также увеличиваться. Таким образом, из рис. 2, на котором прямолинейный отрезок RR_0 изображает расстояние $y_1—y_0$, дуга RM_1R_0— расстояние $y_1'—y_0$ и дуга RM_2R_0— проекцию пути частицы (движущейся с начальной скоростью v_0) на ось y при массе M_2 объема $(M_2>M_1)$, мы получаем представление о влиянии массы на кривизну пространственно-временно́го континуума и геометрию.

Теперь можно было бы пойти дальше, заявив, что, чем больше масса объема, тем больше его перемещающая способность (distance-carrying capacity), что отражается большей проекцией на ось y, зафиксированной в единицу времени. К понятию перемещающей способности мы обратимся позже, определив ее как меру притягательности (attractiveness) объекта.

Напомним, что проведенные рассуждения относятся к наблюдателю, который находится в Аппалачах и пребывает в неподвижности относительно нью-йоркской системы отсчета. Однако уместно спросить: «Что будет видеть наблюдатель, который находится в Аппалачах, но пребывает в неподвижности относительно аппалачской системы отсчета?» (Мы предполагаем, что этот наблюдатель «видит» Нью-Йорк с помощью радара или подобных устройств).

Для этого нового наблюдателя структура уравнений

(1) и (2) сохраняется. Однако их нужно переписать, исходя из метрики, соответствующей новым условиям наблюдений. Здесь мы этого не делаем [1]. Мы хотим лишь указать, что с точки зрения наблюдателя, пребывающего в

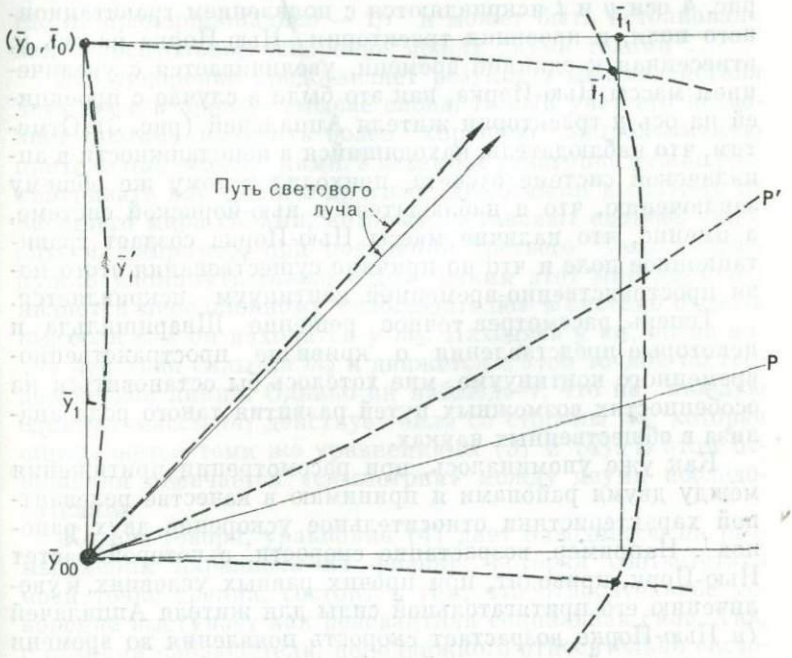


Рис. 4.

неподвижности относительно аппалачской системы координат, движение окружающего мира будет представляться иным образом. Он будет видеть, что Нью-Йорк движется к нему, как на рис. 4. Если бы Нью-Йорк представлял собой объем с нулевой массой, он наблюдал бы траекторию движения Нью-Йорка в виде прямой линии y_{00}—P, подобной траектории светового луча, исходящего из Нью-Йорка. При наличии у Нью-Йорка положительной массы он уви-

[1] Когда мы имеем дело со слабым гравитационным полем, такая перезапись связана с введением небольших поправок, которые, однако, становятся все более существенными при переходе к рассмотрению сильных полей. Чем сильнее поле, тем более неравноценны эти координатные системы (системы отсчета).

дел бы искривление и траектории Нью-Йорка, и светового луча, распространяющегося из Нью-Йорка, причем искривление светового луча оказалось бы меньше искривления траектории Нью-Йорка. Как и на третьем рисунке, на рис. 4 оси y и t искривляются с появлением гравитационного поля, и проекция траектории Нью-Йорка на ось y, отнесенная к единице времени, увеличивается с увеличением массы Нью-Йорка, как это было в случае с проекцией на ось y траектории жителя Аппалачей (рис. 3). Отметим, что наблюдатель, находящийся в неподвижности в аппалачской системе отсчета, приходит к тому же общему заключению, что и наблюдатель в нью-йоркской системе, а именно, что наличие массы Нью-Йорка создает гравитационное поле и что по причине существования этого поля пространственно-временно́й континуум искривляется.

Теперь, рассмотрев точное решение Шварцшильда и некоторые представления о кривизне пространственно-временно́го континуума, мне хотелось бы остановиться на особенностях возможных путей развития такого рода анализа в общественных науках.

Как уже упоминалось, при рассмотрении притяжения между двумя районами я принимаю в качестве релевантной характеристики относительное ускорение двух районов [1]. Например, возрастание скорости, с которой растет Нью-Йорк, приводит, при прочих равных условиях, к увеличению его притягательной силы для жителя Аппалачей (в Нью-Йорке возрастает скорость появления во времени возможностей трудоустройства); также любое уменьшение темпов развития (deceleration) района Аппалачей ведет, при прочих равных условиях, к увеличению притяжения Нью-Йорка. Чтобы отыскать аналогию для этой социальной силы в физической среде, можно рассмотреть приближенное решение задачи о двух телах [2]. В этой задаче рассматриваются две массы m_1 и m_2, удаленные в пространстве друг от друга на расстояние r. Если исследователь неподвижен относительно системы m_1, но находится возле m_2, он наблюдает следующую силу, действующую на единицу массы m_2 вдоль линии, соединяющей их центры:

$$F_r = -\frac{KM}{r^2} - 6\,\frac{GKM}{c^2 r^3}, \qquad (3)$$

[1] Isard [8].
[2] См.: Infeld, Plebanski [7], chap. 5.

где $M=m_1+m_2$ и $K=\{1-(3m_1m_2/M^2)\}G$. Уравнение (3 можно записать также в виде

$$F_r=-\frac{KM}{r^2}+6\,\frac{KM}{c^2r}\alpha_r-\cdots, \qquad (4)$$

где α_r пропорционально $-1/r^2$ и может быть истолковано как относительное ускорение между двумя телами [1].

Это ускорение представляет результат взаимодействия двух масс в прямом смысле слова. Явный учет его позволяет поэтому получить более хорошую аппроксимацию притяжения между ними. Указанное ускорение нужно рассматривать вне связи с другими, вводимыми в систему из внешнего мира силами, которые заставляют систему ускоряться, например, при появлении третьего тела. Здесь нужно упомянуть также о том, каким этот мир двух тел является неподвижному «наблюдателю» в системе отсчета m_2, если сам он находится у m_2. Находясь у m_2, он не видит действия силы на m_2 и движется с этой точкой по геодезической линии. Однако он наблюдает, что на каждую единицу массы m_1 действует сила со стороны m_2, которая определяется теми же уравнениями (3) и (4). В этом отношении отмечается «симметрия» между двумя исследователями.

Короче говоря, уравнение (4) дает наводящую на размышления параллель из физики, которая соответствуя моей точке зрения, состоит в том, что относительное ускорение выступает как релевантная социальная сила. Так, с позиции наблюдателя, неподвижного относительно системы отсчета m_1 (Нью-Йорк) и находящегося в Аппалачах, я могу интерпретировать α_r во втором члене уравнения (4) как ускорение города Нью-Йорка (m_1) относительно района Аппалачей (m_2).

Помимо ускорения, было бы полезно исследовать другие силы, в частности силы, зависящие от скорости. По моему мнению, весьма многие социологи утверждают, что, чем больше различие в темпах развития между притягивающей массой и типичным притягиваемым элементом во второй массе, тем менее (более) предрасположенный элемент (inclined unit) должен перемещаться к первой массе (от нее) в направлении соединяющей их линии. Эта сила связывается с представлением о том, что, чем больше различие между двумя субкультурами, тем менее они склон-

[1] Интерпретацию α_r по Маху см. в: Sciama [14], chap. 2, 3.

ны взаимодействовать. Например, чем меньше число телефонных переговоров между соответствующими районами, тем меньше и число поездок из одного из этих районов в другой. Короче говоря, чем более чуждыми кажутся они в восприятии друг друга, тем больше «эффективное» расстояние между ними.

Таким образом, мы ищем в физике некую аналогию, которая приводит к появлению в уравнении (4) третьего, дополнительного члена Cv_r:

$$F_r = -\frac{KM}{r^2} + 6\frac{KM}{c^2 r}\alpha_r + Cv_r, \tag{5}$$

где C — константа и v_r — относительная скорость двух масс m_1 и m_2.

Обратимся сначала к какому-нибудь конкретному случаю, где присутствуют два тела, причем одно из них, m_2, весьма мало по сравнению с m_1, так что наличие m_2 не влияет на гравитационное поле, создаваемое m_1. Тело m_2 может представлять собой, например, отдельного жителя Аппалачей. Тело, обозначенное m_1, может символизировать город Нью-Йорк. В таком случае наблюдатель, который *временно* находится в состоянии неподвижности относительно Аппалачей (и который находится в их пределах или в любом другом месте), видит силу (в векторной форме) воздействия m_1 на единичную массу m_2 в форме

$$\boldsymbol{F} = -A\frac{GM}{r^2} + B\frac{GM}{c^2 r}\boldsymbol{a} + C\boldsymbol{v}, \tag{6}$$

где a и v — соответственно ускорение и скорость (в векторной форме) массы m_1 и $M = m_1 + m_2$, а $m_1 \approx M$, по предположению [1].

Отметим здесь следующее. Для того чтобы нашлась социологическая аналогия для уравнения физики (6), член

---

[1] В этом специальном случае уравнение (6) имеет вид

$$\boldsymbol{F} = \frac{GM}{R_M^2}\frac{\boldsymbol{R}_M}{R_M}\left(1 + \frac{\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{R}_M}{cR_M}\right) + \frac{4GM}{c^2 R_M}\left(1 + \frac{\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{R}_M}{cR_M}\right)\boldsymbol{a} + \\ + \frac{4GM}{c^2}\left(\frac{\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{R}_M}{cR_M^2}\right)\boldsymbol{v}, \tag{7}$$

где мы сохраняем члены только с точностью до v/c. В этом уравнении R_m представляет радиус-вектор от m_2 до m_1, величина которого равна r в уравнении (6). Более подробно см. в: Weber [17], chap. 9.

Cv должен быть строго положительным при $v \neq 0$, поскольку скорость массы m_2, наблюдаемая в нашем специальном случае, равна нулю и поскольку социолог предполагает наличие силы отталкивания (repulsive force), пропорциональной абсолютной разности скоростей m_1 и m_2. Но в физическом уравнении (6) член Cv может быть отрицательным или положительным в зависимости от направлений v и a.

Поэтому нам нужно искать в физике другую аналогию. Предположим, что мы решаем задачу о двух телах с точки зрения наблюдателя, который находится в неподвижности относительно некоторой третьей системы отсчета, располагаясь в то же время в месте нахождения массы m_2. С этой позиции он увидит, что сила воздействия массы m_1 на единичную массу m_2 зависит от скорости и ускорения его системы отсчета относительно m_1. В общем виде эту силу можно представить с помощью следующего уравнения:

$$F = -A\frac{GM}{r^2} + B\frac{GM}{c^2 r}\alpha_r + Ca + Dv + \cdots, \qquad (8)$$

где a и v — ускорение и скорость (в символической записи) исследователя относительно m_1 [1].

[1] В точном виде это уравнение записывается следующим образом:

$$F_i = -\frac{d^2x^i}{d\tau^2} - \sum_{\alpha,\beta}\begin{Bmatrix} i \\ \alpha,\ \beta \end{Bmatrix}\frac{dx^\alpha}{d\tau}\frac{dx^\beta}{d\tau}, \quad i = 1, 2, 3;\ \alpha, \beta = 0, 1, 2, 3, \qquad (9)$$

где τ — собственное время наблюдателя; x — координаты местоположения исследователя в пространстве — времени; $\left\{ {}_{\alpha,\ \beta}^{\ i} \right\}$ — известный символ Кристоффеля. Этот символ учитывает кривизну пространства — времени и заменяет выражение

$$^1/_2 g^{i\lambda}\left\{(\delta g_{\alpha\lambda}/\delta x^\beta) + (\delta g_{\beta\lambda}/\delta x^\alpha) - (\delta g_{\alpha\beta}/\delta x^\lambda)\right\}, \text{ где } g_{\alpha\lambda}\ (\alpha, \lambda = 0, 1, 2, 3),$$

представляет компоненты метрического тензора в точке нахождения исследователя. В этом уравнении временна́я координата ct обозначена как x^0, где c — скорость света, а обычные пространственные координаты, x, y, z как x^1, x^2 и x^3 соответственно.

Если наблюдатель движется относительно m_1 с очень малой постоянной скоростью, то $-\begin{Bmatrix} i \\ 0,\ 0 \end{Bmatrix}(dx^0/d\tau)^2$ приблизительно равно силе, описываемой уравнением (4). Другие части второго члена на правой части уравнения (9) становятся пренебрежимо малыми, тогда как первый член равен нулю. Подробнее см. в: Whittaker [18], p. 384—385; Walker [15, 16].

Это уравнение, однако, не удовлетворяет социологов, так как оно не обладает достаточной универсальностью: член Dv может быть отрицательным или положительным. Однако его полезно иметь под рукой, *поскольку оно ясно* показывает, что исследователь, находящийся вне взаимодействующей системы, может воспринимать и регистрировать силы совсем иначе, чем наблюдатели, которые, находясь внутри этой системы, вынуждены заниматься ее анализом, будучи вовлеченными в сферу ее действия.

Однако есть еще один раздел физики, где можно по*искать конструкцию, которая включает в себя зависящие* от скорости силы. Это — электромагнетизм. В независимой системе отсчета исследователь, подобный нашему наблюдателю, свяжет с двумя заряженными телами, которые движутся в пространстве со скоростями v_1 и v_2 соответственно, магнитную силу, пропорциональную произведению этих скоростей. Она описывается уравнением

$$F_m = \frac{q_1 q_2 v_1 v_2}{c^2 r^2}, \tag{10}$$

если тела движутся параллельно друг другу, или

$$F_m = \frac{q_1 q_2 v_1 v_2}{c^2 r^2} \sin\theta \sin\varphi, \tag{11}$$

если одно заряженное тело движется под углом Θ к направлению r, а второе тело, находящееся на расстоянии r от первого, пересекает под углом φ магнитное поле, порожденное первым телом [1].

Следует помнить, что эта электромагнитная сила не выражается через кривизну пространственно-временно́го континуума или геометрии как гравитационная сила (можно было бы только пожелать, чтобы это стало возможным в будущем, когда будет создана единая теория поля). Поэтому контрольная частица — масса m_2 — будет перемещаться не вдоль геодезической линии, а по траектории, соответствующей наличию силы электромагнитного типа, то есть правая часть уравнения геодезической линии будет не нулевой, а равной величине этой силы [2]. Та-

[1] Подробнее см. в: Atkins [3], chap. 16.

[2] То есть траектория движения частицы будет

$$\ddot{x}^\alpha + \left\{ \begin{matrix} \alpha \\ \rho, \gamma \end{matrix} \right\} \dot{x}^\alpha \dot{x}^\gamma = F_\alpha.$$

кая траектория обязательно будет «более длинной», поскольку, по определению, уравнение геодезической линии имеет вид $\delta \int ds = 0$.

К сожалению, добавление силы электромагнитного типа опять не приводит к адекватному описанию зависящих от скорости сил, которые имеют в виду социологи. Это сразу становится очевидным, если принять во внимание, что такую силу может воспринимать только тот наблюдатель, который находится в независимой системе отсчета. Исследователь в системе отсчета, связанной с m_1 (или m_2), считает свою скорость нулевой, и для него сила F_m, описываемая уравнением (10), равна нулю. Таким образом, ни житель Аппалачей, ни житель Нью-Йорка не могут воспринимать силу магнитного типа. Исследователь же социолог будет считать, что раз он (исследователь) воспринимает эту силу, то ее будут воспринимать и оба жителя, *хотя и с разной величиной*.

Хотя нам не удалось найти пока аналогию в физике, которая нашла бы применение в социологии при рассмотрении зависящих от скорости сил, тем не менее полезно изучить уравнения (4) — (10) с точки зрения стороннего исследователя, а также наблюдателей в Аппалачах и Нью-Йорке. Поучительно рассмотреть второй член уравнения (4), а также второй, третий и четвертый члены уравнения (8), выступающие в качестве поправок к первому члену, появляющемуся в классической теории Ньютона. Для этого нам необходимо снова вернуться к вопросу о метриках в интересующих нас пространственно-временны́х континуумах.

МЕТРИКИ, ТЕНЗОРЫ И ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА

В моей лондонской статье я указывал, что при выполнении ортогональных преобразований в трехмерном евклидовом пространстве длина любого отрезка в этом пространстве *сохраняется; следовательно, мы сохраняем* величину любого вектора, поскольку она представляется некоторым отрезком. В математической записи это выражается как

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 = (dx')^2 + (dy')^2 + (dz')^2 = \cdots, \quad (12)$$

и означает, что квадрат расстояния ds по прямой линии

между двумя любыми точками в этом пространстве равен сумме квадратов разностей координат этих точек по осям x, y и z — обобщенная теорема Пифагора. Когда мы работаем с системами координат, выведенными одна из другой с помощью ортогональных преобразований, ds^2 остается инвариантной в любой системе координат: в системе x, y, z, в системе x', y', z', в системе x'', y'', z'' и т. д.

Обобщенный вариант ортогональных преобразований для случая, когда мы в качестве четвертого измерения вводим время, известен как преобразования Лоренца. В координатных системах, являющихся лоренцовыми преобразованиями, величина ds^2, где ds представляет линейный элемент в этом 4-мерном пространстве, иногда обозначаемый как «разбиение» («separation»), сохраняется и определяется следующим образом [1]:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2. \tag{13}$$

Далее, как я указывал в моей лондонской работе, когда мы рассматриваем мультирайонную систему, в которой некоторые культуры развиваются с ускорением или замедлением, мы уже не можем ограничиваться ортогональными преобразованиями в прямолинейных системах координат, если хотим сохранить величину линейного элемента ds. Для этого мы должны использовать криволинейные системы координат и обычно переходим в риманово пространство. В римановом пространстве мы имеем дело с преобразованиями, которые сохраняют величину линейного элемента ds, который определяется как

$$ds^2 = Adu^2 + Bdv^2 + Cdw^2 + 2Fdudv + 2Gdudw + 2Hdvdw, \tag{14}$$

или, используя векторы и матричную запись, как

$$ds^2 = \underset{(1\times 3)}{[du,\ dv,\ dw]} \cdot \underset{(3\times 3)}{\begin{bmatrix} A, & F, & G \\ F, & B, & H \\ G, & H, & C \end{bmatrix}} \cdot \underset{(3\times 1)}{\begin{bmatrix} du \\ dv \\ dw \end{bmatrix}}. \tag{15}$$

При $u = u_1$, $v = u_2$, $w = u_3$ уравнение (14) принимает вид

$$ds^2 = g_{11}du_1du_1 + g_{22}du_2du_2 + g_{33}du_3du_3 + 2g_{12}du_1du_2 + \\ + 2g_{13}du_1du_3 + 2g_{23}du_2du_3, \tag{16}$$

[1] Подробнее см. в: Anderson [2], chap. 6.

где $g_{11}=A$, $g_{22}=B$, $g_{33}=C$, $g_{12}=g_{21}=F$, $g_{13}=g_{31}=G$, $g_{23}=g_{32}=H$.

Уравнение (16) можно переписать в виде

$$ds^2=\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}g_{ij}du_i du_j \qquad (17)$$

или, используя обычные в тензорном анализе условные обозначения и опуская знак суммирования Σ при слагаемом всякий раз, когда при нем появляются два одинаковых буквенных индекса, иначе:

$$ds^2=g_{ij}du_i du_j,\ i,\ j=1,\ 2,\ 3. \qquad (18)$$

Далее, когда величины g_{ij} заданы в виде

$$\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix},$$

то есть $g_{11}=1$, $g_{22}=1$, $g_{33}=1$ и все другие $g_{ij}=0$, уравнение (18) превращается в уравнение (12), где $du_1=dx$, $du_2=dy$ и $du_3=dz$. Когда можно найти координатную систему, в которой g_{ij} имеет такой вид, пространство является евклидовым и называется плоским.

В 4-мерном пространстве, в котором оси обозначены как x_0, x_1, x_2 и x_3, а индексы μ и ν принимают значения 0, 1, 2 и 3, уравнение (18) принимает вид

$$ds^2=g_{\mu\nu}dx_\mu dx_\nu,\ \mu,\ \nu=0,\ 1,\ 2,\ 3, \qquad (19)$$

или, в векторной и матричной записи,

$$ds^2=\underset{(1\times 4)}{[dx_0,\ dx_1,\ dx_2,\ dx_3]}\cdot\underset{(4\times 4)}{\begin{bmatrix}g_{00}, & g_{01}, & g_{02}, & g_{03}\\ g_{10}, & g_{11}, & g_{12}, & g_{13}\\ g_{20}, & g_{21}, & g_{22}, & g_{23}\\ g_{30}, & g_{31}, & g_{32}, & g_{33}\end{bmatrix}}\cdot\underset{(4\times 1)}{\begin{bmatrix}dx_1\\ dx_2\\ dx_3\\ dx_4\end{bmatrix}}. \qquad (20)$$

Далее, когда $g_{\mu\nu}=\eta_{\mu\nu}$, где

$$\eta_{\mu\nu}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -1\end{bmatrix}, \qquad (21)$$

видим, что уравнение (19) превращается в уравнение (13) и, следовательно, такие значения $g_{\mu\nu}$ характеризуют линейный элемент, инвариантный при преобразованиях Лоренца. Вообще говоря, когда можно найти координатную систему, в которой $g_{\mu\nu}=\eta_{\mu\nu}$, мы находимся в пространстве Минковского (обобщенное евклидово). Снова отметим, что это пространство является плоским в том смысле, что производные от $g_{\mu\nu}$ всюду равны нулю, то есть $\Delta g_{\mu\nu}/x^{\nu}=0$, а $g_{\mu\nu}$ *в пространственно-временно́м континууме* Минковского всюду имеют одно и то же значение.

Теперь становится ясным, что если бы существовала мультирайонная система, развитие районов в которой происходит с постоянной скоростью не ускоряясь, не замедляясь, то есть в неизменном темпе, то для нее были бы верны величины $g_{\mu\nu}$, соответствующие уравнению (21). Однако в действительности, где социальные системы развиваются неравномерно, некоторые $g_{\mu\nu}$ будут меняться от точки к точке (то есть $g_{\mu\nu}\neq\eta_{\mu\nu}$), и поэтому метрика Минковского оказывается нерелевантной. В таком случае удобно использовать методы, разработанные для риманова пространства.

На этой основе я и хотел бы продолжить обсуждение. Однако прежде необходимо сказать, что по крайней мере на первом этапе можно ввести в наш мультирайонный мир одно упрощение. Несмотря на то что мы живем в четырехмерном мире, вертикальное измерение z, или высота, не является еще столь важным, как остальные три, хотя это вскоре и может измениться, поскольку наше общество рвется вверх, в космос. Но пока я могу позволить себе не учитывать это измерение и постулировать трехмерный пространственно-временно́й мир с измерениями: время, x и y. Благодаря этому размер матрицы $[g_{\mu\nu}]$ уменьшится:

$$\begin{bmatrix} g_{00}, & g_{01}, & g_{02} \\ g_{10}, & g_{11}, & g_{12} \\ g_{20}, & g_{21}, & g_{22} \end{bmatrix}.$$

Если, далее, рассмотреть движение только вдоль радиуса, соединяющего два тела, при отсутствии «бокового» («lateral») смещения или при пренебрежении им, матрица $[g_{\mu\nu}]$ уменьшится до

$$\begin{bmatrix} g_{00}, & g_{01} \\ g_{10}, & g_{11} \end{bmatrix},$$

где индекс 0 относится к временно́й координате, а индекс 1—к единственной оси, совпадающей с радиусом, вдоль которого рассматривается движение.

Теперь можно приступить к возможной интерпретации членов уравнения (7), которое в первом приближении аппроксимируется в виде

$$F = \frac{GM}{R_M^2}\frac{R_M}{R_M} + \frac{4GM}{c^2 R_M}\,a. \tag{22}$$

Заметим, что уравнение (22) подобно уравнению (4). Рассмотрим теперь пространство Минковского, в котором выполняется условие (21). Это совсем нереальное пространство. Оно не может существовать, потому что не согласуется с присутствием массы. Мы знаем, что *присутствие* массы и ее движение приводят к искривлению *пространственно-временно́го континуума в том* смысле, что при наличии массы появляется гравитационное поле, которое вызывает искривление пространства. Прямых линий в нем уже быть не может. Кроме того, как мы знаем, в гравитационном поле (то есть в связи с геометрией пространственно-временно́го континуума) появляется эффект обратной связи с массой, которая его создает.

Однако на время забудем об обратной связи. *Поместим* массу в пространство Минковского и рассмотрим первый контур, или прямое взаимодействие. Примем вначале, что поле слабое. Поэтому его геометрия, описываемая через посредство $g_{\mu\nu}$, мало отличается от геометрии плоского пространственно-временно́го континуума. В таком случае $g_{\mu\nu}$ можно вычислить в последовательности малых приближений.

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h^{(1)}_{\mu\nu} + h^{(2)}_{\mu\nu} + \cdots, \tag{23}$$

где $h^{(1)}_{\mu\nu}$ — *последовательные* члены аппроксимации, каждый из которых обычно меняется от точки к точке. Величины же $\eta_{\mu\nu}$ в плоском пространстве Минковского имеют постоянные значения [как в (21)] и во всех точках этого пространства одинаковы.

Рассмотрим первое приближение для $g_{\mu\nu}$, то есть

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h^{(1)}_{\mu\nu} \text{ или} \tag{24}$$

$$g_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} \eta_{00} + h^{(1)}_{00}, & \eta_{01} + h^{(1)}_{01}, & \eta_{02} + h^{(1)}_{02}, & \eta_{03} + h^{(1)}_{03} \\ \eta_{10} + h^{(1)}_{10}, & \eta_{11} + h^{(1)}_{11}, & \eta_{12} + h^{(1)}_{12}, & \eta_{13} + h^{(1)}_{13} \\ \eta_{20} + h^{(1)}_{20}, & \eta_{21} + h^{(1)}_{21}, & \eta_{22} + h^{(1)}_{22}, & \eta_{23} + h^{(1)}_{23} \\ \eta_{30} + h^{(1)}_{30}, & \eta_{31} + h^{(1)}_{31}, & \eta_{32} + h^{(1)}_{32}, & \eta_{33} + h^{(1)}_{33} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

(В связи с предположением о том, что поле слабое, $|h^{(1)}_{\mu\nu}| \ll 1$ — крайне невелико.) Используя указанные приближения для $g_{\mu\nu}$, можно записать приближенные выражения для $R_{\mu\nu}$ и R в уравнениях поля Эйнштейна:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu}. \quad (26)$$

Здесь $R_{\mu\nu}$ представляет тензор кривизны в некоторой точке, R — «среднюю» кривизну в этой точке и $K = -(8\pi G/c^2)$ — постоянную. $T_{\mu\nu}$ представляет тензор энергии-импульса, иногда называемый тензором напряжения-энергии (stress-energy tensor). Он дает для любой точки плотность массы и потоки энергии и, следовательно, распределение массы и энергии во всех точках поля. Чтобы пояснить уравнения поля Эйнштейна и их значение для нашей теории, мы поясним вначале смысл тензора. Рассмотрим для этого твердое тело (сплошная среда) в 3-мерном пространстве, которое подверглось действию деформирующих сил, вызвавших деформацию формы и/или объема. В связи с деформацией на каждую точку внутри твердого тела воздействуют «реставрирующие» силы, возникающие в непосредственном окружении. Для описания реставрирующей силы, воздействующей на каждую точку Q сплошного вещества, построим плоскость в пространстве yz, перпендикулярную оси x и проходящую через точку Q, как показано на рис. 5[1]. Рассмотрим силу, действующую на небольшой участок этой плоскости $\Delta y \Delta z$ в окрестностях точки. Эту силу можно описать с помощью трех ее компонент, показанных на рис. 5: F'_x — в направлении x, F'_y — в направлении y и F'_z — в направлении z. Обозначив силу, действующую на единицу площади, через S, можем записать:

[1] Составляющие F_y' и F_z' — это силы сдвига, которые представляют собой тангенциальные составляющие силы, действующей вдоль некоторой поверхности, и которые возникают в твердых телах и вязких жидкостях. F_x' — сила типа давления.

$$S_{xx} = F'_x/\Delta y \Delta z,$$
$$S_{yx} = F'_y/\Delta y \Delta z, \qquad (27)$$
$$S_{zx} = F'_z/\Delta y \Delta z.$$

Первый индекс при S обозначает составляющую силы, действующую на эту небольшую площадку секущей плоскости. Второй индекс обозначает ось, к которой плоскость перпендикулярна.

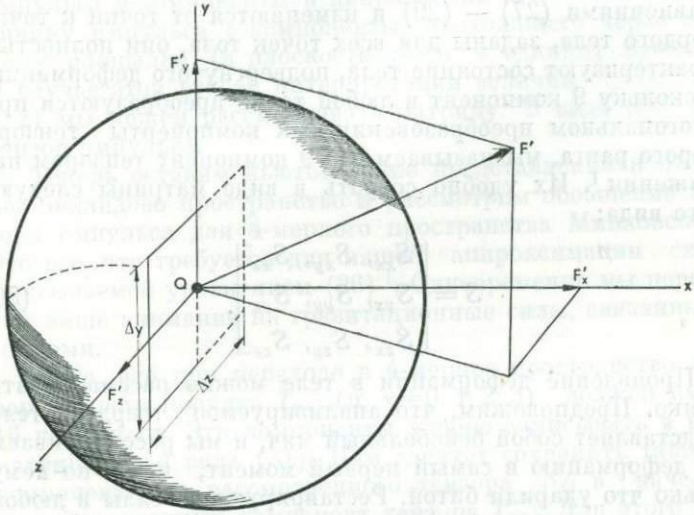


Рис. 5.

Однако, чтобы описать реставрирующие силы в любой точке твердого тела, подвергнутого деформации, нужно рассмотреть еще и силы, воздействующие на такие же небольшие участки в плоскостях xz и xy в окрестностях точки. Для этого проведем через Q плоскость в пространстве xz (перпендикулярную оси y). Три составляющие силы F^2, воздействующей на небольшой участок $\Delta x\ \Delta z$ в окрестностях Q, будут иметь следующий вид:

$$S_{xy} = F^2_x/\Delta x \Delta z,$$
$$S_{yy} = F^2_y/\Delta x \Delta z, \qquad (28)$$
$$S_{zy} = F^2_z/\Delta x \Delta z.$$

Подобным же образом проведем через Q плоскость в пространстве xy (перпендикулярно оси z) и определим силу F^3, воздействующую на небольшой участок $\Delta x\,\Delta y$ в окрестностях точки Q. Три ее составляющие будут

$$S_{xz} = F^3_x/\Delta x\Delta y,$$
$$S_{yz} = F^3_y/\Delta x\Delta y, \tag{29}$$
$$S_{zz} = F^3_z/\Delta x\Delta y.$$

Когда девять составляющих, которые описываются уравнениями (27) — (29) и изменяются от точки к точке твердого тела, заданы для всех точек тела, они полностью характеризуют состояние тела, подвергнутого деформации. Поскольку 9 компонент в любой точке преобразуются при ортогональном преобразовании как компоненты тензора второго ранга, мы называем эти 9 компонент тензором напряжения [1]. Их удобно собрать в виде матрицы следующего вида:

$$S = \begin{vmatrix} S_{xx}, & S_{xy}, & S_{xz} \\ S_{yx}, & S_{yy}, & S_{yz} \\ S_{zx}, & S_{zy}, & S_{zz} \end{vmatrix}. \tag{30}$$

Проявление деформации в теле можно рассматривать двояко. Предположим, что анализируемое твердое тело представляет собой бейсбольный мяч, и мы рассматриваем его деформацию в самый первый момент, когда по нему только что ударили битой. Реставрирующие силы в любой точке мяча можно описать тензором напряжения вида (30). С другой стороны, можно считать, что силы, действующие в любой точке, вызывают изменение плотности импульса в этой точке.

Это можно проиллюстрировать на примере любой компоненты тензора напряжения, скажем S_{yx}, которая определяется по уравнению (29) как

$$S_{yx} = F'_y/\Delta y\Delta z.$$

Как известно из ньютоновской физики, силу можно связать со скоростью изменения импульса во времени, где импульс означает произведение массы на вектор скорости. Таким образом, можно истолковать F'_y как скорость, с ко-

[1] Подробнее о понятии тензора см. в: Isard [10]. См. также: Lawden [12].

торой в точке Q в направлении x изменяется во времени y-компонента вектора импульса. Следовательно,

$$S_{yx}=\frac{dP_y}{dt}\Big/\Delta y\Delta z.$$

Иначе говоря, S_{yx} означает скорость потока y-компоненты импульса через единичную площадку $\Delta y\,\Delta z$ сечения, перпендикулярного оси x, или, короче, поток импульса y-компоненты в направлении x в данный момент времени. S_{yx} удобно также понимать как *поток плотности* (flux density) импульса y-компоненты в направлении x, то есть как величину импульса y-компоненты, проходящего через единицу площадки (в плоскости $y-z$) в единицу времени. В случае этой второй интерпретации величин S_{ij} ($i, j=x, y, z$) мы можем рассматривать матрицу S вида (30) как тензор импульса.

Теперь оставим ньютоновские представления и 3-мерное эвклидово пространство и рассмотрим обобщение тензора импульса для 4-мерного пространства Минковского. Это все, что требуется для нашей аппроксимации силы, описываемой уравнением (26) [1]. Одновременно мы перенесем наше внимание на гравитационные силы, связанные с массами.

Ясно, что при переходе в 4-мерное пространство тензор второго порядка $T_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu=0, 1, 2, 3$) должен иметь 16 компонент. Эти компоненты удобно записывать в виде матрицы 4×4 вида (31). Нам следует сохранить также 9 компонент уже рассмотренного тензора S_{ij} в качестве пространственных компонент тензора $T_{\mu\nu}$. Для этого разместим указанные девять компонент внутри подматрицы, входящей в матрицу (31), где положим $T_{ij}=S_{ij}$ ($i, j=1, 2, 3$):

$$T_{\mu\nu}=\begin{vmatrix} T_{00}, & T_{01}, & T_{02}, & T_{03} \\ T_{10}, & T_{11}, & T_{12}, & T_{13} \\ T_{20}, & T_{21}, & T_{22}, & T_{23} \\ T_{30}, & T_{31}, & T_{32}, & T_{33} \end{vmatrix}. \tag{31}$$

[1] Для более изящной аппроксимации нужно было бы расширить обобщение тензора импульса на 4-мерное риманово пространство.

Теперь необходимо разъяснить смысл новых, добавленных компонент.

Рассмотрим сначала компоненту T_{10}. Она находится во второй строке вместе с составляющими T_{11}, T_{12} и T_{13}, каждая из которых представляет собой x-компоненту потока импульса (одна — в направлении x, другая — в направлении y и третья — в направлении z). Поэтому T_{10} разумно рассматривать как «накопление» («stock») потока («из» или «в»), то есть как плотность x-компоненты импульса в точке Q. Следовательно, по этому определению, изменение в накоплении импульса по оси x в точке Q равно суммарному оттоку или притоку импульса по оси x со всех трех направлений (x, y и z). Иначе,

$$\frac{\partial T_{10}}{\partial t} = -\frac{\partial T_{11}}{\partial x} - \frac{\partial T_{12}}{\partial y} - \frac{\partial T_{13}}{\partial z}. \tag{32}$$

Подобным же образом T_{20} и T_{30} мы интерпретируем как накопление, или плотность, соответственно y- или z-компоненты импульса в Q. Также, по определению, изменение в любом из этих накоплений можно представлять только в виде суммарного оттока или притока со всех направлений. То есть

$$\frac{\partial T_{20}}{\partial t} = -\frac{\partial T_{21}}{\partial x} - \frac{\partial T_{22}}{\partial y} - \frac{\partial T_{23}}{\partial z} \tag{33}$$

и

$$\frac{\partial T_{31}}{\partial t} = -\frac{\partial T_{31}}{\partial x} - \frac{\partial T_{32}}{\partial y} - \frac{\partial T_{33}}{\partial z}. \tag{34}$$

Уравнения (32) — (34) можно кратко записать в следующем виде [1]:

$$\frac{\partial T_{i0}}{\partial t} = -\frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j}, \quad i = 1, 2, 3. \tag{35}$$

Уравнение (35) выражает сохранение импульса в Q, то есть показывает, что в Q импульс не может ни создаваться, ни исчезать.

Теперь разъясним составляющие первой строки T_{00}, T_{01}, T_{02} и T_{03}. Поставим два требования. Первое будет заключаться в выполнении еще одного условия сохранения, подобного уравнению (35), а именно:

$$\frac{\partial T_{00}}{\partial t} = -\frac{\partial T_{01}}{\partial x} - \frac{\partial T_{02}}{\partial y} - \frac{\partial T_{03}}{\partial z}. \tag{36}$$

[1] Напомним, что немой индекс j, появляющийся при каком-либо члене дважды, означает суммирование величин с этим индексом.

Во-вторых, поскольку мы исследуем гравитационные силы, действующие между массами, потребуем, чтобы одна компонента тензора в любой точке Q описывала бы массу или энергию в этой точке в явной форме. Если мы затем истолкуем T_{00} как запас энергии в Q, то T_{01}, T_{02} и T_{03} следует интерпретировать как поток энергии через единицу площади в единицу времени в направлениях x, y и z соответственно, или плотности потока энергии в этих направлениях. Такая интерпретация представляется разумной в том отношении, что каждая строка и колонка матрицы (31) приобретает смысл 4-мерного вектора, а уравнение (36) благодаря этому превращается в условие сохранения энергии.

Объяснив общее значение тензора $T_{\mu\nu}$ в эйнштейновских уравнениях поля (26), рассмотрим вкратце их релевантность на примере специальной системы. Предположим, что подвергаем анализу какое-либо сплошное несвязное вещество [1]. Чтобы описать движение этого вещества, нужно знать плотность ϱ массы как функцию временно́й и пространственных координат $[\varrho=\varrho(t, x, y, z)]$ и вектор скорости v тоже как функцию временно́й и пространственных координат $[v=v(t, x, y, z)]$[2]. Для любой точки этого вещества можем определить

$$T_{00}=\rho, \tag{37}$$

где ϱ представляет накопление массы и, следовательно, энергии в единице объема.

$T_{01}=-(1/c)(\varrho v_x)$, где ϱv_x означает поток массы через единицу площади в направлении x; постоянный коэффициент — $1/c$ служит в качестве поправочного множителя, необходимого для выполнения условия ковариантности в 4-мерном пространстве.

$$T_{02}=-(1/c)(\rho v_y),$$

$$T_{03}=(1/c)(\rho v_z),$$

$T_{10}(=T_{01})=-(1/c)(\varrho v_x)$ представляет исправленную умножением на указанный коэффициент x-компоненту

[1] Несвязное (incoherent) вещество следует рассматривать как «идеальную» жидкость, в которой отсутствуют силы взаимодействия между молекулами.

[2] Нужно четко понимать, что ϱ и v относятся не к какой-то определенной молекуле вещества, а означают плотность и скорость, при которых это вещество существует и проходит какую-либо фиксированную точку пространственно-временно́го континуума.

плотности импульса. Так как эта x-компонента накапливается, T_{10} дает представление об этом накоплении.

$$T_{20}\,(=T_{02})=-(1/c)\,(\rho v_y),$$
$$T_{30}\,(T_{03})=-(1/c)\,(\rho v_z)\ \text{и}$$

$T_{ij}\,(=T_{ji}=(1/c^2)\,(\varrho v_i)\,v_j$ — исправленная i-компонента импульса, направленного к j через единицу площади в единицу времени.

Теперь вернемся к уравнению (26)

$$R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}\,g_{\mu\nu}R=KT_{\mu\nu} \tag{26}$$

и будем искать решение для случая, когда $g_{\mu\nu}$ аппроксимируются в виде (25). Напомним, что в этой аппроксимации мы отбросили все члены порядка v^2/c^2 и выше. Так как все T_{ij}, как только что замечено, имеют этот порядок, мы пренебрегаем ими, и матрица $T_{\mu\nu}$ приобретает вид

$$T_{\mu\nu}\simeq\begin{vmatrix} \rho, & -\frac{1}{c}\rho v_x, & -\frac{1}{c}\rho v_y, & -\frac{1}{c}\rho v_z \\ -\frac{1}{c}\rho v_x, & 0, & 0, & 0 \\ -\frac{1}{c}\rho v_y, & 0, & 0, & 0 \\ -\frac{1}{c}\rho v_z, & 0, & 0, & 0 \end{vmatrix}. \tag{38}$$

Напомним, что в нашей специальной системе ϱ всюду равно нулю, исключая местонахождение большой массы M, что можно описать с помощью δ-функции [1].

Теперь снова рассмотрим уравнение (26). $R_{\mu\nu}$ и R в левой части можно выразить через $g_{\mu\nu}$. В нашей первой аппроксимации для этого уравнения мы принимали $g_{\mu\nu}$ в виде (25). Если эти значения $g_{\mu\nu}$ подставить в $R_{\mu\nu}$ и R

[1] Формально $\delta(r)$ представляет функцию, всюду равную нулю, за исключением $r=0$, когда она становится бесконечной, так что все пространство $\delta(r)\,dV=1$, где dV — элемент объема.

из уравнения (26) и использовать значения $T_{\mu\nu}$ по (38), получим

$$h_{\mu\nu} \simeq \begin{vmatrix} -\frac{2GM}{c^2R_M}, & \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_x}{c}, & \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_y}{c}, & \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_z}{c} \\ \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_x}{c}, & -\frac{2GM}{c^2R_M}, & 0, & 0, \\ \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_y}{c}, & 0, & -\frac{2GM}{c^2R_M} & 0, \\ \frac{4GM}{c^2R_M}\frac{v_z}{c} & 0, & 0, & -\frac{2GM}{c^2R_M} \end{vmatrix}, \tag{39}$$

где в $h_{\mu\nu}$ мы включаем только члены, соответствующие желаемой аппроксимации силы, которая будет задана потом [1].

Аппроксимировав $h_{\mu\nu}$ указанным образом, можно подставить полученные значения в уравнение (25) и получить аппроксимации для $g_{\mu\nu}$ с учетом соответствующих (21) значений $\eta_{\mu\nu}$. То есть мы можем определить теперь приближенно кривизну во всех точках нашего 4-мерного риманова пространства, или кривизну, которая, как мы помним, отражает действие гравитационных сил, порожденных в различных точках массой M. Мы, следовательно, можем поместить в поле небольшую контрольную частицу (которая в силу весьма малых ее размеров окажет на поле ничтожное влияние) и изучить ее движение (форму геодезической линии, по которой она перемещается). С помощью этого исследования можно определить силу, действующую на частицу.

Траектория движения (геодезическая линия) частицы (временно остановившейся) описывается уравнением

$$\frac{d^2x_i}{d\tau^2} = c^2\left(\frac{\partial h_{0i}}{\partial t} - \frac{1}{2}\frac{\partial h_{00}}{\partial x_i}\right) + \cdots \tag{40}$$

Но $(d^2x_i/d\tau^2)$ характеризует ускорение частицы в направлении i, то есть силу F_i, действующую на единицу массы в направлении $i=1, 2, 3$. Следовательно, после подстановки в уравнение (40) значений h_{0i} и h_{00} из уравнения (39) получим следующее выражение для вектора F (F_1, F_2, F_3):

$$\boldsymbol{F} = \frac{GM}{R_M^2}\frac{\boldsymbol{R}_M}{R_M} + \frac{4GM}{c^2R_M}\boldsymbol{a}. \tag{41}$$

[1] Weber [17], chap. 9.

Но это и есть то самое уравнение (22), которое по форме подобно уравнению (4) и означает, что даже при аппроксимации низшего порядка ускорение массы представляет релевантную переменную, то есть порождает некоторую дополнительную силу, действующую на частицу. При этом первый член соответствует классической ньютоновской силе.

Это уравнение с низкой аппроксимацией означает также — с точки зрения наших гипотез, — что в приложениях к социологическим задачам ускорение притягивающей массы релевантно первой поправке в любой ньютоновской постановке задачи взаимодействия. Применительно к избранному нами примеру об отдельном жителе района Аппалачей и массе города Нью-Йорка оно означает, что ускорение города Нью-Йорка, так же как и его масса, может оказаться важным фактором при анализе взаимодействия.

Заключение

В этой работе был проанализирован ряд положений, известных в физике и, возможно, могущих быть полезными для социолога. Мы исходили из того, что различные общества, развивающиеся с разными скоростями и ускорениями, воспринимают пространство и время различным образом и что поэтому весьма желательно сформулировать законы, принципы и другие существенные зависимости в ковариантной форме. Следовательно, такие положения нужно пытаться формулировать в терминах тензоров. Мы исходили также из того, что обычные силы, такие, например, как силы стяжения (agglomeration-type forces), весьма желательно ввести в пространственно-временну́ю геометрию, чтобы облегчить исследование специфических, необычных сил, действующих в любой конкретной ситуации.

Мы разочаровались в использовании гравитационных моделей, вытекающих из классической ньютоновской физики, к которым часто прибегают при анализе региональных систем. Согласно нашей новой теории, нужно дополнительно учитывать силы, зависящие от скорости и особенно от ускорения. В физике существует точное решение Шварцшильда для эйнштейновских уравнений поля в задачах с одним телом, решение задачи для двух тел, закон для поля электромагнитных сил и линейная аппроксимация для эйнштейновского уравнения поля в случае ускоренно движущегося тела. При изучении этих решений и формулировок с целью их применения в социологии прежде всего совершенно необходимо установить место и положение наблюдателя; в нашем примере — житель Аппалачей, Нью-Йорка или исследователь из третьей, независимой системы отсчета. Характер регистрируемых

наблюдателем явлений во многом зависит от той системы отсчета, в которой он находится. Согласно этому первоначальному *условию, мы получаем подтверждение наших* (социологических) представлений о релевантности и роли ускорения, хотя и не можем проанализировать силы, зависящие от скорости. Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования, особенно по выявлению релевантных для социальных систем макропеременных, таких, как масса и энергия, и выработка умозрительных (теоретических) представлений о таких категориях, как сила, скорость (темп) и ускорение в социологических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adler Ronald, M. Baxen, M. Schiffer, Introduction to General Relativity. New York: McGraw — Hill, 1965.
2. Anderson James L., Principles of Relativity Physics. New York: Academic Press, 1967.
3. Atkins K., Physics. New York: John Wiley & Sons, 1970.
4. Einstein Albert. The Meaning of Relativity. Princeton: Princeton University Press, 1970.
5. Feynman Richard P. et al., The Feynman Lectures on Physics. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1964.
6. Fock V., The Theory of Space, Time and Gravitation, 2nd rev. ed. New York: The Macmillan Company, 1964.
7. Infeld Leopold, J. Plebanski, Motion and Relativity. New York: Pergamon Press, 1960.
8. Isard Walter, Multi — Nation Interaction Models: Some Useful Insights from General Relativity Theory, Papers of the Peace Research Society (International), XVII, 1971.
9. Isard Walter, On Notions and Models of time, Papers of the Regional Science Association, XXV, 1970, p. 7—31.
10. Isard Walter, On Relativity Theory and Space — Time Models, Papers of the Regional Science Association, XXVI, 1971.
11. Isard Walter, Tony Smith et al., General Theory, Social, Political, Economic and Regional. Cambridge, Mass.: The M. I. T. Press, 1969.
12. Lawden Derek F., An Introduction to Tensor Calculus and Relativity. 2nd ed. London: Methuen and Co., Ltd., 1962, Chaps. 2 and 5.
13. McVittie G. C., General Relativity and Cosmology. Urbana: University of Illinois Press, 1965.
14. Sciama D. W., The Physical Foundation of General Relativity. New York: Doubleday, 1969.
15. Walker A. G., «Notes on Relativistic Mechanics», Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society, Series 2, IV, Part 3, 1935, p. 170—174.
16. Walker A. G., «Relative Coordinates», Proceedings of the Royal Society, Edinburgh, LII, 1932, p. 345—353.
17. Weber J., General Relativity and Gravitational Waves. New York: Interscience, 1961.
18. Whittaker E. T., «On Gauss' Theorem and the Concept of Mass in General Relativity», Proceedings of the Royal Society (A), CXLIX, 1935, p. 384—395.

Пространство в географии человека[1]

ПОЛЬ КЛАВАЛЬ

География человека изучает размещение населения, его деятельность и результаты этой деятельности на земной поверхности. Она подчеркивает роль человека в региональных различиях земного шара, способствуя их объяснению, и пытается отразить все обнаруженные явления путем анализа системы пространственных отношений, которые создаются между человеком и средой, а также между людьми. Ее достижения могут способствовать лучшему устройству среды, в которой развиваются человеческие общества, а также организации их на благо всех.

Подход географии человека к пространству весьма различен. То ее интересует протяжение, то расстояние и те преграды, которые препятствуют подвижности, то она рассматривает его как средство разграничения общественных связей для лучшего их понимания, то как мысленную категорию.

Полезно немного задержаться на различных сторонах такого подхода к пространству в географии человека: это, как нам кажется, очень важно для понимания всех сторон нашей науки.

Для географа пространство — это в первую очередь протяженность. Оно одновременно и основа для существования групп людей, и среда их деятельности.

ПРОСТРАНСТВО КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Все живые существа получают энергию, которую они используют, накапливают и преобразуют, от солнечной ра-

[1] Paul Claval, L'espace en géographie humaine, «Le Géographe Canadien», XVI, 2, 1970.

диации. Но только растения способны использовать ее непосредственно, преобразуя световую энергию в химическую. Люди и животные зависят от растений, образующих обязательное звено в энергетической цепи [11].

Любой участок земной поверхности получает солнечную энергию. Часть ее используется флорой, которой прямо или косвенно питается фауна данного участка. Таким образом, любая территориальная единица может рассматриваться как основание пирамиды экологического комплекса. Человек занимает в ней один из «этажей». Его место зависит от достигнутого им уровня развития и от эффективности использования им нижних «этажей» [5].

Экологическая пирамида отражает отношения, создающиеся в пределах одной и той же территориальной единицы. Эти отношения принято называть вертикальными в противоположность отношениям между отдельными территориальными единицами. Высшие животные способны передвигаться. Человек также мобилен, но он может и перемещать часть того, что ему необходимо для существования. Чтобы полностью выявить экологические отношения, обусловливающие жизнь высших животных и человека, нужно, следовательно, начинать не с изучения территории и всего того, что на ней находится, а с исследования изолированной группы людей, взаимозависимости в пределах которой мы хотим понять, и лишь затем постараться выявить ту территориальную основу, с которой они связаны. Эта основа привязана к местонахождению людей, если связующие звенья только вертикальны, или же распространяется вовне, если последние горизонтальны [6].

Человек всегда связан каким-то минимумом отношений со средой, в которой он живет: он дышит ее воздухом, который местные растительные сообщества очищают и восстанавливают. Он потребляет много воды, которую, как правило, он не в состоянии доставлять из чрезмерно отдаленных мест. Другие сообщества [растений и животных] удаляют отходы, создаваемые им и загрязняющие окружающую его среду. Современное общество меньше зависит от своего непосредственного природного окружения, чем первобытное общество, но оно не в силах освободиться от него полностью, о чем свидетельствует серьезность экологических проблем, возникших в процессе развития городов [12].

Однако, с другой стороны, для удовлетворения большинства других потребностей можно освободиться от зависимости, накладываемой непосредственно окружающей средой. В связи с этим можно выделить группы, зависящие от среды их месторасположения; группы, зависящие от ближайших территорий (города доиндустриального периода снабжались продуктами из соседних сельских местностей), и группы, зависящие от дальних территорий. В двух первых случаях база постоянна и не меняется со временем. В третьем случае она иногда претерпевает изменения (так, в зависимости от рыночной конъюнктуры англичане потребляли то австралийскую, то американскую, то канадскую или аргентинскую пшеницу).

Следовательно, экологические отношения человека со средой складываются различным образом: они определяются умением использовать для своих нужд сообщества живых организмов, а также эффективностью этого использования (при переходе от вегетарианской пищи к исключительно мясной нужно располагать при прочих равных условиях в восемь раз большей территорией); они также зависят от транспортных средств. Они видоизменяются в зависимости от уровня развития техники.

В свое время география человека занималась почти исключительно изучением экологических проблем. Это нужное знание, но если ограничиться только им, то можно попасть в тупиковую ситуацию: выявленные зависимости оказываются ни обязательными, ни постоянными. Они отражают уровень технократической цивилизации и традиции населения. Если и можно говорить о каком-то детерминизме в этой области, то только, как это правильно показал Гуру, о детерминизме (определенного уровня) цивилизации [8].

Карта плотности позволяет легко установить суть отношений населения с окружающей средой; это, как известно, использовал Видаль де ла Блаш, это же помогло Гуру при исследовании тропических стран [1]. Но интерпретация этого документа довольно трудная задача; скопление людей может явиться результатом эффективной эксплуатации богатой местной базы, а также организации хозяйства, обеспечивающей снабжение из удаленных территорий.

Экологические исследования становятся насущно необходимыми только в том случае, когда они составляют

часть общего анализа размещения населения: хотя последнее зависит от социальных факторов, оно испытывает в то же время влияние сопротивления среды, еще не полностью подчиненной человеку. Именно на этом пути можно преодолеть несовершенство прежних поссибилистских интерпретаций. Совокупность отношений со средой и социальных отношений образует систему взаимных влияний. Пока объяснение не охватывает все стороны этих взаимодействий, оно носит лишь произвольный, необязательный характер. Как правило, именно в социальных влияниях кроются особенности возникающих закономерностей, однако *ими длительное время пренебрегали географы дарвиновского толка*, считавшие своей основной задачей изучение связей групп людей с природной средой.

ПРОТЯЖЕННОСТЬ ПРОСТРАНСТВА И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Очень трудно составить перечень всех результатов деятельности, всех отношений внутри группы людей и всех их поступков. В интересах классификации можно сначала сгруппировать деятельность, связанную с производством: некоторые виды ее сводятся к модификациям и использованию экологических пирамид в целях получения продуктов питания, для изготовления орудий труда или оборудования; другие заключаются в обработке сырья, в его очистке или в приобретении орудий и продуктов, необходимых для существования группы. Однако человек не только производит материальные блага. Он тратит часть своего времени *и своей энергии на цели чисто социальные*: на общение с себе подобными, на обмен с ними продуктами или оказание им услуг, на потребление продуктов своего труда или приобретенных в результате операций обмена. Он нуждается в отдыхе и уединении, в избавлении от суматохи, шума, непогоды и всех опасностей, заставляющих его беспрестанно быть настороже. Все это предполагает наличие протяженности в пространстве.

Обмен новостями и другие виды коммуникации предполагают обычно сосредоточение людей в непосредственной близости друг от друга. До совсем недавнего времени информация передавалась непосредственно ее носителями; и в наши дни осуществление связей между людьми, как

правило, требует концентрации части или всего населения. Пространство, таким образом, является ареной деятельности, связанной как с объединением, так и перемещением людей (что, впрочем, не всегда преследует непосредственные социальные цели) в их производительной деятельности, сельском хозяйстве, охоте, рыбной ловле или для удовлетворения потребности в физической разрядке или своей любознательности, которую можно было бы назвать географической.

Социальная жизнь людей допускает, следовательно, различные использования пространства. В ряде случаев одна и та же площадь может одновременно или поочередно предназначаться для различных видов деятельности. Пространства «нетронутой» природы допускают собирательство в их пределах дикорастущих плодов, перемещение по ним, то или иное их объединение. В одном и том же месте могут происходить обмен продуктами и обмен идеями или же выполняться религиозные обряды. Дом, служащий укрытием, укреплением, возможностью изоляции от общества и общественных обязанностей в ночное время, днем становится местом сборищ и местом контактов. Постепенно выявляются два вида использования земли в пределах какой-либо территории: одна ее часть предназначается для пропитания населения, а другая — для его расселения.

Пока техника производства и образ жизни рудиментарны, участки территории, служащие для удовлетворения социальных нужд, специально не оборудуются.

Однако, как правило, заселенное пространство носит отпечатки достаточно глубоких преобразований природной среды. Постепенно разрыв между территориями, предназначенными для социальных нужд, и теми, которые кормят людей, все более углубляется.

Территория, изучаемая географией человека, расчленяется, таким образом, различными видами деятельности, размещающимися на ней. Правда, одни виды деятельности часто исключают другие. Это ограничивает свободу выбора для людей; они могут осуществлять задуманное лишь в том случае, когда располагают соответствующим пространством. Антропологи иногда отмечали это обстоятельство.

Географы уже давно указывали на роль протяженности пространства в жизни общества. Жан Брюн [2], например,

предлагал для упорядочения географии человека различать непроизводительное использование земли (дома, дороги), *территории, занятые под посевы или пастбища*, и нарушенные пространства. Однако такая упрощенная классификация вынудила его в дальнейшем сгруппировать вместе современные промышленные страны с первобытными обществами на том основании, что как в одном, так и в другом случае эксплуатация природной среды связана с уничтожением ресурсов. Слабость подобных построений ясна. Чтобы понять многочисленные взаимоотношения между субстратом общества и его географией, нужно углубить исследование роли пространства в жизни общества.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАССТОЯНИЕ

Пространство — это также и расстояние, и, следовательно, препятствие для передвижения людей, вещей и идей. Эту вторую его сторону и следует теперь рассмотреть.

Для людей перемещения связаны с утомлением, потерей времени и расходом денег. Удаленность затрудняет социальные взаимодействия; причем степень ее влияния зависит не столько от абсолютного расстояния, выраженного в километрах, сколько от затраченных усилий и времени на ее преодоление. Географическое расстояние относительно: оно определяется средой и уровнем техники. Горы, реки, болота или леса изолируют гораздо больше, чем несравненно более протяженные открытые пространства.

Долгое время мерой передвижения людей и вещей служили скорость пешехода и его возможности переносить тяжести. Лишь в наши дни подвижность людей и грузопотоки стали измеряться масштабами планеты.

В области обмена идеями и новостями эволюция носила более сложный характер. Долгое время не делалось различия между информацией и людьми, которые ее порождали или передавали: она перемещалась вместе с последними. Письменность позволила сообщениям преодолевать и пространство, и время. Но и здесь до недавнего периода прогресс был также очень медленным.

Создание почтовой службы и достижения в области транспорта — наземного, морского и воздушного, печать,

телеграф, телефон, радио, телевидение — все это позволяет теперь моментально распространить поток новостей на большие расстояния, и этому более не препятствуют географические преграды. Эта легкость распространения идей должна была бы, казалось, снизить роль расстояния. Однако анализ проблем распространения информации говорит, что это не совсем так. И это позволяет лучше понять, что собой представляет расстояние в социальном отношении.

РАССТОЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И РАССТОЯНИЕ СОЦИАЛЬНОЕ

Чтобы понять, что тормозит обмен идеями и знаниями, полезно воспользоваться понятиями теории информации.

При передаче информации необходимо наличие передающего информацию, принимающего ее и соединяющей их линии. Чтобы послание дошло от передающего к принимающему, нужно, чтобы линия обладала достаточными характеристиками: ее пропускная способность должна быть достаточно велика, объем шумов не слишком большим, ибо он может затруднить прочтение при приеме. Преграда, создаваемая географическим расстоянием, измеряется посредством характеристик линии. Технический прогресс позволяет постепенно сократить шумы, увеличить пропускную способность и, таким образом, ускорить передачу информации и укоротить географическое расстояние.

Но информация не воспринимается автоматически. Нужно, чтобы принимающий знал код, которым пользуется отправитель информации. И именно здесь расстояние приобретает свое социальное измерение. Чтобы обмениваться информацией, нужно понимать друг друга, говорить на одном языке и даже больше: некоторые сообщения бывают бессмысленны для получающего, хотя он их и свободно читает. Завязывающие между собой отношения люди могут находиться друг перед другом, но тем не менее они оказываются неспособными к общению из-за разделяющего их социального расстояния, мешающего взаимному пониманию.

Понятие социального расстояния знакомо людям и выражается в обиходном языке: разве не говорим мы о ком-нибудь, что он держится на расстоянии или что он нас сторонится, придавая этому духовную окраску? Значение

этого понятия подчеркивали и антропологи. Изучая племена народности нуэр, Эванс-Причард [7] писал: «Мы можем, конечно, точно измерить расстояние, разделяющее две хижины, две деревни, две племенные территории и так далее. Мы получим, таким образом, измерения пространства в обычных физических единицах. В такой форме эти измерения имели бы ограниченный смысл. Экологическое пространство [мы бы сказали — географическое] не идентично физическому расстоянию, даже если последнее и важно для него, ибо оно определяется также характером местности, разделяющей соседние группы, и отношениями, связанными с биологическими потребностями образующих их людей. Река разделяет два племени народности нуэр гораздо более решительно, чем многие километры некультивированных земель. Расстояние, которое кажется незначительным в сухой сезон, становится непреодолимым, когда район оказывается затопленным...

Структурное расстояние — это понятие совершенно другого порядка, хотя оно также зависит от экологических условий, а может быть, и в значительной степени определяется ими в политическом измерении. Под структурным расстоянием мы понимаем, как это было уже указано в предыдущем разделе, расстояние, которое разделяет две группы людей в системе социальных отношений и выражается в духовных категориях. Характер местности определяет размещение деревень и, следовательно, расстояние между деревнями, тогда как духовные категории, ставя преграды, определяют характер расселения в структурном плане и создают свой ряд расстояний. Какая-либо деревня народности нуэр может находиться на одинаковом расстоянии от двух других деревень, но если одна из них принадлежит другому племени, а вторая — тому же племени, что и взятая нами, расстояние до первой из них будет структурно значительно более далеким... Когда же мы переходим от территориальных категорий к родословным понятиям и возрастным группам, природные условия среды еще меньше определяют структурное пространство».

Итак, наряду с обычными для читателя понятиями о физическом и географическом, или экологическом, применяя терминологию Эванс-Причарда, расстоянии автор вводит понятие о структурном расстоянии как категории социальной, которая обладает многозначностью, отмечая наличие стольких пространств, сколько имеется составля-

ющих в социальной организации народности нуэр: политические расстояния, родственные расстояния и расстояния, обусловленные возрастными различиями, отражают три основных способа группировки людей внутри этой народности.

Изучение различных обществ показывает, что принципы группирования людей, выявленные при изучении народности нуэр, обнаруживаются повсюду: родственные связи, политические мотивы, различные объединения почти всегда проявляются в форме разобщений или сближений. Роберт К. Мертон [10] построил на этой основе теорию групп отсчета. При исследовании общественных классов или форм организации общества также пользуются понятиями расстояния между группами людей, систематизируя и расширяя их. При желании всегда можно привести десятки примеров общественных отношений, выраженных в пространственных размерностях. Нужно ли географу заниматься этими тонкостями и представляют ли они большой для него интерес? Нам кажется, что да. Они указывают нам, что человеческому обществу свойственно большее количество размерностей, чем допускает плоскость, на которую оно проектируется. Эти размерности носят абстрактный характер, но они всегда «испытывают влияние экологических условий», хотя в основном определяются политическими размерностями. Это означает, что географическая структура общества, которая нам кажется плоской, представляет собой отражение более сложной структуры, обладает большим количеством измерений с переплетающимися взаимоотношениями. И всестороннее понимание размещения человечества требует анализа всех измерений социальных явлений.

РАЗОБЩЕНИЕ

Расстояние — препятствие, мешающее организации общества. Но его роль не всегда негативна. События различаются путем чередования во времени или в пространстве. Последнее, следовательно, является одним из двух основных разъединяющих факторов в жизни общества.

Большинство видов деятельности, как мы убедились, требуют пространства, которое бы подходило им по площади: это обусловливает некоторое расширение территории

заселения, но это расширение связано с неудобствами, так как увеличивает дальность перемещений и благоприятно лишь постольку, поскольку упорядочивает область общения.

В сельских местностях рассеянность населения такова, что диапазон видов социальной деятельности сужается. Проблемы разъединения не столь остры. Город, наоборот, приводит к максимальному расширению взаимодействия между людьми и группами людей. Если людям не нужно расширять занимаемое пространство ради хозяйственного использования экологической базы, они могут сгруппироваться для более полного развития общественной жизни. Сохраняются противоречия только между потребностями в изоляции, в отдыхе, в разрядке и желанием максимально участвовать в различных формах общения. Урбанизированное пространство сочетает районы жилых домов, транспортные магистрали и деловые кварталы, кварталы зрелищных и культурных мероприятий, позволяя, таким образом, каждому выбрать тот вид отношений, который его интересует, предоставив ему наиболее широкую гамму возможностей при минимальной потере времени на преодоление расстояния.

Очень эффективные условия разобщения могут создаваться на относительно небольших территориях. География человека отмечает сочетание зон, где «нервные ткани» растянуты, ибо они не предназначены для большого скопления и контактов, и секторы, где все приурочено к достижению высокой степени общественной наглядности.

География человека слишком долго изучала почти исключительно сельские проблемы и не смогла глубоко проанализировать явления разобщения. Понятий протяженности и расстояния достаточно, чтобы понять взаимоотношения сельского населения или вторичные виды деятельности промышленных стран. Урбанизированные же пространства не поддаются объяснению, если опираться только на эти факторы: оптимальный тип организации, отражающий этот скачок, представляют деловые кварталы крупных городов.

ПРОСТРАНСТВО КАК ПРИЗНАК

Из представления о физическом расстоянии вытекает понятие разобщения и, следовательно, организации отно-

шений. Социальное расстояние позволяет понять, что пространство не только препятствие или основа для деятельности: оно может быть базой духовных интересов, а следовательно, признаком, отличительной чертой. Если социальное расстояние между двумя смежными группами людей огромно, несмотря на небольшую удаленность (по расстоянию) друг от друга, может оказаться, что их пространства несовместимы. Социальное расстояние стало фактором гораздо более разделяющим, чем реальное (физическое) расстояние. В результате пространство включается в сложную иерархическую систему общества. Оно оказывается, таким образом, разделенным на неравные по значению части, и в процессе деятельности общество вынуждено считаться с этой географией этических понятий, которую оно само создало.

Перечень приписываемых социальному пространству значений очень велик. Оно не должно рассматриваться только как некоторая совокупность связей или база деятельности; оно также является носителем информации, которая очевидна для всех обитателей именно этого пространства.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СБАЛАНСИРОВАННОСТЬ ОБЩЕСТВ

Как мы видим, пространство различным образом участвует в жизни общества. Для большей ясности подведем итог его воздействиям.

Во-первых, оно способствует расселению людей. Центробежные силы обусловливаются невозможностью использовать одну и ту же территорию для различных целей, а также потребностью в той или иной площади для большинства видов деятельности. Экологическое использование природной среды, по-видимому, наибольшим образом способствует расселению: с протяженностью увеличиваются ресурсы сельского хозяйства, которые всегда требуют занятия больших площадей.

Но в этом направлении действуют и другие факторы. Расстояние иногда приобретает особое значение. Этому могут быть причиной экологические факторы (например, изоляция в качестве борьбы с эпидемиями в первобытных обществах). Социальные факторы также играют роль в том случае, когда расстояние является главной преградой

для соседних вражеских племен. В системе ценностей общественных групп выявляются некоторые пространственные предпочтения. Уединение иногда рассматривается как преимущество, и общество организуется таким образом, чтобы ограничить потребности в общении, хотя, как правило, это встречается редко. Даже в том случае, когда общественный обмен получает максимальное развитие, потребность в упорядоченности приводит к некоторому рассредоточению. Наконец, значения, придаваемые среде, приводят в ряде случаев к раздроблению общества: когда некоторые местоположения особенно ценятся, пространство разбивается на несколько прерывистых ареалов.

Потребности общественной жизни порождают антагонистические действия, обусловливающие скученность. Увековечивание вида требует обмена людьми между родами. Их число должно быть достаточно большим для того, чтобы группа могла выжить: существует нижний биологический предел размера изолированных этнических групп.

Система ценностей может как благоприятствовать, так и препятствовать объединению: в этом отношении часто отмечались различия в поведении при переходе от одной культурной общности к другой.

Наклонности к сближению обычно обусловливаются более объективными причинами. Общественная жизнь требует обмена продуктами, новостями, а также такими нематериальными ценностями, каковыми являются авторитет и уважение. Для всего этого расстояние — препятствие, которое нужно преодолеть.

Большинство индивидуальных или коллективных решений так или иначе связано с пространством. Они предполагают использование площадей или перемещения. Они определяют место личности или коллектива в социальном пространстве, количество измерений которого соответствует числу отношений внутри общественной группы. Такие социальные пространства могут выражаться лишь в двух плоскостных измерениях, а также по вертикали, когда некоторые пользования накладываются друг на друга в одном и том же месте, и, наконец, во времени, когда отношения следуют одно за другим. Желаемые отношения, намеченные разобщение или сближение на уровне абстрактных пространств должны выражаться в принудительных рамках географического пространства и времени. При-

нятые решения составляют, следовательно, компромисс между центробежными и центростремительными воздействиями, вызванными подчинением человека этому ограниченному пространству и времени. Они делают оптимальной функцию индивидуальной или коллективной полезности.

География человека пытается объяснить созданные таким образом пространственные взаимоотношения. Она не может поэтому ограничиваться рассмотрением размещения населения и продуктов его деятельности, иначе говоря, картин ландшафтов, если пользоваться принятой терминологией. Ибо, если она ограничивается плоскостным рассмотрением, она упускает последовательность деятельности, которая способна объяснить кажущиеся противоречия и пренебрегает мотивациями решений. География человека не должна стоять в стороне от общественных наук. Если она ограничивается задачами изучения естественной истории заселенной части мира, она тем самым устраняется от изучения глубинных факторов формирования человеческого пространства и не сумеет определить закономерности проявления выявленных связей.

Задачу географии человека сегодня обычно представляют как изучение проекции общества на земную поверхность; это действительно так при условии правильного истолкования формулировки. Связи между социологией и географией не однозначны. Пространственные взаимоотношения общества представляют собой проекцию его многочисленных измерений на конкретное пространство, но навязываемые таким образом ограничения отражаются на его структуре. Следовательно, география человека не является придатком общественных наук. Она не стоит в стороне от них, она составляет одну из граней их многочисленных сторон.

Пространственные отношения выражаются в социальной морфологии: она показывает, как размещаются люди, где протекает их деятельность, как и в каких темпах они перемещаются и общаются. Эта морфология может быть однородной, как, например, у разобщенных диких народов. Она контрастна там, где город противопоставляется сельской местности. Она многогранна там, где оптимум достигается лишь путем периодических изменений общей пространственной структуры, как уже давно показал Марсель Мосс на примере эскимосов [9].

Чтобы объяснить пространственные взаимоотношения и социальную морфологию, которая их отражает, география человека пытается создать общую теорию. Пространство, которым она оперирует, не представляет собой непрерывности. Оно состоит из элементарных точек и ареалов, между которыми создаются потоки, выражающие силы притяжения и отталкивания. Общая географическая теория в этом смысле представляет собой своего рода социальную физику, поскольку она опирается на принцип гравитации. Но теоретическое построение традиционной социальной физики настолько схематично, что не способно учесть всех сложностей реальных явлений. Как же выглядит современная теория, которая в настоящем значении слова представляет собой общую географию?

ОБЩАЯ ГЕОГРАФИЯ КАК ТЕОРИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ

Первая задача заключается в том, чтобы проанализировать свойства формальных систем, встречающихся в пространстве, и выявить типы процессов, которые их характеризуют. Этот подход свойствен не только географии человека: конфигурации, с которыми последней приходится встречаться, в принципе не отличаются от тех, которые наблюдаются в природной среде. Приемы определения и измерения форм, плотностей, размещения те же, и типы отношений, возникающих между точками или ареалами, могут быть исследованы с применением тех же познавательных орудий.

Часть усилий современной количественной географии сосредоточивается на этих проблемах. Можно надеяться, что в результате будут разработаны объективные методы анализа и, таким образом, география станет наукой, способной строго проверять свои гипотезы и создаваемую теорию.

Как именовать эту часть общей географии? Предлагаются несколько названий. Выражение «количественная география» слишком широкое, ибо оно включает аспекты, которые не относятся к основным формальным свойствам. В. Бунге [3] в этой связи говорит в своей «Теоретической географии» о «метагеографии». Сама идея неплоха, но тер-

мин несколько претенциозен. Первый печатный орган, посвященный этому аспекту нашей дисциплины, называется «Географический анализ» («Geographical Analysis»). Речь действительно идет о географическом анализе, и именно о теории этого анализа. Это область, в которой сегодня географы стран французского языка больше всего отстали.

Если типы фигур, формы размещения, системы взаимодействий могут быть выявлены одними и теми же методами во всех областях, то их объяснение не может быть полным, пока мы не обратимся к изучению специфических процессов, которые их обусловили. Для географии человека это означает, что внутреннее понимание явлений не достигается без учета центробежных и центростремительных воздействий, порожденных зависимостью, накладываемой средой и организацией общественной жизни. Это и есть уровень, на котором должна располагаться общая география человека.

Каждый вид отношений обусловливает пространственные воздействия, стремясь достигнуть оптимальных результатов. Различные специализированные разделы общей географии, направленные на раскрытие принципов, управляющих такой организацией в каждой области, а также на выявление их следствия, развивались неодинаково. Так, если экономическая география опирается на солидную базу, то политическая география делает только свои первые шаги в отведенной ей области, точно так же как и география культуры. Но как ни парадоксально, труднее всего приходится социальной географии в узком понимании этого слова. Это объясняется несколькими причинами. Достижения в области экономической географии являются прежде всего результатом той легкости, с которой здесь можно применить формальные методы анализа систем. Поскольку многие элементы социальной реальности включены в наших обществах в сферу экономического обмена, анализ последнего позволяет уточнить большую часть общих территориальных отношений. Но существуют также и специфические географические причины.

Различные социологические пространства обладают разной протяженностью. Экономические, культурные, политические отношения развиваются на больших расстояниях, и их изучение позволяет понять уже давно интересовавшие географа взаимоотношения, например те, которые

выявляются в усредненном масштабе района. Системы же функциональных связей социального типа обычно затрагивают ограниченные пространства — в масштабе квартала города, например. Нужно спуститься до этого уровня, чтобы ясно выявить картины, отражающие в основном социальные влияния, как это показали исследования школы Шомбар-де-Лова [4]. И может быть, в конечном счете упор на реальности исключительно среднего масштаба и помешал географам приступить к изучению социальных проблем.

Различные системы отношений создают территориальные комплексы, размеры которых требуется определить, а также выявить особенности их размещения. И здесь исследования более продвинуты в области экономической географии, чем в других географических дисциплинах. Можно определенно сказать, что характеризует экономический район. Но что представляет собой общество? Каковы размеры культурных делений? Каковы связи между ними, а также с политическими подразделениями? Все это вопросы, на которые нет ответов, опирающихся на теоретическую базу. Кроме анализа различных функциональных территорий, необходимо установить и способ, каким они объединяются в комплексные единицы, которые мы встречаем на поверхности земли.

Нерешительность, проявляющаяся при исследованиях в области теории территориальных комплексов, видимо, связана с тем, что на практике наблюдаются два типа территорий, которые не всегда различались. Первый из них соответствует функциональным образованиям, характер устройства которых мы пытаемся выявить. Другой тип относится к однородным ареалам, в пределах которых условия функционирования этих образований идентичны. Эта двойственность особенно ярко проявляется на уровне анализа культурных реальностей: культурный ареал представляет собой либо комплекс, включенный в общую систему религиозных, технических или идеологических отношений, либо зону, в которой по историческим причинам создались общие технические приемы или способы мышления.

Теоретическое исследование не в состоянии объяснить все особенности географической реальности. Приведенный пример показывает это довольно ясно. Экономические, культурные, социальные системы могут быть рассмотрены

как целые комплексы, подверженные эндогенным влияниям, которые объясняют их конфигурации. Но они подвержены также и экзогенным влияниям, изменяющим общие условия и преобразующим системы. Анализом этого исторического измерения и занимается отдельная отрасль географии — человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brookfield H. C., «Questions on the 'Human Frontier of Geography», Econ. Geog. 1964, 40, 283—303.
2. Brunhes Jean, La géographie humaine, essai de classification positive (3 vols.; Paris: Félix Alcan), 1910.
3. Bunge William, «Theoretical Geography», Lund Studies in Geography, Ser. C, General and Mathematical Geography № 1, 1962.
4. Chombart de Lauwe Paul-Henry, Paris. Essais de sociologie, 1952—1964 (Paris: Les Editions ouvrières). 1965.
5. Claval Paul, «Chronique de géographie économique III: Géographie et économie rurales», Revue géographique de l'Est, 8, 1968a, 179—212.
6. «La structure de la géographie humaine», Societas geographica Fenniae, Acta Geographica, 20, 1968b, 53—65.
7. Durkheim Emile, De la division du travail social (Paris: Félix Alcan), 1893.
8. Elkin A. P., The Australian aborigines, cité d'après la traduction française établie sur la quatrième édition: Les aborigènes australiens (Paris: Gallimard, 1967), cf. 93, 1938.
9. Evans-Pritchard E .E., The Nuer (Oxford: Clarendon Press), citée d'après la traduction français: Les Nuer (Paris: Gallimard, 1968), cf. 133—134, 1937.
10. Gourou Pierre, L'Asie (Paris: Hachette), cf. 47, 1953.
11. Lévi-Strauss Claude, Tristes tropiques (Paris: Plon), 1955.
12. Lynch Kevin. The Jmage of the City (Cambridge, Mass.: M. I. T. Press), 1960.
13. Mauss Marcel, «Essai sur les variations saisonnières des sociétés eskimos», L'Année sociologique, IX, 39, 1904—1905.
14. Merton Robert K., Social Theory and Social Structure (Glencoe: the Free Press), cité d'après la traduction française: Eléments de théorie et de méthode sociologique (Paris: Plon, 1965), 1957.
15. Odum Eugene P. et Odum, Howard T., Fundamentals of Ecology (Philadelphie et Londres: W. B. Saunders, 1953).
16. Wolman Abel, «The Metabolism of Cities», Scientific American, 213, 1965, 178—190.
17. Wrigley E. A., Population et société (Paris: Hachette), 1969.

Факторная экология: общее определение, обзор, критические замечания[1]

Термин «экология» был впервые введен немецким биологом Эрнстом Геккелем в середине XIX века для описания взаимоотношений между организмами, а также между ними и средой обитания. Греческий корень «ойкос» (oikos) означает место обитания, дом. Влияние окружающей природы на человека широко обсуждалось в социальной географии, испытавшей влияние идей Дарвина, хотя термин «экология человека» еще не был введен в науку. Это сделал Хэрлен Бэрроуз (Harlan Barrows) в 20-х гг. нашего века. Вопросы взаимодействия природной среды и человеческой деятельности обстоятельно разрабатывались в это время на факультетах социологии и географии в Чикагском университете. В итоге оформилась концепция, включившая в себя понятия не только природной среды, но также и среды, созданной деятельностью человека. Причинные связи в такой системе рассматривались как двусторонний процесс, в котором местоположение и условия среды оказывают влияние на деятельность человека, а деятельность человека, в свою очередь, сильно воздействует на среду.

В дальнейшем исследователи стали концентрировать свое внимание на отдельных сторонах системы человек — среда обитания. Некоторые из них подчеркивали значение информации и индивидуального восприятия при выборе путей управления ресурсами. Другие направили внимание на распределение действий людей, обусловленное влиянием относительного местоположения и расстояний. Те исследователи, которые в своей работе использовали факторный анализ, приняли еще одну точку зрения, осно-

[1] Philip H. Rees, Factorial ecology: an extended definition, survey, and critique, «Econ. geography», Vol. 47, № 2 (Supplement), June 1971, p. 220—233.

ванную на хартшорновской концепции территориальной дифференциации; для них главной задачей стало описание и объяснение, как и почему районы различаются по своим характеристикам и деятельности населения.

Когда методы факторного анализа [1] применяются к проблеме территориальной дифференциации, мы сталкиваемся с так называемой факторной экологией [2]. Факторный анализ первоначально был опробован в психологии при исследовании личности, где из-за отсутствия достаточно разработанной теории о структуре человеческой психики приходилось распознавать фундаментальные характеристики личности среди огромного числа измеряемых особенностей. Список лиц и их особенностей, образующий матрицу размером $n \times m$, может быть преобразован посредством факторного анализа в более простую матрицу размером $n \times r$, где r — базовые характеристики, или «факторы мышления». При применении этого метода в экологии в качестве объектов изучения используются не индивидуумы, а территории, и вместо особенностей людей фигурируют особенности территории. Термин «факторная экология» укоренился по отношению к исследованиям структуры города, когда в качестве наблюдаемых единиц использовались переписные участки. Однако нет какой-либо концептуальной разницы между исследованием этого вида и тем, где рассмотрен весь мир, а наблюдаемыми единицами выступают отдельные страны. Поэтому в этой статье мы раздвигаем рамки факторной экологии, охватывая этим термином все разнообразие масштабов исследований. Это дает возможность подчеркнуть, что масштаб ограничивает результаты любого исследования. Было бы ошибочно распространять отношения, выявленные в одном масштабе, и на другой масштаб.

Исследование факторной экологии включает следующие операции [3]:

---

[1] Мы используем здесь термин факторный анализ в наиболее общем его значении, охватывающем несколько методов для матричных вычислений и преобразований. Для лучшего представления о различиях между анализом главных компонентов и факторным анализом в узком смысле (два наиболее широко используемых факторных метода) [см. работу 25, p. 165—193].

[2] Термин, по-видимому, был введен Свитцером [43].

[3] Приводится по [6].

1. Сбор данных в виде матрицы A размерами $n \times a$, где n — число наблюдений (страны, округа или переписные участки), a — наблюдаемые признаки (например, характеристики, показывающие социальную и экономическую структуру местного населения или производства).

2. Преобразование матрицы A в матрицу Z с тем же размером $n \times a$, где каждая исходная переменная (признаки) уже нормирована статистически посредством вычитания средней и деления на дисперсию; этому иногда предшествует трансформация данных, направленная на линеаризацию связей между ними.

3. Вычисление на основе Z новой матрицы R, с размером $a \times a$, элементами которой служат коэффициенты простой корреляции между всеми переменными, взятыми попарно (обычно используется коэффициент корреляции Пирсона).

Далее следует:

4а. Анализ главных компонентов. Он означает действия над матрицей R, приводящие к матрице F с размером $a \times s$, где s — число главных компонентов или измерений координатного пространства, удобного для разложения исходных переменных. Любой элемент F, например f_{ij}, представляет собой коэффициент корреляции и обычно называется нагрузкой i-й переменной на i-ю компоненту. Числовые значения i_{ij} лежат в пределах от $-1{,}0$ до $+1{,}0$. В руководстве по математической статистике для географов, подготовленном Лесли Кингом [25], можно найти детальные пояснения о получении матрицы F из R.

5а. Компоненты затем могут модифицироваться (но иногда этого и не делают), что связано с операцией вращения в факторном пространстве при сохранении ортогональности компонентных осей или без соблюдения этого условия.

6а. Далее вычисляется матрица S с размером $n \times s$. Каждый вектор-столбец в S статистически нормирован в отношении и средней и дисперсии. Элемент s_{ij} представляет собой компонентный вес i-го наблюдения на фактор j.

Другой вариант операций:

4б. Факторный анализ. Он означает действия над матрицей $(R-U^2)$, где U^2 — диагональная матрица, в которой изолирован индивидуальный выпад каждой из a переменных в общую дисперсию переменных. Обычно для

элемента u^2_i оценкой служит $(1{,}0—h^2_i)$, где h^2_i — факторная дисперсия (*communality*) *i*-й переменной; чтобы аппроксимировать h^2_i, вычисляют квадрат коэффициента множественной корреляции *i*-й переменной со всеми остальными. Этот путь анализа позволяет строить факторы на основе общих особенностей всей совокупности переменных, составляющих лишь часть их дисперсии; все в дисперсии находит отражение лишь в рамках анализа главных компонент. Остальные действия аналогичны 4а, 5а и 6а.

Кроме того, есть еще несколько вариантов факторного анализа, которые обсуждаются в литературе: [22], [23], [27].

Существует много точек зрения на природу величин, возникающих из такого анализа. Некоторые склонны говорить об объясняющих факторах, способных объяснять изменчивость исходных переменных. Этим факторы возводятся в разряд первопричин. Но сторонники такой точки зрения при экологическом подходе оказываются в меньшинстве. Более сдержанным является утверждение, что компоненты или факторы представляют собой краткое описание упорядоченности признаков в наблюдениях. Если транспонировать исходную матрицу территориальных единиц наблюдения и их признаков, то факторы будут описывать упорядоченность объектов наблюдения на основе выделения характерных признаков или на основе гнездования объектов наблюдения, обладающих сходным профилем признаков. Если встать на эту «сдержанную» точку зрения, то факторный анализ будет выглядеть инструментом научного поиска на описательном уровне. Он окажется сродни методам построения многомерной шкалы по матрице исходных данных, представленных баллами или порядковыми номерами. Его можно также отнести к категории эмпирических способов построения индексов. Аналогом весовых коэффициентов служат факторные нагрузки на переменные, подвергнутые статистической нормировке. Этот вид весовых коэффициентов исходит из рассмотрения связей между переменными, а не из априорных теоретических соображений.

Факторный анализ, таким образом, не является процедурой для статистической проверки гипотез. Единственное, что можно проверить с его помощью, — это предположение о наличии факторной структуры. Этот случай с

предсказанием факторов, скорее всего, относится к описательным, а не причинным возможностям факторов. Однако факторные нагрузки, получаемые в ходе факторного анализа, могут дать толчок для построения гипотез о причинных связях или о воздействиях, причины которых требуют выяснения [12]. Проще говоря, факторный анализ вполне оправдан как способ, помогающий выдвигать гипотезы при отсутствии строгой теории.

В любой работе по факторной экологии есть специфические трудности. Встает вопрос, правомерен ли анализ, если используются внутренне разнородные первичные территориальные единицы. Серьезных затруднений не будет, когда такая единица обладает функциональным единством, существующим, например, в государстве или городе. Государства и города заслуживают изучения, несмотря на внутренние различия. Но если приходится иметь дело с произвольно очерченной территориальной единицей (примеры: ведомственный округ, переписной участок), то трудности оказываются гораздо серьезнее. Внутреннюю однородность можно проверить, если для сопоставлений имеются сведения о ячейках территории меньшего размера. Особо следует подчеркнуть применимость результатов только к условиям, которые установлены выбором масштаба наблюдаемых территориальных единиц. Следует распознавать районы с упорядоченной внутренней неоднородностью, чтобы их затем рассматривать отдельно.

РАЗНООБРАЗИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПОДХОД ФАКТОРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Исследования классифицируются по масштабу исследования, типу признаков и разновидности факторного анализа. Каждый аспект имеет свои внутренние рубрики.

1. Масштаб исследования включает в себя две разные вещи: наблюдаемую единицу (участок территории) — как неделимый элемент, и итоговый объект изучения — как совокупность наблюдаемых единиц. При этом наблюдаемые единицы могут заполнять итоговый объект изучения целиком или же лишь частично. Итоговый объект только приблизительно можно принимать за генеральную сово-

купность элементарных наблюдаемых единиц. Даже исследования, претендующие на планетарный масштаб, обычно охватывают только подмножество всех государств мира.

2. Признаки у наблюдаемых единиц укладываются в четыре типологические группы. Структурная группа — свойства, присущие только самой наблюдаемой территориальной единице; они выражены либо суммарной цифрой для этого объекта (общая численность населения), либо в процентах к такой сумме (процент занятого населения). Соотносительная группа — свойства, обусловленные соотношением между данной наблюдаемой единицей и другой единицей (часто такие соотношения двусторонни). Динамическая группа — результат сопоставления структурных или соотносительных свойств на разные моменты времени. Перцептивная группа — результат восприятия внешним наблюдателем свойств объекта.

3. Разновидности факторного анализа укладываются в две основные группы: R-процедуру, при которой вычислена корреляция между всеми парами вектор-столбцов в матрице A и возникающая корреляционная матрица затем факторизуется; Q-поцедуру, при которой вычислена корреляция вектор-строк исходной матрицы A, с тем чтобы факторизовать результат [1].

Упоминаемые в таблице исследования будут далее комментироваться с точки зрения их масштаба и проблемной направленности; меньше внимания уделено методике, потому что методический разрез уже получил освещение у Джонсона [11]. Кроме того, для полноценной оценки достоинств факторной экологии нельзя не сопоставлять полученные результаты с проблемами, на которые было направлено внимание исследователей.

Табл. 1 показывает следующее распределение усилий: относительно мало применяется Q-процедура по сравнению с R-процедурой; используются главным образом структурные признаки, а затем в порядке убывающей

---

[1] Интерпретация факторов при этих двух процедурах зависит от типа используемых признаков и способа составления исходной матрицы A. При структурных признаках факторы, возникающие при R-процедуре, обычно указывают на базовые координаты пространства признаков; факторы, возникающие при Q-процедуре, указывают на группировку, или «гнездование», наблюдаемых единиц.

численности — соотносительные, динамические и перцептивные. Чем уже территориальные рамки изучаемой генеральной совокупности, тем многочисленнее исследования; в этом проявляется ориентация на наиболее доступные результаты, так как, обратившись к новой территории, их получить легче, чем обратившись к новой теме.

МАСШТАБ МЕЖДУНАРОДНЫХ СОПОСТАВЛЕНИЙ

Многие исследователи социальных проблем применяли факторный анализ, рассматривая мир в целом с позиции экологической или территориальной организации. Занятия в области политики создают запрос на международные сопоставления, оценку взаимовлияния, согласий и расхождений. Рост государств с точки зрения развития хозяйства, социальной и политической организации заинтересовал экономистов [2], географов [5] и социологов [42] [1].

Факторный анализ при международных сопоставлениях полезен тем, что он расширяет кругозор. Взамен ограниченного числа стран с одним-двумя признаками начато изучение более представительной выборки из всей совокупности стран с учетом их многочисленных характеристик. Получается четкая картина основных направлений в различиях государств, и выявляется группировка государств как на основе их структурных признаков, так и по соотносительным признакам. Рассет [41] резюмировал выводы, полученные им и другими при рассмотрении структурных признаков, и пришел к заключению, что наиболее надежны факторы, указывающие на степень экономического развития, на размер государства, на характер сельского хозяйства (страны с интенсивным сельским хозяйством, допускающим высокие плотности населения, заметно отделяются от редко заселенных стран с экстенсивным сельским хозяйством).

Авторы, изучавшие явления в масштабе всего мира, обычно избегают того, чтобы выводы факторного анализа служили для огульных утверждений о детерминантах эко-

[1] См. работу Раммеля и др. на тему «Пространственность государственного плана» и работу Рассета и др., объединенную с исследованием Меррит и Роккан [30].

номического развития, о предпосылках интеграции или противоречивости процесса. Завершая свою книгу темой о причинности явлений в международной системе, Рассет *сетует на малую очевидность* доказательств причинной связи [41]. Однако можно было бы достигнуть большего, если формулировать гипотезы о структурах и о меняющих их процессах, а затем проверять гипотезы методами математической статистики, которые рекомендует Платт [34]. Вполне правомерно Рассет указывает на необходимость конкретного исторического подхода при выявлении факторов даже для столь малой системы, как двусторонние отношения [1]. Включая в такие исследования пару за парой, можно обеспечить охват всей международной системы.

Но такие усилия, по-видимому, нереалистичны. Лучше начать с идентификации злободневных проблем международной жизни, чтобы затем определить зависимые переменные, постулировать независимые переменные, построить и испытать модель взаимосвязи переменных, воспроизводя картину мира на один определенный момент.

По сути дела, именно так и поступили Адельман и Моррис [2] в своей работе о развивающихся странах. Основой для них послужили социальные, экономические и политические условия, которые влияют на развитие государств. Для оценки влияния соответствующих условий они использовали факторный анализ. Однако, включив в него валовой национальный продукт на душу населения и его темпы роста, Адельман и Моррис смешали результат с предполагаемыми причинами. Кроме того, сам по себе факторный анализ не может дать выводов в количественной форме о силах влияния. Интерпретация результатов также оставляет желать много лучшего. Ведь объяснение можно дать для любой выявленной структуры факторов, а если все сводится к факторному анализу, то нечем проверить правильность объяснения.

Таким образом, нужно еще много потрудиться при сопоставлении государств по их структурным и соотносительным переменным. Для решения этой задачи недостаточно одного лишь факторного анализа; важнее будут процедуры строгой проверки гипотез, построение объяс-

[1] Сам Рассет изучал отношения между США и Великобританией за прошедшие более чем 70 лет [40].

няющих моделей в разных вариантах. Несмотря на это, факторный анализ может оказаться пригодным на определенных этапах, как это показали работы Гоулда и Уайта [17, 18, 19, 20], имевшие дело с перцептивными признаками. Анализ главных компонент позволил им показать в виде проекции на самую информативную первую координатную ось общераспространенные представления об аттрактивности различных стран мира. Появился ранжированный список стран для дальнейшего исследования — своего рода новая зависимая переменная.

МАСШТАБ СТРАНЫ В ЦЕЛОМ

В исследованиях, где итоговым объектом изучения служит территория государства, в качестве наблюдаемых единиц используют участки территории во всем многообразии их масштабов. Участки могут быть на уровне основных районов страны (девятичленное деление США, штаты в Индии) или же на уровне низового районирования (переписные округа США, общины гинляндии и Индии). В некоторых исследованиях наблюдаемые единицы охватывают всю территорию страны. В других наблюдаемыми единицами служат города, которые характеризуют территорию и население страны в зависимости от уровня ее урбанизации и от принятого в ней ценза для городов.

Охватывая наблюдениями всю страну, специалисты по географии, экономике и планировкам очень часто нацеливают свое внимание на распределение благосостояния по районам или на региональное развитие. Возникают вопросы о том, как меняется благосостояние [1] от одной ча-

[1] Слово «благосостояние» употребляется здесь намеренно, поскольку, как отмечал Томпсон [45], доход сам по себе не является достаточным показателем благополучия. Должны приниматься во внимание различия стоимости жизни от места к месту, но при этом нужно учитывать не просто стандартный набор товаров, имеющихся повсюду, но также товары и услуги, свойственные городам на верхних уровнях городской иерархии. Стоимость этих товаров для людей, проживающих в менее крупных городах нужно исчислять особо, учитывая затраты на проезд до городов, где эти товары могут быть приобретены. Кроме того, существуют определенные социальные издержки (скученность и загрязнения в крупном городе, провинциализм в небольшом городе) и определенные социальные выгоды (разнообразие возможностей для приложения сил в столицах, чистый воздух и близость к природе в малых городах), которые также должны приниматься во внимание. Существует также проблема склонностей при выборе людьми различного образа жизни. Некоторые отдают явное предпочтение определенным районам или городам, по сравнению с другими.

сти страны к другой; почему складываются эти различия, каковы различия районов по темпам развития; почему они так различаются и, наконец, какой ответ на эти вопросы может доставлять факторный анализ?

Если сопоставляются все части территории государства (например, округа или общины), то выявляется фактор, указывающий на различия между городом и селом по доходу, профессиональному составу и образовательному уровню [8, 35, 36]. Само по себе это, конечно, не новость. Ведь этот фактор регистрирует все то, что составляет сущность урбанизации. Берри [7], например, показал независимо от факторного анализа, что существует влияние крупных городов на сельские районы, причем это влияние убывает по мере удаления от города. Как правило, чем отдаленнее сельский район, тем он беднее и менее развит.

Более неожиданные вещи обнаружены в результате исследований, которые используют в качестве наблюдаемых единиц только города. Оказалось, что размер города, с одной стороны, и социально-экономический статус населения города — с другой, выступают как различные и ортогональные факторы. Это, в частности, означает (табл. 2), что размер города и доход семьи, по существу, не связаны друг с другом. И все же существуют некоторые теоретические доводы[1] и эмпирические свидетельства (табл. 2 и 3), побуждающие думать, что между размером города и доходом семьи существует систематическая положительная связь.

Противоречие можно разрешить, обратив внимание на характер наблюдаемых единиц, фигурировавших в соответствующих исследованиях. Если использовались города в их муниципальных границах, начиная с определенного ценза людности (по Хэддену и Боргатте — все города с населением более 25 000 человек; по Берри — более 10 000 человек), то отмечается несущественная связь

[1] В значительных городах занятия более специализированы и город неоспоримо выступает организатором окрестных мест. То и другое обеспечивает заработки более высокие по сравнению с малыми городами. Крупные города также являются местом внедрения изобретений, нововведений; там начинается развитие новых производств. Однако сближение промышленного профиля в крупном городе с промышленностью всего государства (а следовательно, со средним по стране доходом на душу населения) ведет к уменьшению выгод, обусловленных иерархией городов.

Таблица 1

Свидетельства о взаимосвязи уровня доходов и размеров города (сопоставления с результатами факторного анализа городов США)

Характер населенных пунктов и их людность (тыс. чел.)	Медиана доходов в семьях, долл. в год (1959 г.)	Соотношение дохода и размера населенного пункта	Корреляция медианы доходов в семьях с факторами:			Количество изучавшихся городов
			фактор социально-экономического статуса	фактор размера	фактор этнического состава населения	
1	2	3	4	5	6	7
По Хэддену и Боргатте						
150 000 и более	5 820	0,14	0,97	н. д.	н. д.	79
75 000—150 000	6 063	—0,28	0,93	»	»	106
50 000—75 000	6 244	—0,15	0,94	»	»	150
25 000—50 000	6 221	—0,13	0,88	»	»	344
Все города США (более 25 000)	6 150	—0,02	0,90	»	»	644
Города — ядра агломераций	5 695	0,10	0,97	»	»	246
Пригороды в агломерациях	7 166	—0,08	0,94	»	»	227
Города-спутники в агломерациях	5 456	—0,06	0,90	»	»	171
Агломерации, тождественные 212 СМСТЕ	—	0,09	н. д.	»	»	212
Урбанизированные территории	—	0,24	»	»	»	212
Все СМСТЕ, по Мейеру	—	0,29	»	»	»	212
Все СМСТЕ, по Берри	—	0,29	0,91	0,20	0,09	212
Города (более 10 000)	—	0,01	0,88	0,01	0,17	1 762

Примечание:
СМСТЕ — стандартная метрополитенская статистическая территориальная единица (изображает агломерацию путем суммирования сведений по графствам).

между доходом и размером города. Причина состоит в том, что в выборку городов в большом количестве попадают как небольшие «самостоятельные» города, так и пригороды самых крупных городов. Такие пригороды, несмотря на небольшое население, выделяются высокими за-

Таблица 2

Изменение доходов в семьях в зависимости от людности населенных пунктов

Населения в официальных границах города или в границах урбанизированной территории, там, где они есть (тыс. чел.)	1947 г.[1]	1951 г.[1]	1955—1958 гг.[1] (в среднем)	1960 г.[2]	1959 г.[3]
1 000 000 и более	3 826	4 334	5 700	6 486	6 788
250 000—1 000 000	3 430	4 382	5 270	5 941	6 131
50 000—250 000	3 291	4 021	5 099	5 566	5 834
2500—50 000	3 119	3 365	4 624	5 353	5 369
Сельское нефермерское население в целом	2 826	3 365	4 722	5 620	4 750
Сельское фермерское население в целом	1 923	2 131	2 430	2 875	3 228
Средние по США	3 031	3 709	4 816	5 620	5 660

Источники:
[1] Данные по Current Population Reports on Consumer Income.
[2] U.S. Bureau of the Census
[3] U.S. Bureau of the Census

Таблица 3

Средний индекс профессиональной подготовки в зависимости от людности населенных пунктов

Людность в границах урбанизированных территорий (тыс. чел.)	Индекс	Отклонения от среднего для США в целом значения (не корректированы)	
		города—ядра агломераций	пригороды агломераций
1 000 000 и более	40,0	—0,6	7,9
250 000—1 000 000	41,6	3,9	6,3
50 000—250 000	38,9	0,9	4,5
2500—50 000	37,1	0,7	
Сельское нефермерское население	32,9	—3,0	
Сельское фермерское население	17,5	—17,4	

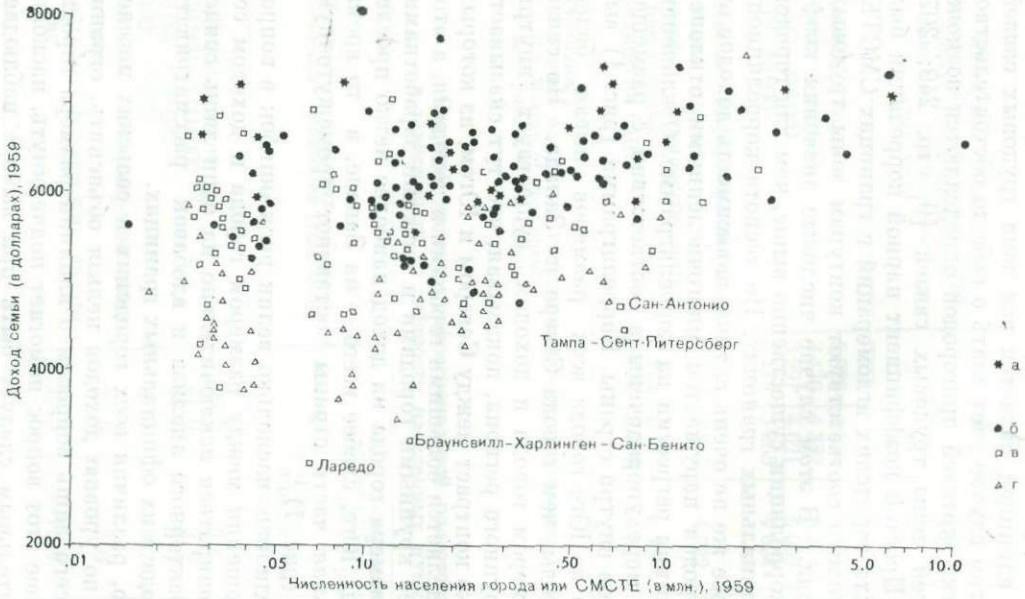
Источники: [9, Tabl. 7.1, p. 245, Tabl. on p. 249].
Данные основаны на обзоре профессионального статуса мужчин, названного «Изменения в профессиональном составе поколения» и выполненного Current Population Survey of the U.S. Bureau of the Census в марте 1962 г.

работками; они опережают в этом даже те города, к которым тяготеют (табл. 1 и 3). Сказывается избирательная миграция населения, при которой движущей пружиной служит различие в заработках. Более удобной наблюдаемой единицей является вся зона трудовых связей города; в этом случае дает знать о себе то обстоятельство, что заработки жителей пригородов определяются возможностями всей зоны трудовых связей [9, стр. 249; 207, стр. 3—4]. Простой коэффициент парной корреляции был вычислен для городских агломераций в границах СМСТЕ, которые неплохо соответствуют контурам зоны трудовых связей города. В этом случае числовые значения коэффициента корреляции существенно выше, чем для городов в их муниципальных границах. Но теснота корреляционной связи все же не очень велика; зависимость доходов от размера городов нарушается многочисленными отклонениями от линии регрессии на корреляграмме. Отклонения в какой-то мере упорядочены в соответствии с размещением городов внутри страны. Корреляграмма (рис. 1) выявляет, что на Юге города всех размеров имеют более низкие доходы, чем города Севера и Запада. Но связь между размером города и доходом существует внутри каждого крупного региона, показывая, что тут сказывается не только контраст между Севером и Югом, из которых первый выделяется большими городами и доходами, а второй — менее крупными городами и низкими заработками. Влияние размера города на доход наиболее четко прослеживается на Юге, слабее всего — на Западе, в то время как остальная часть страны составляет промежуточную категорию (рис. 1) [1].

Мы убедились, насколько велик риск ошибок в вопросе о соотношении между размером города и доходом семей, если опираться исключительно на одни лишь свидетельства факторного анализа и вдобавок рассматривать только города в их официальных границах.

Конечно, различия всех городских и сельских поселений США по уровню доходов нельзя объяснить, ограничившись всего лишь вопросом о влиянии размера города. Тем не менее этот вопрос помогает подчеркнуть, насколько осмотрительным следует быть при выборе наблюдае-

[1] Эти связи характерны для 1950 г. См. [29] и [21, стр. 204—214].



Р и с. 1. Соотношение между размером города и доходом семьи в США в пределах статистических метрополитенских территориальных единиц и в самостоятельных городах, 1959.

Условными знаками указаны районы различного дохода (Warntz): а — Дальний Запад; б — Промышленный пояс; в — остальные территории: Великие равнины и Скалистые горы; г — Юг.

мых единиц. Удается также показать, что результаты факторного анализа должны рассматриваться всего лишь как начальные звенья в большой цепочке логических рассуждений. Очень многие работы не идут далее описательной интерпретации выявленных факторов, или же они удовлетворяются группировкой наблюдаемых единиц на основе факторных весов. Более плодотворен будет тот путь исследования, который соединит теоретические концепции [16, 45, 46] с эмпирическим описанием (последнее с участием факторной экологии). Для достижения этого нужно сконцентрировать внимание на актуальных вопросах, сформулировать возможно четче задачу, построить в нескольких вариантах модели, способные дать объяснение, и проверить их.

МАСШТАБ ОТДЕЛЬНОГО ИЗУЧАЕМОГО ГОРОДА (ФАКТОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ ГОРОДОВ)

Факторный анализ прочно утвердился в исследованиях экологии человека на уровне города. Для такой категории работ существует даже критический обзор [24].

При изучении города от факторной экологии в первую очередь ожидали надежных выводов об описательных базовых параметрах, лежащих в основе территориальной дифференциации города (табл. 1). Однако при всей стандартности процедур анализа и вопреки однотипности данных оказалось вовсе не легко сравнивать результаты разных исследований. Сказываются различия в 1) количестве, способе отбора и дефиниции у исходных переменных; 2) проблемной ориентации исследования; 3) характере наблюдаемых единиц, то есть элементов территории; 4) привязках к шкале времени; 5) разновидности факторной модели (включая и выбор операции вращения координатных осей) [1].

Мы попытаемся все же сделать хотя бы отдельные обобщения для городов одной страны, а именно США [2]. В относящихся к США материалах о факторной экологии городов в большинстве случаев повторяется следующее:

---

[1] Подробности о влиянии этих различий на сравнимость факторных структур приводятся в работах [24] и [38].

[2] Результаты для городов и других стран рассмотрены в [38].

1) фактор социально-экономического статуса; 2) фактор возрастной структуры или типа семьи; 3) этнические факторы, учитывающие наличие негритянского населения, а также выходцев из других стран (ирландцы, итальянцы, мексиканцы, поляки и т. д.). Если же наряду с признанием структурной группы используются и признаки динамической группы, то появляются дополнительные факторы. Они указывают, например, на миграционную подвижность, или, напротив, стабильность населения в районах города, на характер недавнего развития района.

Что означают эти базовые параметры? Систематическое использование трех основных факторов часто объясняют социальной организацией городского населения. Действительно, население различается по социальному, семейному и этническому положению. Однако факторный анализ исходит из признаков, присущих территории, и вывод о структуре населения не относится к существу дела. Сбор сведений о городском населении заведомо ориентирован в сторону социальной, экономической и демографической структуры. Вряд ли этому уделялось бы внимание в первую очередь, не будь общеизвестным, что группы населения сильно варьируют по социальному, семейному или этническому положению. Но нам требуется что-то другое. Три основных фактора означают, что элементы городской территории, используемые как единицы наблюдения, различаются между собой в соответствии со средними характеристиками своих обитателей, отражая их социальный, семейный и этнический статус.

О сколь глубоких различиях идет речь? К сожалению, из-за статистической нормировки данных и прочих математических действий теряется много информации. Глядя на результат факторного анализа, нельзя сказать, какой контраст скрыт, например, за фактором социально-экономического статуса. Наблюдались ли различия между очень бедными и очень богатыми или между сравнительно бедными и умеренно богатыми. В некоторых исследованиях представление о контрастах дают показанные там распределения исходных переменных, из числа наиболее тесно скоррелированных с тем или иным фактором. Но это делается редко. Нам пришлось ограничиться сравнением структуры факторов на основе одного лишь наименования этих базовых параметров. Находится ли в исследовании фактор социально-экономического статуса или нет? Хотя

он присутствует практически во всех исследованиях городов США, это еще не говорит нам многого о географии расселения в этих городах. Факторную экологию городов нужно дополнить дисперсионным анализом, чтобы сопоставить контрасты внутри городов, с контрастами, которые существуют между городами. Дополнительно нужно оценить избирательность различных групп населения к местам жилья, выбрав те группы населения, на которые указывают факторы [1].

Насколько пригодна модель факторов, сохраняющих ортогональность при операции вращения координат? Ведь именно она наиболее часто применяется в факторной экологии городов. Мы можем сгруппировать переменные, применявшиеся при изучении городов США, и найти группы, где следует иметь единый индекс взамен переменных — исходя из теоретических соображений или из выполнявшихся уже работ. Например, переменные, касающиеся образования, рода занятий и дохода, могут быть отнесены в группу социального статуса, поскольку именно их используют в различных сочетаниях для индексов социального положения или престижа [14, 47]. Перебирая все переменные, концептуально относящиеся к социально-экономическому статусу, мы обнаружим среди них те, которые получали чаще всего средние и даже высокие факторные нагрузки на фактор этнического состава населения. Социальный и этнический статусы, таким образом, взаимосвязаны, причем в городах Юга эта связь сильнее, чем на Севере США. Это установил Белл [4], один из первых исследователей, применивший факторный анализ к изучению города. Выполняя операцию вращения координатных осей простейшим способом — с помощью построения графика, — он избрал решение с неортогональным положением факторов. Оказалось, что факторы экономического и этнического статусов в какой-то мере коррелируются как в Лос-Анджелесе, так и в Сан-Франциско (коэффициенты корреляции —0,73 и —0,62 соответственно). Фактор этнического статуса с большой вероятностью может иметь такую же групповую корреляцию во всей совокупности городов США, отражая дискриминацию негритянского населения, присущую социальной си-

[1] См. [44] об уровне сегрегации негров в городах США.

стеме США [13, 15]. Распределение факторных нагрузок дает нам некоторое представление о связи указанных двух факторов в том или ином городе, но для более точных выводов следовало бы сопоставить в комбинационной таблице результаты по всем городам США. Там, где сопоставления имеются, они позволяют судить, насколько расселение, отражаемое факторной экологией, несет на себе отпечаток уклада общества. Связь между фактором возрастной структуры, типом семьи и другими факторами не оказалась очень большой в городах США. Иначе обстоит дело в городах развивающихся стран. Изучая Каир, Абу-Лагод [1] обнаружила, что набор индикаторов социального и семейного статусов сливается в один фактор — стиль жизни; тем самым общественное положение, характер семьи взаимообусловлены и переплетаются друг с другом. Чем ниже социальный статус, тем многолюднее и моложе семья.

Второстепенные этнические факторы, указывающие на наличие иммигрантов в населении, вообще не обнаруживают никакой связи с переменными, относящимися концептуально к свидетельствам о социальном положении и возрастной структуре. Возможно, здесь сказался эффект малой численности, а не действительное отсутствие связей во всей совокупности городов. Исследуя факторную экологию города, всегда нужно остерегаться ошибочного перенесения выводов, полученных в одном масштабе, на условия другого масштаба. Следует помнить, что утверждения о связях, справедливые на уровне переписного участка, могут быть неприемлемы на уровне индивидуумов [1].

Как выполнялся дальнейший анализ факторов? Некоторые исследования использовали методы классификации, пытаясь выделить в городе однородные районы [2]. Применялись самые разные методы классификации, прежде всего Q-процедура факторного анализа. В результате составлялась описательная картосхема типов расселения. Другое направление работ связано с выявлением пространственных структур, свойственных каждому фактору. Факторные веса, вычисленные для наблюдаемых единиц (ячеек территории), обозначаются на карте города; иногда же строится график, показывающий упорядоченность факторных

[1] См. о подобных ошибках в [3].

[2] См. об этом в [38].

весов на трансектах, расходящихся радиально от центра города. В некоторых работах проверялось, насколько упорядоченность структур соответствует простым геометрическим моделям (концентрические кольца вокруг центра города, сектора или островные образования). В этих проверках используется дисперсионный анализ [32, 37] или метод индексов. Описание пространственных форм тем самым совершенствуется, но причинные связи все еще остаются белым пятном, как это отмечает Джонсон в одной из статей.

Если факторы и структуру города, которую они выявили, объяснять так же, как поступают с зависимыми переменными, то какого рода модель потребуется?

Прежде всего следует принять во внимание чисто качественные различия, свойственные взаимно независимым факторам (они ортогональны и не коррелируют одновременно с одинаковыми переменными в любой концептуально выделенной группе). Лучше всего ограничиться социально-экономическим, семейным и этническим статусами, то есть факторами, обнаруженными в большинстве американских исследований. По существу, эти факторы обусловлены размежеванием групп населения в городе. Это размежевание не хаотично, у него своя пространственная организация, которая находит выражение в размещении жилых помещений разной степени комфорта и условий для жизни в целом.

Таким образом, при объяснении многое зависит от понимания того, как совершается выбор мест жилья на уровне семьи или социальной группы. Во-первых, выбирается категория пригодных мест жилья; во-вторых, определяется конкретная точка в пределах всей категории пригодных мест.

Как заметил Раштон [39], мы не можем просто наблюдать за избирательным поведением населения и утверждать, что оно дает удовлетворительное объяснение процесса. Необходимо постулировать определенные правила принятия решений или предпочтений на уровне семьи или каждой социальной группы [1] и исследовать, насколько

[1] Мы можем получить представление об этих предпочтениях путем опроса семей, которые приняли или принимают решение о перемене местожительства. Однако, как отмечает Липси [28, стр. 190—192], вопросы для подобного сбора мнений должны быть очень тщательно разработаны.

хорошо предполагаемые предпочтения согласуются с наблюдаемым поведением в условиях возможностей семьи и возможностей, представляемых городом.

Рассмотрим в порядке иллюстрации, что нужно знать для объяснения выбора жилья. Будем иметь в виду выбор на уровне семьи, характеризуемой столь обобщенно, что ее можно идентифицировать с соответствующей социальной группой. Предположим, что речь идет о малоимущих не негритянских семьях, имеющих детей. Они предпочли бы иметь отдельный дом, а не квартиру (так как им нужна большая площадь жилья и игровая площадка для детей). Предпочтительнее собственный дом, а не арендуемое жилье (это дешевле, если удалось получить долгосрочный и льготный заем в банке). Желательна невысокая плотность населения в микрорайоне (чтобы не было скученности), а также соседство с людьми сходного стереотипа. Малопривлекательной в этом случае была бы жизнь среди ярких огней деловой части города; в то же время близость к местам работы расценивалась бы как весьма желательная. Однако возможности семьи ограничены, и это, по-видимому, приведет к тому, что они, скорее всего, будут вынуждены арендовать устаревшие квартиры в старой части города, а не приобретут односемейный дом из числа тех, что всегда есть в продаже вблизи мест работы. Очевидно, что реальные предпочтения семьи не так просты, как перечисленные, но все они также должны стать предметом рассмотрения. Придется решать задачу о иерархии предпочтений. Если же изучается индивидуальное, а не групповое поведение, то нужно еще принимать во внимание информированность семей и восприятие окружения; требуется установить размер поля известных мест (action space), а также поля поиска (search space) [1].

Выяснив характер выбора жилья у представителей группы, нам придется рассмотреть еще, как и почему эти условия жилья складываются в городе в определенный рисунок размещения. Вследствие затрат на жилые сооружения, рассчитанные на длительный срок, возникает инерционность, влияющая на уклад жизни в городе. Он сохраняет стабильность на коротких отрезках времени Действует несколько механизмов, которые все вместе определяют размещение различных видов жилья: хорошо

[1] Важность этих понятий отмечена в [10].

изученный механизм рентных отношений сказывается в распределении затрат на благоустройство территорий; он же определяет ход жилищного строительства. Результаты действия этих механизмов видны повсюду в городе; они могут быть обнаружены в распределении жилья различного вида. Пока еще не существует модели, пытавшейся объединить их [1]. Необходимо также учитывать нормативную организацию территории города, которую привносят муниципальные и государственные ведомства.

Итак, возвращаясь к началу темы об истолковании факторов в качестве зависимых переменных, мы видим, что такое объяснение результатов факторного анализа обязывает к наличию чрезвычайно сложной и всеобъемлющей модели.

---

[1] Хотя в [33] рассматривается расстояние от центральной деловой части города и возраст строений в качестве диагностических переменных, позволяющих определить плотность жилья и его ценность.

Заключение

Факторный анализ имеет несколько различных применений в экологических исследованиях. Он вполне оправдан как способ изображения структуры в ее основных чертах. Иногда он характеризует и поведение экологических систем. После того как факторы выявлены, они могут использоваться в качестве основы для классификации (это особенно относится к классификации городов, когда они служат наименьшей наблюдаемой единицей, а также к классификации внутригородских районов, когда город выступает как итоговый объект изучения, как генеральная совокупность). Факторы могут исследоваться и в качестве зависимых переменных, требующих объяснения (см. предыдущий раздел). Факторы могут служить также в качестве основных диагностических переменных в задаче обнаружения [12]. Опираясь на тщательно разработанные матрицы данных, ценные своей географической и содержательной детальностью, факторная экология помогла расширить наш кругозор. Удалось приподнять его над уровнем, свойственным изучению индивидуальных ситуаций. Факторная экология показала нам, как много нужно сделать для того, чтобы получать результаты общего значения при исследовании социальных явлений.

Однако факторный анализ никоим образом не заменяет того, что Платт [34] назвал методологией убедительной проверки гипотез. Всегда остается необходимость в четкой постановке задач, в концептуальной проработке решения и в обобщающей теории. Нельзя не прибегать к операционным моделям, способным дать объяснение, а не одно лишь описание явлений. Модель обязывает нас заниматься проверками гипотез. Затем весь этот цикл повторяется в улучшенном варианте. Происходит корректировка или замена теории; создаются новые модели. В этом круговороте действий у факторного анализа есть определенная роль, и нужно хорошо понимать характер этой роли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abu-Lughod J., «A Gritical Test for the Theory of Social Area Analysis: The Factorial Ecology of Cairo, Egypt». Unpublished paper, Department of Sociology, Northwestern University, 1968.

2. Adelman I. and Morris C. Society, Politics and Economic Development: A Quantitative Approach. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1967.

3. Alker H. R., «A Typology of Ecological Fallacies», Quantitative Ecological Analysis in the Social Sciences. Edited by M. Dogan and S. Rokkan. Cambridge: MIT Press, 1969.

4. Bell W., «Economic, Family and Ethnic Status: An Empirical Test», American Sociological Review, 20 (1955), pp. 45—52.

5. Berry B. J. L., «An Inductive Approach to the Regionalization of Economic Development», Essays on Geography and Economic Development. Edited by Norton Ginsburg. Department of Geography, University of Chicago, Research Paper, № 62, 1960.

6. Berry B. J. L., «Interdependency of Flows and Spatial Structure: A General Field Theory Formulation», Essays on Commodity Flows and the Spatial Structure of the Indian Economy. Edited by B. J. L. Berry, et al. Department of Geography, University of Chicago, Research Paper, № 111, 1966.

7. Berry B. J. L., «Spatial Organization and Levels of Welfare: Degree of Metropolitan Labor Market Participation as a Variable in Economic Development», Paper prepared for the Economic Development Administration Conference, Washington D. C., October 9—13, 1967.

8. Berry B. J. L. and V. L. S. Prakasa Rao. «Urban-Rural Duality in the Regional Structure of Andhra Pradesh: A Challenge to Regional Planning and Development», Geograpische Zeitschrift, № 21, 1968.

9. Blau P. M. and O. D. Duncan, The American Occupational Structure. New York: John Wiley, 1967.

10. Brown L. A. and E. Moore, «The Intra-Urban Migration Process: An Actor Oriented Model», Unpublished paper, Department of Geography, University of Iowa, April, 1968.

11. Canada. Dominion Bureau of Statistics. 1961 Census of Canada: General Review, The Canadian Labour Force, Series 7.1, Bulletin 12, Ottawa: Queen's Printer.

12. Cox K. R., «Suburbia and Voting Behavior in the London Metropolitan Area», Annals of the Association of American Geographers, 58 (1968), pp. 111—127.

13. Duncan B. and Duncan O. D., «Minorities in the Process of Stratification», American Sociological Review, 33 (1968), pp. 356—364.

14. Duncan O., «A Socioeconomic Index for All Occupations», Occupations and Social Status. Edited by A. J. Reiss, Jr. New York: Free Press, 1961.

15. Duncan O., «Inheritance of Poverty or Inheritance of Race?» On Understanding Poverty. Edited by. D. P. Moynihan. New York: Basic Books, 1969.

16. Friedmann J. R. R., Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela. Cambridge: MIT Press, 1966.

17. Gould P. R., «On Mental Maps», Michigan Interuniversity Community of Mathematical Geographers, № 9, 1966.
18. Gould P. R., «Structuring Information on Spacio-Temporal Preferences», Journal of Regional Science, 7 (1967), pp. 259—280.
19. Gould P. R., «Problems of Space Preference Measures and Relationships», Geographical Analysis, 1 (1969), pp. 31—44.
20. Gould P.R. and R. White, «The Mental Maps of British School Leavers», Regional Studies, 2 (1968), p. 161—182.
21. Hanna F. A., State Income Differentials. Durham: Duke University Press, 1959.
22. Harman H. H., Modern Factor Analysis. 2 nd ed. Chciago: University of Chicago Press, 1966.
23. Horst P., Factor Analysis of Data Matrices. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1965.
24. Janson C. G., «Some Problems of Ecological Factor Analysis», Quantitative Ecological Analysis in the Social Sciences. Edited by M. Dogan and S. Rokkan. Cambridge: MIT Press, 1969.
25. King L., Statistical Analysis in Geography. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1969.
26. Lankford P. M., «Level, Source, Stability and Growth of Regional Incomes in the United States, 1929—1966». Unpublished Ph. D. dissertation proposal, Department of Geography, University of Chicago, July, 1969.
27. Lawley D. N. and Maxwell A. E., Factor Analysis as a Statistical Method. London: Butterworth, 1963.
28. Lipsey R. G., An Introduction to Positive Economics. 2nd ed. London: Weidenfeld and Nicolson, 1966.
29. Mansfield E., «City Size and Income, 1949», Regional Income: Studies in Income and Wealth. Vol. 21. Princeton: Princeton University Press, 1957.
30. Merritt R. L. and Rokkan S., eds. Comparing Nations. New Haven: Yale University Press, 1966.
31. Muralha P., Portugal no Brasil. Lisboa: Tipografia Luso-Grafica.
32. Murdie R. A., «The Factorial Ecology of Metropolitan Toronto, 1951—1961: An Essay on the Social Geography of the City». Department of Geography, University of Chicago, Research Paper, № 116, 1969.
33. Muth R. F., Cities and Housing. Chicago: University of Chicago Press, 1969.
34. Poppino R. E., Brazil, The Land and People. New York: Oxford University Press, 1968.
35. Ray D. M., «The Spatial Structure of Economic and Cultural Differences: A Factorial Ecology of Canada», Papers of the Regional Science Association, 23 (1969), pp. 7—23.
36. Ray D. M. and B. J. L. Berry, «Multivariate Socioeconomic Regionalization: A Pilot Study in Central Canada», Papers on Regional Statistical Studies. Edited by S. Ostry and T. Rymes. Toronto: University of Toronto Press, 1967, pp. 75—122.
37. Rees P. H., «The Factorial Ecology of Metropolitan Chicago, 1960», Geographic Perspectives on Urban Systems. Edited by B. J. L. Berry and F. W. Horton. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1970.
38. Rees P. H., «Within-City Classification», City Classification Handbook. New York: John Wiley (Interscience) (Forthcoming).

39. Rushton G., «Analysis of Spatial Behavior by Revealed Space Preference», Annals of the Association of American Geographers, 59 (1969), pp. 391—400.
40. Russett B. M., Community and Contention. Cambridge: MIT Press, 1963.
41. Russett B. M., International Regions and the International System: A Study in Political Ecology. Chicago: Rand McNally, 1967.
42. Schnore L. F. and Peterson G. B., «The Statistical Measurement of Urbanization and Economic Development», Land Economies, 37 (1961), pp. 229—245.
43. Sweetser F., «Factorial Ecology: Helsinki, 1960», Demography, 1 (1965), pp. 372—386.
44. Taeuber K. E. and Tacuber A. F., Negroes in Cities: Residential Segregation and Neighborhood Change. Chicago: Aldine Press, 1965.
45. Thompson W. R., Preface to Urban Economics. Baltimore: Johns Hopkins Press, Resources for the Future, Inc., 1965.
46. Thompson W. R., «Internal and External Factors in the Development of Urban Economies», Issues in Urban Economics. Edited by H. S. Perloff and Wingo L. Jr. Baltimore: Johns Hopkins Press, Resources for the Future, Inc., 1968.
47. U. S. Bureau of the Census. Methodology and Scores of Socioeconomic Status. Working Paper, № 15. Washington: Government Printing Office, 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Системы 9

Вероятностный подход к дискретным событиям в природе: обзор и теоретическое рассмотрение 36

Структура и пространственная дифференциация физико-географической сферы, как кибернетической системы 72

Заключение 111

Климатологическое исследование баланса энергии в системе город — человек 113

Примечания к статье 159

Энтропия и пространственная геометрия 164

Модель экосистемы город — пригород 173

Региональная (районная) модель межотраслевых взаимодействий с окружающей средой 181

Анализ пространственных взаимодействий: некоторые идеи, связанные с общей теорией относительности 204

Заключение 231

Пространство в географии человека 234

Факторная экология: общее определение, обзор, критические замечания 251

Заключение 272

НОВЫЕ ИДЕИ В ГЕОГРАФИИ

Выпуск 1

Проблемы моделирования и информации

Редактор *Л. Кудряшева*
Мл. редактор *Т. Новикова*
Художник *А. Алексеев*
Художественный редактор *А. Суима*
Технический редактор *В. Перминова*

Сдано в производство 19.XI.1975 г.
Подписано к печати 24.III.1976 г.
Бумага 84×108¹/₃₂, тип. № 1. Бум. л. 4³/₈
Печ. л. 14,7. Тираж 7000 экз.
Уч.-изд. л. 15,16. Изд. № 20399.
Цена 1 р. 32 к. Заказ 2768

Издательство «Прогресс» Государственного комитета Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва, Г-21, Зубовский бульвар, 21.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская, 1.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»

Выходит из печати

Новые идеи в географии. Вып. II. Пер. с разн. яз.

Второй выпуск сборника так же, как и первый, приурочивается к XXIII Международному географическому конгрессу (Москва, июль—август 1976 г.). Тематически он теснейшим образом связан с первым, выходящим в свет одновременно, и посвящен вопросам моделирования городских систем и проблемам информатики в географии.

Оба сборника можно рассматривать как своего рода введение в обширную область так называемых новых методов исследования в географии.

1р. 32 п.

5371