

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ТИХООКЕАНСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

# ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

Состояние, теория, методы



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"  
Москва 1982

91"313"

~~УДК 502.7~~

Проблемы регионального географического прогноза (состояние, теория, методы). М.: Наука, 1982.

В монографии освещаются теория, современное состояние и методы географического прогнозирования в сопоставлении с подобными проблемами в смежных областях знания. Рассмотрены общие свойства географических объектов и возможность прогнозирования их изменений в пространственно-временном аспекте. Дана классификация методов и приведены примеры их применения для разных географических объектов.

Табл. 15. Ил. 49. Библ. 283 наз.

Ответственные редакторы

член-корреспондент АН СССР

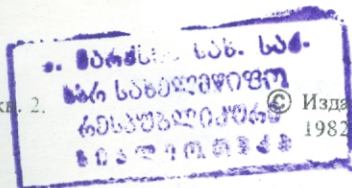
А.П. КАПИЦА

доктор географических наук

Ю.Г. СИМОНОВ

R/580684  
3

П  $\frac{1905030000-392}{055(02)-82}$  456-82, кн. 2.



Издательство "Наука",  
1982 г.



*Посвящается памяти академика  
Константина  
Константиновича  
Маркова*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В решениях XXVI съезда КПСС подчеркивается, что в современных условиях наиболее рациональным путем решения задач в области экономики является всемерная интенсификация производства. Необходимость этого обусловлена, с одной стороны, повышением требований к качеству в сфере общественного потребления, с другой стороны, усложнением целого ряда условий: менее благоприятным, чем ранее, будет баланс трудовых ресурсов, увеличатся затраты на охрану окружающей среды и на добычу полезных ископаемых, поскольку в хозяйственный оборот все шире будут вовлекаться природные богатства труднодоступных восточных и северных районов страны. В этих условиях резко возрастает значение совершенствования методов управления народным хозяйством. Важное место отводится долгосрочному прогнозированию и оперативному планированию производственной деятельности.

Все виды прогнозов и планирования основываются на знаниях особенностей изменений природной среды под влиянием хозяйственной деятельности человека. Предсказание таких изменений, оценка влияния их на общее социально-экономическое развитие и развитие производства составляют существо географического прогнозирования.

Предлагаемая читателям монография посвящена проблемам теории и методам регионального географического прогноза. Она является результатом работы двух коллективов — Комплексной Восточной экспедиции географического факультета Московского университета и Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР. Общая идея прогнозно-географических исследований принадлежит члену-корреспонденту АН СССР А.П. Калице и доктору географических наук Ю.Г. Симонову. Конкретная реализация исследований, постановка задачи, определение принципов обработки материалов выполнены Ю.Г. Симоновым, который является автором значительной части текста этой книги.

Авторы монографии и сотрудники, принимавшие участие в исследовательских работах; с благодарностью вспоминают преждевременно ушедшего из жизни Л.С. Гаранина, чей энтузиазм и доброе

отношение к людям способствовали коллективному творчеству, обсуждению прогнозных моделей и совершенствованию математических навыков у большой группы географов-прогнозистов. Его вклад в данную работу трудно переоценить.

В подготовке этой монографии, кроме авторов, указанных в оглавлении, принимали участие многие сотрудники Комплексной Восточной экспедиции: Т.С. Андреева, И.М. Вагина, Н.Н. Выгодская, К.А. Воскресенский, Е.И. Игнатов, С.С. Карпухин, А.Н. Кичигин, В.И. Кружалин, В.И. Кленов, В.С. Поливанов, Е.Б. Поспелова, К.А. Петрова, Т.П. Рототаева, В.А. Робсман, Т.Ю. Симонова, Н.П. Солнцева, К.Г. Тихоцкий.

Авторы монографии выражают благодарность члену-корреспонденту АН СССР М.Н. Бабушкину за консультации и обсуждение отдельных разделов работы.

Предполагается продолжить работу по географическому прогнозированию и подготовить еще две книги. В одной из них будет дан прогноз-географический анализ Кавалеровского района Приморского края, в другой — прогноз-географический анализ юга Дальнего Востока.

## ВВЕДЕНИЕ

"Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых".

*Э. Энгельс*

"... По мере развития народного хозяйства, роста городов и промышленных центров все больше средств будет требовать сохранение окружающей среды..."

*Л.И. Брежнев*

Географическое прогнозирование — новое научное направление, возникшее в географии в середине 60-х годов нашего столетия в связи с общим развитием науки в период научно-технической революции. Одним из множества социальных заказов, вызвавших его к жизни, является общий интерес к прогнозированию результатов социального и научно-технического прогресса человечества на начало следующего тысячелетия. В разных странах представители различных специальностей конструируют свои представления о том, каким должен быть мир в 2000 г. Появилось большое число публикаций, касающихся социального прогноза и научно-технического прогресса. И, так же как в смежных науках, желание увидеть мир 2000 г. глазами географов было заманчивым и своевременным. Особенно оно кажется актуальным в связи с тем, что в центре внимания научной и общественной жизни в середине 60-х годов оказались проблемы сохранения и защиты окружающей среды. Проблемы охраны диких животных и растений, обсуждавшиеся главным образом с гуманных и прагматических позиций, оказались всего лишь одной из частей генеральной проблемы, в центре которой был поставлен человек. Сохранение человека и человечества, защита его от вредных последствий изменяющейся окружающей среды — этому отныне посвящена проблема охраны природы. Первые попытки экстраполяции в будущее результатов экологического анализа отношений "человек — окружающая среда" неожиданно придали указанной проблеме сенсационно-катастрофический характер. Особенно взволновал общественность всемирный (глобальный) характер этой проблемы. Многим показалось, что катастрофа близка. К анализу отношений "природа — человек" привлекается внимание представителей многих наук. И этот интерес можно рассматривать как второй из главных социальных заказов на прогнозно-географические работы. Не случайно проблема охраны природы получила название экологической, что не исключает географического характера работ по прогнозированию, хотя при первом рассмотрении в них прежде всего проявляются биологические и медико-биологические аспекты: истощающиеся ресурсы белка при росте народонаселения, ограниченность ресурсов пресных вод и ухудшение их качества, загрязнение воздуха как среды обитания, рост заболе-



ваний, вызванных ухудшением качества окружающей среды, возможность нарушения механизмов наследственности у человека.

В изучении отношений "организм—окружающая среда" биологией и экологией накоплен большой экспериментальный материал и разработаны соответствующие теории. Установлены определенные закономерности, действующие внутри этой системы. Анализ их в связи с изучением отношений между человеческим обществом и окружающей его природной средой легко обнаруживает не только биологический, но и социальный, технологический и другие аспекты проблемы. Сейчас к этой проблеме приковано внимание физиков, химиков, технологов и математиков. Отношения "человек—окружающая среда" описываются строгими математическими моделями. Прогноз, основывающийся на этих моделях, может показаться объективным. Однако внимательный их анализ позволяет сравнительно легко увидеть социально-политическую концепцию авторов моделей. И неудивительно то, что уже сейчас имеются разные точки зрения на будущее нашей планеты. Наряду с анализом моделей имеется большое число оценок, делающихся различными специалистами-экспертами. Наиболее полный анализ этих оценок с учетом различных точек зрения проведен А.М. Рябчиковым [1972]. Он подчеркивает социальный характер отношений "человек—природа". Для снижения интенсивности воздействия человека на природу, по его мнению, необходимо следующее: а) ограничение и прекращение гонки вооружений; б) подъем социально-экономических условий жизни населения развивающихся стран до уровня развитых стран; в) регулирование прироста населения; г) перевод производства на замкнутый цикл. Может быть, к этому перечню социальных задач следует прибавить необходимость установления реальных механизмов, действующих в системе "человек—природа".

Ссылаясь на работы П. Дювиньо и М. Танга [1968] и В.Н. Степанова [1967], А.М. Рябчиков приходит к выводу о том, что продовольствием наша планета потенциально обеспечена и может прокормить до 100 млрд. человек. Столь же оптимистичны его выводы по проблеме обеспечения человечества сырьем, и прежде всего сырьем для выработки электроэнергии. Значительно более ограничены возможности увеличения запасов чистой воды. По его мнению, если сохранятся современные принципы водопользования, то человечество может исчерпать все запасы пресных вод к 2100 г. Увеличение численности населения и рост производства жестко лимитируются запасами свободного кислорода. А.М. Рябчиков обращает серьезное внимание на необходимость учета геохимических аспектов экологической проблемы, так как в процессе производства и жизнедеятельности человечество концентрирует и рассеивает в окружающей нас среде огромное количество химических элементов, часть из которых токсична. В качестве примера он приводит обогащение почвы отходами производства и делает некоторые расчеты.

Не исключено, что изменение химического состава почв приведет к изменению качества поверхностных вод. Включение техногенных элементов в биологический круговорот в больших концентрациях грозит увеличением числа тяжелых заболеваний и изменением наследственности. По этому вопросу уже имеется большое число опубликованных работ.

Многие ученые сходятся во мнении о том, что деятельность человека по своему воздействию на природу уже давно превратилась в общепланетарный фактор, равный геологическим и космическим силам, действующим на природу нашей планеты. Изменение природы под влиянием хозяйственной деятельности человека вышло за рамки приповерхностной части Земли. Изменяются ресурсы подземных вод, их состав и динамика. Меняется течение тектонических и сейсмических процессов. Предвидение этих изменений и их последствий становится важной задачей целого комплекса естественных наук.

Все более отчетливо в науке и практике ставится вопрос о том, возможны ли между человеком и природой такие отношения, которые не вызвали бы кризисных явлений. Ответы на эти вопросы имеют смысл определенных стратегий в поведении человека по отношению к окружающей нас природе. Можно выделить три типа таких стратегий. Первую из них можно назвать пассивной, опирающейся на концепцию "пределов роста". Суть ее заключается в том, что, предвидя надвигающуюся катастрофу, необходимо срочно остановиться в развитии, прекратить рост производства, остановить рост народонаселения. Это отдалит приближение катастрофы и позволит со временем найти выход из затруднения. Вторая стратегия противоположна первой. Сторонники этого типа стратегии видят все в радужном свете и считают возможным еще длительное время пользоваться бесплатными дарами природы, материальными ресурсами окружающей нас среды. Но возможна и третья, на наш взгляд единственно правильная, стратегия, которая должна опираться не на сенсационные утверждения отдельных ученых, а на строгие научные доказательства, серию продуманных экспериментов, результаты исследований разветвленной системы станций, ведущих наблюдение за состоянием окружающей среды в рамках отдельных регионов и всей планеты в целом. Здесь должны проявиться и такт и мудрость ученых и государственных деятелей, а принятие решений возможно лишь на основе законов, действующих в системе "человек — окружающая среда".

В отношениях "человек — природа" могут быть определены активная стратегия и тактика, направленные на достижение намеченной цели. Для этого необходимо рассматривать эти отношения в комплексе: 1) создавать современную технологию производств по принципу замкнутых циклов для тех веществ, количество которых на Земле ограничено (например вода, кислород и т.п.), а также для тех, примесь которых в производственных отходах в случае их выбросов нарушает равновесие в природе; 2) создавать также территориальные природно-производственные комплексы, в пределах которых природа могла бы выдержать заданный уровень воздействия на нее человека. Примером таких природно-производственных комплексов может служить современное сельское хозяйство, разумно ограничивающее использование пестицидов и гербицидов.

Указывая на необходимость бережного отношения к природным ресурсам, Л.И. Брежнев на XXV съезде КПСС в Отчетном докладе говорил: "Однако использовать природу можно по-разному. Можно — и история человечества знает тому немало примеров — оставлять за собой бесплод-



ные, безжизненные, враждебные человеку пространства. Но можно и нужно, товарищи, облагораживать природу, помогать природе полнее раскрывать ее жизненные силы. Есть такое простое, известное всем выражение "цветущий край". Так называют земли, где знания, опыт людей, их привязанность, их любовь к природе поистине творят чудеса. Это наш, социалистический путь. Следовательно, мы должны рассматривать сельское хозяйство как огромный, постоянно действующий механизм охраны, культивирования живых природных богатств. И природа воздаст нам сторицею"<sup>1</sup>.

Таким образом, речь идет об оптимизации отношений "человек — окружающая среда", о рациональном природопользовании. Вот здесь-то и легко увидеть место географии в межотраслевой экологической проблеме. Известно, что география издавна занималась изучением природы, населения и хозяйства. Сначала главная ее задача заключалась в инвентаризации, или описании, географических объектов, что определяло ее пространственный подход к изучаемым явлениям. Отсюда и название науки, подчеркивающее ее описательный характер. И сегодня такой она представляется большинству людей, прямо не связанных с областью ее интересов. Кажется, что география остановилась на описании поверхности нашей планеты. В значительной степени это связано с характером школьной географии, которая обязана дать человеку, вступающему в жизнь, минимум сведений о природе нашей планеты, о населении и хозяйстве отдельных стран. Это, конечно, лишь начальная география, выполняющая просветительскую и культурную миссию. Но есть и другая география, которая уже давно переросла описательный уровень. По крайней мере вот уже два с половиной—три столетия главной ее доктриной являлось научное объяснение происхождения и размещения на Земле географических объектов. Чисто пространственный подход постепенно сменяется пространственно-временным. Результатом работы многих поколений ученых явилось учение о производственных и природных территориальных комплексах, особых единствах (структурах), существующих на поверхности нашей планеты. Используя современную системную идеологию, можно сказать, что география сегодня — это наука о природно-производственных структурах географической оболочки Земли, о их происхождении и развитии. За длительную историю своей эволюции география установила многие особенности и свойства указанных комплексов. Систематизация этих знаний позволила оценить возможности отдельных территорий для развития производительных сил человечества, для развития цивилизации. Так, у нас в СССР географические исследования являются основой при планировании освоения территорий на востоке страны, для реконструкции хозяйства в пределах уже освоенных земель в центральных районах и для решения многих других прикладных задач. Географическое прогнозирование как научное направление углубляет те тенденции развития нашей науки, о которых кратко можно сказать так: от описания к объяснению, от объяснения к предсказанию и управлению поведением изучаемых объектов.

<sup>1</sup> Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1977, с. 53.

Рациональное природопользование должно опираться на комплексное природоведение, на знание законов развития природы — законов развития географической оболочки Земли. В решении этих вопросов, конечно, должен принимать участие и коллектив отраслевых специалистов-природоведов — почвоведов, гидрологов, климатологов, ботаников, зоологов, геологов, геоморфологов, а также специалистов в области сельского хозяйства, лесоведения, водного хозяйства, экономистов, юристов и т.п. Однако каждый из этих специалистов, глубоко понимая задачи в области своей науки, практически никогда не рассматривает всей проблемы в целом. Так, проводя мероприятия по улучшению растениеводства, специалисты беспокоятся о состоянии почв, но уже, как правило, не рассматривают состояние подземных вод, поверхностных водоемов и т.д. Естественно, такой комплексной проблеме, как рациональное природопользование, необходим координатор, понимающий комплексный характер проблемы. Пожалуй, в настоящее время к выполнению этой роли координатора наиболее подготовлены специалисты в области комплексной географии.

Решение задач рационального природопользования имеет ряд аспектов. Главный из них — социальный. Наиболее полное разрешение всех проблем, связанных с рациональным природопользованием, возможно в условиях социалистического общества, при плановом ведении хозяйства и заботе государства о росте благосостояния всего народа. В нашей стране создана и совершенствуется система законодательства по охране воздушного бассейна, почв, земельных угодий, водных объектов и окружающей среды в целом. Проблемы защиты окружающей среды находятся в центре внимания не только научной общественности, но и государства.

В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, принятых XXVI съездом КПСС, охрана природы рассматривается как важнейшая задача, от успешного решения которой зависит выполнение всех народнохозяйственных планов. Намечен широкий круг мероприятий, включающий защитное лесоразведение, мелиорацию и рекультивацию почв, строительство водоохраных объектов, увеличение мощности систем оборотного и повторного использования вод, создание автоматизированных систем управления водохозяйственными компрессорами, совершенствование технологических процессов и транспортных средств в целях сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду и др.

Безусловно, в перечень аспектов повышения благосостояния советских людей входит и улучшение окружающей среды. Отсюда вытекает, что географические прогнозы могут стать важными научными документами, способствующими выполнению намеченной XXV и XXVI съездами КПСС программы по совершенствованию управления и развития экономики нашей страны.

Рациональное природопользование имеет четкую географическую предопределенность. Неодинаково стоят эти вопросы, например, в тундре и в пустыне, в горах и на равнинах, в районах, где освоение природных богатств имеет пионерный характер, а также на территориях, где интен-



сивное использование природных ресурсов имеет уже многовековую историю. Проблемы будут меняться и от того, на каких по размерам пространствах будет создана система рационального природопользования. На относительно небольших территориях уже сейчас возможна организация хозяйств с замкнутыми технологическими циклами и регулированием отношений "человек — природа". На больших пространствах и особенно на всей Земле в целом решение этих задач встречается с экономическими и, главное, политическими трудностями. Необходимо международное сотрудничество в этой области и правовое регулирование. Начало таких отношений положено соответствующими межправительственными соглашениями. Успех сотрудничества в этой области требует определенной атмосферы доверия и дружбы между народами, которая несовместима с гонкой вооружений и угрозами применения силы при решении спорных вопросов между отдельными странами.

Рациональное природопользование имеет четко выраженный ресурсо-ведческий уклон. Известно, что ресурсы подразделяются на возобновимые и невозобновимые. Невозобновимые ресурсы распределены по поверхности неравномерно. Многие из них, например полезные ископаемые, контролируют существование и размещение на Земле определенных производственных комплексов и связанных с ними городских агломераций. Возобновимые ресурсы чистого воздуха, чистой воды, плодородия почв, биоресурсы и другие являются чаще всего результатом кругооборота веществ в природе. В различных природных обстановках их восстановление происходит по строго определенным законам — законам существования и функционирования природных комплексов. Последние являются предметом изучения физической географии. Становятся необходимыми и географический подход, и географический анализ в ресурсоведении. Все это позволяет сделать и общий вывод о том, что география имеет свое строго определенное место в междисциплинарной проблеме ресурсоведения или в еще более важной проблеме, получившей название экологической. Необходимость прогнозирования отношений "человек — природа" объясняет социальную необходимость и географического прогнозирования.

Прогнозирование — естественная функция любой науки, свойственная каждой стадии ее развития. Нельзя думать, что географическое прогнозирование — это абсолютно новое направление, что оно строится на пустом месте. Известно, что социальная значимость любой науки связана с наблюдением и обобщением общественной практики, с накоплением определенного опыта. На начальных стадиях общения человека с природой и друг с другом функцию науки в жизни общества с успехом заменяли память и опыт старейшин. Накопление опыта шло для того, чтобы избежать известных ошибок и не допускать в своем общении с природой поступков, приводящих к нежелательным последствиям. Для этого нужно было знать примеры причинно-следственных отношений тех явлений, которые окружали первобытного человека. Устойчивые причинно-следственные отношения приобретали характер законов. Они-то и фиксировались в памяти людей. Впоследствии накопителем этих законов стала наука, которая выросла в настоящее время в особую социальную силу, обладаю-

щую огромной информацией о прошлом и настоящем и достаточно совершенным арсеналом средств построения суждений о будущем.

Успешно выполняет свои прогностические функции и география. Прежде всего надо отметить участие географов в оперативном и долгосрочном планировании. Известно, что оценка возможностей развития хозяйства, планирование этого развития на различные сроки опираются на точные знания природных и трудовых ресурсов территории. Поэтому географические оценки отдельных территорий, конечно, являются одним из видов прогнозирования. Но если посмотреть на них внимательно, то можно видеть, что высказывание о будущем территории в материалах планирования не приводится в прямом виде. Оно несколько завуалировано оценочными суждениями. Прогноз здесь выступает в форме научного заключения, разрешающего или запрещающего принятие того или иного решения. Например, в заключении географа может быть сказано, что на такой-то территории можно разместить тот или иной промышленный комплекс и что для этого потребуется или что на другой территории нельзя строить плотину, так как в результате строительства из использования в народном хозяйстве будут исключены наиболее плодородные земли, и т.д. В этих примерах суждение о будущем завуалировано, но оно присутствует, и его можно иллюминировать, продолжив приведенное выше заключение следующим образом: "Строительство промышленного комплекса на выбранной территории возможно. Оно потребует таких-то усилий. Нежелательных последствий не произойдет". И хотя последней фразы в первом примере нет, но она подразумевается. Если бы непредвиденные нежелательные последствия были возможны и ученому известны, то географ-эксперт, дающий положительное заключение о строительстве, должен был бы прийти к другому выводу, и его суждение о возможности строительства было бы противоположным. Он должен был бы дать заключение о нежелательности строительства. Вот эта завуалированность отсутствие прямого указания на последствия того или иного вида природопользования создают известную неопределенность. Новое научное направление в географии — географическое прогнозирование — стремится устранить эту неопределенность. В центре внимания географов при суждении о будущем ставится теперь анализ возможных последствий того или иного вмешательства в природу. Географическое прогнозирование в качестве своего объекта исследований выбирает анализ последствий вмешательства человека в окружающую среду. Объектом прогнозирования становится состояние природно-производственных комплексов в будущем.

Географическое прогнозирование является частью прогностики. Прогностика, по Г.М. Доброву [1977], — это комплекс теорий, охватывающий общие логические и методологические принципы прогнозирования, а также обобщенные закономерности самого процесса разработки прогнозов. В условиях социалистического государства научно-техническая прогностика содействует выбору самых перспективных целей научно-технического развития нашей страны, обеспечивающих рост материального и культурного уровня трудящихся. Прогнозирование направлено, таким образом, на планирование и управление процессами развития техники, совершенствование хозяйства и рост культуры. Если иметь



в виду постоянный рост производства и культуры в нашей стране, те грандиозные задачи, которые мы ставим перед собой от пятилетки к пятилетке, и, наконец, конечную цель — построение коммунистического общества, то можно сказать, что перед учеными-прогнозистами ставятся сложнейшие задачи. Одновременно растет и ответственность ученых перед обществом за качество составляемых прогнозов.

Географические прогнозы должны иметь своего потребителя в виде определенного государственного учреждения. Может быть, должна действовать специальная система учреждений, составляющих оперативные и стратегические прогнозы.

Географическое прогнозирование — это не только направление в развитии нашей науки, но и крупная, фундаментальная ее проблема. Сложности этого направления заключаются в том, что, несмотря на длительность своего существования и на то, что всем ходом своего развития география готовилась к решению задач подобной трудности, пока еще далеко не все сделано для того, чтобы сразу приступить к составлению прогнозов. Географии еще предстоит переоценить тот багаж, который накоплен за длительный период времени, оценить количество и качество имеющейся в распоряжении науки информации, создать новую систему сбора и обработки информации, необходимой и достаточной для составления прогнозов, и, наконец, подготовить и переподготовить нужное число специалистов, способных выполнить поставленную задачу. Не все географы разделяют эту точку зрения. Иным может показаться, что мы уже сейчас можем взяться за составление прогнозов, стоит лишь опереться на существующий опыт прогнозирования в смежных областях. Учет этого опыта и привлечение специалистов из смежных областей (математиков, физиков, кибернетиков и др.) необходимы. Ряд выводов можно сделать, опираясь на предыдущий опыт самой географии. Весьма уместен опыт таких разделов прогнозистики, которые определяют будущее сложных трудно прогнозируемых явлений и систем, таких, как прогноз развития науки и техники. Много интересного сделано в прогнозировании развития организмов и их сообществ в биологии. Молодая быстро развивающаяся наука об окружающей среде (экология) также имеет определенный опыт, использовать который совершенно необходимо в географическом прогнозировании. Однако, говоря о географическом прогнозе как о научной проблеме и подчеркивая методический ее характер, следует обратить внимание на отсутствие системы методов географического прогнозирования.

Когда говорят о географическом прогнозе, то обычно имеют в виду комплексный географический прогноз в отличие от отраслевых или частных географических прогнозов — гидрологического, метеорологического и др. Это важно отметить, так как гидрология, метеорология, климатология и океанология — это науки географического цикла. Учет успехов и неудач этих наук в разработке отраслевых прогнозов совершенно необходим для комплексного географического прогнозирования. Особенно полезны подходы при выборе методов прогнозирования и, в частности, тот математический аппарат, который успешно в них используется. Вероятно, со временем будет создана и собственная система методов комплексного географического прогнозирования, учитывающая



отношение элементов, образующих географические территориальные комплексы.

Сложность комплексного географического прогнозирования очевидна. Если прогнозировать состояние природно-производственных территориальных систем, то совершенно необходимо прогнозировать и изменение технологий будущих производств, и будущее размещение населения на поверхности Земли, и изменения климата, и многое другое. Прогнозирование каждого из этих элементов само по себе сталкивается с огромными трудностями, а их соединение может сделать прогноз неосуществимым. Однако опыт развития науки показывает, что если проблема сформулирована, конкретная задача поставлена и имеет общественную необходимость, то рано или поздно эта задача будет решена.

Одной из задач нашей монографии является уменьшение времени, которое потребуется на решение проблемы географического прогнозирования. Известно, что решение сложной задачи упрощается, если ее разбить на ряд менее сложных, расположив их в определенной последовательности. Это и будет путь или метод решения сложной задачи, принятый в этой монографии.

По степени охвата территории географические прогнозы можно подразделить на три уровня: глобальный, региональный и локальный. Глобальный прогноз охватывает всю нашу планету в целом, региональный — некоторую, но достаточно обширную ее часть, локальный географический прогноз проводится для сравнительно небольших и относительно однородных территорий. Больших различий между локальными и региональными прогнозами нет, и точные границы между ними не установлены. Они отличаются лишь охватом территории и уровнем генерализации наших представлений о свойствах территории. Локальные прогнозы более подробные, для их составления требуются детальные географические исследования с использованием карт крупных масштабов. Уменьшение подробностей отображения географической действительности неизбежно при характеристике обширных территорий и требует выбора новых показателей, описывающих состояние природно-производственных территориальных комплексов и их функционирование. Иными словами, переход от малых территорий к большим при составлении географического прогноза потребует изменения (может быть, частичного) тех показателей, которые комплексно описывают свойства и состояние крупных территориальных систем. В предлагаемом ниже исследовании для анализа выбрана система методов регионального географического прогноза на уровне области (группы областей и краев) и отдельного хозяйства (территориального комплекса хозяйств).

Географические прогнозы могут отличаться длительностью прогнозируемого периода и сроков упреждения. Могут составляться краткосрочные текущие, или оперативные, прогнозы, а также прогнозы долгосрочные, стратегические. Учитывая важность прогнозов для управления развитием хозяйства нашей страны, мы выбрали срок в 20–25 лет, примерно соответствующий нашим долгосрочным перспективным планам, а также срокам, в пределах которых существенно не изменяется технология производства, объем капиталовложений и численность населения, проживаю-

шего на выбранной для анализа территории. Выбор того или иного срока упреждения чрезвычайно важен, так как от этого зависит степень полноты и точности измерений тех свойств изучаемого объекта, состояние которых в будущем мы собираемся прогнозировать. Для краткосрочных прогнозов точность прогнозирования должна быть выше и внимание прогнозиста должно быть приковано к существенным и быстро меняющимся свойствам объекта. При составлении долгосрочных прогнозов с сохранением по возможности значимости прогнозирования внимание ученого должно быть перенесено на относительно медленно меняющиеся его свойства; быстро протекающие изменения в природе и хозяйстве могут быть отодвинуты на второй план.

Таким образом, выбор вида прогноза в зависимости от продолжительности срока упреждения определяет набор прогнозируемых параметров. Важным элементом прогнозирования является длина шага прогнозирования, т.е. временного интервала, к которому относится прогнозируемое событие в будущем. Одно и то же явление можно охарактеризовать набором свойств, остающихся неизменными в течение минуты, часа, суток, года и т.д. Можно говорить о том, что произойдет в 2000 г., временной интервал возможно уточнить до определенной даты (например 31 марта 2000 г.) или даже до часов или минут. Естественно, что при увеличении времени упреждения необходимо увеличивать и шаг прогнозирования. Вряд ли в обозримом будущем можно будет с высокой точностью предсказать температуру воздуха или воды в заданных координатах пространства и времени с упреждением в 2–3 года, не говоря уже о сроке в 20 лет.

Выбор конкретных методов географического прогноза может оказаться неодинаковым для различных территорий, так как одни из них длительное время сохраняют свои свойства, другие изменяют их быстрее или медленнее. Эти изменения могут иметь причины, связанные с деятельностью человека в одном месте, или же объясняться высокой степенью изменчивости природных особенностей территории. В дальнейшем, когда накопится опыт, увидим, действительно ли методы прогнозирования будут связаны с этими территориальными различиями. Пока же не следует думать, что методы эти общие и свойственны всем географическим объектам независимо от их пространственного положения.

В основу настоящей монографии были положены материалы, собранные на юге Дальнего Востока. Применительно к этой территории и выработывались методы регионального географического прогнозирования.

Юг Дальнего Востока обладает рядом особенностей природного и экономического характера. Это горная территория, на которой горные хребты и массивы чередуются с обширными и плодородными равнинами. Недра края богаты полезными ископаемыми. Здесь много лесов и многоводных рек. Этот край издавна осваивается человеком, но его природа по сравнению с другими районами нашей страны, особенно с европейской частью СССР, меньше изменена под влиянием хозяйственной деятельности человека. Огромные площади занимает тайга. Но и здесь наблюдается быстрое развитие экономики. Растет добыча полезных ископаемых, строятся плотины, возникают водохранилища, распахивается земля. У этого края огромное будущее. Большое значение для развития его



экономики имеет строительство Байкало-Амурской магистрали. Важную роль для хозяйственного развития играет и прибрежное положение этой территории.

Активно преобразуемая человеком природа юга Дальнего Востока уже сейчас является великолепной лабораторией для ученого, изучающего последствия хозяйственной деятельности человека.

Приступая к работе над этой монографией, авторы отчетливо видели те трудности, которые перед ними могли возникнуть. Во-первых, это отсутствие опыта подобной работы у нас, в Советском Союзе, и за рубежом. Во-вторых, это невозможность полного охвата всей проблемы. В-третьих, понятие "метод" используется различными исследователями по-разному. Некоторые из них склонны видеть лишь конечную процедуру — моделирование процессов и получение итоговой информации о состоянии природы в будущем. Мы приняли другую трактовку. Понимая под словом "метод" путь исследования, мы включили в это понятие постановку вопроса, сбор фактического материала, его обработку, составление карт и процедуру получения прогнозов. Авторы стремились сохранить все то, что имеет смысл в традиционной географии, и прежде всего в качественных оценках состояний географических объектов. Вместе с тем нам казалось необходимым перейти и к количественным оценкам состояний природы в будущем. Хотя география довольно длительное время ведет наблюдения за состоянием природы, однако характер этих наблюдений далеко не всегда опирается на количественные измерения. Механизмы многих географических явлений изучены в первом приближении. Математическое описание этих явлений еще недостаточно совершенно. Все это затрудняет составление географического прогноза. Особенно много трудностей возникает потому, что отсутствуют длительные ряды измерений. Сеть наблюдательных станций достаточно редка, а выбор их местоположения подчинен другим целям (без учета выбранной для решения в этой монографии задачи). Вероятно, еще длительное время в географическом прогнозировании будут вместе сосуществовать и качественные виды прогнозирования, опирающиеся на опыт и интуицию ученых-экспертов, и количественные, развивающиеся в настоящее время в результате внедрения измерений и математики в нашу науку.

И наконец, четвертой трудностью, которую авторы постоянно имели в виду, является то, что географические прогнозы должны иметь и свои собственные методы проверки (верификации). Без них географические прогнозы могли бы длительное время оставаться на уровне гипотезы, имеющей относительно небольшую практическую ценность.

Настоящая монография, посвященная состоянию, теории и методам регионального географического прогноза, состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении определены цели и задачи исследования, их актуальность и связи с экологическими проблемами.

В главе I, посвященной анализу современного состояния проблемы, материал сгруппирован так, что вначале излагаются взгляды тех ученых, кто обратил внимание на проблему в целом и способствовал ее становлению. Затем обсуждаются небольшие статьи, заметки и тезисы докладов, которые появились в различных журналах или в сборниках докладов

конференций, посвященных географическому прогнозированию. Главный вывод, который можно сделать из обзора, это то, что в указанной проблеме еще не решены многие вопросы и что почти по каждому из них имеются даже противоречивые высказывания. Поэтому оказалось полезным рассмотреть три вопроса: 1) как обстоят дела в тех областях географического прогнозирования, где этот вид деятельности уже приобрел черты производства; 2) как обстоят дела в экологическом прогнозировании; 3) какие методы использует прогнозистика при решении таких сложных задач, как прогнозирование технологий будущего и развития науки.

Прогнозирование приобрело черты практической деятельности в метеорологии и гидрологии. Хочется подчеркнуть, что в этих науках имеются организации — заказчики прогнозов. Развитие этой части географических прогнозов обеспечивается специальной службой, которая стремится удовлетворить реальные запросы различных отраслей народного хозяйства. Далее проводится анализ положения прогнозных дел в экологии и прогнозистике. Рассмотрение имеющегося материала показывает, что становлению экологических проблем и прогнозированию способствовало раннее внедрение в эту область математического описания и моделирования. Интересно, что комплексная география идет в настоящее время по тому же пути, опаздывая по сравнению с экологией чуть меньше, чем на половину столетия. В противоположность экологии прогнозистика — новая отрасль знаний, получившая свое развитие в ходе научно-технической революции для прогнозирования сложных социальных явлений, — широко использует методы интуитивного прогнозирования, опирающиеся на логический анализ и опыт гуманитарных и естественных наук. География на современном этапе развития ее теории и теории прогнозирования, несомненно, воспользуется разработками и того и другого вида.

Чтобы правильно понять, кто может стать в будущем заказчиком географических прогнозов, необходимо оценить те структурные административные ячейки, которые уже сейчас сложились в государствах с различным политическим устройством в связи с необходимостью учета экологических последствий хозяйственной деятельности человека и рациональным природопользованием. Этому вопросу посвящена глава II. Главный вывод из нее заключается в том, что, несмотря на все различия, которые существуют у государств с разным социально-политическим строем, у наиболее развитых государств имеются близкие тенденции по созданию системы органов регионального планирования и контроля за использованием природных ресурсов. Государства при реализации этих задач идут сходными путями, но пока ни в одном из них нет единой системы подобных организаций. Среди различных направлений решения задач, связанных с рациональным природопользованием, можно выделить две главные тенденции: 1) возникновение организаций, заинтересованных в решении проблем на территориях, соответствующих различного рода административным единицам (штатам, районам, округам и т.д.); 2) создание региональных учреждений, контролирующих территории водосборных бассейнов крупных рек. И те и другие организации, несомненно, со временем станут заказчиками отраслевых (покомпонентных) и комплексных географических прогнозов с различными сроками упреждения.



В главе III описываются и анализируются основные свойства географических объектов и способы их формального описания. Здесь затронуты вопросы о границах географического анализа, о способах различных географических описаний и др. Но главное внимание уделяется пространственно-временному анализу географических объектов и особенностям их функционирования. Предполагается, что эти основные свойства, конкретизированные в каждом отдельном случае, и станут объектами комплексного географического прогноза. Сделан вывод о том, что объем и методы сбора фактического материала для целей прогноза зависят от выбора объекта прогнозирования, поэтому выбор объекта прогнозирования повлечет за собой и конкретный набор прогнозных методов. Вероятно, свойства, описанные в главе III, будут дополняться и уточняться, так как понятие "основное свойство" географического объекта нуждается еще в уточнении и обсуждении. Мы исходили из того, что "основные свойства" — это свойства, которые обязательно присутствуют у всех географических объектов различной природы.

Глава IV данной монографии посвящена методам географического прогнозирования. В ней рассматриваются методы интуитивного прогнозирования, основанные на логическом анализе географических объектов (их сущности и эволюции), на пространственно-временных аналогиях и экспертных оценках. Назва не групп методов "интуитивные методы" достаточно условно. В содержательном смысле они противопоставляются количественным. Может быть, правильнее было бы их называть "качественными". Однако у этого слова имеется оценочный оттенок, поэтому сочетание "качественные методы" можно воспринимать как "методы хорошего качества". На их фоне "количественные методы" будут выглядеть несколько худшими по качеству, в то время как в прогностике и практике составления прогнозов их оценивают иначе: количественные методы многим кажутся более объективными, хотя это далеко не всегда так. Слово "интуитивный" в данном случае понимается как "научная интуиция", базирующаяся на всем опыте науки. Оно кажется в контексте, в котором используется в монографии, вполне отвечающим содержанию. По мнению авторов, интуитивные методы в географическом прогнозе сроком в 20—25 лет будут в течение достаточно продолжительного времени играть заметную роль.

Среди аналитических методов выделяются две подгруппы — статистические и аналитические методы. В обоих случаях делается акцент на необходимость обязательного деления географических процессов на стационарные и нестационарные, так как от этого зависят и выбор модели, и набор, и последовательность прогнозных операций. В главе IV имеются разделы, в которых описаны простые приемы моделирования. Этими приемами читатель может воспользоваться самостоятельно. В описании более сложных приемов подчеркиваются лишь идея и те основания, которые нужны для моделирования. Эти разделы доступны математически подготовленному читателю. Во всех случаях авторы подчеркивали важность анализа на логическом уровне, который должен всегда предшествовать количественному анализу и служить основанием для оценки полученных результатов.



## СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

"Когда я стал размышлять, ... то понял, как много принимал я на веру такого, чего вовсе не видал, опираясь на свидетельства других, например, сколь многому верил в истории народов, мест и городов, сколько доверял друзьям и врачам, как вообще считал обязанностью верить людям, ибо без этой веры не могло бы существовать и самое человеческое общество".

*Аврелий Августин*

## 1.1. Порядок рассмотрения состояния проблемы

Комплексное географическое прогнозирование как фундаментальное научное направление возникло сравнительно недавно. И по этому вопросу пока нет ни одного монографического исследования, охватывающего всю проблему в целом. В немногочисленных публикациях обсуждаются самые общие вопросы, позволяющие увидеть лишь подходы к проблеме, ее методологические и методические основания. Наряду с этим уже имеется опыт составления прогнозов в частных географических науках, и прежде всего в метеорологии, климатологии и гидрологии. В указанных географических науках определена процедура прогнозирования, созданы руководства и учебные пособия, имеется государственная служба — система учреждений, составляющих прогнозы, определен круг хозяйственных и государственных учреждений — потребителей прогнозов. На основании прогнозов принимаются те или иные решения.

Некоторые достижения в области составления прогнозов имеет и экология. Для географии может быть полезен опыт прогностики, в особенности той ее части, которая занимается изучением возможностей прогнозирования научно-технического прогресса. Поэтому обзор литературы по существующим методам географического прогнозирования целесообразно проводить в следующей последовательности: сначала надо рассмотреть состояние дел в области комплексного географического прогнозирования, затем сравнительно кратко остановиться на методах прогнозирования в частных географических науках и экологии и, наконец, установить связь имеющейся в этой области идеологии с общей концепцией прогностики, что позволит определить и собственный путь исследований в указанной проблеме.

## 1.2. Комплексное географическое прогнозирование

1.2.1. Перечень обсуждаемых вопросов  
и программные статьи

По вопросам комплексного географического прогнозирования опубликовано уже несколько десятков статей, вышли в свет специальные сборники, состоялся обмен мнениями на всесоюзных конференциях и международ-

ных форумах. Опубликованные работы отличаются друг от друга постановкой задач, а также по широте и глубине проработки материалов. Однако некоторые аспекты проблемы наиболее часто повторяются, и, вероятно, именно они заслуживают обсуждения в первую очередь. Среди этих вопросов наиболее важными являются определение понятия "географический прогноз", соотношение прогнозирования и планирования, выделение объекта и предмета прогнозирования, соотношение комплексного географического и отраслевого прогнозирования и некоторые другие. Это те вопросы, которые затрагивают сущность географического прогнозирования.

Кроме того, в различных статьях в той или иной последовательности обсуждаются некоторые проблемы теории географии, без решения которых создание системы географического прогнозирования невозможно. Обычно при этом многие положения повторяются, различия мнений нередко почти неуловимы, поэтому их скорее можно отнести к различиям "в словах, а не в мыслях". В числе этих проблем чаще других называют: а) выбор масштабов времени и определение пространственно-временных соотношений; б) преодоление барьера многомерности; в) поиск устойчивых связей и причинно обусловленных цепочек (последовательностей событий). Несколько более самостоятельное значение имеют вопросы, связанные с выбором методов прогнозирования, с определением точности прогнозирования и цели.

Из большой совокупности статей можно выделить некоторые серии, принадлежащие одному или группе авторов. В течение последнего десятилетия нередко один и тот же автор неоднократно возвращался к прогнозно-географической тематике. Мы говорим "возвращался" потому, что в это время выходили из печати работы того же ученого на совершенно иные темы. Очень часто эти серии статей по широте поставленных в них вопросов являются программными в области прогнозирования. Выбор этих работ из всей совокупности опубликованных по этой тематике книг не прост и, несомненно, субъективен. Нам кажется, что наиболее полно проблема географического прогнозирования рассмотрена в работах М.А. Глазвской, Т.В. Звонковой, К.К. Маркова, Ю.Г. Саушкина и В.Б. Сочавы.

Первая статья по проблемам географического прогнозирования в Советском Союзе вышла в 1967 г. Ее автор — Ю.Г. Саушкин. По своему названию ("Прогноз в экономической географии") эта статья, казалось бы, посвящена отраслевому — экономико-географическому прогнозу, но по существу в ней ставятся задачи комплексного географического прогнозирования. В статье дано определение понятия "прогноз", высказаны суждения о значении прогноза для развития производительных сил нашей страны, анализируется соотношение прогнозирования и планирования, подчеркивается важность учета взаимодействия общества с географической средой, описывается связь отраслевых и комплексных прогнозов.

В 1968 г. в статье "Географические прогнозы" Ю.Г. Саушкин возвращается к этой проблеме. Он обращает внимание читателя на то, что географическая среда — это система природных комплексов (гео-



система по В.Б. Сочаве), измененная трудом и жизнедеятельностью человеческого общества. Поэтому от прогноза требуется не только предвидение изменений техники, экономики, социального развития, но и путей развития геосреды, характера взаимодействия геосреды и общества, выяснение "узких мест" обмена веществ между человеком и природой. По мнению Ю.Г. Саушкина, прогнозирование тесно связано с районированием. Он выделяет пять последовательных звеньев прогнозирования: 1) выявление спонтанного развития природы (важно установить циклы, ритмы, тенденции и скорости течения процессов); 2) установление тенденции развития природы, измененной человеком; 3) прогноз дальнейшего освоения, использования, охраны, истощения, восстановления и целенаправленного изменения природных ресурсов, условий жизни и труда людей; 4) прогноз роли измененной геосреды в жизни и труде человека, в его здоровье, отдыхе, в его духовном богатстве; 5) прогноз будущего при разных вариантах использования изменяемой человеком среды. Ю.Г. Саушкин считает, что особенно важны прогнозы на 2000 г. В статье выделены первоочередные задачи прогнозирования и дана схематическая карта состояния территориально-промышленных комплексов СССР на 2000 г. На карте выделено 30 таких районов. В приложенной к карте таблице Ю.Г. Саушкин при помощи балльной оценки прогнозирует возможности использования природных ресурсов, уровень развития промышленности и сельского хозяйства. Такая карта, в свою очередь, может служить основанием для составления карты состояния природной среды СССР в 2000 г.

В 1968 г. была опубликована статья Т.В. Звонковой и Ю.Г. Саушкина "Проблемы долгосрочного географического прогноза". Авторы статьи являются представителями физической и экономической географии. В статье определяются предпочтительные сроки упреждения для прогнозов в 15–30 лет. Это, по мнению авторов, важно для составления пяти-семилетних планов развития народного хозяйства. В статье также подчеркивается, что в географии можно выделить три главных и неразделенных аспекта прогнозов: 1) прогноз развития лица Земли и использования природных ресурсов обществом; 2) разработка прогнозных методов исследования и 3) прогноз развития географической науки. Конкретное прогнозирование должно основываться на сравнительно-географическом анализе пространства и времени. По мнению авторов, необходимо давать оценку эволюции трех главных факторов развития географической среды: гидроклиматического, антропогенного и ресурсного. Авторы считают, что общий географический прогноз сложнее частных географических прогнозов. Главным методом географического прогнозирования является метод определения "цепных реакций", которые возникают в географической среде без влияния и под влиянием человеческой деятельности. Они пишут, что при прогнозировании необходимо определять современные "цепные реакции" и реакции будущего. Прогноз должен быть многовариантным. При множестве действующих факторов прогноз не может быть не стохастическим.

В 1972 г. многие из положений указанной выше статьи получили дальнейшее развитие в статье Т.В. Звонковой "Принципы и методы региональ-

ного географического прогнозирования". Автор рассматривает прогноз как исследование явлений, которые еще не осуществились, но являются возможными. Прогноз, по ее мнению, раскрывает черты развития этих явлений, намечая оптимальные методы управления, обосновывает принятие решений и сроки достижения целей. Прогноз является частью методологии как науки о методах познания. В силу этого прогноз становится важным идеологическим орудием. Объектом прогнозирования должна быть территория, которую можно рассматривать как площадь для размещения производства, как объект эксплуатации природных ресурсов и как экологическую среду жизни. Для выбранной территории должны прогнозироваться, во-первых, предвидимые на расчетные сроки изменения природной среды, возникающие под влиянием хозяйственной деятельности человека, и, во-вторых, будущие условия работы производственных комплексов и жизни человека в измененной природной среде. Цель прогноза состоит не только в разработке концепции и системы методов географического прогнозирования, но и в совершенствовании географических основ перспективных и текущих народнохозяйственных планов. Т.В. Звонкова подчеркивает, что выбор территориальных единиц должен основываться на принципах системного подхода и современных представлениях о существовании сложных природно-технических систем. При прогнозировании необходимо тщательно анализировать масштаб времени изучаемых явлений. Различия в скоростях течения процессов в блоках системы и убыстрение всех процессов под воздействием развивающегося производства приводят к необходимости выбора неодинаковых подходов к разным частям системы. И наконец, выбор масштаба времени должен быть связан с расчетными сроками, а также с принятыми у нас в стране сроками долгосрочного планирования и прогнозирования. Очень важно прогнозирование на 1980—1985 гг. и на 2000 г. Возможны прогнозы и на промежуточные сроки. При прогнозировании, по мнению автора, необходима опора на устойчивые связи (пространственные, временные, структурные). При этом следует выбирать устойчивые временные единицы (ритмы, периоды, циклы). Методы прогнозирования должны определяться свойствами объектов исследования и целями прогноза. В качестве методов прогнозирования предполагается использование методов общей научной прогностики, которые можно объединить в крупные группы — экстраполяции, экспертных оценок и моделирования. Т.В. Звонкова видит большие трудности, возникающие при прогнозировании, и выделяет ряд проблем, анализирует ряд наиболее употребляемых методов, а также определяет последовательность и содержание работ по региональному географическому прогнозированию.

В 1975 г. в Болгарии была опубликована еще одна статья Т.В. Звонковой по вопросам географического прогнозирования. Статья посвящена методам географических прогнозов. Трудности прогнозирования в географии автор связывает с множественностью целевых назначений и неразработанностью методики. На основании работ, проведенных на географическом факультете Московского университета, прогнозно-географические исследования разделяются ею на три этапа: программный, диагностический и прогностический. На первом этапе составляется план исследова-



ний и выбирается общая система методов, которая зависит от цели и объекта прогнозирования. Цель прогнозирования заключается в том, чтобы определить возможные изменения природной среды производственной деятельностью человека. Программа работ должна быть направлена: 1) на определение общих закономерностей развития природной среды и нарушений ее состояния; 2) на разработку прогнозных вариантов изменений природной среды на базе экономических прогнозов; 3) на обоснование системы природопользования и повышения устойчивости и совершенства среды.

Последняя задача, по нашему мнению, вряд ли может быть отнесена к прогнозной. Это скорее уже управление природной средой или создание природной среды с заданными качествами. Управление как более сложный круг задач географии может быть решено лишь после успешного решения задач прогнозирования.

Т.В. Звонкова обращает внимание на то, что методология прогнозирования при всем различии конкретных методов должна быть ориентирована на системный подход. При прогнозно-географических исследованиях, по ее мнению, должны быть определены три главных прогностических признака: 1) устойчивость развития и наследования природных элементов и процессов природной средой и ландшафтом; 2) продуктивность и кругооборот веществ; 3) морфологическая структура ландшафта. Т.В. Звонкова видит главные различия между прогнозированием естественного развития и развития при антропогенных воздействиях в том, что при последнем исследователь обязан ориентироваться не на динамические факторы развития, а на медленно меняющиеся, относительно консервативные. Большое внимание в работе уделяется методам прогнозирования: палеогеографическому (методу временных рядов), ландшафтно-генетическим рядам, экстраполяции и интерполяции, интерпретации и индикации. В статье обращается внимание на относительно большую устойчивость относительно крупных элементов природной среды — ландшафтов и урочищ — по сравнению с фациями и элементарными природно-территориальными комплексами. Т.В. Звонкова считает, что прогноз — это особая форма познания. При прогнозировании предмет исследования изучается с точки зрения потенциальных особенностей ландшафта. Она пишет о малой информационной обеспеченности прогнозных работ и считает основными для прогнозирования логические и эвристические методы, а также методы экспертиз и моделирования. Автор говорит о необходимости организации специальных исследований — системы срочных наблюдений на станциях и, возможно, системы мониторинга.

В 1976 г. Ю.Г. Саушкин вновь обращается к проблеме географического прогноза, на этот раз в курсе лекций по "Истории и методологии географической науки". Географическому прогнозу посвящена специальная (девятнадцатая) лекция. Здесь снова дается определение понятия "географический прогноз"<sup>1</sup>, выясняются соотношения между географическим прогнозом и другими прогнозами, подчеркивается важность комплексного прогноза для развития географии, выделяется семь

<sup>1</sup> Ю.Г. Саушкин присоединяется к определению П.Я. Бакланова [1973].



основных принципов прогностики, которым должен следовать географический прогноз: 1) исторический, или генетический (необходимы научные представления обо всем историческом процессе становления предмета вплоть до сегодняшнего дня, тогда отчетливее будут видны и тенденции развития); 2) принцип анализа зародышевых форм; 3) принцип сравнений, аналогий, сопоставлений; 4) принцип инерционности, или устойчивости направления темпов структур исторического процесса; 5) принцип ассоциативности, т.е. прогнозирования данного объекта в его взаимодействии с другими; 6) принцип неопределенности, или многовариантности (прогноз не может быть жестким, одновариантным); 7) принцип непрерывности прогнозирования (прогнозы требуют постоянного уточнения). Как видно из перечисленных принципов, это скорее не принципы, а некоторые основания, которые имеют то методологическое, то методическое значение. Некоторые из них повторяют или дополняют друг друга. Так, исторический принцип, принцип анализа зародышевых форм и принцип инерционности развития структур в известном смысле являются уточнением друг друга. А принцип ассоциативности и принцип сравнений, аналогий, сопоставлений — это уже скорее методы, чем принципы прогнозирования. В лекции перечислены методы прогнозирования: экспертные оценки, составление логических схем, методы экстраполяции, моделирования и типологии. Выделение последних в особую группу не очень убедительно, так как они явно повторяют методы составления логических схем. Ю.Г. Саушкин считает, что круг проблем географического прогнозирования должен соответствовать современному содержанию научных географических исследований. Подчеркивается идейное значение прогнозов в системе идейного противоборства капиталистической и социалистической систем.

В 1977 г. вышла монография "Региональный географический прогноз" под редакцией Т.В. Звонковой, Ю.Г. Саушкина и Е.Д. Смирновой. Эта монография интересна тем, что она является первой специальной работой на региональную прогнозно-географическую тему. Она интересна и потому, что в числе ее редакторов — пионеры постановки этой проблемы у нас в Советском Союзе. Важно также и то, что объектом исследования является центральная часть Русской равнины — территория, давно уже испытывающая интенсивное воздействие человека. Монография состоит из трех глав, в которых описываются природа, хозяйство и тенденции изменения природной среды. В ней собран и обобщен новый материал, приводятся сведения об использовании природных ресурсов и земельных фондов территории, опубликованы интересные карты, много табличного и цифрового материала. Прогноз изменений природной среды дается через оценку современного ее состояния. Те части работы, которые нацелены на определение перспектив, написаны осторожно, в виде суждений отдельных экспертов. К сожалению, в монографии четко не определены объекты прогнозирования, прогнозный срок и методы составления прогнозов.

Большая заслуга в разработке теории географического прогноза принадлежит К.К. Маркову. В 1968—1970 гг. он руководил комиссией по выработке основных направлений в прогнозно-географических исследова-

ниях в Московском университете. В своих публикациях он неоднократно обращался к проблемам географического прогноза.

В 1973 г. в статье "География сегодня и завтра" К.К. Марков выделяет три главных направления: районная география, география сквозная (и компонентная) и географический прогноз. Определяя значение каждого из них, К.К. Марков пишет, что географический прогноз — это цель нашей науки и что в недалеком прошлом прогноз не представлял главной цели исследования. Изменения цели он связывает с научно-технической революцией. Он обращает внимание на то, что географический прогноз должен быть комплексным. В статье подчеркивается, что спонтанное развитие географической оболочки происходит независимо от деятельности человека и неодинаково в различных природных условиях. Но использование природных условий и ресурсов неодинаково в разной социально-политической обстановке. Поэтому в географическом прогнозировании должно быть политико-экономико-географическое начало. В пределах каждой из стран, особенно крупных, по мнению К.К. Маркова, должны быть свои прогностические районы. Заканчивая этот раздел, К.К. Марков пишет, что "составление прогноза географической природной среды — такова новая, наиболее острая задача географической науки". В 1973 г. в небольшой статье, написанной совместно с П.А. Каплиным, А.А. Свиточем и П.М. Борисовым, он обращает внимание на необходимость выяснения для целей прогнозирования как общих, так и конкретных тенденций и закономерностей развития ландшафтов. В статье говорится о необходимости изучения важнейших событий недалекого географического прошлого (плейстоцена и голоцена). В качестве объектов и методов исследования предлагается тщательное изучение опорных разрезов комплексным методом палеогеографического анализа. Эти же положения более широко освещены в статье К.К. Маркова, П.А. Каплина и А.А. Свиточа [1974]. Здесь обращается внимание на три основных вида изменений природы: 1) собственно природные ("в чистом виде"); 2) изменения, вызванные "нецелесообразными" действиями человека; 3) специальные действия человека, нацеленные на планомерное изменение природы.

Для прогнозирования рекомендуется сочетание методов палеогеографии и исторической географии. В качестве осложнений в решении проблемы авторы видят неполноту и отсутствие непрерывности палеогеографической информации. Для компенсации этих недостатков они рекомендуют сопряженный палеогеографический анализ разрезов, для которого разработано около 30 самостоятельных методов анализа вещественного состава. В качестве методических приемов прогноза обращается внимание на возможность использования циклически направленных изменений природы и палеогеографических аналогий. Последние могут служить основанием и для оценки возможных последствий осуществления крупных проектов преобразования природы. В качестве такой аналогии на случай резких похолоданий климата предлагается холодная эпоха, существовавшая 20 000 лет назад, а в качестве аналога времени направленного потепления климата — эпоха, имевшая место 1000 лет назад (потепление в средние века).



Реконструкция обстановки верхнего плейстоцена—голоцена выполнена учениками К.К. Маркова — И.Г. Авенариус, М.В. Муратовой и И.И. Спасской [1976].

В 1975 г. К.К. Марков совместно с Г.М. Игнатьевым, В.Л. Лебедевым, А.И. Орловым и И.А. Суевой в статье, раскрывающей основное содержание и методологию курса ("Физическая география мира"), выделяет в качестве самостоятельной проблемы в географии проблему географического прогноза. Подчеркивая важность этой проблемы, авторы статьи обращают внимание на важность палеогеографического пути исследования в географии. В статье указываются также три типа изменения природы, подлежащие изучению (спонтанный путь развития природы; путь, вызванный нецеленаправленными действиями человека; целенаправленные изменения природы).

В 1976 г. в статье о современной географии К.К. Марков вновь выделяет географический прогноз как важнейшую географическую проблему. Подчеркивается важность изучения связей меняющейся природы с климатом: "Во многих случаях ученым удается установить, что в течение прошлого времени наблюдались изменения природы, вызванные, к примеру, потеплением, похолоданием, увлажнением, усыханием климата. Но ученые обычно не знают причины изменения климата на протяжении последних столетий или тысячелетий, а без этих знаний невозможно научное предвидение" [Марков, 1976, с. 10].

Выступая в 1973 г. во Владивостоке на V научном совещании географов Сибири и Дальнего Востока, В.Б. Сочава определил прогнозирование как новую форму научной деятельности географов, которая направляет их внимание к теории географии, количественным методам исследования, сбору и передаче большого объема географической информации. В.Б. Сочава разделяет проблемы глобальных и локальных географических прогнозов. Он считает, что географические прогнозы особенно важны для районов с опережающими темпами развития. Большое значение придается динамическим концепциям географии. Изучение природных режимов и динамических состояний географических явлений связывается им с системным анализом. В.Б. Сочава пишет, что для географических систем нужна своя особая теория. В тезисах указываются три наиболее предпочтительных срока для составления прогнозов: 1990, 2020, 2070 гг. Географические прогнозы должны строиться на основе учета перспектив научно-технического прогресса. Организационная работа по географическому прогнозированию должна быть сосредоточена в русле прикладной географии.

В 1974 г. основные положения доклада В.Б. Сочавы стали темой для большой статьи о географическом прогнозировании, имеющей также программное значение [Сочава, 1974а]. В.Б. Сочава видит в географическом прогнозировании важнейшие направления современной географии. Он связывает большие надежды с географическим прогнозом как средством решения многих теоретических проблем географии и охраны природы. По его мнению, географический прогноз — это разработка представлений о природных географических системах будущего, об их коренных свойствах и переменных состояниях. Он видит необходимость

сопряженного развития частных и комплексных прогнозов. Большое значение В.Б. Сочава придает понятию об инварианте геосистем, относительно устойчивой их части, а также изучению природных режимов и различных текущих биологических и биохимических превращений. Он считает также, что географический прогноз должен опираться на системный анализ природных образований, на обработку специальных вопросов картографирования. Большое внимание уделяется им вопросам подготовки кадров. В.Б. Сочава считает, что для составления прогнозов и осуществления контроля за техническими проектами потребуются географы-эксперты, обладающие инженерными знаниями. По его мнению, в будущем должна измениться и сама география. Она станет более математизированной и экологизированной.

В 1975 г. в качестве материала к VI съезду Географического общества СССР вышла из печати брошюра В.Б. Сочавы "Учение о геосистемах". Десятая глава этой брошюры посвящена предвидению динамики геосистем (географическим прогнозам). Автор придает большое значение проблеме прогнозов. Он обращает внимание на то, что эта проблема имеет несколько аспектов. Первый из них касается изменений инварианта геосистем или их эволюции, что находит свое отражение за небольшой отрезок времени в изменении структуры фаций, а за более длительный — в облике геомов и геомеров высшего порядка. Одновременно эволюционируют и геохоры. Особенно значительны изменения малых по размерам комплексов топологического уровня; медленнее эволюционируют региональные и особенно планетарные геокомплексы. Но это проблемы палеогеографии.

В рамках проблемы прогнозов В.Б. Сочава интересуется текущей динамикой геосистем при постоянном инварианте. Причиной этой динамики является прямое и косвенное воздействие человека. Географические прогнозы представляются как разработка представлений о природных географических системах будущего. Эти прогнозы — необходимое условие проектирования рационального природопользования, охраны природы и оптимизации окружающей человека среды. Кроме собственно географических прогнозов, географы могут принимать участие в создании других прогнозов, например социально-экономических, где нужен учет влияния окружающей среды. В.Б. Сочава считает необходимым осуществление координации между отраслевыми и комплексными географическими прогнозами; надо составлять их параллельно. По его мнению, географы в настоящее время не совсем подготовлены к составлению таких прогнозов из-за малой разработанности учения о геосистемах. Они должны глубже понимать существо связей между компонентами природы, уметь их моделировать. Прогнозы должны иметь характер экспертиз, вскрывающих возможные нежелательные последствия. В соответствии с этим должно улучшаться проектирование использования природных ресурсов. Важным моментом рассматриваемой работы является то обстоятельство, что В.Б. Сочава обращает внимание на иерархическую организацию территориальных природных и производственных систем и поэтому считает, что для каждого уровня должен составляться свой собственный географический прогноз. Он также считает, что в том будущем, которое прогнозиру-



ется, должен быть выбран интервал времени в 10 лет и что прогнозы следует составлять не только на определенный рубеж (например 1990 г.), но и на интервал времени (например 1990–2000 гг.). Прогнозировать следует не только структуру геосистем, но и их динамические тенденции, т.е. прогноз должен быть динамическим. Он подчеркивает важность картографического метода при прогнозировании и сравнивает его с моделированием. Автор пишет о том, что территорию, на которую дается прогноз, следует обеспечить серией сопряженных карт отраслевого и комплексного географического содержания, а также производственными картами, раскрывающими взаимосвязи компонентов (корреляционные и др.). Он говорит о необходимости расширения исследований, связанных с составлением прогнозов. Особое место В.Б. Сочава отводит экспериментальным работам, отсутствие которых тормозит составление прогнозов.

В 1976 г. в сборнике "Актуальные вопросы современной прикладной географии" В.Б. Сочава вновь возвращается к вопросу о важности географического прогнозирования. Он выделяет два аспекта географических прогнозов: 1) прогноз по проблемам различных географических дисциплин; 2) прогноз о геосистемах будущего, их структуре и функционировании. Он пишет о необходимости согласования географических прогнозов с территориально-экологическими и отраслевыми прогнозами. Документом прогноза должна являться экспертиза, выявляющая достоинства и недостатки проектных и плановых решений. По мнению В.Б. Сочава, должна быть создана географическая проектно-экспертная служба, включающая в себя учреждения по сбору систематической географической информации (словесной, числовой, графической, картографической, результатов дистанционных аэрокосмических наблюдений). Еще раз подчеркивается необходимость подготовки на географических факультетах специальных кадров.

Важный вклад в развитие теории географического прогнозирования вносят две статьи, опубликованные в 1972 г. [Глазовская и др., 1972; Глазовская, 1972]. Статья М.А. Глазовской с соавторами посвящена изучению первичной продуктивности лесных биогеоценозов в связи с их прогнозированием. В статье обобщается трехлетний опыт работ на Валдае. Выделяются четыре основных фактора, определяющие направление во времени географических систем: 1) общее изменение климата, связанное как с естественными циклами, так и с техногенезом; 2) изменение гидрологического режима почв в связи с искусственным или естественным повышением или понижением уровня почвенно-грунтовых вод; 3) изменение системы использования лесных земель (различного рода рубки, лесонасаждения и интродукция новых древесных пород, изменение системы ухода за лесными культурами и т.д.); 4) усиливающееся влияние поступления тех или иных техногенных химических элементов и их соединений. Авторы статьи предлагают выявлять биогеоценозы, одинаково реагирующие на однотипные внешние воздействия. Соответственно выделяются группы биогеоценозов — климатобиомы, гидробиомы, антропобиомы и технобиомы. Такое разделение нам кажется излишним, так как если исходные биогеоценозы близки, то следует думать, что они дадут близкие ответные реакции на сходные внешние воздействия.

В статье приводятся интересные результаты наблюдений, примеры удачного использования пространственно-временных рядов для прогнозирования. Авторы получили важные данные о наличии разнокачественных связей изменения годового прироста в связи с короткопериодическими изменениями климата. На одинаковые изменения погодно-климатических условий в зависимости от типа местообитаний по-разному реагируют растения одного и того же вида. Неоднозначна реакция и целых ярусов лесной растительности. Получены интересные сведения об устойчивости биогеоценозов в связи с различными антропогенными воздействиями. В статье дана довольно полная программа прогнозно-географических исследований.

В статье М.А. Глазовской [1972], посвященной технобиогемам, можно видеть развитие тех же идей, но главное внимание уже сосредоточено на оценке реакции различных природных объектов на техногенные нагрузки для всей территории нашей страны. Четко проводится мысль о том, что судьба твердых, жидких и газообразных продуктов техногенеза, поступающих на поверхность растений, в почвы, водоемы и приземную атмосферу, зависит как от природы самих техногенных продуктов, так и в значительной мере от той ландшафтно-геохимической обстановки, в которую они попадают. Ландшафтно-геохимические системы объединяются в одну технобиогему в том случае, если они обладают одинаковой геохимической устойчивостью, способностью к саморегуляции геохимических процессов и очищению от продуктов техногенеза. Технобиогемы объединяются в типологические группы различного ранга. Далее в статье рассматриваются скорость химических превращений минеральных и органических веществ в ландшафтах в соответствии с энергетическим балансом почвообразования по В.Р. Волобуеву и интенсивность выноса продуктов техногенеза за пределы данной ландшафтно-геохимической системы водными и воздушными потоками. Статья представляет собой интересный опыт экспертной (ландшафтно-геохимической) оценки разных территорий СССР с точки зрения их реакции на различные виды техногенеза. Не вызывает сомнений прогнозная составляющая проведенного исследования. Интересны цифровой и табличный материалы, а также специальные карты типологических групп технобиогем.

К числу программных работ можно отнести серию публикаций А.П. Капицы и Ю.Г. Симонова, которые вместе с многочисленным коллективом географов проводили специальные прогнозно-географические исследования на Дальнем Востоке.

В октябре 1973 г. на V научном совещании географов Сибири и Дальнего Востока А.П. Капицей и Ю.Г. Симоновым был сделан доклад "Основные проблемы регионального географического прогноза". Он был положен в основу статьи, опубликованной в Докладах Института географии Сибири и Дальнего Востока [Капица, Симонов, 1974]. В статье обращается внимание на фундаментальный характер теории географического прогнозирования. Продолжая традиционные оценочные работы, географы при составлении прогноза должны исследовать два основных вопроса: как человек воздействует на природу и каким образом из-



меняемая человеком природа может влиять на жизнь человека и на производство в будущем. Делается предположение о том, что с развитием прогнозирования в географии могут возникнуть новые задачи. Среди последних подробно обсуждаются соотношение времени и пространства при составлении географических прогнозов, соизмеримость природных и экономических явлений, содержание понятия "географический прогноз", пути развития его теории и классификация прогнозов. В заключение предложен вариант методики крупномасштабного прогноза. А.П. Капица и Ю.Г. Симонов считают, что при прогнозировании следует иметь в виду несколько аспектов времени: время упреждения (период, отделяющий нас от прогнозируемого периода в будущем), минимальное характерное время географического прогнозирования (тот отрезок времени, на который приходится прогноз в будущем, — сутки, месяц, год, пятилетие), характерное время объекта (то время, которое требуется для изменения его структуры при процессах типа "сигнал — отклик"). При составлении прогноза все эти три аспекта должны быть учтены и скоординированы между собой и между пространственными размерами объекта.

Анализируя пространственные соотношения природных и производственных территориальных комплексов, авторы выделяют пять уровней организации территории, отличающихся друг от друга по своим размерам, сложности устройства и скорости ответных реакций на внешнее воздействие. В разделе, посвященном методическим проблемам, авторы статьи подчеркивают, что их главное внимание было направлено на прогнозирование состояния природных территориальных комплексов. При анализе их с позиции геомасс А.П. Капица и Ю.Г. Симонов выделяют в каждом из комплексов четыре типа: 1) грунтовую массу, 2) водную, 3) воздушную, 4) биомассу. В зависимости от размеров природного комплекса, его положения в иерархии природных комплексов человек неодинаково воздействует на каждый из них. Так, если иметь в виду, что климат территории — это характеристика состояний воздушной массы на достаточно длительном отрезке времени, то возможности направленного воздействия на климат всей Земли остаются весьма ограниченными, в то время как возможность изменения (мелиорации) климата локальных территорий больших затруднений не вызывает. Анализируя изменчивость различных географических масс на разных уровнях организации территории, авторы приходят к выводу, что на уровне территориальных единиц, равных области, наиболее четкая реакция до 2000 г. возможна у растительных масс. Поэтому при составлении прогноза для крупно- и среднемасштабных территорий в центре внимания географа-прогнозиста должно быть изменение растительности. Такое изменение можно рассматривать и как индикатор перестройки структуры всего комплекса в целом. Именно эта мысль положена в основу методики крупномасштабного прогнозирования, о которой говорилось выше.

Этот же доклад был прочитан на Втором национальном конгрессе болгарских географов в Варне в октябре 1973 г. и был издан в материалах этого конгресса в 1975 г. В болгарской публикации по сравнению с советской больше места отводится конкретному прогнозированию, приводят-

ся ряды сукцессий и приемы их кодирования, а также кодирование воздействий человека и ответных реакций растительности. В 1974 г. этот же доклад издан на венгерском языке.

В 1976 г. была опубликована статья Ю.Г. Симонова "Проблемы географического прогноза", в которой анализируются формы суждения о будущем, сравнивается планирование и прогнозирование, рассматривается сущность географического прогнозирования, говорится о трудностях при составлении прогноза. Более подробно анализируется проблема выбора оптимальных методов прогнозирования, проблема пространства и времени в географических прогнозах и проблема установления сущности взаимодействия географических структур.

В 1976 г. была издана еще одна статья Ю.Г. Симонова по прогнозной проблематике — "Модели географического взаимодействия для прогнозирования эволюции окружающей среды", в которой определяется сущность географического взаимодействия и подробно анализируются логические, статистические, информационные и кинетические модели.

На XXIII Международном географическом конгрессе в Москве (1976 г.) коллективом географов МГУ и Тихоокеанского института географии ДВНЦ АН СССР, возглавляемым А.П. Капицей и Ю.Г. Симоновым, был представлен доклад «Региональный географический прогноз влияния человека как основание для оптимизации системы "человек—окружающая среда"»). В нем подчеркивались трудности прогнозирования, вероятностный характер прогнозов и приведены конкретные примеры географического прогнозирования для территории среднего Сихотэ-Алиня. Наконец, в 1978 г. была опубликована статья Ю.Г. Симонова совместно с И.И. Невяжским "Экспертные оценки при географическом прогнозировании", в которой главное внимание обращено на особое место карты в географических экспертных оценках.

### 1.2.2. Географический прогноз и его сущность

В настоящее время сложилось несколько видов суждений о будущем. Наиболее распространенными являются планирование и прогнозирование. Они связаны друг с другом, но между ними имеются и существенные различия. Планирование предполагает существование определенной цели, которую выдвигают, к которой стремятся, разрабатывая комплекс мероприятий, необходимых для достижения заданного уровня развития производства, науки, культуры, благосостояния народа. Планирование становится нормой нашей советской жизни, а план является законом. Плановый характер социалистической экономики предполагает разработку и осуществление перспективных, долгосрочных и текущих планов. За планированием следует организационная работа по обеспечению выполнения плана.

Планирование, целиком устремленное к достижению определенной цели, в значительной мере опирается на изучение уже сложившейся системы развития. Анализ прошлого и современного является базой для суждения о будущем. Прогноз основывается на утверждении, что законы развития явления установлены, и это позволяет думать, что в будущем нас



ожидает строго определенных этими законами уровень развития явления, который и предсказывается. Сравнивая прогнозные оценки с реальным состоянием, можно оценить, насколько нас устраивают сложившийся путь и темпы развития прогнозируемого процесса. После анализа причин и следствий можно приступить к планированию, прежде всего предупреждению нежелательных последствий и корректировке темпов роста и т.п. Прогноз в известной форме позволяет приготовиться к будущему. В этом смысле "прогноз прокладывает дорогу народнохозяйственному плану, опережает планирование" [Саушкин, 1967]. За составлением прогноза следует уточнение плана.

По мнению Ю.Г. Саушкина [1967], задачи прогноза значительно шире, чем задачи плана. Он охватывает и те стороны развития общества, которые не подлежат планированию. Прогноз менее конкретен, чем план, рассматривает разные варианты развития, помогает оценивать возможности разных путей и конечных решений. Обязательным условием возможности прогнозирования является сохранение во времени на весь прогнозный период некоторых тенденций развития общественных и природных явлений. Прогноз — это всегда экстраполяция из прошлого в будущее. Она возможна лишь при сохранении условий развития объекта и внутренних его особенностей. География уже давно оперирует различными видами прогноза — отраслевого или комплексного. Говоря о комплексных, или целостных, географических прогнозах, Ю.Г. Саушкин [1967] пишет, что в них главное внимание уделяется изучению тенденций развития всего комплекса географических условий. При этом необходимы взаимные дополнения и сложное взаимодействие между частными географическими прогнозами. По мнению В.М. Кравченко [1971], прогнозирование должно быть выделено в самостоятельное направление развития теории географической науки. Стало быть, у географического прогнозирования должны быть свой предмет, свои общие принципы, проблемы и методы их исследования.

Имеющиеся определения термина "географический прогноз" весьма многочисленны и противоречивы. Большинство исследователей не делают различия между самим понятием "прогноз" и "объектом географического прогнозирования". Понятие "прогноз" понимается как "разработка представлений" [Сочава, 1973], "операция предсказания" [Пузаченко, 1973], "формально содержательная оценка" [Червяков и др., 1973], "анализ или определение вероятных путей развития" [Саушкин, 1967; Кравченко, 1971], "многовариантная вероятностная схема возможного развития" [Negut, Silvin, 1972; Бакланов, 1973], "высказывания о путях развития" [Спектор, 1976]. Наконец, есть работы, в которых понятие "географический прогноз" заменяется определением объекта прогнозирования [Алексеев, 1973; Сергеев, 1973].

Слияние этих понятий в определениях вполне понятно, поскольку именно существо объекта делает прогноз специализированным (географическим, биологическим и др.). Тем не менее их разделение, с одной стороны, способствует увеличению точности и строгости самого определения, а с другой стороны, обращает внимание на выбранный объект прогнозирования.

Среди географов нет единой точки зрения в определении объекта прогнозирования. Можно выделить, по крайней мере две. Одни ученые считают, что прогнозирование направлено на описание природно-географических систем будущего, по мнению других, объектом прогнозирования является выявление тенденций в изменении природной среды, т.е. сам процесс развития. Нетрудно понять, что обе точки зрения тесно связаны одна с другой, так как без второй не может быть первой. Их различия лишь в виде "выходной продукции". Одни ученые предлагают получать лишь конечный кадр, в то время как другие считают важным просмотреть всю киноленту событий будущего. Может быть, в связи с этим следует возразить В.А. Червякову, Ю.П. Михайлову и В.И. Лайкину [1973] относительно их предположения о том, что прогноз имеет отношение и к восстановлению прошлого географических систем. Ведь само слово "прогноз" всегда нацелено на будущее, и вряд ли уместно использовать его для определения прошлого. В этом случае правильнее говорить о реконструкциях, о восстановлении, хотя чисто методические приемы для создания реконструкций и для прогнозов могут оказаться достаточно близкими. Не исключено, что может получить развитие прогнозирование из прошлого в настоящее — так называемый ретроспективный прогноз, что было бы существенным для оценки точности прогнозирования. Поэтому несколько более подробно мы остановимся на этой стороне вопроса в одной из следующих разделов монографии.

Наряду с объектом прогнозирования делаются попытки выделить и предмет прогнозирования. Необходимость этого неочевидна. Одни авторы [Звонкова, 1972; Капица, Симонов, 1973, 1974; Белов и др., 1973; и др.] называют объектом прогнозирования территорию; другие авторы [Саушкин, 1968; Кравченко, 1971; Сергеев, 1973; и др.] предлагают изучать в целях прогнозирования географическую среду; третьи видят объектом географического прогнозирования географические, природно-географические, социально-экономические и природные системы [Сочева, 1973; Червяков и др., 1973; Бакланов, 1973; Алексеев, 1973; Невяжский и др., 1974; Спектор, 1976; и др.]. Интересно определяет объект прогнозирования Т.В. Звонкова [1972], которая считает, что должны изучаться, "во-первых, предвидимые на расчетные сроки изменения природной среды под влиянием хозяйственной деятельности человека и, во-вторых, будущие условия работы и производственных комплексов в жизни человека в измененной среде".

В ряде работ, наряду с определением объекта прогноза большое внимание уделяется выбору наименьшей операционной единицы [Звонкова, 1972; Капица, Симонов, 1973; Спектор, 1976; и др.]. Большинство исследователей приходят к выводу, что в качестве таковой должны выступать сложные природно-технические системы, состоящие из блоков природного, технического и социального характера [Ретеюм и др., 1972; Звонкова, 1972, 1974; Дьяконов, 1973; 1974, 1975; Саушкин, 1974; Дончева, 1974а; б; и др.].



### 1.2.3. Основные проблемы географического прогнозирования

Как и следовало ожидать, различные исследователи каждый по-своему видят задачи, а также проблемы, связанные с географическим прогнозированием. Т.В. Звонкова выделяет в связи с прогнозированием в географии пять основных проблем: 1) выбор объекта прогнозирования; 2) выбор масштабов времени; 3) преодоление барьера многомерности; 4) поиск устойчивых связей; 5) выбор методов прогнозирования. Ю.Г. Симонов [1976б] добавляет к этому еще и определение сущности взаимодействия географических структур. Определение выбора проблем, связанных с географическим прогнозированием, еще не завершено. Следует думать, что по мере накопления опыта могут возникать малые и большие задачи, характер которых в настоящее время пока еще трудно представить.

О выборе объекта прогнозирования мы говорили выше. Вторая обсуждаемая проблема — это проблема *выбора масштаба времени*. Временные аспекты географического прогнозирования наиболее полно разбираются в статьях Т.В. Звонковой [1972], А.И. Дуванни [1973], А.Д. Арманда и В.О. Торгульяна [1974], А.П. Каницы и Ю.Г. Симонова [1974, 1975], В.А. Дергачева [1976], Ю.Г. Симонова [1976б] и И.Р. Спектора [1976].

А.И. Дуванни [1973] в своей работе "Системы времени и прогнозирование", подчеркивая важность в прогнозировании способа счета времени, имеющего крупное и самостоятельное значение, приходит к выводу о том, что при прогнозировании сложных процессов, проходящих в океанах (и в верхней атмосфере), можно добиться более высокой степени точности прогнозирования, если использовать для отсчета солнечно-лунное время. С помощью двумерного времени лучше описывать явления, в свойствах которых находит свое отражение взаимное расположение Солнца, Луны и Земли. Таковы приливные течения и сопряженные с ними процессы в океане.

В географическом прогнозе выбор отсчета времени должен быть обоснован. Может оказаться плодотворным применение многомерной шкалы времени, учитывающей многообразие взаимодействующих географических циклов. А.Д. Армаид и В.О. Торгульян [1974] вводят понятие "характерное время". Они называют "характерным временем" время, в течение которого в основном осуществляется переход системы в "равновесное или квазиравновесное" состояние, если эта система была выведена из него или возникла вновь. В теории систем это чаще называют временем релаксации. В нерелятивистской квантовой механике выделяют еще и время жизни системы. На разницу в масштабах характерных времен (в понимании А.Д. Арманда и В.О. Торгульяна) для физико-географических, гидроклиматических и экономико-географических объектов несколько ранее указывала Т.В. Звонкова [1972]. Называя эти различия масштабами времени, Т.В. Звонкова пишет, что масштабы времени изменяются от секунд до тысячелетий. При этом объективно существует соизмеримость времени развития разных процессов и пространственно-временных соотношений географических объектов, а также факт значительного ускорения всех технологических, производственных и соответственно природных процессов, что ставит в зависимость методы прогнозирования от рас-

четного срока (времени, на которое прогнозируется то или иное явление) и свойств объекта.

На важность сопоставления расчетных сроков прогноза с территориальным масштабом прогнозируемой системы указывают А.П. Капица и Ю. Г. Симонов [1974, 1975], В.А. Дергачев [1976], Ю.Г. Симонов [1976б], И.Р. Спектор [1976] и др. В работах А.П. Капицы и Ю.Г. Симонова [1974, 1975], И.Р. Спектора [1976] предлагается несколько аспектов выбора масштаба времени, которыми необходимо оперировать при географическом прогнозировании. Необходимо прежде всего выделять отрезок времени, отделяющий нас от того будущего, которое мы прогнозируем (расчетный срок по Т.В. Звонковой, время упреждения по И.Р. Спектору). Второй аспект заключается в том, что необходимо выбрать отрезок времени в том будущем, для которого определяется состояние географического объекта. Можно предсказывать события, которые произойдут, к примеру, 1 января 2000 г.; можно прогнозировать, что будет происходить в марте того же года или в течение летнего сезона, наконец, таким отрезком может быть целый год или пятилетие. Понятно, что степень подробности при описании каждого из выделенных периодов будет неодинаковой (вместе с этим и мера точности и ответственности этих прогнозов будет различной). Выбранный в соответствии с целью прогноза отрезок времени предлагается называть минимальным характерным временем прогнозирования. Третьим аспектом является время приспособления системы к меняющимся условиям (характерное время А.Д. Арманда и В.О. Торгульяна, время функционирования по И.Р. Спектору, внутреннее историческое время системы по И.В. Блаубергу и Э.Г. Юдину [1973]).

Среди круга проблем обсуждаются также проблемы пространственно-временной соизмеримости природных и социально-экономических структур. А.П. Капица и Ю.Г. Симонов [1974, 1975] выделяют пять уровней структур, соизмеримых друг с другом. Предполагается, что каждому уровню соответствует наиболее оптимальный расчетный срок прогнозирования. Это положение наиболее подробно развернуто в статье И.Р. Спектора [1976]. В.А. Дергачев [1976] для каждой территории предлагает выделять определенную последовательность "освоения территории". Каждый из периодов образует как бы "слой освоения". Для каждого слоя имеется определенная продолжительность функционирования территории. Каждый слой охватывает некоторую площадь.

Проблема преодоления барьера многомерности при географическом прогнозировании, выдвинутая Т.В. Звонковой [1972], к сожалению, полностью ею не раскрыта. Эту проблему можно решать, применяя декомпозиционные приемы в одном случае и агрегирование — в другом. Используя "декомпозиционные приемы, т.е. разбиение целого на части, которые проще изучать, просчитывать", можно использовать простые показатели, отражающие некую сумму прогнозных факторов, агрегирование предполагает возможность объединения нескольких показателей в один. Многомерность в рассуждениях Т.В. Звонковой, по-видимому, понимается как множество параметров, отражающих поведение целого и отдельных его частей.

Проблема поиска устойчивых связей проявляется при сопоставлении



сущности взаимосвязей, взаимозависимостей, которые возникают между различными объектами и процессами природы и общественного производства, системы разнокачественных процессов [Саушкин, 1968]. Раскрыть эти устойчивые связи — значит наметить цепочку последовательных реакций, определить те звенья географических комплексов, которые в первую очередь примут на себя то или иное воздействие человека, претерпят существенное изменение и, в свою очередь, явятся причиной дальнейших преобразований структуры географических комплексов. Говоря о поисках связи, Т.В. Звонкова [1972] отмечает эффективность для прогноза высокой степени тесноты связи между "факторами и объектами прогноза", базирующейся на колебательном, циклическом характере природных систем.

Проблема раскрытия сущности географического взаимодействия, выдвинутая Ю.Г. Симоновым [1974б], заключается в необходимости более глубокого понимания взаимных влияний элементов в сложных географических комплексах. Обычно поиски связей между ними останавливаются на корреляции, в то время как в корреляционном анализе, как известно, не обязательно присутствует физический смысл (механизм явления), но есть взаимная сопряженность. Без отыскания физических и химических закономерностей невозможно описание, а стало быть, и прогнозирование географических событий.

#### 1.2.4. Методы географического прогнозирования

При географическом прогнозировании, опыты которого пока немногочисленны, обычно исходят из того, что накоплено наукой на предыдущем этапе ее развития. Наблюдая воздействие человека на окружающую среду, используя принципы актуализма и аналогии, географы строят заключение о будущем. Иногда это представляют в виде определения тенденций, на фоне которых проводится качественный анализ современных явлений и прогноз событий на будущее. Поскольку географические прогнозы пока редки, то обычно обсуждается набор методов, которые можно использовать при прогнозировании. Так, Ю.Г. Саушкин [1967] подчеркивает необходимость анализа "цепных связей" на базе анализа энергопроизводственных циклов. По существу этот метод близок к методам морфологического членения, используемого в прогностике. Ю.Г. Саушкин считает, что прогноз должен быть многовариантным, или вероятностным, и подчеркивает, что при географическом прогнозировании необходимо использовать моделирование и картографический метод.

Т.В. Звонкова [1972] предлагает использовать метод поисков устойчивых связей, метод анализа ритмов, периодов, циклов, методы экстраполяции, экспертных оценок и моделирования. Выбор того или иного метода зависит и от свойств изучаемых объектов. Методы экстраполяции применимы для прогнозов на 15–20 лет и больший период. Привычный для географии сравнительный метод переживает вторую молодость и вполне может послужить как для качественных, так и для количественных предсказаний. В обычных для географии оценках имеется "прогнозная" составляющая, когда они нацелены на будущее.

По мнению В.Б. Сочавы [1974а], на одно из первых мест выдвигается картографический метод прогнозирования. Для целей географического прогнозирования должны быть созданы специальные серии тематических сопряженных карт, в которых наряду с обычными инвентаризационными картами должны быть карты, показывающие различные связи (регрессии) и динамические тенденции. Однако географам еще предстоит много поработать в этом направлении.

Среди всего многообразия прогностических методов наибольшее признание получили методы качественного анализа явлений: картографический [Богоявленский, 1973; Гвоздик, 1973; Дмитриенко, 1973; Золовский и др., 1973; Рюмин, 1973; Рятин и др., 1973; Червяков и др., 1973; Кошкарев, 1976; Агафонов, 1973, 1975; и др.], палеогеографический [Боярская, Муратова, 1973, 1976; Возовик, Спасская, 1973; Гордиенко и др., 1973; Мордовин, Сохина, 1973], историко-географический [Лиханов, 1973], метод пространственно-временных рядов [Лопатин и др., 1973; Федоров, 1973].

Наряду с методами качественного анализа заметное место занимают и различные количественные методы: множественной корреляции [Федоров, 1973], информационного анализа [Пузаченко, 1973; Кукушкина, Дружинин, 1973; Шищенко, Царь, 1975], анализ географических полей [А.Д. Армац, 1973], моделирование случайных блужданий в многомерном поле параметров [Галкин, 1973], логическое и математическое моделирование систем [Башалханов и др., 1973], изучение поведения систем [Беруашвили, Спектор, 1974], экстраполяция случайных процессов [Гелета, Губер, 1974; Кленов, 1974], балансовый метод [Чепуренко и др., 1973].

Однако можно назвать лишь несколько работ, в которых реализованы варианты прогноза на базе предлагаемого метода. О таком опыте, выполненном Ю.Г. Саушкиным [1968], писалось выше. Н.М. Сватков [1974], исследуя энергетический бюджет географической оболочки, дал прогноз колебания климата на конец XX—сердину XXI в. и, используя по существу метод экспертной оценки, делает заключение об изменении температур, таянии материковых льдов, изменении скорости повышения уровня Мирового океана, о перестройке динамического равновесия географических процессов (усиление широтного переноса воздушных масс, изменение режима увлажнения различных территорий).

В статье А.П. Капицы и Ю.Г. Симонова [1974] приводится модель, разработанная под руководством этих авторов Л.С. Гаранциным и Г.А. Зайцевым. В модели использованы представления о природных и техногенных ландшафтных сукцессиях.

Прогнозирование заключается в разработке алгоритмов преобразования кодов, используемых для описания растительности и ее существенного развития во времени, описания типов антропогенного воздействия, заданных сценариев воздействия человека на прогнозируемом отрезке времени. Результаты линейных преобразований кодов интерпретируются как варианты прогнозов.

В 1977 г. была опубликована статья Н.И. Михайлова, В.А. Николаева, И.Е. Тимашева, Л.И. Иващугиной, А.Е. Криволицкого, В.В. Масленнико-



вой, В.А. Скорнякова и Л.Н. Щербаковой "Возможные изменения природных комплексов Западной Сибири и Казахстана при переброске части стока сибирских рек", в которой приводится фрагмент ландшафтной карты речного региона. Она рассматривается авторами в качестве модели для изучения ландшафтной структуры и динамики региона, а также для разработки ландшафтного прогноза. В статье перечисляются методы, которые были использованы для составления прогноза: анализ распределения площадей различных природных комплексов по природным зонам и подзонам, анализ земельных ресурсов, анализ пространственно-временных рядов, картографический, палеогеографический и эволюционно-динамический методы. Пространственно-временные ряды использованы для оценки вероятного изменения ландшафтов в сторону усиления или ослабления их гидроморфности под влиянием внешних факторов. В статье приведены два фрагмента прогнозно-географических карт. По существу это пример географического прогноза, выполненный по методу логического анализа и экспертной оценки.

В.А. Николаев [1979], детализируя описание методов составления описанного выше прогноза, пишет, что при его составлении наряду с собственно ландшафтно-географическими методами использовались аэрокосмические, картометрические и математические методы.

Использование большого числа разнообразных методов создало возможность выполнения интересного прогнозно-географического исследования на высоком теоретическом уровне.

#### 1.2.5. Определение точности прогнозирования

В ряду проблем географического прогнозирования особого внимания заслуживают методы оценки точности прогноза, методы его верификации. Географический прогноз может остаться интересным суждением о будущем и не иметь никакой практической ценности, если не будет определена его точность. На необходимость верификации географических прогнозов указывают в своих статьях Т.В. Звонкова [1972], И.П. Дружинин и А.П. Резников [1973]. Т.В. Звонкова [1972] пишет, что географический прогноз "может проверяться, но главным образом косвенно — на основании объективных географических закономерностей и логических связей. "Вероятно, в географическом прогнозе отклонений будет больше, чем в других специальных прогнозах, и появится необходимость оперировать понятиями о неточности и неопределенности. Но прогноз — это не что-то неизменное, окаменевшее. Прогноз и сам процесс работы по прогнозу требуют постоянных пересмотров и корректив" (с. 24).

И.П. Дружинин и А.П. Резников [1973] считают необходимым верификацию прогнозов осуществлять в два этапа. На первом этапе проверка проводится на независимом отрезке времени, охваченном данными наблюдений, не использованными в базисном массиве цифр, на котором делается прогноз. В результате вырабатываются прогностические правила. На втором этапе верификация может использовать качественные методы прогнозирования, основанные на физических соображениях, экспертных оценках и др.

### 1.2.6. Цели составления географических прогнозов

Большинство авторов статей по географическому прогнозированию в качестве главной цели видят необходимость предсказания непредвиденных последствий хозяйственной деятельности человека и составление долгосрочных планов. Интересную точку зрения по этому вопросу высказывают И.И. Невяжский, И.И. Пискун и И.Р. Спектор [1974]. Они пишут, что географический прогноз охватывает большую группу разнородных объектов материального мира, изучаемых частными географическими науками, и поэтому он может быть представлен в виде системы прогнозов, каждый из которых относится к специфической материальной области. Система географического прогноза, судя по приведенной ими схеме, включает ряд блоков, внутри которых имеются неспецифические для географии элементы. К ним относятся, например, природоохранная практика, система контроля состояния природной среды, система законодательства об охране природы и некоторые другие. Эти функции выполняет государство, а не наука. Поэтому можно думать, что географическое прогнозирование должны осуществлять не только географы, но и представители других наук и, главное, государственные планирующие учреждения. Хотя авторы прямо об этом не пишут, но из их построений следует, что составление географического прогноза потребует создания определенной системы государственных учреждений. Потребителями прогноза должны стать плановые и директивные органы.

## 1. 3. Метеорологические прогнозы и прогнозы изменений климата

### 1.3.1. Историческая справка

Первые прогнозы в России стали публиковаться в конце 70-х годов XIX в. Необходимой предпосылкой для их разработки явилось создание регулярной службы погоды, включающей сеть наземных станций (26) и Главную физическую обсерваторию (ГФО). Начало Гидрометслужбе СССР положил декрет "Об организации метеорологической службы в РСФСР", подписанный В.И. Лениным 21 июня 1921 г. В 1979 г. Гидрометслужба была преобразована в Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (Госкомгидромет). Центральной задачей, стоящей перед Госкомгидрометом, являются прогнозы погоды и особых метеорологических явлений [Израэль, 1977]. Основа его деятельности — получение, обработка и распространение регулярной метеорологической информации. Эта информация собирается сетью станций (около 4 тыс.) и постов (около 6 тыс.), а также искусственными спутниками Земли и кораблями погоды, дрейфующими в определенных частях Мирового океана (около 25). Сеть включает станции разного типа и назначения; из них около 2500 станций привлечено к обслуживанию сельского хозяйства, более 200 станций проводят регулярное аэрологическое зондирование атмосферы. Большая часть из них передает метеорологические сводки восемь раз в сутки. Руководят работой сети метеорологических станций республиканские и территориальные управления.



Большинство управлений имеют радиометеорологические центры с узлом связи, ведущим сбор и распространение метеорологической информации, бюро погоды, составляющие метеорологические и гидрологические прогнозы, и обсерватории, руководящие сетью наблюдательных станций, анализирующие и обрабатывающие данные наблюдений для подготовки различного рода справочных материалов. Кроме бюро погоды, входящих в состав местных управлений Госкомгидромета, существует большая сеть станций и бюро, созданных специально для обеспечения прогнозами тех или иных организаций. Например, в каждом аэропорту гражданской авиации работает авиаметеорологическая станция. Специальные бюро прогнозов ледовой обстановки и погоды создаются в период навигации на Северном морском пути. Бюро погоды имеются в морских портах, в областных и краевых центрах и в других крупных городах.

Над различными разделами метеорологических прогнозов работают 20 научно-исследовательских институтов Госкомгидромета, а также ряд институтов других ведомств. В настоящее время Госкомгидромет выпускает свыше 5,5 млн. обихих и специализированных прогнозов в год. Общие прогнозы включают основные сведения об ожидаемой погоде: 1) общую характеристику облачности, 2) указание на возможность выпадения осадков, их вид и интенсивность, 3) особые явления погоды, 4) направление и скорость ветра, 5) значение экстремальных температур. Специализированные прогнозы погоды составляются для определенных отраслей народного хозяйства как регулярно, так и по единичным запросам.

Регулярные сезонные прогнозы погоды для территории СССР выпускаются с 1922 г., месячные – с 1934 г. В этих прогнозах указываются аномалии температуры воздуха и осадков на прогнозируемый период.

### 1.3.2. Классификация прогнозов

Метеорологические и климатические прогнозы можно подразделить на три основных типа: 1) краткосрочные – прогноз на 1–3 суток; 2) долгосрочные: а) малой заблаговременности – прогноз погоды на 3–10 суток; б) большой заблаговременности – прогноз погоды на месяц, сезон, год; 3) климатические (сверхдолгосрочные) – прогноз изменения климата на многолетний период.

По мере увеличения длительности интервала времени, на который дается прогноз, соответственно изменяются и факторы, определяющие будущее развитие метеорологических процессов, а следовательно, изменяется и методика прогнозов.

### 1.3.3. Методы прогнозов

Исходя из анализа отечественной и зарубежной литературы по данной тематике, проведенного Г.В. Грузой [1975], можно выделить следующие классы методов, применяющихся в метеорологии при краткосрочном и долгосрочном прогнозировании малой заблаговременности: синоптичес-

Таблица 1

Методы метеорологических прогнозов  
(краткосрочных и долгосрочных малой заблаговременности)

Метод	Сущность	Срок прогноза	Тип прогноза по масштабам охватываемой территории
1. Синоптический	Трехмерный анализ синоптических карт при использовании качественной ситуации, схем процессов и аналогов	Часы – 10 суток	Региональный, локальный
2. Графоаналитический	Компактное описание синоптического опыта в виде количественных критериев и эмпирических графо-номограмм	Часы – 3 суток	То же
3. Статистический	Оценка прогностической связи между метеорологическими параметрами с помощью каких-либо из статистических приемов на основе многочисленных эмпирических данных	Сутки – 10 суток	"
4. Гидродинамический	Численное интегрирование уравнений гидро- и термодинамики	Сутки – 3 суток	"
5. Синоптико-гидродинамико-статистический	Объединяет методы 1,3 и 4	3 – 10 суток	"

кие, графоаналитические, статистические, физические, синоптико-гидродинамико-статистические (табл. 1).

*Синоптические методы* базируются на трехмерном анализе предельных и высотных карт погоды, которые строятся по данным наблюдений сетевых метеорологических станций и по данным аэрологического зондирования. На приземных синоптических картах проводятся изобары, наносится положение фронтов, выделяются области барических тенденций одного знака и зоны осадков. После проведения пространственного анализа погоды на этой карте строятся будущие линии фронтов в соответствии с положением высокой фронтальной зоны и направлением ведущих потоков в тропосфере (обычно за основу принимаются направления на изобарической поверхности 500 мб). Затем прогнозируется погода в отдельных частях региона с учетом предполагаемой эволюции фронтов и трансформации воздушных масс под влиянием подстилающей поверхности, вертикальных движений воздуха и т.д. Прогностические синоптические карты, построенные для обширной территории (например для СССР, ЕТС,



Западной Европы), являются основой для составления локальных прогнозов погоды. Задачей последних является детальное описание предстоящей погоды в конкретном районе на основе имеющихся сведений о будущем развитии крупномасштабных циркуляционных процессов и местных особенностей рассматриваемого района (характер рельефа, близость крупных водоемов, абсолютная высота над уровнем моря, состояние подстилающей поверхности и т.д.).

*Графоаналитические методы.* Их примером могут служить аэрологические диаграммы для расчета вертикальных движений в атмосфере, номограммы для определения суточной амплитуды температуры при различных типах погоды, номограммы для определения скорости шквалов, количества осадков, вероятности образования туманов, градиентные линейки для определения скорости градиентного ветра по расстоянию между изобарами или изогипсами на синоптической карте и т.д. Графоаналитические методы применяются при составлении региональных и локальных прогнозов.

*Статистические методы.* Статистические методы включают корреляционный анализ, переходные вероятности, дискриминантный анализ, машинную типизацию, эмпирические функции влияния, разложение исходных рядов на естественные ортогональные составляющие или по полиномам Чебышева и т.д. Большинство работ советских ученых посвящено изучению прогностических связей между прогнозируемым объектом в исходный момент времени и "поведением" атмосферы ранее, т.е. статистический анализ проводится по "метеорологической истории". Полученные зависимости экстраполируются на будущее для предвычисления состояния рассматриваемого объекта. Эффективность такого метода в значительной мере определяется умением выделить факторы, действительно определяющие дальнейшее развитие изучаемого объекта. Недостатком указанного способа статистического прогноза является то обстоятельство, что при его использовании неизвестна степень устойчивости полученных связей по времени.

Объектом прогноза, как правило, является величина метеорологического параметра или состояние атмосферы (фазы погоды), характеризуемое набором определенных значений нескольких метеорологических элементов в заданной точке пространства. Прогноз метеорологических полей осуществляется по данным прогноза в дискретных точках. В практике часто для прогнозирования принимают гипотезу пространственной однородности, т.е. задача прогноза по территории сводится к прогнозу случайного процесса в одной точке. В качестве предикторов используют метеорологические параметры, измеренные или рассчитанные в точке прогноза, а также поля метеорологических элементов.

Наиболее распространенным приемом составления статистического прогноза является метод множественной регрессии, т.е. прогнозируемое значение некоторого параметра ищется в виде линейной комбинации известных значений других элементов в настоящем. Основное требование рассматриваемого приема заключается в следующем. Число предикторов должно быть очень малым по сравнению с объемом выборок, используемых для определения коэффициентов корреляции. В связи с этим воз-

инкла задача сокращения исходной информации в целях уменьшения размерности вектора-предиктора. Поставленная проблема решается многими статистическими приемами в том числе "просеиванием" по Миллеру, заменой вектора-предиктора каноническими переменными, разложением исходного ряда наблюдений в отдельных точках пространства по сферическим функциям, по полиномам Чебышева, естественным ортогональным функциям с последующим использованием в корреляционном анализе полученных коэффициентов разложения.

К корреляционным уравнениям приводит метод эмпирических функций влияния, заключающийся в попытке установить некоторые параметры оператора гидродинамического прогноза поля давления статистическим путем.

Одним из приемов статистического прогноза является дискриминационный анализ, цель которого состоит в разделении наилучшим образом значений прогностических элементов на группы в зависимости от последующих фаз погоды. Прогноз состоит в вычислении значения дискриминационной функции при данной реализации предикторов и в сравнении его с соответствующим порогом для каждой пары фаз.

При прогнозе методом аналогов статистический анализ используется в установлении самого понятия аналогичности, т.е. в измерении различия или сходства исходных синоптических ситуаций (маневренная типизация). Мерой различия могут быть средние квадратические отклонения, средние абсолютные ошибки, расстояние между точками  $n$ -мерного пространства предикторов и т.д. После подбора из архива аналога для наблюдаемой в настоящее время синоптической ситуации дается прогноз будущего состояния по аналогии с развитием сходного процесса в прошлом.

*Физические методы.* Физические (гидродинамические) методы базируются на построении теоретических моделей атмосферных объектов путем составления системы уравнений гидродинамики, описывающих процессы тепло- и влагообмена в атмосфере. В настоящее время известен ряд численных моделей общей циркуляции атмосферы, разработанных в СССР и за рубежом, которые отличаются друг от друга степенью пространственного разрешения рассматриваемых метеорологических полей, числом учитываемых физических факторов и детализацией их описания, применяемыми математическими методами и др. [Швец, 1972]. Современные численные модели атмосферы учитывают многие погодообразующие факторы, в том числе нагрев атмосферы и земной поверхности за счет приходящей солнечной радиации и их выхолаживание вследствие инфракрасного излучения, турбулентный тепловлагообмен, диссипацию энергии, обусловленную турбулентным трением, влияние облачности и рельефа, эффекты конвекции и реализации скрытой теплоты конвекции. Перечисленные факторы вводятся в модель путем параметризации т.е. в неявном виде.

Наряду со схемами прогноза по полным уравнениям, предложен ряд упрощенных вариантов решения задачи, основанных на различных допущениях (например агеострофическое приближение, баротропное, квазигеографическое, квазисоленоидальное и др.) [Белов, 1975; Монин, Гаврилин, 1977]. Оперативный численный прогноз по схемам, используемым в СССР, дается на сроки 24–36 часов по данным для территории раз-



мером 8–10 тыс. км<sup>2</sup> с шагом сетки, равным 300 км на шести уровнях тропосферы и нижней стратосферы.

В прогностических схемах на трое суток используются данные о полях ветра и температуры в атмосфере для всего северного полушария с шагом 10° по долготе и 5° по широте, т. е. для территории около 25 тыс. км<sup>2</sup> [Итоги науки и техники, 1976].

*Синоптико-гидродинамико-статистический метод.* В настоящее время наиболее эффективным методом долгосрочного прогноза малой заблаговременности является синоптико-гидродинамико-статистический метод, разработанный А.Л. Кацем. Сущность его заключается в следующем. В качестве предикторов используются гидродинамические карты циркуляции на одном или нескольких высотных уровнях. Исходные гидродинамические поля циркуляции представляются в ЭВМ компактно с заранее заданной точностью с помощью аппарата естественных ортогональных функций (т.е. применяется статистический прием). Оценка влияния каждого из предикторов проводится на заранее заданных выборках из истории фактических значений прогнозируемого элемента и соответствующих им полей циркуляции. В подготовке этих выборок проявляется основной вклад синоптического метода в комплексный подход [Кац, 1974а].

При прогнозах на срок более декады становятся существенными взаимодействия процессов, формирующихся над океаном, сушей и полярными льдами. При прогнозах на сезон к этим факторам добавляется годовой ход климатических элементов. Наиболее простым, но малоэффективным методом долгосрочного прогнозирования большой заблаговременности является климатологический метод, основанный на разностях между "нормальными" (климатологическими средними) значениями данных за исходный и прогнозируемый периоды. Эти разности в дальнейшем алгебраически складываются с фактическими данными рассматриваемого исходного периода [Гирс, 1960]. Характерной особенностью развития методов долгосрочного прогноза погоды (ДПП) за последнее время являются многоплановые исследования закономерностей общей циркуляции атмосферы. Поиск прогностических зависимостей проводится тремя основными методами: синоптическим, статистическим и гидродинамическим [Руководство по месячным прогнозам погоды, 1972].

Большую дифференциацию и широкое распространение имеют синоптические методы, игравшие до настоящего времени основную роль при составлении ДПП на месяц и сезон во всех странах, где имеются соответствующие прогностические центры [Зверев, 1972]. В СССР, США, Англии и ряде других стран сформировалось несколько научных школ долгосрочных метеорологических прогнозов, каждая из которых вырабатывает свои приемы анализа атмосферной циркуляции, способы выявления и использования прогностических зависимостей [Кондратович, 1977]. В СССР ведущее положение занимают школы Б.М. Мультиановского — С.Г. Пагавы и Г.Я. Вангенгейма — А.А. Гирса.

Макросиноптический анализ (с методических позиций школы Мультиановского) включает расчленение метеорологической истории на пространстве синоптических районов на синоптические периоды и синоптические

сезоны. Длительность периодов составляет 5—7 дней, сезонов — около 2 месяцев. Существование синоптических сезонов связано с определенным характером теплообмена между океаном и континентом. Выявленные закономерности и признаки смены периодов и сезонов используются при составлении ДПП [Пагава и др., 1966].

Представители школы Г.Я. Вангенгейма на основе анализа синоптических процессов северного полушария провели их классификацию, выделив 26 элементарных синоптических процессов (ЭСП) в атлантико-евразийском секторе и 18 — в тихоокеанско-американском секторе. Каждый из ЭСП характеризуется определенной географической локализацией барических полей макропогоды и основных тропосферных выносов тепла и холода. В зависимости от самых общих особенностей тропосферных переносов ЭСП относится к одной из трех форм атмосферной циркуляции (западной, восточной, меридиональной). В качестве одного из прогностических приемов используются "групповые гомологи" — отрезки метеорологической истории со сходным характером преобразования форм атмосферной циркуляции, полей температуры и давления.

Большим разнообразием отличаются расчетные статистические методы ДПП как по исходным гипотезам, положенным в их основу, так и по способам подбора и представления предикторов и предиктантов. Большинство статистических схем прогноза разработано на основе использования тех или иных положений долгосрочной синоптики (связь с предшествующим состоянием центров действия атмосферы, с оценками циркуляции макропогоды, с районами наибольшей изменчивости давления и т.д.) [Кондратович, 1977].

Некоторые из схем прогноза опираются на выводы качественного анализа законов сохранения, представленных системой гидродинамических уравнений. В отличие от обычного поиска решения системы уравнений задача сводится к определению "эмпирических функций влияния" весовых функций при операторах давления [Борисенков, 1963]. Существенное развитие получили также методы объективной классификации метеорологических ситуаций и процессов, реализуемых с помощью ЭВМ [Груза, Ранькова, 1971].

В последнее время делаются многочисленные попытки долгосрочного прогнозирования погоды с помощью гидродинамических методов, однако оправдываемость таких прогнозов низка, что объясняется необходимостью устанавливать граничные условия для упрощения математического решения задач, а также неточностью измерений начальных данных, вводимых в расчетную модель [Гирс, 1960, 1974].

Сотрудниками ЛГМИ под руководством Ю.М. Алехина разработан динамико-статистический метод долгосрочных прогнозов гидрометеорологических элементов, который по существу представляет собой линейное предсказание по способу наименьших квадратов стационарных временных рядов. Метод базируется на использовании внутрирядной связи последовательности значений геофизических макропроцессов во времени, описываемой автокорреляционной функцией. Исходной теоретической предпосылкой динамико-статистического метода служит предположение о том, что цикличность всех земных процессов является всеобщей и фун-



даментальной. Это закон существования природы, следовательно, физических причин возникновения не имеет, поэтому динамико-статистические прогнозы опираются на предысторию только самого предиктанда [Алехин, 1961].

### 1.3.4. Климатический прогноз

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует точное определение понятия климата, а следовательно, нет единого мнения об объекте климатических исследований, нет единой теории климата, а также четкого представления о том, что считать изменением климата. К настоящему времени существует множество гипотез относительно внеземных и земных процессов, которые могут служить причиной возникновения флуктуаций климата. Классификация этих процессов и климатообразующих факторов была проведена еще в конце 40–50-х годов К. Бруксом [1952], который выделил следующие основные группы факторов: космические (космическая пыль в мировом пространстве), солнечная радиация, астрономические (например, изменение наклонов эклиптики), земное тепло (радиоактивные процессы, разложение организмов в толщах осадочных пород и т.п.), перемещение полюсов и дрейфовые движения земной коры, вертикальные движения земной коры, распределение суши и моря, океанические течения, изменения состава атмосферы, изменения циркуляции атмосферы (связанные с изменениями междуширотного градиента температур).

Анализ работ, посвященных прогнозу климата, позволяет условно выделить две основные области исследований – диагноз и прогноз климатических флуктуаций с масштабом времени  $10^2$  лет и более  $10^2$  лет. Климатическое прогнозирование на период времени порядка  $10^0$ – $10^2$  лет проводится двумя основными методами – статистическим и моделированием.

Многочисленные исследования ведутся по анализу статистических связей внутри временных рядов по инструментальным наблюдениям, по данным дендрохронологического или пыльцевого анализа и т.п. Статистическая обработка проводится методом скользящих средних, автокорреляционных функций, критериев устойчивости и т.п. [Рубинштейн, Полозова, 1966; Дроздов, Покровская, 1972; Рубинштейн, 1979]. В этом случае прогноз осуществляется методом интерполяции автокорреляционных функций (или функций спектральной плотности) на какой-либо отрезок времени в будущем. Этот отрезок (шаг по времени) ограничен длительностью и непрерывностью исходного ряда. Следует отметить, что исследования показали значительную пространственную изменчивость в тенденциях изменения периодичности колебаний климата, поэтому рассматриваемый период должен оправдываться для каждого отдельного региона.

Другая группа методов основана на получении прогностических связей путем анализа статистических зависимостей между характером развития глобальных циркуляционных процессов (и обусловленных ими аномалий метеорологических элементов) и солнечной активностью – так называемые гелиоклиматические прогнозы, физической основой которых является многоциклический характер колебаний солнечной

активности [Вительс, 1962]. Исходная прогностическая гипотеза некоторых методов заключается в том, что одинаковому уровню солнечной активности соответствует одинаковый уровень атмосферной возмущенности, порождающий в каждом конкретном физико-географическом районе определенные климатические явления [Купецкий, 1969].

Теснота солнечно-земных климатических связей зависит также от четкости 11-летнего цикла активности Солнца, фазы цикла, высоты максимума и т.д. Е.Е. Федоров и В.Ю. Визе установили закон "акцентаций", из которого следует, что в периоды максимума солнечной активности происходит усиление характерных особенностей барических образований. Однако анализ, проведенный И.В. Максимовым и др. [1974], показал обратное: в годы максимума солнечной активности отмечается деакцентация климатических центров действия атмосферы.

Прогнозы А.В. Дьякова [1974] опираются на величину введенного им индекса воздействия энергии активности Солнца на тропосферу Земли —  $I_S$ :

$$I_S = \frac{1}{S_d} \frac{dS_d}{dt},$$

где  $t$  — время,  $S_d$  — величина площади солнечных пятен. А.В. Дьяков считает, что при положительных значениях  $I_S$  атмосфера стремится к состоянию неустойчивого равновесия, следствием чего является увеличение интенсивности развития циклонов. При отрицательных величинах  $I_S$  на земном шаре преобладает антициклональная циркуляция, что обусловлено стремлением атмосферы к состоянию устойчивого равновесия. В целом связь колебаний климата Земли с солнечной активностью надежно установлена, но механизм этой связи еще неизвестен, поэтому эффективных прогностических зависимостей в настоящее время не существует [Кач, 1974б].

Другая группа методов (по сути тесно связанная с вышеизложенными) климатических прогнозов на период 5–50 лет построена на типизации циркуляционных процессов в очевидном предположении тесной связи флуктуаций циркуляции атмосферы с флуктуациями климатического режима как в глобальном, так и в региональном масштабе.

Б.Л. Дзержевский [1968] из основе типизации элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) по соотношению меридиональных и зональных циркуляций, характеризующихся направлением основных барических образований, выделил в северном полушарии за последние 70 лет три основные циркуляционные эпохи. Основной причиной смен этих эпох считается изменение температуры воды в океане [Яковлева, 1969].

А.А. Гирс [1971], также исследовавший циркуляционные процессы в атмосфере, используя уже описанный выше подход Вангенгейма–Гирса, выделяет четыре циркуляционные эпохи, продолжительность которых колеблется от 10 до 30 лет. Каждая эпоха состоит из ряда стадий длительностью от 2 до 6 лет. Причиной смены эпох и их стадий он считает колебания солнечной активности, изменение скорости вращения Земли, нутации полюсов Земли, действие приливных сил. М.Х. Байдал [1971], пользуясь подходом А.А. Гирса, исследовал колебания климата



на территории Казахстана и доказал определенную климатообразующую роль циркулярного вихря (или полюса атмосферной циркуляции) — главного синоптического объекта стратосферы, представляющего собой общее движение атмосферы в слое от 4—5 до 20—25 км.

Для всех типов климатических моделей характерно требование параметризации обширного круга процессов, которые не поддаются описанию в явном виде. Способы параметризации в значительной мере определяют эффективность модели климата. Однако в настоящее время параметризация основных физических, химических и биологических процессов, влияющих на изменения климата различного временного и пространственного масштабов, часто производится произвольно, так как отсутствуют надежные количественные оценки эффекта, производимого указанными процессами на климатические флуктуации. Модели, способные воспроизводить изменения климата в течение года, десятилетий, учитывают взаимодействие атмосферы с морскими льдами, изменение состава атмосферы, поступление аэрозолей и др.

Модели, с помощью которых исследуются флуктуации климата больших временных масштабом, построены на основе математического представления процессов, протекающих в глубинах океана, динамики материковых ледниковых щитов, колебаний поверхности суши и т.п. Модели с пространственным разрешением порядка 300—500 км, описывающие внутригодичную и междугодичную изменчивость метеорологических параметров, как правило, представляют собой расширенные схемы численного прогноза с включением дополнительных факторов. В них учитываются лишь динамические и термодинамические эффекты определенной части энергетического спектра. Совокупность "отобранной" части спектра вводится в параметризованной форме. Модели с усеченным волновым представлением являются эффективным средством для суждения о влиянии отдельных процессов на климатическую систему до получения более точных данных. В то же время спектральные модели имеют преимущество перед динамико-статистическими, в которых потоки тепла и количества движения параметризуются полностью.

На следующем уровне по степени пространственного разрешения стоят модели, в которых параметризуются процессы динамики через температуру или градиент температуры, — модели энергетического баланса. Наиболее простыми из них являются одномерные модели климата, в которых пренебрегают зависимостью от горизонтальных координат, вводя средние значения параметров для всего земного шара. Одномерные модели дают средний вертикальный профиль температуры, определяемый балансом между суммарным потоком радиации и различными видами перераспределения энергии по вертикали. В качестве параметров в эти модели входят такие процессы и факторы, как конвекция, облачность, альбедо и др. Одномерные модели используются для проверки факторов, влияние которых существенно при более длительных отрезках времени (например динамика и термодинамика льдов или океана). Такие модели содержат схемы численного интегрирования, позволяющие рассчитать в явном виде движения масштаба циклонов и антициклонов. Физические процессы меньшего пространственного масштаба, а также про-

цессы, не поддающиеся описанию в явном виде на современном уровне возможностей наблюдения и расчета, учитываются путем параметризации.

Следующую группу по уровню пространственного разрешения составляют статистико-динамические модели. Задача их построения состоит в оптимальном уменьшении детализации явных динамических моделей общей циркуляции. В частности, параметризуется эффект крупномасштабных волновых возмущений, осуществляющих горизонтальный перенос потока количества движения. Параметризация потока количества движения производится через потенциальный вихрь — консервативную характеристику воздушных частиц, перемещающихся в бароклинической атмосфере. Примером статистико-динамической модели является модель Зальцмана [Saltzman, Vernekar, 1971].

Между моделями с параметризацией эффекта бароклинических волн и моделями общей циркуляции с высоким разрешением располагается класс так называемых усеченных спектральных моделей, например модель Лоренца [Lorentz, 1960], в которой возможно несколько различных способов параметризации, а также оценки возможных последствий загрязнения атмосферы, изменения содержания  $\text{CO}_2$  и озона. В качестве примера можно привести модели Разоля и Шнайдера [Rasool, Schneider, 1971], Оливера [Oliver, 1976].

Более детальные модели [Будыко, 1968, 1974, 1977, 1979; Sellers, 1969, 1973] отражают неоднородность распределения энергетического баланса по широте путем введения различных параметров. М.И. Будыко [1968, 1974] связывает горизонтальные потоки энергии с разностью между средними широтными температурами и средней планетарной температурой. Модели Будыко послужили основой для проведения первых оценок степени устойчивости климатических условий Земли. Селлерс [Sellers, 1969] описывает горизонтальные потоки тепла через введение коэффициентов обмена, полученных из фактически наблюдаемых климатических условий. Модели с горизонтальной изменчивостью энергии по широте наиболее эффективны при исследованиях взаимосвязи между температурой и альбедо подстилающей поверхности.

Третьей разновидностью термодинамических моделей являются модели, учитывающие различия между континентальным и океаническим типом климата, т.е. климатическую изменчивость как по широте, так и по долготе. Так, например, Селлерс [Sellers, 1973] в своей расширенной модели рассматривает отдельно температуру суши и океана на каждой широте. Эдем [Adem, 1970] параметризует горизонтальные потоки тепла путем введения соответствующих коэффициентов обмена при учете средних ветров в атмосфере и ветровых течений в океане.

Основное преимущество термодинамических моделей перед другими заключается в том, что они экономны в расходовании машинного времени для расчетов и получаемые с их помощью результаты просто поддаются интерпретации благодаря их несложной структуре.

При моделировании климатических флуктуаций с масштабом времени  $10^3$  лет и более, как правило, атмосферные процессы описывают



довольно грубо или же ими пренебрегают совсем, уделяя основное внимание процессам теплообмена в океане и динамике покровного оледенения в предположении горизонтальной однородности поля температуры [В.Я. Сергин, С.Я. Сергин, 1966, 1969, 1978].

## 1.4. Гидрологические прогнозы

### 1.4.1. Историческая справка

Разработка теории и методов гидрологического прогнозирования тесно связана с запросами практики. Особенно большое значение имело прогнозирование наводнений и очень маловодных лет. Первые гидрологические прогнозы были связаны с прогнозом уровня судоходных рек России. Методика их была разработана В.Г. Клейбером, Д.Д. Гнусиным, А.Н. Квицинским в 90-х годах прошлого столетия [Аполлов и др., 1974]. Таким образом, опыт гидрологического прогнозирования насчитывает уже около ста лет. В дореволюционный период эти работы были немногочисленны. Это работы А.И. Воейкова по прогнозу весеннего половодья и Э.М. Ольдекопа о зависимости стока горных рек Средней Азии от атмосферных осадков.

Б.А. Аполлов, Г.П. Калинина и В.Д. Комаров [1974], по материалам которых в основном написан этот раздел, считают, что после Октябрьской революции развитие работ по теории гидрологического прогнозирования в СССР тесно связано с созданием Государственного гидрологического института (ГГИ). Они разделяют советский этап развития теории прогнозов на три периода. Первый период — с 1919 г. по 30-е годы. В этот период решение задач гидрологического прогнозирования осуществлялось на основании чисто эмпирических зависимостей. Для него важную роль сыграли работы Л.К. Давыдова, Б.А. Аполлова, А.В. Огиевского, О.Т. Мацкевича, П.М. Машукова. Для второго периода (со второй половины 30-х годов до середины 40-х годов) в работах по гидрологическому прогнозированию заметно влияние методов водного баланса (работы Б.А. Аполлова, Г.П. Калинина, В.Д. Комарова, М.И. Львовича, О.А. Спенгелера и др.); получает развитие метод изохрон, был произведен первый расчет дождевых паводков (работы М.А. Великанова, М.И. Львовича, Е.В. Берга, Г.А. Санина); закладываются основы генетического анализа процесса формирования половодья равнинных рек (М.А. Великанов); стали развиваться методы прогнозов летнего стока (работы С.Ю. Беликова, К.П. Воскресенского, М.И. Гуревича) и методы долгосрочных прогнозов вскрытия и замерзания рек европейской части СССР (Г.Р. Брегман, Г.Я. Вангенгейм). В 1941 г. выходит из печати первое практическое руководство по основным приемам гидрологических прогнозов в государственном масштабе. Начинается специальная подготовка квалифицированных кадров, расширяется деятельность секторов гидрологических прогнозов местных управлений Гидрометслужбы. Увеличивается объем выполненных этой службой прогнозов. К 1941 г. их ежегодное число превысило по стране 40 тыс. Третий период — от середины 40-х годов до настоящего времени — характеризуется широким развитием

водного хозяйства. Было создано много водохранилищ. Это потребовало прогнозов сезонного, квартального, месячного притока воды в водохранилища. Потребовались также оперативные прогнозы ледовых явлений, что послужило стимулом для развития теории движения ледовика, для изучения процессов регулирования стока и др. Возникло и начало быстро развиваться математическое моделирование гидрологических процессов (Г.П. Калинин, И.А. Картвелишвили, Л.С. Кучмент, Г.Г. Сванидзе и др.). Проводились исследования теплообмена, разрушения снежного и ледового покровов (П.П. Кузьмин, Б.М. Гинзбург, С.Н. Булатов и др.).

В настоящее время число долгосрочных прогнозов достигает более 10 тыс., число краткосрочных прогнозов — свыше 100 тыс. Прогнозы имеют направленный характер в соответствии с различным временем упреждения для каждого из выбранных параметров, необходимых для планирования хозяйственных мероприятий и предотвращения неблагоприятных последствий аномальных явлений (краткосрочные прогнозы колебаний уровней, расходов воды; долгосрочные прогнозы максимальных уровней рек, процессов замерзания и вскрытия рек, очищения озер и водохранилищ ото льда и др.). Использование прогнозов позволяет увеличить выработку электроэнергии на крупных ГЭС на 1,5–2%, полнее удовлетворить потребности водного транспорта, рыбного, сельского и коммунального хозяйств. Много сделано по выяснению причин, определяющих точность прогнозов.

Несмотря на заметные успехи в развитии теории гидрологического прогнозирования, а также на то, что составленные прогнозы приобрели форму государственных документов, прогнозирование продолжает оставаться важной теоретической проблемой гидрологии как науки. Об этом можно судить и по материалам последнего, IV гидрологического съезда (1979 г.). На нем среди генеральных докладов прогнозам было отведено определенное место. В рамках съезда работала специальная секция гидрологических прогнозов, на которой было заслушано 50 докладов. В докладах были охарактеризованы различные стороны методов расчета, отбора параметров, способов построения моделей. Одним из слабых мест прогнозирования в гидрологии является прогноз гидрологических процессов вперед на несколько десятилетий с учетом возможного изменения тенденций природных стокоопределяющих явлений и изменений хозяйственной деятельности человека. Ввиду значительного преобладания разработок краткосрочного оперативного прогнозирования в данной монографии мы остановимся лишь на уже апробированных методах. Поэтому дальнейшее изложение этого вопроса ведется на уровне, принятом в учебниках и методических руководствах [Аполлов и др., 1974; Калинин, 1952; Попов, 1963; Руководство по гидрологическим прогнозам, 1963].

#### 1.4.2. Классификация гидрологических прогнозов

При классификации гидрологических прогнозов используют четыре признака: 1) целевое назначение прогнозов, 2) предсказываемые явления и элементы режима, 3) заблаговременность, 4) методы прогнозирования.



По целевому назначению прогнозы делятся на: а) прогнозы общего пользования, б) специализированные прогнозы для конкретных отраслей народного хозяйства.

В зависимости от пресказываемых явлений выделяются: а) прогнозы элементов водного режима: средний сток за различные периоды; максимальный расход или уровень за половодье, или паводок, минимальный расход или уровень за межень; сроки наступления различных фаз водного режима; б) прогнозы элементов ледового режима: даты появления плавучего льда, ледостава; даты вскрытия, очищения ото льда озер и водохранилищ; толщина льда; в) прогнозы руслового режима: трансформация берегов; средний и максимальный твердый сток; крупность наносов; г) прогнозы качества воды (гидрохимические).

По заблаговременности прогнозы делятся на: а) краткосрочные, до 12–15 дней; б) долгосрочные, при заблаговременности более 15 дней. Как видим, эта классификация весьма условна и требует уточнения.

Сроки, на которые составляются прогнозы, сильно дифференцированы, поэтому и методы прогноза используются разные.

Краткосрочные прогнозы можно разделить на оперативные (до трех суток) и текущие (до месяца). К среднесрочным следует отнести прогнозы сроком до одного года. Тогда долгосрочные прогнозы могут охватывать периоды до нескольких лет, сверхдолгосрочные — до нескольких десятилетий, а палеопрогнозы — периоды более длительных исторических и климатических эпох.

При прогнозировании используются следующие методы: а) гидродинамический; б) балансовый (уравнения водного и теплового баланса); в) вероятностный (статистические расчеты и модели).

Гидрологические прогнозы основываются на закономерностях движения воды в русловой сети (уравнения движения паводочной волны в русле) и в бассейне (генетическая формула стока). Кроме того, учитываются условия атмосферной циркуляции, определяющие осадки и испарения, тенденции климатических изменений и влияние хозяйственной деятельности человека и перестройки гидрографической сети.

С точки зрения возможностей предвычисления все основные факторы, определяющие сток и другие гидрологические процессы, делятся на начальные факторы, которые характеризуют уже сложившиеся к моменту выпуска прогноза условия и могут быть оценены по данным текущих гидрометеорологических наблюдений, и будущие факторы, влияние которых сказывается на формировании данного явления после выпуска прогноза. По этой причине практическая возможность гидрологических прогнозов определяется тем, насколько велика роль будущих условий при формировании пресказываемых явлений и насколько они изменчивы во времени. Точность прогнозов различной заблаговременности зависит также от надежности и полноты гидрометеорологических данных, от длительности протекания явлений и быстроты сбора текущей информации.

### 1.4.3. Методы гидрологических прогнозов

Общую физическую основу гидрологических прогнозов составляют уравнения водного и теплового балансов бассейнов и водоемов, а также уравнения движения воды и переноса тепла.

Закономерности движения воды в руслах с учетом притока (и оттока) воды к рассматриваемым участкам описываются уравнением неразрывности Сен-Венана и уравнением движения Буссинеска, которые для одномерного случая (расход воды  $Q$ , средняя скорость течения  $v$ , площадь живого сечения  $\omega$ ) являются функциями одной переменной — расстояния вдоль реки  $l$  и имеют вид

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial l} = q \quad (\text{уравнение неразрывности}),$$

где  $Q = v\omega$ ,  $q$  — промежуточный приток;

$$i = \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} \quad (\text{динамическое уравнение Буссинеска}),$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;  $R$  — гидравлический радиус;  $h$  — глубина потока;  $C$  — коэффициент Шези.

Решение этой системы уравнений позволяет рассчитать движение и трансформацию паводочной волны, но в связи с тем, что общего аналитического решения нет, а численные решения на ЭВМ весьма трудоемки и дают большие погрешности из-за отсутствия детальных данных о гидравлично-морфометрических характеристиках речных потоков, на практике оказалось эффективным использование более простых методов. Основанные на сопоставлении водомерных наблюдений, они дают результаты, по своей точности нередко превосходящие те, которые по имеющимся исходным материалам могут быть получены по приведенным выше уравнениям, так как сами данные водомерных наблюдений отражают гидравлично-морфометрические характеристики речного потока. Поэтому теоретические соотношения используются: 1) при оценке роли отдельных компонентов уравнений; 2) при моделировании и численных экспериментах движения паводочной волны.

Оценка роли компонентов уравнений системы показывает, что уравнение движения можно заменить эмпирической зависимостью

$$Q = f(H, l) \quad \text{или} \quad \omega = f(Q, l).$$

Тогда, решая систему 
$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial l} = q,$$

$$Q = f(H, l),$$

получаем выражение  $Q_H = Q_b + \int_0^l q dl$ , являющееся основой для краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды по методу соответственных уровней воды. Теоретический расчет расплывания паводка пока еще не-



возможен вследствие недостаточной изученности факторов регулирования стока, уменьшения уклона в устьевых участках и повышения скорости в период подъема паводка. При решении этой задачи получил распространение метод Калинин-Милюкова, при котором река разбивается на ряд характерных участков. Тогда расход  $Q$  после  $h$ -го участка равен

$$Q_n = Q_0 \frac{\Delta t}{\tau (n-1)!} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Величина, стоящая после множителя  $Q_0$ , представляет собой трансформационную функцию.

Большое распространение получили прогнозы стока по данным о запасах воды в речной сети (бассейне) и притоке воды в нее. Механизм стока представляется в виде последовательного течения элементарных процессов: поступления дождевой (или талой) воды на поверхность бассейна, стекания воды  $q(t)$ , завершающегося ее притоком (поступлением) в речную сеть, накопления воды в речной сети бассейна и стока через замыкающий створ, приводящего к расходованию накопившегося запаса воды в речной сети.

Исходя из элементарных процессов, самым универсальным является прогноз стока по осадкам (или по таянию снега), где рассматриваются поступление воды на поверхность бассейна, инфильтрация, задержание воды на поверхности при заполнении различных микроуглублений, испарение, затем сам процесс стекания воды в русловую сеть (склоновый сток) и, наконец, движение водных масс по руслам. Учет всех звеньев процесса стока дает наибольшую заблаговременность прогноза. Но вместе с тем и погрешности, допущенные при расчете каждого явления, снижат точность конечного результата.

Особенности прогнозов дождевых паводков по данным об осадках и притоке воды в речную сеть заключаются в том, что прохождение паводка зависит от вариации интенсивности дождя как по времени (дискретность), так и по пространству водосбора. Необходимость учета пространственно-временных вариаций требует значительной плотности сети гидрометеостанций.

Решение системы дифференциальных уравнений неразрывности и движения воды в почве, на склонах, в русловой сети, а также уравнений теплового баланса и турбулентного теплообмена, которые определяют расходование воды на испарение, связано с математическими трудностями и необходимостью достоверного определения влияния выбранных параметров географической среды на формирование процессов стока.

Сложность решения рассматриваемой задачи заставила искать другой путь разработки методов прогноза дождевых паводков. Суть этого пути заключается в следующем. На основе имеющихся теоретических посылок создается некоторая модель формирования паводка, а входящие в нее параметры определяются посредством решения прямой или обратной задачи, опираясь на данные наблюдений о стоке и некоторых из факторов, его определяющих. Это позволяет получить интегральную оценку параметров стока, которую далеко не всегда можно определить прямыми

измерениями. Прогнозы дождевого стока осуществляются по генетической формуле стока

$$Q_t = \int_0^t \frac{\partial f}{\partial \tau} (h_{t-\tau} - p_{t-\tau}) d\tau.$$

Здесь кривая добегаания стока  $\frac{\partial f}{\partial \tau} = r(t, \tau)$  показывает распределение элементарных площадей, сток с которых принимает участие в формировании данного расхода. Кривые  $r(t, \tau)$  являются важнейшей характеристикой бассейна, которая отражает как относительно постоянные морфометрические условия, так и переменные гидравлические условия стока. Генетическая формула стока применима к бассейнам разных размеров и различным условиям распластывания паводков. Задача предвычисления дождевого паводка сводится к вычислению поступления воды на поверхность бассейна, к расчету потерь этой воды на впитывание, поверхностное задерживание и испарение, на определение кривой добегаания и к расчету расходов воды в замыкающем створе.

Рассмотренная схема формирования стока имеет общий характер, и поэтому она послужила основой для большинства математических и физических моделей стока. Модели, учитывающие переменные условия формирования стока по площади, называются моделями с распределенными параметрами (приводят к дифференциальным уравнениям в частных производных). Отказываясь от детализации процессов образования стока по площади, весь водосбор рассматривают как динамическую систему, преобразующую некоторые средние для водосбора входные временные функции стокообразующих факторов в гидрограф стока. В таких моделях используют средние для водосбора (сосредоточенные) параметры.

Прогнозы осеннего и зимнего стока, когда продолжительность периода ( $t_k - t_0$ ), на который дается прогноз стока (где  $t_0$  и  $t_k$  — начало и конец периода), больше времени добегаания воды ( $\tau_{max}$ ) от истока до замыкающего створа на реке, считаются долгосрочными. Величину стока за период прогноза записывают в следующем виде:

$$y = W_{t_0} + y_{пз} + y_{д},$$

где  $y$  — сток;  $W_{t_0}$  — запас (количество) воды в руслах всех рек бассейна в момент  $t_0$ ;  $y_{пз}$  и  $y_{д}$  — количество соответственно подземных и дождевых вод, поступивших в русловую сеть после  $t_0$  и достигших замыкающего створа к моменту  $t_k$ .

Чем больше река, тем значительнее роль начального запаса воды в руслах рек в формировании стока. Уменьшение подземного питания по мере истощения запасов грунтовых вод хорошо описывается уравнением

$$Q_t = (Q_0 - q_r) e^{-\alpha t} + q_r,$$

где  $Q_t$  — уменьшение запасов грунтовых вод;  $Q_0$  и  $q_r$  — соответственно начальный расход воды в реке в бездождный период и расход воды, отвечающий интенсивности притока из достаточно глубоко расположенных горизонтов, м<sup>3</sup>/с;  $t$  — время в сутках;  $\alpha$  — параметр, характеризую-



ний интенсивность истощения запасов грунтовых вод;  $e$  — основание натуральных логарифмов.

К основным факторам, определяющим величину дождевой составляющей стока при долгосрочном прогнозе летнего и осеннего стока, относятся количество осадков и влажность почвы перед началом интервала времени, за который берутся осадки. За показатель водопоглотительной способности почво-грунтов можно принять начальный запас воды в руслах рек. Осадки берутся за достаточно большой промежуток времени, обычно за месяц и больше, причем распределение осадков внутри этого промежутка, а также по площади бассейна часто не принимается во внимание из-за отсутствия данных. Вычисление дождевой составляющей по осадкам достаточно точно определяется при использовании карт изохрон руслового добега. Количество осадков на межизохронной площади умножается на величину этой площади. Отметим, что весь рассмотренный расчет осадков является линейным преобразованием временной функции осадков, значения которой заданы в виде данных наблюдений или прогноза осадков за расчетные интервалы времени.

В настоящее время для составления долгосрочных прогнозов каждой из трех составляющих летнего и осеннего стока мы можем устанавливать и потом пользоваться лишь физико-статистическими зависимостями. Их конкретный вид и точность для каждой реки получают по соответствующим гидрометеорологическим наблюдениям длительностью, как правило, не менее 15–20 лет. На практике обычно устанавливают зависимости общей величины стока за месяц от важнейших факторов.

Основными долгосрочными прогнозами половодья являются прогнозы общей величины стока за время его прохождения, максимального расхода и уровня воды и срока его наступления, а также прогнозы стока за период спада половодья. Весеннее половодье — самая характерная и очень важная с точки зрения хозяйственного использования водных ресурсов страны особенность режима большинства рек СССР.

Методической основой долгосрочных прогнозов стока за период половодья служат эмпирически устанавливаемые для каждой реки водобалансовые зависимости весеннего стока от запаса воды в снежном покрове, а также характеристик водопоглотительной способности бассейна и последующих осадков в конце зимы перед началом снеготаяния. Уравнение водного баланса за период от начала снеготаяния до окончания половодья записывается в виде

$$y_T + y_D = S + x_1 + x_2 - E_c - E_n \pm \Delta W_n \pm \Delta W_{пз} - y_{пз},$$

где  $y_T$  — поверхностный сток талых вод;  $y_D$  — поверхностный сток дождевых вод;  $S$  — запас воды в снежном покрове;  $x_1$  — дождевые осадки, выпавшие на снежный покров;  $x_2$  — дождевые осадки, выпавшие на поверхность бассейна, освободившуюся от снега;  $E_c$  — испарение с поверхности снега;  $E_n$  — испарение с поверхности почвы и транспирация (суммарное испарение);  $\Delta W_n$  — изменение запаса воды во всей зоне аэрации, включая почву (знак "минус" означает увеличение этого запаса, знак "плюс" — уменьшение);  $\Delta W_{пз}$  — изменение запаса воды в водоносных горизонтах;  $y_{пз}$  — подземный сток. Это уравнение описывает водный ба-

ланс приближенно. Однако неучтенные в нем компоненты обычно незначительны по сравнению с учтенными. Поэтому неполнота уравнения не имеет существенного значения. Уравнение водного баланса или его модификация и количественная характеристика составляющих этого баланса, основывающаяся на материалах наблюдений и расчетов, позволяют не только сказать, какие из факторов в основном влияют на сток, но и получить аналитические (или графические) выражения зависимостей каждой из составляющих водного баланса от обуславливающих их факторов. По этим зависимостям предсказывают характеристики водного режима за период половодья. Каждой зависимостью учитываются постоянные физико-географические условия стока талых вод в данном бассейне (например рельеф, тип почвы и др.). Они учитываются числовыми значениями параметров или формой графика зависимости, если она не выражается аналитически. Рассматриваемая зависимость может устанавливаться также для целого района на основе данных по ряду бассейнов, если район достаточно однороден в отношении физико-географических условий стока. Такая зависимость получила название территориально общей.

По величине стока за период половодья рассчитываются максимальные весенние расходы воды и уровни рек, исходя из условия

$$Q_{\max} = \delta \bar{Q} = k \delta / T_{\Pi} y F,$$

где  $\delta > 1$  — безразмерный коэффициент, характеризующий форму волны половодья (гидрографа) в данном створе;  $y$  — высота слоя стока за половодье, отнесенная к площади бассейна ( $F$ );  $T_{\Pi}$  — продолжительность половодья.

Существование тесной связи между  $Q_{\max}$  и  $y$  означает, что величина отношения  $\delta/T_{\Pi}$  приблизительно постоянна или закономерно меняется в зависимости от стока за половодье. Точность прогноза  $Q_{\max}$  связана с условиями снеготаяния при данной величине  $y$  и со степенью естественного регулирования стока в бассейне.

Составление прогнозов водного режима с заблаговременностью более одного года в настоящее время носит дискуссионный характер. Они основываются на изучении общих закономерностей структуры рядов годового стока. Некоторые специалисты [Дружинин и др., 1974] трактуют цикличность стока как свойство детерминированного процесса. И действительно, если под циклом понимать серию следующих один за другим маловодных и многоводных лет или же расположенные рядом маловодную и многоводную серии, то в любом временном ряду можно усмотреть циклы повышенного или пониженного значения признака подчас любой продолжительности.

Однако и чисто случайным последовательностям свойственны вполне определенные закономерности образования серий. Доказательства значимости циклов в наблюдаемых рядах годового стока в работах или отсутствуют, или малоубедительны [Раткович, 1976].

Однако даже при наличии значимых циклов в гидрологических рядах календарный прогноз осуществим только при условии, что заблаговременность прогноза не превышает запаздывания гидрометеорологических явлений по отношению к процессу, с которым установлена связь [Приньяль-



ский и др., 1979]. Большая заблаговременность прогноза требует экстраполяции исходных процессов, с которыми установлены связи, что на данном этапе вызывает большие затруднения.

Несмотря на обилие публикаций, посвященных временным закономерностям колебаний речного стока, они пока что не привели к уверенному их долгосрочному прогнозированию. Поэтому, пока достоверно не установлены временные закономерности колебаний стока, возможны лишь чисто вероятностные его описания. При таком прогнозировании оценивается частота появления лет различной водности и устанавливаются закономерности их чередования без привязки к определенным годам. В существующих или разрабатываемых методах вероятностного расчета обычно значения годового стока рассматриваются либо как последовательности независимых случайных величин, либо в качестве стохастической модели принимается та или иная модификация описания простой цепи Маркова в виде двумерного распределения предыдущих и последующих членов временного ряда. Обе эти гипотезы проверялись на ограниченном натурном материале, границы и условия их применимости в должной мере не выявлены, отсутствуют рекомендации для определения значений коэффициента корреляции между стоком смежных лет в зависимости от конкретных условий. Выборочные его оценки по наблюдаемым рядам годового стока недостоверны [Раткович, 1976].

## 1.5. Экологическое прогнозирование

### 1.5.1. Постановка задачи и опыт ее решения

Экологическое прогнозирование, как и географические прогнозы, — сравнительно новая научная проблема, возникшая под влиянием научно-технической революции. Несмотря на молодость проблемы, не существует серьезных разногласий в терминологии, обосновании выбора объекта и методов экологического прогнозирования. Этому в значительной мере способствовало более раннее проникновение в экологические исследования математического мышления.

Эпоха математизации экологии и биологии началась в 20-х годах нашего столетия с работ С.Н. Берштейна по математической теории наследственности, которые впоследствии получили развитие в трудах генетиков школы А.С. Серебровского. Математические методы впервые были использованы для описания аллометрического роста организмов И.И. Шмальгаузен [1968а,б]. Экологическое направление в математической биологии, начатое Лотка [Lotka, 1926] и Вольтерра [1980], было успешно продолжено Г.Ф. Гаузе, А.А. Виттом и др. Классический труд Г.Ф. Гаузе "Борьба за существование" [1934] стал основой для формализации сложных процессов конкурентных и гетеротипических отношений простейших организмов. Работа В.И. Гливенко "Мецделевская алгебра" [1936], и в особенности интересная статья А.Н. Колмогорова, И.Г. Петровского, Н.С. Пискунова "Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества, и его применение к одной биологической проблеме" [1937], имели большое количество подражаний не только в биоло-

гии, но и в других областях математического естествознания. В последней статье, в частности, исследован процесс вытеснения неустойчивого генотипа устойчивым. Эта работа и другие исследования А.Н. Колмогорова стали математическим обоснованием экологических задач в целом.

Если раньше предметом экологии согласно определению, данному этой науке Э. Геккелем в 1869 г., было исследование взаимодействия организмов с окружающей средой, то к числу главных задач современной экологии относится изучение и прогнозирование антропогенных изменений окружающей среды, а также обоснование методов сохранения и улучшения среды. Актуальность и комплексный характер этой проблемы определили становление и бурное развитие новой отрасли знаний — глобальной экологии. Глобальная экология имеет дело с биосферой в целом или с крупными ее частями. М.И. Будыко [1977б] в качестве главных задач этой современной экологии выделяет изучение компонентов биосферы и качественное описание их для всех районов земного шара, изучение круговоротов энергии и главных видов минерального и органического вещества в биосфере в целом, получение эмпирических материалов для состояний биосферы в геологическом прошлом в целях выяснения закономерностей эволюции биосферы, применение численных моделей для объяснения механизмов эволюции и прогнозирования развития биосферы в будущем, антропогенных изменений для обоснования оптимальных путей хозяйственного развития, изыскание методов воздействия на крупномасштабные процессы в биосфере для создания глобальной системы регулирования биосферы в интересах человеческого общества.

Исследования по проблемам глобальной экологии имеют глубокую традицию в отечественной науке, начало которой положено классическими трудами В.В. Докучаева [1948], В.И. Вернадского [1926], Г.Ф. Морозова [1912], В.Н. Сукачева [1945, 1964].

Покомпонентно биосфера рассмотрена в огромном числе работ, из которых достаточно выделить только обобщающие монографии, где определяется уровень, достигнутый наукой в данный период времени. В области экологии животных важны обобщения, сделанные Ч. Элтоном [1934], Д.Н. Кацкарковым [1938], А.Н. Северцовым [1914], Д. Леком [Lack, 1954], С.С. Шварцем [1976]. Почва как компонент биосферы рассмотрена в трудах И.П. Герасимова [1945, 1960], В.Р. Волобуева [1953], В.А. Ковды [1973]. Общегеографические закономерности природных зон сформулированы в работах А.А. Григорьева [1966], В.Б. Сочавы [1974б], С.В. Калесника [1970], Н.М. Сваткова [1974]. Эволюция биосферы рассмотрена в работах А.П. Виноградова [1967], К.К. Маркова [1960], А.И. Опарина [1957]. Вопросы антропогенного преобразования биосферы посвящены монографии Д.Л. Арманда [1966], Е.К. Федорова [1972], А.М. Рябчикова [1972].

Основное внимание специалистов по экологии в настоящее время обращено на моделирование сложных процессов, происходящих в экосистемах. Обобщение работ по экологическому моделированию проводится периодически в материалах Всесоюзной школы по математическому моделированию в биологии, организованной по инициативе члена-корреспондента АН СССР А.А. Ляпунова. Координация исследований по



применению математики в биологии и экологии проводится Научным советом по проблеме "Изучение окружающей человека среды и рациональное использование ресурсов биосферы". Уже в 1974 г. по этой проблеме было зарегистрировано 78 тем, сгруппированных в девять разделов: 1) системный анализ и методика моделирования, 2) моделирование конкретных экосистем, 3) моделирование фитоценозов, 4) моделирование разных популяций, 5) моделирование качества воды, в частности процессов самоочищения водоемов, 6) моделирование почвенных процессов, 7) математическое моделирование генетических и эволюционных процессов, 8) моделирование в физиологии и эпидемиологии, 9) системный анализ при исследовании природных и территориальных комплексов.

В работах по экологическому моделированию заняты специалисты более 70 научно-исследовательских учреждений и университетов. Недавно опубликованы сводки по итогам работ в области экологического моделирования [Моделирование почвенных процессов и автоматизация их исследований, 1976; Количественные аспекты роста организмов, 1975; Математика в социологии, 1977; и др.].

В области совершенствования методики исследования проводятся работы по автоматизации качественного исследования обыкновенных дифференциальных уравнений применительно к моделированию в экологии, анализ систем со сложными внутренними связями, математическое и экспериментальное исследование малых экосистем с управляемой степенью замкнутости, механизмов адаптации организмов к внешним факторам. Изучается применимость структурной теории автоматов и системной динамики для описания функционирования и процессов сезонного развития биогеоценозов. Разрабатываются алгоритмы управления и гомеостатической системы управления развитием организмов в среде, общей системы машинной имитации принятия решений. Учеными Сибирского отделения АН СССР в течение многих лет проводятся работы по математическому моделированию биологических процессов как раздела темы по исследованию управляющих систем, разрабатывается теория систем с лимитирующим фактором (Л-системы). В Институте медико-биологических проблем АМН СССР (Москва) разрабатываются принципы проектирования искусственных биогеоценозов, создаются модели, описывающие динамику состояний физиологических систем высших животных. Моделирование физиологических и эпидемиологических процессов включает исследования по теории живучести сложных систем с приложением к экологии, изучение механизмов воспроизведения звуков животными, структуры сигналов, связанных с общением и другими аспектами поведения.

Прогнозирование эпидемиологических показателей осуществляется на основе моделей эпидемий различных заболеваний, в частности туберкулеза, а также на основе исследований биогеоценологической и пространственной структуры природных очагов болезней. Близка к завершению разработка кинетической модели иммунитета. Уравнения движения механики с трением используются для описания скачкообразного процесса распространения инфекционного заболевания.

Большой раздел составляет математическое моделирование генетических и эволюционных процессов. В Институте физики СО АН СССР

(Красноярск) осуществляется конструирование замкнутых экосистем, включающее моделирование на ЭВМ эволюционных явлений, проводится экспериментальное и теоретическое изучение динамики микробных популяций под действием факторов отбора. Интересны модели генного дрейфа в популяциях с переменной численностью (механико-математический факультет МГУ), модели эффекта пространственной изоляции, злокачественного роста и лечения (Институт проблем управления, Москва), модели процессов переработки информации в сенсорных системах.

Детально разрабатываются модели численности популяций и биологической продуктивности биогеоценозов. Сюда входит моделирование динамики численности хвое-листогрызущих и стволовых вредителей леса (Институт леса и древесины СО АН СССР), почвообитающих насекомых и насекомых агроценозов (Ростовский университет). Интересны модели развития фито- и зоопланктона в малых озерах, популяции омуля в оз. Байкал (Лимнологический институт АН СССР).

Большое внимание в работах отечественных ученых, естественно, уделено моделированию процессов, протекающих в лесных сообществах. Ведущее место занимают работы эстонской школы по математическому моделированию радиационного режима, фотосинтеза и продуктивности растительного покрова в Институте астрофизики и физики атмосферы и Институте зоологии и ботаники АН ЭССР. Исследуется с помощью математических моделей возрастная структура и продуктивность пихтово-еловых фитоценозов Приморья, сосновых лесов Карелии, еловых древостоев Литвы, черносаксаульников.

Многосторонние и многолетние работы по изучению структуры лесных сообществ с широким применением системного анализа и моделирования проводятся Лабораторией биогеоценологии Ботанического института СССР, в которой всесторонне исследуется с помощью математических методов энерго-массоперенос в процессе сукцессионного развития растительного покрова. Изучение структуры и функций компонентов естественных экосистем в сукцессионном ряду "лес - луг" для условий западных областей Украины проводится в Государственном природоведческом музее АН УССР (г. Львов). Круговорот органического вещества в лесных сукцессиях представлен в моделях Института агрохимии и почвоведения АН СССР в г. Пуццино.

Первичные процессы фотосинтеза, модели искусственных экосистем изучают ученые биологического факультета МГУ. В Институте пустынь АН Туркменской ССР моделируют связи между динамикой фитомассы растительных сообществ и метеорологическими факторами. В Казанском университете разработаны методы статистического анализа морфологической и пространственной структуры ценопопуляций, фитоценозов и экосистем. Названными работами далеко не исчерпывается разнообразие приложений математического моделирования в биологических науках.

Моделирование как метод наиболее эффективно применяется при исследовании антропогенной трансформации природных объектов. По этому разделу существует целая группа научных разработок и моделей, в частности влияние хозяйственной деятельности на гидрохимию и гидробиологию оз. Байкал (Институт прикладной геофизики, Москва) изме-



нение лесной растительности в связи с колебаниями уровня воды в озерах (Институт ботаники АН ЛитССР), моделирование роста искусственных насаждений в Донбассе (Донецкий ботанический сад АН УССР), моделирование почвенно-гидрогеологического процесса и прогноз солевого режима орошаемых земель (Почвенный институт им. Докучаева, Москва; Институт почвоведения АН КазССР), моделирование процессов формирования урожаев сельскохозяйственных культур и управление распределением воды в мелиоративных системах (Институт водных проблем АН СССР), а также алгоритмы исследования процессов самоочищения морской среды от нефтяного загрязнения.

Наибольший опыт накоплен в области моделирования водных экосистем. Практически для всех уровней организации водных объектов предложены интересные модельные аналоги. Модели, предложенные В.В. Меншуткиным, позволяют с высокой достоверностью и достаточной точностью прогнозировать продукцию в водоемах на всех значимых трофических уровнях. Модели дают возможность нормировать загрязнения в водоемах, производить учет численности и запасов рыбы во внутренних водоемах (Институт зоологии и паразитологии АН ЛитССР, Институт биологии моря ДВНЦ АН СССР) и влияния промысла на популяции рыб, исследовать особенности формирования биоценозов морского обрастания (Институт океанологии АН СССР), определить роль планктонных простейших в трансформации энергии (Горьковский университет). Моделируются общий круговорот веществ в системе океан-атмосфера, способы управления экосистемами пелагиали и общей биологической продуктивности океана (Институт океанологии АН СССР), процесс самоочищения природных вод (Институт водных проблем АН СССР), процесс биоокисления (Институт белка АН СССР), динамика роста биомассы бактерий (Институт биохимии и физиологии АН СССР).

В НИИ механики и прикладной математики Ростовского университета завершена модель экосистемы Азовского моря, которая успешно используется для хозяйственных расчетов интенсивности рыболовства, поддержания высокого качества воды и других целей. Комплексная математическая модель экосистемы Красноярского водохранилища разрабатывается в Институте физики СО АН СССР. Таким образом, моделированием охвачен широкий круг проблем, накоплен значительный опыт.

### 1.5.2. Классификация экологических моделей

Объектом экологического моделирования являются надорганизменные системы низшего уровня [Наумов, 1971], т.е. популяции и виды, биоценозы, биомы. Надорганизменные системы принадлежат к классу особо сложных вероятностных кибернетических систем. Становление и развитие надорганизменных систем происходило одновременно с видообразованием. Синхронное образование биологических систем разных уровней обеспечило непрерывный взаимоувязанный круговорот органического вещества (создавший биосферу), способствовало появлению новой, высшей системы координации функций организмов и среды, управляющей питанием, размножением и оповещением индивидов.

Отсюда вытекают четыре основных отличительных свойства надорганизменных систем: 1) средообразующая роль биологических макросистем — экосистема или биогеоценоз — это прежде всего единство и неразрывность живого населения и неорганической среды [Сукачев, 1947; Одум, 1975]; 2) надорганизменные системы создают особый вид статистического управления, характеризующийся тем, что объекты определенного класса вступают между собой в случайные и причинно обусловленные взаимоотношения путем обмена информацией или совместных действий. А.А. Ляпунов [1964] подчеркивал, что, чем сложнее и крупнее управляемый агрегат, тем более разнообразные функции должна выполнять управляющая система. Это ведет к тому, что на более высоких ярусах управления формирование структур новых ярусов предъявляет все новые требования к этой высшей управляющей системе. Поэтому на высоких ярусах легче могут возникать статистические связи, чем структурные. Этим объясняется то, что надорганизменные процессы управления имеют много ярусов (популяционный, биогеоцелотический и, наконец, биосферный), которые построены в основном на статистическом принципе; 3) надорганизменные системы отличаются высокой подвижностью — изменчивостью соотношения частей, характеризуются меньшей жесткостью связей между структурными элементами. Это свойство обеспечивает высокую степень саморегуляции; 4) системы надорганизменного уровня не имеют жесткой программы развития в отличие от составляющих их организмов, проходящих путь индивидуального развития (онтогенез), определяемый закодированной в ДНК зародышевой клетки наследственной информацией. Онтогенез завершается старостью и смертью организма. Надорганизменные системы потенциально "бессмертны". Периодически или непрерывно размножаясь, они могут существовать примерно в одном и том же состоянии неопределенно длительное время.

В соответствии с описанными свойствами выделяют два основных типа биологических макросистем: системы видов, состоящих из некоторого числа относительно независимо существующих популяций, каждая из которых занимает определенную часть видового ареала, и биоценозы, состоящие из популяций разных видов, связанных между собой метаболическими и пространственными отношениями и занимающих определенную ограниченную территорию (биотоп).

Вид может быть рассмотрен как открытая кибернетическая система, связанная со средой входными и выходными каналами связи, контролируемая самой системой; биогеоценоз же — это несколько более замкнутая система, способная существовать без обязательного привнесения неорганического и органического вещества и имеющая четыре основных уровня организации биоценозов: первый уровень — продуценты органического вещества (растения и микроорганизмы фото- и хемосинтетики); второй — первичные потребители-консументы (растительноядные животные); третий — вторичные консументы (плотоядные животные, сапрофиты-бактерии и грибы); четвертый — организмы, живущие за счет энергии минерализуемого ими вещества.

Таким образом, экологическими следует называть модели, с помощью



которых дается описание взаимодействия надорганизменных систем и отдельных организмов с абиотической средой. Для целей географического прогноза наибольший интерес представляют модели динамики и саморегуляции популяций (видовой уровень) и модели биогеоценозов. Опираясь на перечисленные выше фундаментальные свойства биологических макросистем, можно дать предварительную классификацию экологических моделей.

Все разнообразие экологических моделей можно распределить в несколько групп:

1) модели экосоциальных систем или макромоделей глобальных систем научно-технического и социально-экономического развития планеты в целом или отдельных крупных регионов и стран, используемые в основном для долгосрочного прогнозирования и определения ведущих тенденций в развитии природы и общества; собственно эколого-географические проблемы решаются в макромоделях в виде субмоделей или блоков, описывающих отдельные важнейшие свойства среды, например степень техногенного загрязнения, динамику ресурсов;

2) модели глобальных геофизических процессов — климата, динамики температуры, увлажнения, ледового покрова, баланса органического вещества;

3) модели динамики зональных ландшафтообразующих процессов, например зоны тундры в целом, хвойных лесов и т.д., биомов по терминологии, принятой в Международной биологической программе (МБП);

4) модели орографически замкнутых территориальных комплексов (бассейн реки, болотный массив, озеро);

5) модели биогеоценозов;

6) модели отдельных процессов на различных таксономических уровнях ландшафта (сток, динамика рельефа, сукцессия растительности, миграция химических элементов и т.п.);

7) модели динамики и структуры популяций животных и растений (видовой состав, численность и биомасса особей, пространственная структура);

8) модели реакций организмов и популяций на факторы среды — синэкологические модели взаимодействия организмов и среды;

9) модели трофических цепей, энерго- и массопереноса по пищевым цепям; аутоэкологические модели взаимодействия организмов типа "хищник — жертва";

10) модели роста и онтогенетического развития организмов.

По каждой из перечисленных групп экологических моделей накоплен большой и интересный материал. Мы ограничимся рассмотрением отдельных примеров, обзором общих структурных принципов и математического аппарата, применяемых в моделях.

Экологические макромоделей глобального уровня вызваны к жизни прежде всего растущей угрозой экологического кризиса на нашей планете. С помощью таких моделей делается попытка оценить реальность такой угрозы, определить время наступления и характер протекания экологически опасных, разрушительных процессов, вызванных ростом потребления и производства в современном мире. Советские ученые придержи-

ваются умеренно оптимистической точки зрения на проблему экологического кризиса. Опасность его усугубляется общим кризисом капиталистической системы и противоречиями, создаваемыми капитализмом. Однако человечество располагает всеми возможностями, чтобы избежать его. Проблема экологического кризиса прежде всего социально-политическая по характеру. Футурологические концепции буржуазных ученых, использующих в своих исследованиях экологические макромоделли, отражают широкий спектр представлений о будущем — от крайне мальтузианских, предсказывающих всемирную катастрофу (неоапокалипсисы), до технооптимистических, сторонники которых видят в совершенствовании техники и в научном прогрессе панацею от всех бед, в том числе и от экологических.

Получивший широкую известность "Римский клуб" придерживается умеренно пессимистической точки зрения. Не отвергая опасности экологического и социально-политического кризисов в ближайшем обозримом будущем, это авторитетное объединение ученых различных стран выражает надежду, что у человечества есть еще время, возможность и здравый смысл, чтобы предотвратить катастрофу.

Прогнозные расчеты, приводимые в книге "Проблемы роста" [Meadows et al., 1971], сделаны на основе методики моделирования, разработанной Форрестером [Forrester, 1961]. В 1-й мировой модели прослежена взаимосвязь следующих параметров: численности населения ( $P$ ), объема природных ресурсов производства ( $R$ ), загрязнения среды ( $D$ ), объема пищи ( $F$ ), стандарта жизни (жизненный уровень —  $W$ ), капиталовложений в промышленность ( $K$ ) и фондов сельского хозяйства ( $\kappa$ ). В основе методики лежат аппроксимация эмпирических кривых, полученных на основе анализа большого многолетнего статистического материала. В результате модель описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dP}{dt} = \pi(\bar{D}, \bar{W}, \bar{F}, P) - \hat{\pi}(\bar{D}, \bar{W});$$

$$\frac{dR}{dt} = -\hat{v}(\bar{W})P;$$

$$\frac{dD}{dt} = d(K)P - \frac{1}{T(D)}\bar{D};$$

$$\frac{dK}{dt} = \alpha(\bar{W})P - \mu K;$$

$$F = F(P, D, K_F); \quad K_F = q(\kappa) \frac{K}{D};$$

$$\frac{d\kappa}{dt} = h(\bar{W}, F); \quad W = S(\kappa, \bar{R}, \bar{k}P),$$

где  $\pi$ ,  $\hat{\pi}$ ,  $\hat{v}$ ,  $d$ ,  $\alpha$ ,  $q$ ,  $h$ ,  $k$  — эмпирические коэффициенты.



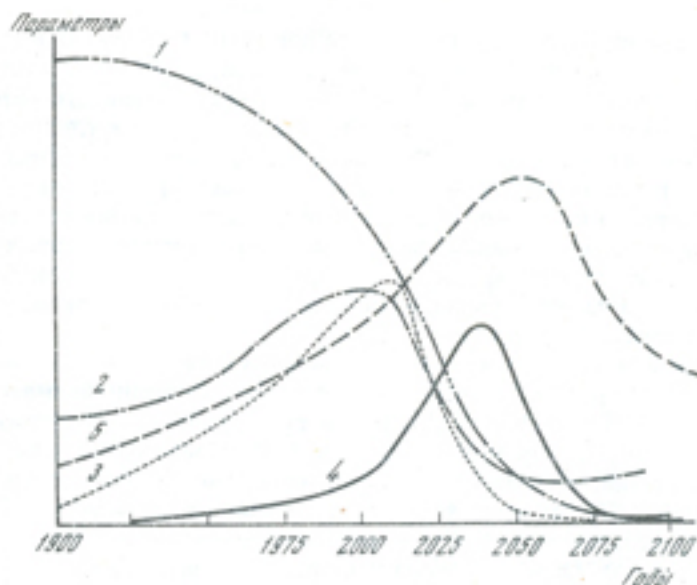


Рис. 1. Мировая модель "стандартного типа" [Forrester, 1961]

1 — ресурсы; 2 — количество продовольствия на душу населения; 3 — количество промышленной продукции на душу населения; 4 — загрязнения; 5 — население

Согласно расчетам при существующих темпах роста населения, промышленного производства и использования природных ресурсов следует ожидать, что к 2050 г. уровень загрязнения увеличится по сравнению с 1970 г. в 65 раз, что неизбежно вызовет дезорганизацию производства и резкое снижение стандарта жизни для большинства людей на нашей планете (рис. 1).

Авторам данной модели можно возразить. Для этого рассмотрим основания для расчетов загрязнения среды, принятые в модели. Степень загрязнения в модели непосредственно связана с численностью населения и капиталовложениями в промышленность. При этом сделаны допущения, что загрязнение обязательно возрастает с ростом капиталовложений и производственных фондов, а член уравнения  $\frac{1}{T(D)} \bar{D}$  в выше приведенной

системе уравнений, выражающий естественный распад загрязнения в среде, для обобщенных расчетов принят равным 0,67. Другими словами, если не происходит накопления производственных и бытовых отходов, то 2/3 существующего количества отходов будет рассеяно и полностью минерализовано в ландшафте за 1 год. Такое допущение нуждается в серьезной экспериментальной проверке и может быть принято только для ориентировочных расчетов. Существует слишком много факторов по огромному количеству видов технологических отходов, время полного выщелачивания и окисления которых намного превосходит срок, принятый в мировой модели. Кроме того, зависимость количества загрязнения от величины капиталовложений и производственных фондов имеет более

сложный характер. Например, при добыче полезных ископаемых в крупных карьерах, оснащенных современной техникой, объем загрязнителей среды (вскрышные породы) и площадь разрушаемых земель относительно меньше, чем на мелких, технологически несовершенных предприятиях. Очевидно, что без детальной разработанной модели динамики вещества в ландшафте, позволяющей реально оценить скорости распада загрязнителей, невозможно построить убедительный прогноз развития современного производства и состояния среды. Основной недостаток первых моделей "Римского клуба" кроется в неразработанности именно экологического блока, а также в упрощенном подходе к социально-экономическим и политическим явлениям.

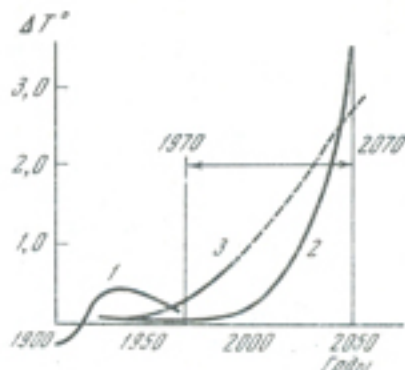
Глобальные экологические модели позволяют провести оценку состояния биосферы, определить тенденции ее развития и степень возможного техногенного регулирования климатом и процессами, протекающими в биосфере. Основу биосферных процессов, как известно, составляет фотосинтез растений, интенсивность которого прямо зависит от уровня концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Современная концентрация  $\text{CO}_2$  — 0,033% — предельная, ниже которой наступает резкое снижение интенсивности фотосинтеза. Образно говоря, биосфера находится на грани своего существования. М.И. Будыко [1977в] выделяет критические точки в современном развитии биосферы. Первая точка — снижение концентрации  $\text{CO}_2$ . Вторая — снижение температуры приземного слоя воздуха. В современную эпоху в результате производства в возрастающем объеме энергии и изменения концентрации атмосферного аэрозоля под влиянием промышленных выбросов снижение концентрации  $\text{CO}_2$  приостановлено, даже намечилось ее возрастание; увеличивается средняя планетарная температура. М.И. Будыко [1977в] приводит оценки влияния техногенеза на климат будущего (рис. 2). Антропогенное повышение температуры в первой половине XXI в. будет более значительным по сравнению с изменением температуры, происходившим под влиянием естественных причин в первой половине XX в. В дальнейшем рост температуры будет происходить быстрее, что приведет к еще большим изменениям глобального климата. Эти расчеты основаны на использовании полуэмпирической модели термического режима атмосферы в предположении, что изменение температуры происходит в результате изменения притока тепла при постоянстве всех других факторов, влияющих на климат, включая альbedo системы "Земля — атмосфера".

Для описания сложной природы живых существ необходимо построение комплексных моделей высокого порядка сложности. Не случайно поэтому в практике экологического моделирования сильна тенденция комплексирования сложных моделей из более простых, построение и верификация которых достаточно надежны. Комплексные модели более соответствуют природе экологических объектов, имеющих, как говорилось выше, сложную иерархическую структуру. Наиболее полно идея интеграции моделей нашла выражение в серии книг под общим названием "Системный анализ и имитационное моделирование в экологии", представляющей собой постоянно пополняемое собрание моделей американских экологов, возглавляемых Б. Паттенем.



Рис. 2. Изменение аномалий температуры воздуха у земной поверхности [по М.И. Будако, 1977а].

1 — вековой ход отклонений от нормы средней температуры воздуха для северного полушария; 2 — изменение средней планетарной температуры при увеличении производства энергии на 6%; 3 — изменение глобальной температуры.



Теория экологического моделирования опирается на системные представления Берталанфи, Кирла, Каствера, Симона, Тьюринга, Эшби, Форрестера. Комплексными моделями описывают потоки вещества, энергии или информации в экосистемах. Для описания онтогенетического развития и поведения организмов и популяций, имеющих скачкообразные качественные переходы (например, развитие насекомых, проходящих через стадии яйца, личинки, куколки, имаго), применяют имитационные модели, позволяющие не только учитывать изменения значений существенных параметров, но и менять сам набор параметров в соответствии со стадиями развития и особенностями поведения биологических объектов. Американские исследователи для этих целей применяют упрощенную версию алгоритмического языка, получившую название "Динамо", которая обеспечивает возможность работы с моделями высокой сложности в диалоговом режиме с ЭВМ для экологов, детально незнакомых с математикой и программированием. Интересно предложение Одума, касающееся разработки специального языка для описания энергетических процессов в экосистемах. Модели используются для расчетов нагрузок на пастбища, норм вылова и отстрела, организации природоохранных и других мероприятий. В теоретическом плане исследуются вопросы устойчивости решений систем дифференциальных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами, верификации, адаптации к местным условиям, анализа чувствительности моделей и другие методологические проблемы.

Для географического прогнозирования наибольший интерес представляют модели крупных ландшафтных образований — прерий, восточных листопадных лесов, пустыни, тундры, хвойных лесов, региональных образований — экосистемы отдельных озер, бухт, а также отдельных процессов — сукцессии растительности, круговороты питательных веществ и др.

В экологическом моделировании выделяют два подхода. В первом подходе изучается общая динамика экосистемы как целого. Экосистема рассматривается состоящей из отдельных резервуаров, блоков. При этом предполагается, что процессы, связанные с функционированием отдельных блоков, уравновешивают друг друга, и поведение блока в целом оказывается довольно простым. Для нахождения значений параметров

несколько раз решают систему, добиваясь совпадения результатов с экспериментальными данными. Таким путем уточняют значения коэффициентов в уравнениях. В этих моделях главное внимание уделяется описанию динамики основных физических масс, образующих ландшафты, — воздушной, водной, горной и биотической.

При втором подходе моделируемый процесс разбивается на простые субпроцессы, которые можно воспроизвести в эксперименте и описать простыми системами уравнений. Объединение субпроцессов осуществляется построением балансовых соотношений всей системы. Этот метод успешно применяется при моделировании поведения отдельных организмов, так как позволяет предсказывать их реакции при нарушении системы в целом.

При исследовании сложных ландшафтных систем обычно применяют оба подхода. Например, модель пустыни в упоминавшейся американской системе экологических моделей предназначена для изучения потоков солнечной энергии, температуры и осадков. Каждый блок, описывающий изменения параметров во времени, представлен в модели по меньшей мере одним дифференциальным уравнением. Высшим уровнем интеграции является объединение простых моделей в группу более сложных и, далее, объединение групп в общую систему моделей в соответствии с классификацией, приведенной в предыдущем разделе (рис. 3).

Интегрирование моделей позволяет упростить описание связей между компонентами системы. Действительно, описание процессов в сосредоточенных параметрах в пределах относительно коротких промежутков времени в модели пустыни удовлетворительно сделано путем линейной аппроксимации взаимодействий. На уровне элементарного физического процесса, например, транспирации, осмотического давления и т.п., взаимодействия имеют линейный характер и связь между входом ( $I$ ) и выходом ( $\Phi$ ) описывается в общем виде следующим уравнением:

$$\Phi = L(I),$$

где  $L$  — линейный оператор. В этом случае, если  $I_1$  и  $I_2$  — входы, а  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  — выходы, справедливо следующее соотношение:

$$a\Phi_1 + b\Phi_2 = L(aI_1 + bI_2),$$

где  $a, b$  — постоянные.

Однако линейная аппроксимация становится невозможной для представления биологических систем уже на уровне организма или популяции. Действительно, если мы будем в 10 или 100 раз увеличивать солнечную радиацию, то это не приведет к такому же увеличению биомассы. Следовательно, формальное требование, чтобы комбинация линейных связей носила также линейный характер, для биологических систем не выполняется.

Этим определяется сложность интегрирования экологических моделей, отражающая общее философское положение о несводимости общего к частному и о невозможности описания более сложной организации простой совокупностью составляющих ее частей.



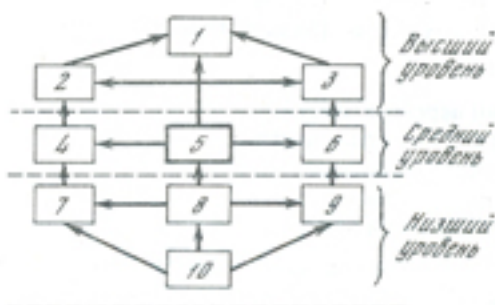


Рис. 3. Возможная сеть моделей, образующая общую экологическую систему (номера по классификации, приведенной в тексте)

В англоязычной литературе эта проблема получила название "соотношение механицизма и холизма". Механицизм — это методологическое допущение того, что все природные процессы, в том числе и жизнь, механически предопределены и могут быть полностью описаны законами физики и химии. Холизм — это концепция целостности, по которой сложное явление нельзя проанализировать, вычитая из целого отдельные части и сокращая его до отдельных (дискретных) элементов, и поэтому сложные природные процессы невозможно описать совокупностью физико-химических законов, которым подчиняются отдельные его части.

Таким образом, линейными уравнениями можно описывать только отдельные свойства биологических систем. Но в допустимых обобщениях комбинацией линейных связей можно удовлетворительно смоделировать основное, самое интересное свойство биологических систем — способность их усложнять и интегрировать свои внутренние связи и тем самым обеспечивать свою жизнедеятельность и устойчивость в среде.

Эколого-биологические исследования, начатые по Международной биологической программе (МБП) и продолженные по сменявшей МБП программе "Человек и биосфера", проводятся с учетом необходимости интеграции отдельных исследований и моделей. Примером такой интеграции может служить перечень из 70 моделей, собранных для построения общей модели биомы листопадных лесов (в нашей терминологии — подзоны широколиственных лесов). Модели выполнены на основе стационарных полевых работ, проведенных в конце 60-х — первой половине 70-х годов в различных районах США. Больше половины моделей закончено и применяется на практике. Большое разнообразие моделей объясняется еще тем, что одно и то же природное явление целесообразно описывать разными моделями, отражающими различия в методологических подходах и степени детализации.

Модели, входящие в экологическую систему  
"Биомы листопадных лесов" [System Analysis. . . , 1971]

*Модели процессов*

1. Постоянный тип переноса энергии
2. Динамический тип переноса энергии
3. Почва – растение – атмосфера
4. Почва – подстилка – атмосфера
5. Навесной энергетический поток

*Первичная продукция наземных сообществ*

6. Фотосинтез листа
7. Фотосинтез в устойчивом состоянии
8. Фотосинтез в особых условиях
9. Взаимосвязь "растение – вода"
10. Распространение биомассы
11. Распространение листьев
12. Рост стебля и ветвей
13. Постоянная первичная продукция
14. Устойчивое развитие
15. Сукцессия
16. Динамика землепользования

*Вторичная продукция наземных сообществ*

17. Динамика популяций
18. Расход насекомых
19. Стохастическая модель популяции
20. Кинетика пищевых цепей

*Наземные деструкторы (разрушители органического вещества)*

21. Деструкторы подстилки
22. Пищевые цепи артроподов (членистоногих)
23. Артроподы сосны белой
24. Деструкция, производимая простейшими организмами
25. Почвенные беспозвоночные
26. Почвенные грибы-деструкторы
27. Микроорганизмы (бактерии) – субстрат
28. Разрушение подстилки
29. Наземная деструкция

*Наземные циклы питательных веществ (органогенов)*

30. Азот почвы
31. Модель баланса азота
32. Почвенные питательные вещества

*Гидрология*

33. Инфильтрация воды в почве
34. Баланс воды в почве
35. Устойчивый оптимальный водный баланс
36. Гидрология оз. Джордж
37. Модель уровня воды в озере



38. Циркуляция воды в озере
39. Сейш
40. Смешанная модель
41. Седиментация
42. Течения

*Водная первичная продукция*

43. Кинетика фитопланктона
44. Динамика фитопланктона — питательные вещества
45. Водные макрофиты

*Водная вторичная продукция*

46. Бентос
47. Популяция зоопланктона
48. Вертикальная миграция зоопланктона
49. Биомасса рыб

*Водная деструкция*

50. Деструкция

*Водные питательные вещества*

51. Азот
52. Фосфор
53. Водные питательные вещества

*Модели субсистем*

54. Кинетика фитопланктона—зоопланктона
55. Первичная продукция наземных биоценозов
56. Подсистема водотоков
57. Водная биомасса

*Дополнительные (прикладные) модели*

58. Перенос ДЦТ
59. Экосистема "Алеуты"

*Модели экосистем*

60. Модель наземных экосистем
61. Динамика энергии
62. Питательные вещества в управляемых экосистемах
63. Кругооборот вещества в наземных экосистемах
64. Кругооборот углерода в лесных насаждениях
65. Баланс питательных веществ
66. Растительность бассейна реки (или водораздела)
67. Взаимодействие "вода — земная поверхность"
68. Модель гидрологического переноса
69. Анализатор экосистемы озера
70. Модель зоны литорали

Как видно из перечня, низший уровень состоит из обширной группы моделей реакций организмов на изменения абиотических факторов среды, которые входят составной частью в модели первичной и вторичной про-

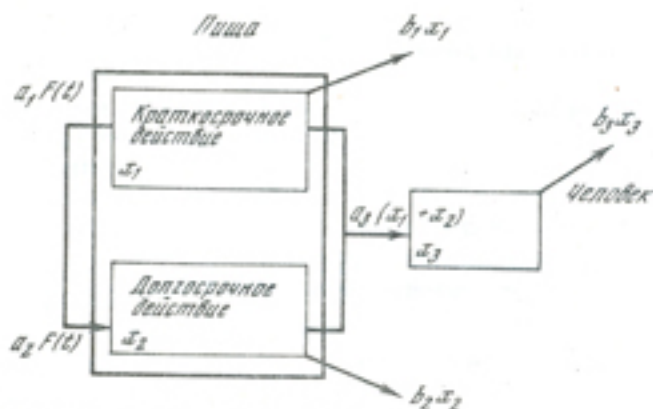


Рис. 4. Простая модель миграции ДДТ и ДДЕ в пищевых цепях человека

Пищевое снабжение подразделяется на долю, непосредственно получающую пестициды, и долю, зараженную не прямым путем, а через кругооборот в почве. Простота модели есть результат ограничения исходных данных

дукции и деструкции органического вещества. На следующем уровне модели образуют subsystemы. И на самом высоком уровне обобщения создаются экосистемные модели, которые можно использовать в глобальных прогнозах социально-экономического развития.

Объединение моделей создает целый ряд преимуществ. Во-первых, моделирование вообще и комбинирование моделей экосистем в особенности значительно совершенствуют методологию экологических исследований. На начальных стадиях разработки МБП уже применялся в широких масштабах системный подход, но только применение моделей позволило создать основу для синтеза и сравнения огромного числа данных, полученных по МБП в различных странах и отражающих самые разные природные условия. В 1972 г. международной группой ученых из 18 научно-исследовательских учреждений 14 стран была создана модель, которая предназначалась для интегрирования экологических моделей синтеза и сравнения данных.

Во-вторых, комбинированные модели позволяют сформулировать гипотезы развития экосистем или отдельных ее компонентов и организовать исследования таким образом, чтобы осуществить экспериментальную проверку выдвигаемых положений. Естественно, что проверка гипотез возможна только при условии высокой достоверности получаемых данных с помощью модели с объективно измеренными.

На пути интегрирования нелинейных моделей экосистем стоят те же трудности, что и при агрегировании блоков и подсистем в полную модель. Любая комплексная модель проявляет огромное количество форм поведения, из которых большинство не реально. Это обстоятельство, знакомое каждому занимавшемуся моделированием больших систем, порождает известный пессимизм в возможности получения реальной модели экосистемы путем комбинирования нелинейных моделей.

Интегрирование моделей уже оправдало себя на практике. По простой модели миграции ДДТ и ДДЕ в пищевых цепях, включающих человека,



используемой для оценки возможных концентраций этих веществ в тканях, просчитано 6 вариантов ожидаемого изменения концентрации пестицидов в жировых тканях человека на периоды через 4 года до 2022 г. При полном запрете использования этих веществ в сельском хозяйстве концентрация их снизится с 5,14 в 1970 г. до 0,36 ppm к 2022 г., т.е. почти в 15 раз. Если же снять все ограничения, то за это же время концентрация указанных веществ возрастет в 1,8 раза (рис. 4). Эти данные были успешно использованы Агентством по охране среды в кампании по сокращению производства и использования ядохимикатов в США.

### 1.6. Географическое моделирование как основание для прогноза

В связи с тем что географическое прогнозирование, как было показано выше, и в методологическом, и в методическом отношении является направлением новым, специальных разработок моделей географических прогнозов не очень много, хотя сам процесс проникновения в географию моделирования уже имеет некоторую историю. В настоящее время география располагает большим числом моделей, описывающих те или иные свойства внутри отдельных географических объектов или отношения между объектами. Модели отличаются друг от друга глубиной описания явлений, а также используемым математическим аппаратом. О важности моделирования в географии правильно написал в своей работе Ю.Г. Саушкин [1971, с. 353]: "Положительная сторона обих и частных опытов географического моделирования состоит в том, что они помогли географии отойти от описательности и приступить к выявлению законов развития различных пространственных систем, подсистем и в еще большей степени структур".

Большое число реально существующих моделей не позволяет подробно рассмотреть (в рамках данного исследования) каждую из них в отдельности. Можно попытаться показать лишь основные группы. Классификация моделей описания географических объектов существует несколько. Здесь мы воспользуемся классификацией, предложенной В.С. Преображенским и В.П. Александровой [1975]. Она особенно интересна потому, что в ней анализируются графические модели и их развитие. Такой подход полезен, так как графическое моделирование было первым типом в использовании моделей в географии. Одной из первых моделей такого рода в географии была логическая модель А.А. Григорьева [1926]. Однако в активное обращение логические модели были введены К. Герцем [Herz, 1966] и особенно Г. Рихтером [Richter, 1968]. Модель Рихтера — это сложный граф, на котором показаны чрезвычайно большое число элементов геосистемы. Относительно простая модель Герца представляла собой граф, построенный в виде октаэдра. Шестью вершинами октаэдра обозначены литосфера, атмосфера, гидросфера, рельеф, почвенный покров и биота. Затем было предложено много вариантов таких моделей [Шмидт, 1975]. Их эволюция и прослеживается В.С. Преображенским и В.П. Александровой. В этой эволюции хорошо видна и та математическая база, которая постепенно подводилась под графическое моделирование, превра-

щая его в математическое. В классификации В.С. Преображенского и В.П. Александровой выделены два уровня делителей: первый из них — характер включаемых subsystem по активности (только объект, два объекта, объект и субъект), второй — число учитываемых систем (моно- и поли-системные модели). Эти авторы пишут, что в географии объектные модели пока преобладают, объект-объектных моделей мало. Еще меньше субъект-объектных моделей, но число их растет. Примером первых моделей они называют "модели природных комплексов", в которых элементы равноактивны в том смысле, что изменение одного из элементов неминуемо приводит к изменению и всего комплекса. В качестве моделей второго типа (объект-объектных) называются модели типа "природа — техника", "природа — человек" (последние в рамках медицинской географии). Здесь объекты также равноактивны: за изменением одного из них следует изменение другого. И наконец, в моделях третьего типа (субъект-объектных) "субъект" — человек, он активнее объекта (природы или природно-технической системы). Входя в эту систему, он активно воздействует на природу, принимая решения, направленно меняя ход процессов или состояний элементов системы.

На примере объектных моносистемных моделей прослеживается путь эволюции от построения простого графа связей к графу, на ребрах которого показаны прямые и обратные связи (с качественной оценкой их силы и характера). Затем на следующем этапе эволюции графов — логических схем — на ребрах графов подписываются значения коэффициентов парной корреляции или уравнения регрессии. И наконец, появляются модели, в которые включают кривые распределения свойств элементов вершины графов, образующих геосистему.

Особенно большой вклад в теорию статистических моделей связи внесли иркутские географы, работавшие под руководством академика В.Б. Сочавы; они разработали особый метод комплексной ординации (МКО). В основе МКО лежит аппарат дисперсионно-регрессионного анализа [Топология степных геосистем, 1970; Гелета, 1976; Дружинина, 1976; Кочуров, Хакимзянова, 1976; Мартынова, 1976; Мартынова и др., 1976; Сорокина, 1976; Снытко, 1978]. Интересные добавления к этим работам сделала Н.В. Миловидова [1977], А.А. Крауклис [1979].

В рамках моделей статистических связей наряду с парными корреляциями описываются и множественные корреляции, изучается пространственно-временная изменчивость коэффициентов регрессии. Имеются основания для постановки прогностических задач. В целом же система линейных и нелинейных уравнений регрессии, полученных при аппроксимации методами наименьших квадратов эмпирических данных, направлена на то, чтобы по одним относительно просто измеряемым параметрам получить значения других параметров. Решение всей совокупности уравнений позволяет описать состояние параметров. Изучая таким способом взаимозависимость между свойствами отдельных элементов геосистемы, специалисты-географы пытаются за статистическими отношениями увидеть физическую природу взаимодействия, отыскать причины и связанные с ними следствия. Однако сам аппарат дисперсионно-регрессионного анализа не позволяет решить эту задачу вполне корректно, так как с помощью эле-



ментарной статистики характер взаимодействия описать невозможно. Прогноз в рамках дисперсионно-регрессионных моделей геосистемы возможен в форме некоторых условий (если одни параметры изменятся, то и другие примут значения, близкие к расчетным). Если же имеются данные о динамике коэффициентов регрессии во времени, то возможен прогноз-экстраполяция.

Очень близкими по своему содержанию являются модели, построенные на базе информационного анализа. Этот аппарат стал особенно популярным в последнее время, так как, по мнению тех, кто его активно пропагандирует [Пузаченко, Мошкин, 1969; Пузаченко, 1976; Арманд, 1975, 1976; Арманд, Миловидова, 1975; и др.], он лишен жестких ограничений, свойственных статистическим методам. Не вдаваясь в полемику о существовании или отсутствии информационных потоков в геосистемах, о наличии каналов связи, передачи и приема информации, можно видеть, что с помощью этого аппарата анализируется совместная встречаемость и условная вероятность наступления одного из двух событий. Поскольку условные вероятности наступления каждого из двух сопряженно изучаемых событий при сообщении о том, что одно из них уже наступило, чаще всего оказываются неравными, то появляется возможность говорить о том, что наступление одного события содержит в себе информацию о другом. Обычно методами информационного анализа описываются структура объектов, степень их упорядоченности, связи между элементами геосистемы. Естественно, что и здесь имеется возможность составления прогнозов и реконструкций. Некоторые прогнозные модели этого вида реализованы [Скулкин, 1976].

В географическом моделировании определенное место принадлежит моделям, описывающим поведение, функционирование и эволюцию моделей. Чаще всего, говоря о функционировании геосистем, имеют в виду те процессы метаболизма, которые осуществляются между геосистемой и ее внешней средой, а также процессы обмена веществом и энергией между элементами внутри системы. Наиболее простые из моделей имеют характер балансов вещества и энергии. В качестве примера можно назвать структурно-функциональную модель природного комплекса, разработанную Н.Л. Берущавили, Г.А. Гуджабидзе, А.Г. Тедиашили, М.В. Чурадзе и Г.С. Элизбарашвили [1972]. Модель построена на примере фации склонов средней крутизны ( $25^\circ$ ), сложенных конгломератами верхнего сармата, с буковыми лесами на горно-лесных почвах средней мощности. Интересной особенностью этой модели является то, что для построения баланса вещества и энергии выделены две границы комплекса: верхняя — у кровли верхнего яруса древесной растительности, нижняя — у нижнего края корневой системы. Наземная часть фации разделяется на пять биогоризонтов, подземная — на три. В центре внимания моделирования находится биопродуктивность горизонтов. Для каждого из горизонтов подсчитывается баланс вещества и энергии, в результате строится диаграмма-разрез фации, на которой линиями разной толщины и цвета показывается распределение потоков вещества и энергии; приводятся цифры, характеризующие биопродуктивность горизонтов, а также запасы фитомассы. Особенность этой модели заключается также и в том, что для опи-



сания выбирается лишь один вид функционирования фации — биофункционационирование, создающее биомассу, для образования которой расходуется часть вещества и энергии, циркулирующих в виде потоков внутри данного вида геосистемы.

Далее в ходе исследования авторы установили, что со временем происходят определенные изменения в биофункционационировании. Кажется важным их вывод о том, что при определенном уровне изменений биофункционационирования испытывается изменение и структура данного геокомплекса. Изменение этих процессов во времени рассмотрено в статье Н.Л. Берущашвили с соавторами [1972]. У авторов указанной статьи разработана и регрессионная модель, позволяющая при измерении некоторых параметров изученной фации рассчитывать и другие параметры, необходимые для описания определенного вида биофункционационирования. Виды биофункционационирования выделены в особое понятие и получили название "стексов".

Таким образом, в географическом моделировании наряду с использованием метода баланса получили распространение модели, описывающие функционирование геокомплексов. Следует заметить, что само понятие "функционационирование" у разных авторов приобретает различные оттенки. Это, безусловно, находит отражение и в качестве и в виде моделей.

Не останавливаясь подробно на сложных моделях из-за того, что они чаще всего относятся к отраслевым моделям, описывающим сток, фильтрацию вод, движение воздушных масс, сползание грунта на склонах (их рассмотрение заняло бы слишком много места), укажем лишь на две сложные модели, имеющие принципиальное значение для географического прогнозирования. Это территориальная модель производительных сил, разработанная И.Ф. Зайцевым [1968], и модель использования водных ресурсов, выполненная группой сотрудников НИИ механики и прикладной математики Ростовского университета под руководством А.Б. Горстко [1976].

Территориальная модель производительных сил [Зайцев, 1968] представляет собой совокупность систем территориальных моделей. Процесс моделирования идет сверху вниз и одновременно снизу вверх. Для пяти этапов районирования предлагается восемь моделей структурного, территориального и структурно-территориального вида. Модели разделены на четыре типа: А. Территориальная модель производства—потребления по важнейшим продуктам (модель "однопродуктовой" отрасли); Б. Модель генерализованных транспортно-экономических связей; В. Модель районного территориально-производственного комплекса; Г. Генерализованная модель межрайонного разделения труда. В первом типе модели (А) определяется минимум нелинейного функционала, учитывающий сбалансированное производство и потребление одного продукта при существовании лимитирующих видов ресурсов. Модели второго типа (Б) оптимизируют распределение перевозок между разными видами транспорта с помощью отыскания второго функционала. Сопоставление итогов работы по моделям типов А и Б позволяет увидеть некоторые противоречия между развитием отрасли производства и загрузкой всей транспортной системы. Увязка моделей проводится методом последовательных приближений, и в результате получается система экономических районов стра-

ны. В модели типа В строится районный территориально-производственный комплекс с учетом противоречий между заданиями району (со стороны высшей системы) и ресурсными возможностями данного района. Для решения задачи минимизируется некоторый нелинейный функционал. В модели Г описывается межрайонное разделение труда, используется анализ между ввозом и вывозом продуктов. Задача решается отысканием максимума некоторого функционала. При сопоставлении отдельных показателей устанавливается наличие или отсутствие противоречия между производством и межрайонным обменом каждого из видов продукции. Если противоречия обнаружены, то они снимаются методом последовательных приближений. Затем сопоставляются все четыре типа моделей.

Модель И.Ф. Зайцева интересна и для комплексного моделирования, так как рассматривает динамические отношения между различными элементами внутри одного комплекса и их группы. Для перенесения этих идей в природные комплексы следует заменить производство товаров на производительность природных масс (биомассы, водной массы и др.), а транспортную схему использовать для анализа миграции веществ в природном комплексе.

В модели, выполненной под руководством А.Б. Горстко [1976], рассматриваются проблемы, связанные с рациональным использованием ресурса некоторого абстрактного региона, который по существу совпадает с водосборным бассейном. Если сравнивать эту модель с моделью Н.Л. Беруцашвили и его соавторов, то в ней рассматривается гидрофункциональное гораздо более сложного геокомплекса, чем фация. В качестве прототипа этого региона выбирается бассейн Дона с замыкающим бассейном Азовского моря. В работе приведена схема абстрактного региона, на которой выделено несколько типов объектов по существу являющихся географическими. На схеме показаны река с притоками (верхнее и нижнее течение), водохранилище с электростанцией, водозаборы различных типов (для орошения, теплоэнергетики, коммунального водоснабжения), сбросы сточных вод (сельского хозяйства, промышленности, бытовых канализационных вод), грунтовые воды и конечный приемный бассейн (11 элементов схемы). На схеме не показаны атмосферные осадки. Затем описываются типы водопотребителей (сельское хозяйство, коммунальное водоснабжение, промышленность и теплоэнергетика, водный транспорт и водное хозяйство). Рассматривается производственный план, включающий все виды промышленной и сельскохозяйственной продукции. Каждому виду продукции соответствует некоторый объем водозатрат и потребление воды определенного качества. Вводится понятие предельно допустимого запаса воды. Возможность получения дополнительной продукции, связанная с дополнительными водозатратами, оценивается отдельно по отраслям в стоимости продукта с учетом возможного ухудшения качества воды. Затем выделяются четыре состояния региона с точки зрения водообеспеченности: ненапряженное, напряженное, критическое, угрожающее. Для каждого из них выделен критерий, по которому проводится оценка состояния.

Для каждого из выделенных водопотребителей (водохозяйственных комплексов) разрабатывается модель и определяются правила взаимодей-



ствия между комплексами. Эти модели и правила взаимодействия образуют имитационную систему (ИС). Весь регион разбивается на части (камеры) площадью около 1000 км<sup>2</sup>. Для целей районирования авторы предлагают использовать деление большого бассейна на малые. При площади камер 1000 км<sup>2</sup> следует, как предлагают авторы, использовать модель с временным шагом в 1–10 суток. Эти данные можно использовать для оперативного управления водными ресурсами. При размерах камеры 10 000 км<sup>2</sup> временной шаг в 10–30 суток обеспечивает составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов. При размерах камеры 100 000 км<sup>2</sup> временной шаг выбирается до года. В этом случае ИС можно использовать лишь для грубых оценок.

Каждая модель состоит из блоков, описывающих конкретное водопользование (имитатор), и блока поиска наилучшей стратегии водопользования (оптимизатор). А.Б. Горстко и его соавторы выделяют четыре принципа выбора моделей. Модели должны: а) быть динамическими; б) допускать учет случайных факторов; в) допускать оценку экономической эффективности; г) достаточно адекватно описывать моделируемые объекты, т.е. они должны относиться к классу так называемых "портретных" моделей.

В работе приводится описание пяти моделей (водной экосистемы, камерной модели территории, коммунального водоснабжения, использования водного транспорта, модели промышленного водоснабжения). Для целей географического анализа для нас особенно интересна камерная модель территории, которая отнесена к некоторому водосборному бассейну.

Состояние территории в момент времени  $t$  описывается вектором  $ix^t$ , где индекс  $i$  перед вектором означает, что выбрана  $i$ -я камера, одна из произвольно выбранных территорий. Вектор состояния  $ix^t$  описывается сочетанием значений параметров  $iQ_1^t, iQ_2^t, iQ_3^t, iR_1^t, iR^t, \Pi^t$ , где  $Q_1, Q_2, Q_3$  — распределение количества воды по горизонтам почвы;  $iR^t$  — количество воды, протекающее через замыкающий створ  $i$ -й камеры в момент  $t$ ;  $iR_1^t$  — общее количество воды в русловых потоках  $i$ -й камеры в момент  $t$ ;  $\Pi^t$  — "качество" воды в  $i$ -й камере в момент  $t$ . Далее целью работы модели является вычисление значений параметров в момент времени  $t + 1$  при знании некоторого набора внешних факторов (количество осадков, выпавших за отрезок времени  $\Delta t$ , температура воздуха, средняя скорость ветра, влажность воздуха). Затем дается уравнение изменения биомассы как функции исходного состояния времени; в уравнении имеется член, описывающий изменение биомассы как функции предшествующего момента времени. Это как бы своеобразная память об условиях произрастания в прошлом. Кроме того, имеется член, описывающий связь изменения биомассы с качеством воды и удобрениями. В модель вводятся три оператора: оператор самоочищения ( $A_1$ ), оператор очистки воды ( $A_2$ ) при переходе из одного слоя в другой и оператор загрязнения ( $A_3$ ). Затем записываются серия балансовых уравнений, определяющих количество воды, протекающей через замыкающий створ в момент времени  $t + 1$ ; уравнения, описывающие водозабор и количество воды, находящейся в почве, а также уравнение изменения качества воды. На основании



наблюдений определяют коэффициенты этих уравнений (идентификация модели).

Далее описываются процедуры оптимизации условий водопользования при орошаемом земледелии.

И в заключение работы приводится пример ИС "Азовское море", на котором показывается, как создают имитационную систему, приводятся конкретные уравнения, описывающие функционирование всей модели в целом. Модель А.Б. Горстко и его соавторов является одной из лучших моделей для регионального анализа и прогноза.

### 1.7. Методы прогнозирования научно-технического прогресса

Прогнозирование научно-технического прогресса в настоящее время рассматривают как один из самых сложных видов прогнозирования, стоящих перед наукой. По существу становление науки прогностики связано с разработкой методов прогнозирования именно в этой области знаний. Возможности составления таких прогнозов подробно рассматривают Р. Эйрес [1971], В. Комарек, Л. Ржига [1973], В.Т. Виноградов [1973], В.Г. Гмошинский, Г.И. Флиорент [1973], Э. Янч [1974], С.М. Ямпольский, В.А. Лисичкин [1974], Г.М. Добров [1977] и др. В каждой из этих работ рассматриваются многие аспекты прогностики. Советские исследователи обращают внимание на методические посылки прогнозирования, информационно-логические его основы (Г.М. Добров), на связь прогнозирования с теорией познания (В.Т. Виноградов, Г.М. Добров и др.). Во всех работах обсуждаются сложности прогнозирования научно-технического процесса, методы прогнозирования и способ организации прогнозных работ. Поскольку в нашей работе исследуются методы географического прогнозирования, остановимся несколько подробнее лишь на методах. Наиболее полный обзор их содержится в монографии Э. Янча "Прогнозирование научно-технического прогресса" [1974]. Второе, дополненное издание этой монографии на русском языке вышло в 1974 г., а первое было издано на английском языке в 1967 г. [Jantsch, 1967]. Во всех более поздних работах по прогнозированию почти все авторы так или иначе ссылаются на Э. Янча, добавляя к его перечню методов свои методы прогнозирования или предлагая иную их классификацию. В работе Э. Янча перечисляется свыше ста конкретных методов прогноза, которые объединяются в четыре большие группы: методы творческого мышления и способы его усиления, методы изыскательского технологического прогнозирования, методы нормативного технологического прогнозирования, методы обратной связи [Янч, 1974, с. 131—311]. В другом месте этой же книги, в разделе о ключевых методах прогнозирования, он дает несколько иную классификацию методов (там же, с. 511—519). Здесь подчеркивается мысль о том, что "много хороших прогнозов было сделано без явного применения каких-либо методов". По его мнению, методы служат всего лишь для увеличения способностей прогнозиста и в общем следуют основным мыслительным приемам, которые интуитивно использует человеческий

мозг. Вклад специальных методов в прогнозирование суммируется в виде трех пунктов:

"методы поясняют роль индивидуальных входных факторов, принуждают к всестороннему рассмотрению этих факторов и обеспечивают однородность результатов;

методы способствуют уменьшению пристрастий и систематических ошибок;

методы дают возможность оценить большое количество и сложную структуру входной информации и облегчают систематическую оценку альтернатив" [Янч, 1974, с. 511–512].

С этим трудно не согласиться. Классификация методов Э. Янча [1974] выглядит следующим образом.

### 1. Методы поискового прогнозирования.

#### 1.1. Выработка новой информации.

1.1.1. Методы экстраполяционного прогнозирования (экстраполяция тенденций). Особенно интересен метод огибающих кривых.

1.1.2. Методы умозрительного прогнозирования (направленные на улучшение групповой согласованности интуитивных мнений). Методы мозгового штурма, метод "Дельфы", морфологический анализ и др.

1.2. Моделирование результатов. Методы: кривые обучения, игры, анализ "затраты–выпуск", многомерные и структурные модели, написание сценариев, анализ взаимной корреляции.

2. Методы нормативного прогнозирования. В отличие от первых позволяют получить новую информацию в соответствии с поставленной целью.

#### 2.1. Выработка новой информации.

2.1.1. Умозрительные методы.

2.1.2. Структурные методы прогнозирования. Методы: дерево целей, матрица решений, сетевые методы, анализ взаимной корреляции и др.

2.2. Моделирование последствий.

### 3. Экономический анализ.

В этой классификации методов скорее выделены стадии прогнозирования или задачи, так как в каждой из групп повторяется определенный набор методов. В силу этого Э. Янч считает необходимым выделить наиболее важные методы и дать им определенную оценку. К таким методам он относит метод "Дельфы", экстраполяция тенденций (в том числе S-образные или логистические кривые, экстраполяция на основе предшествующих событий, огибающие кривые), морфологический анализ, деревья целей (в том числе метод ПАТТЕРН), анализ горизонтального соответствия и анализ взаимной корреляции.

На страницах этой монографии Янч неоднократно подчеркивает, что он не делает различий между "качественными" и "количественными" методами, потому что в ряде случаев провести четкую границу невозможно. Главные различия он видит в изыскательских и нормативных методах (последние представляют собой прогноз путей и сроков достижения поставленных целей, в то время как изыскательские методы оценивают и



предсказывают возможный путь развития). В связи с этим он выделяет интуитивные изыскательские, нормативные методы и методы с обратной связью (последние возникают в результате взаимного проникновения изыскательских и нормативных методов). Э. Янч выделяет из всей совокупности методов еще прогностические схемы, которые состоят из комбинаций ограниченного числа методов. Он пишет, что для каждой из задач может быть использована своя собственная комбинация методов. Идеи, изложенные в монографии для целей технологического прогнозирования, могут быть использованы и в других областях, в частности в географическом прогнозировании. Однако следует иметь в виду, что перевод этой монографии на русский язык явно страдает отсутствием четких дефиниций.

Чтобы охарактеризовать состояние научно-технического прогнозирования и долгосрочного планирования в США, следует остановиться еще на монографии Р. Эйреса [Ayres, 1969, рус. изд. 1971 г.] Эта очень интересная книга начинается с обзора опыта прогнозирования и недостатков технологического прогнозирования. Автор, так же как и Янч, различает два направления в прогнозировании — онтологическое (в котором изобретения и нововведения рассматриваются как некоторый прогресс или динамическая система) и "телеологическое", которое соответствует нормативному прогнозированию Янча. В работе дается типология прогнозов. Основные типы следующие.

1. Поискные прогнозы (или альтернативы будущего) — цели предложений, в которые входят утверждения-ответы на вопросы "что было бы, если...?". Сюда же Р. Эйрес относит экстраполяцию тенденций. Простая экстраполяция, по мнению Р. Эйреса, привлекает внимание к проблемам будущего и тем самым помогает их решению. Сюда же Р. Эйрес относит морфологический метод.

2. Нормативные прогнозы (целевые предсказания).

Далее Р. Эйрес устанавливает внешние факторы, влияющие на научно-технический прогресс. Здесь рассматриваются внутриполитические, международные и военно-стратегические факторы, макроэкономика, микроэкономика, развитие средств связи, общественное воздействие, научно-техническая диффузия и нововведения.

И наконец, подробно рассматриваются конкретные методы: морфологический анализ (в том числе и сетевые методы), экстраполяция тенденций, эвристические прогнозы, интуитивные методы прогнозирования. В каждом из разделов имеется последовательность переходов от прогнозирования на уровне представлений до количественного прогнозирования с использованием математического аппарата того или иного типа. Здесь, так же как и у Янча, классификация методов прогнозирования имеет нестрогий характер, а близка к описанию встречающихся уже используемых методов. Не очень ясно, что оказывает влияние на выбор того или иного из методов прогнозирования.

В.Г. Гмошинский и Г.И. Флиорент [1973] в работе, посвященной инженерному прогнозированию, рассматривают его как часть прогностики. Объектом инженерного прогнозирования они считают развитие техники, технологии, способов производства работ, новых материалов и др. На ос-

новании анализа литературных источников, и прежде всего на базе исследований Э. Янча, они объединяют методы прогнозирования в четыре группы: экстраполяция, оценки, морфологическое расчленение и моделирование.

Они считают, что "экстраполирование" в какой-то мере может быть оправдано при краткосрочном прогнозировании (5–7 лет), преимущественно в областях техники, где не предвидятся существенные качественные изменения (скачки) в производстве и потреблении [Гмошинский, Флиорент, 1973, с. 8]. Таким образом, связываются объект прогнозирования и его свойства с определенным видом методов. В экстраполяции они видят две задачи – статистическую (анализ связи между главным признаком и другими параметрами без учета фактора времени) и динамическую (непрерывная составляющая уравнения – фактор времени). В основе лежат уравнения регрессии (линейные и криволинейные). Наряду с регрессией авторы предлагают в экстраполяции использовать аппарат корреляционного анализа, математическую теорию поля, использование идей, описывающих насыщение (ситуацию), прогнозирование по огибающим кривым.

При описании методов экспертных оценок авторы указывают на существенный вклад, который внесли за последние годы в разработку этих методов советские ученые. Подчеркиваются заслуги киевской группы прогнозистов под руководством Г.М. Доброва, а также использование их разработок в прикладных целях (В.А. Лисичкин, В.А. Александров, Д.Ю. Панов и др.). Особенно хорошо показано, что метод экспертных оценок направлен на использование "коллективного разума". Выявлены и существенные ограничения методов экспертной оценки в прогнозировании.

Морфологический метод авторами широко не раскрыт. Показана лишь его связь с нормативным прогнозированием, но отмечаются и недостатки.

Метод моделирования описан недостаточно полно. Перечисляются виды моделей: логические, информационные, математические, аналогии игры и т.д. В таком ряду границы этой группы методов выделены неточно. Непонятно, почему методы экстраполяции на основе регрессии выделены в самостоятельную группу, хотя в тот же ряд можно было бы поставить и статистические модели. Как-то по-своему авторы понимают математическое моделирование, которое в контексте противопоставляется методам исследования операций. По нашему мнению, их можно было бы объединить и получить интересные результаты. Ведь известно, что исследование операций – часть современной математики. Терминологическая нечеткость мешает точно прочитать мысли авторов.

В.Г. Гмошинский и Г.И. Флиорент [1973] разделяют прогнозы на краткосрочные (две подгруппы: 2–4 года и 5–9 лет), среднесрочные (10–15 лет), долгосрочные (16–30), сверхдолгосрочные (время не ограничено). В книге предложена операционная модель инженерного прогнозирования, в которой совершенно правильно обращается внимание на источники и качество исходной информации, на преобразователи информации и ее синтез. В соответствии с моделью в работе рассматриваются вопросы



периодизации прогнозов и методы инженерного прогнозирования. На примере прогнозов объема производства авторы предлагают общий метод прогнозов. Модель включает взаимодействие ряда прогнозов. Вначале определяют начальный (базисный) объем производства, научно-технический потенциал, функцию потребления. Затем предлагается ряд расчетных формул. Прогнозирование проводится на одном из примеров. В монографии разбираются методы приближенного прогнозирования (они используются в том случае, если исходный материал не позволяет выполнить определенные операции, например некоторые данные отсутствуют). Здесь хорошо показана связь методов прогнозирования с составом исходной информации. В заключение обращается внимание на необходимость оценки точности прогнозирования.

С.М. Ямпольский и В.А. Лисичкин [1974] в монографии, посвященной прогнозированию научно-технического прогресса, обращают внимание на различие функций прогнозирования в зависимости от уровня управления хозяйственной деятельностью. Выделяется пять уровней, на которых принимается решение: интернациональный, государственный, отраслевой, уровень предприятия или института и уровень лаборатории или цеха. Дается определение объекта прогноза. Авторы считают, что объектом прогнозирования могут быть любые предметы, процессы реального мира, их свойства и отношения между ними, а также процессы, относящиеся к познавательной деятельности субъекта. По их мнению, всякий прогноз должен предваряться системным анализом объекта прогнозирования. Они выделяют детерминированные и вероятностные объекты (системы) прогнозирования. Методы прогнозирования авторы связывают со свойствами объекта. Они делят системы на ряд групп по сложности: простые (число элементов  $10^1-10^4$ ), сложные ( $10^5-10^6$ ), очень сложные ( $10^7-10^{10}$ ). Они вводят два важных понятия — предиктант и предиктор. Предиктант — это система, состояние элементов которой предсказывается (они называют эту систему базовой системой  $S_b$ ). Предиктор — система, состояние элементов которой моделирует предсказываемые состояния (упреждающая система  $S_u$ ). Естественно, что для построения правильного прогноза необходимо знать отношения между предиктором и предиктантом. Базовая система ( $S_b$ ) может содержать в качестве элементов текущее, прошлое и будущее значение параметров, набор параметров, выражающих условия реализации связей между объектами  $S_b$  и внешней средой. Операторы, преобразующие наборы параметров, ставят в соответствие набору из  $S_b$  определенные значения параметров из  $S_u$  [Ямпольский, Лисичкин, 1974, с. 22—25].

Авторы рассматривают пространственно-временные рамки возможностей прогнозирования и приходят к убеждению, что прогноз сложных явлений может быть только вероятностным по форме. Очень важным соображением, которое аккуратно доказывается в монографии, является утверждение о том, что относительная доля ложной информации будет увеличиваться по мере удаления от времени составления прогноза как в прошлое, так и в будущее. Авторы, ссылаясь на повседневный опыт, пишут, что, чем короче время упреждения, тем из более близкого прошлого мы должны брать данные, и наоборот. Однако, как они справедливо замечают,

это требует более строгих доказательств (там же, с. 28—34). В монографии обращается внимание на необходимость формирования информационных массивов и систематизации исходных данных. Формирование массивов информации должно осуществляться с учетом специфики прогноза и методов прогнозирования.

Касаясь собственно методов прогнозирования, С.М. Ямольский и В.А. Лисичкин пишут, что каждый метод прогнозирования имеет определенную область применения, в границах которой он эффективен. Эта область определяется спецификой системы концепций, лежащих в основе метода прогнозирования. Выбору метода прогнозирования должен предшествовать анализ объекта прогноза и учет его фона. Фоном авторы называют окружение объекта и ограничивающие объект связи. Сам выбор метода прогнозирования должен, по их мнению, быть обоснован с учетом ряда положений. Дать рекомендации по выбору метода прогноза довольно сложно. Авторы ссылаются на то, что наилучшие результаты по рекомендациям для выбора метода прогнозирования были получены М. Сетроном, Э. Янчем, А.А. Бобровым и В.А. Александровым. В работе предложена классификация методов прогнозирования, исходя из двух условий: классификация должна быть ориентирована, с одной стороны, на объект исследования, а с другой — на субъект (на человека). Они делят методы на три класса: частнонаучные, интернаучные (используемые более чем в одной науке), общенаучные. Методы прогнозирования они рассматривают как некоторый алгоритм переработки информации. Под углом зрения информационного обеспечения и качества информации для составления прогнозов они предлагают классификацию требований со стороны методов прогнозирования к информационным данным об объекте прогноза. Ими выделяется 16 разрядов информационных данных: восемь для количественных и восемь для качественных. В качестве делителей выступают разные оценки массивов. Количественные данные рассматриваются с точки зрения случайности — неслучайность, единичность — массовость (данных), дискретность — непрерывность, периодичность — непериодичность, стационарность — нестационарность, достоверность — малодостоверность, репрезентативность — нерепрезентативность. Качественные данные они делят на разряды: однофакторные — многофакторные, однородные — разнородные, шкалируемые — нешкалируемые, циклические — траекторные, стационарные — нестационарные, достоверные — малодостоверные, репрезентативные — нерепрезентативные. Далее они дают краткое описание для 42 конкретных методов. Эти описания то достаточно полные, то краткие, содержащие минимум пояснений к названию.

В рассматриваемой работе приводится алгоритм выбора метода прогнозирования по некоторой матрице, правила заполнения которой показаны. Далее подробно рассматривается процедура экспертных оценок — особенности прогнозирования научно-технического развития отрасли и перспективное планирование НИР (научно-исследовательских работ) и ОКР (опытно-конструкторских разработок). В заключительной главе монографии рассматриваются последовательность работы экспертов над указанными проблемами, методы комплексивной генерации идей, методы статистического моделирования; обращается внимание на необходи-



мость аргументации причин выбора той или иной экстраполирующей функции, дается оценка точности выбранного уравнения и значений аппроксимируемых параметров. Далее следует анализ и решение специальных вопросов в соответствии с выбранной темой: ранжирование тематики НИР и ОКР по комплексному критерию "затраты — эффективность — время", расчет уровней ассигнования, выделяемых на НИР и ОКР, прогнозирование потребности в кадрах специалистов для развития отрасли.

В заключение следует остановиться на монографии Г.М. Доброва [1977] "Прогнозирование науки и техники". Наряду с общими вопросами прогностики в монографии рассматриваются вопросы, связанные с определением информационно-логических основ прогнозирования и влиянием современной научно-технической революции на прогнозирование; описываются современные методы научно-технического прогнозирования, прогнозирующие системы и организация прогнозных работ. Интересны мысли автора о существовании разного "потенциала упреждения" у различных массовых потоков научно-технической информации, что, безусловно, приводит к выбору различных методов прогнозирования в зависимости от качества исходных материалов. Чрезвычайно важна та часть монографии, в которой раскрывается марксистская трактовка отношений между фактами, системой научных представлений и предвосхищенными ею новыми научными фактами. В монографии исследуется феномен науки как объект прогнозирования и выделяются его свойства. Г.М. Добров [1977] пишет, что научная прогностика насчитывает около 140 различных по уровню, масштабам и научной обоснованности методов и приемов прогнозирования научно-технического развития. Методическое обеспечение прогностики направлено на углубленную теоретическую и прикладную разработку нескольких групп методик, отвечающих требованиям разных объектов и разных видов работ, на разработку и реализацию на практике системных способов и процедур использования различных методических приемов в ходе одного конкретного прогнозного исследования и, наконец, на поиск путей и способов алгоритмизации методик и реализации их с использованием современных ЭВМ. Г.М. Добров все методы прогнозирования сводит в три класса: методы экстраполяции, методы экспертных оценок, методы моделирования. Как было показано выше, эти методы называют все без исключения специалисты в области прогнозирования. Но вряд ли следует противопоставлять методы экстраполяции и методы моделирования. Как правильно считают С.М. Ямпольский и В.А. Лисичкин [1974], экстраполирование входит как частный случай в моделирование.

Даже этот далеко не полный перечень монографий по вопросам прогнозирования развития науки и техники показывает, как много уже сделано в области прогностики вообще. Географическое прогнозирование, делающее первые шаги, может получить значительную помощь, если оно сможет опереться на этот интересный и поучительный во многих отношениях опыт.

## 1.8. Заключение

Обзор современной литературы показывает, какой интерес проявляют многие специалисты-географы к проблеме географического прогнозирования. В результате конкретных работ выявлены связи прогноза с планированием, поставлены фундаментальные проблемы для теории географии. Однако малое число опытов составления прогнозов не позволяет пока разработать систему методов составления географических прогнозов. Чтобы эту систему создать, необходимо учесть опыт, уже накопленный теми разделами географической науки, которые около столетия ведут прогнозирование в практических и научных целях, а также разработки, созданные в экологическом прогнозировании и прогнозах развития науки и техники. Подводя итог, важно подчеркнуть следующие положения.

1. Пора закончить дискуссия в области терминологии в методологических основах географического прогнозирования и не искать различий в понятиях "объект" и "предмет" прогнозирования, а также в содержании оттенков самого слова "прогноз". Развитие теории географических прогнозов требует проведения большого числа опытов составления прогнозов.

2. Учитывая опыт по составлению географических прогнозов, накопленный в СССР и других странах, необходимо видеть, что для практической деятельности — составления географических прогнозов — нужны государственный заказ на данный вид работ и организация соответствующей службы. Географический прогноз может быть полезен для планирования развития народного хозяйства и оперативного управления деятельностью отдельных видов производств, наиболее прочно связанных с использованием природных ресурсов. Для различных уровней управления и планирования могут оказаться полезными разные виды прогнозирования. Вероятно, прогнозы будут охватывать различные территории и состояться с разным временем упреждения. Для определения структуры пользователей географическими прогнозами необходим анализ структуры и отношений той части государственных учреждений, которые созданы и продолжают создаваться в соответствии с законодательством об охране природы и рациональным природопользованием. Важен также учет международного опыта.

3. Географическое прогнозирование относится к разряду прогнозирования сложных объектов. Как показал опыт в экологии и в прогнозировании развития науки и техники, необходимо разумное использование сочетаний качественных (интуитивных) и количественных методов прогнозирования. Смежные области знаний и комплексная география накопили большое число разнообразных простых и сложных моделей, описывающих строение, состояние и динамику природных и природно-технических объектов. Используя тот или иной вид количественных моделей для прогнозирования, следует помнить об известной относительности получаемых результатов, справедливых лишь в рамках принятых оснований или ограничений. Следовало бы в географических работах эти ограничения специально оговаривать. Для географии важно учесть опыт создания



"портретных" моделей, достаточно близко описывающих изучаемый объект.

4. Прогнозирование должно опираться на особенности и специфические свойства географических объектов, а также на тот фактический материал, который может быть в распоряжении у прогнозиста. Вероятно, начальные стадии прогнозирования должны опираться на современные представления географов об объектах их исследований. Развитие прогнозных работ, безусловно, потребует более углубленного понимания природы и динамики этих объектов. Естественно, что потребуется специальное информационное обеспечение прогнозно-географических работ. Кое-что в этой области мы имеем в виде материалов исследования на пока еще недостаточно густой сети стационаров. Существенное улучшение этой информации возможно при исследовании поверхности Земли из космоса различными методами дистанционного зондирования.

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ И УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

"Влюбленный в практику без науки — словно кормчий, ступающий без руля или компаса; он никогда не уверяет, куда плывет. Всегда практика должна быть воздвигнута на хорошей теории".

*Леонардо да Винчи*

### 2.1. Основания для постановки вопроса

Советские специалисты, занимающиеся изучением окружающей среды, исходят из возможностей планового хозяйства нашей страны, и поэтому многие стороны экологических отношений "человек — окружающая среда" они рассматривают как часть некоторой общей проблемы рационального природопользования. Но для правильного использования ресурсов природной среды необходимо знать механизмы, действующие в сложной системе "человек — окружающая среда". Чтобы разумно пользоваться этими ресурсами, надо не только знать эти механизмы, но и следить за ходом процессов природопользования, чтобы управлять этими процессами. Таким образом, географический прогноз неизбежно будет связан с управлением системой природопользования.

Природопользование как особая комплексная отрасль народного хозяйства в рамках социалистического производства должно опираться на планирование и контроль за выполнением плана (или управление природопользованием). И вероятно, вся система должна состоять из трех основных звеньев: 1) органов слежения за состоянием окружающей среды<sup>1</sup>; 2) органов составления прогнозов развития природно-географической среды; 3) органов планирования рационального природопользования.

В настоящее время активно обсуждаются проблемы, связанные с созданием системы слежения за состоянием окружающей среды. Эта система получила название мониторинга. Органы, в задачу которых входило бы систематическое составление географических прогнозов, в настоящее время отсутствуют. Научной общественностью только обсуждается вопрос о необходимости составления этих прогнозов, о содержании и методах прогнозирования. Без сомнения, в недалеком будущем возникнут и сами учреждения этого профиля. Вероятнее всего, эти функции должны быть поручены недавно созданному Государственному комитету по гидрометеорологии и контролю природной среды при Совете Министров СССР. Гидрометслужбой СССР за более чем полувековой срок ее существования накоплен опыт составления отраслевых прогнозов, который, как было показано выше, может и должен быть использован в комплексном географическом прогнозировании.

<sup>1</sup> Здесь и далее имеется в виду природно-географическая среда.



Планирование рационального природопользования, как и всей хозяйственной деятельности в нашей стране, осуществляется органами государственного планирования, которые имеют территориально-административную структуру (Госплан СССР, Госпланы союзных и автономных республик и областные комиссии Госплана).

Функции управления и контроля за окружающей средой у нас в стране осуществляют отдельные организации, ведущие контроль за состоянием вод, почв, лесов, недр и др., подчиненные соответствующим ведомствам и министерствам. В своей повседневной деятельности они опираются на существующее законодательство. В Советском Союзе с момента создания нашего государства охране природы придается большое значение. Первые законы об охране природы и природных ресурсов были приняты в 1922 г. В конце 60-х – 70-х годах большинство этих законов было уточнено. Были приняты новые законы и постановления: Основы земельного законодательства Союза ССР и союзных республик (1968 г.), Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик (1970 г.), Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах (1975 г.), Основы лесного законодательства Союза ССР и союзных республик (1977 г.), постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов" (1978 г.). Во всех союзных республиках действуют законы об охране природы. Забота государства об окружающей среде отражена и в новой Конституции СССР.

Охране окружающей среды придается также большое идеологическое значение. К работе в этой области привлечены и широкие слои населения, особенно молодежь. Активно действуют в нашей стране "зеленые патрули", создано и успешно ведет разъяснительную и воспитательную работу "Общество охраны природы".

Системы, направленные на оптимизацию отношений "человек – окружающая среда", возникли и функционируют не только у нас в стране, но и за рубежом. В ряде государств существуют или планируются программы в области рационального природопользования. Представляется целесообразным проанализировать такие программы, существующие в наиболее развитых капиталистических странах, и прежде всего в США и в странах Западной Европы, а также в социалистических зарубежных странах. Имея в виду необходимость совершенствования системы природопользования в нашей стране, полезно провести сравнительный анализ зарубежного и советского опыта.

## 2.2. Сеть учреждений по регулированию воздействия человека на природу в США

Задача регулирования воздействия человека на окружающую среду для различных национальных и международных организаций может рассматриваться как задача управления окружающей средой. О'Риордан [O'Riordan, 1971] пишет, что для успешного управления средой требуются такие составные элементы, как: 1) хорошо информированная общественность; 2) диалог между общественностью и лицами, принимаю-

щими решение; 3) заблаговременные меры в форме альтернативных предложений и массовых диспутов о предпочтительных решениях перед их принятием; 4) готовность принимать новые правовые, организационные и экономические меры, которые могут означать неудобство для отдельных лиц и изменить в чем-то устоявшийся образ жизни. В этих предложениях просматриваются черты общества, длительное время идеализируемого западной пропагандой: главный акцент делается на общественном мнении и на диалоге между общественностью и администрацией. Современная структура государственных служб США, осуществляющих политику охраны окружающей среды, в полной мере отражает эту доктрину. Эта структура сложилась отчасти под давлением "экологического движения" — выразителя глубокого беспокойства широких слоев американского общества ухудшением качества природной среды. Как при своем зарождении, так и в процессе развития и становления американское "экологическое движение" имело в себе противоречия, отражающие различное отношение к сути проблемы со стороны разных классов американского общества.

В США за последние годы создана сложная и разветвленная система организаций, связанных с охраной окружающей среды. В нее входят учреждения, осуществляющие исполнительную власть на самом высоком правительственном уровне. Они возглавляются четырьмя основными агентствами: Гражданским консультативным комитетом по качеству окружающей среды, Советом по качеству окружающей среды, Федеральным управлением по энергетике и Агентством по охране окружающей среды.

Кроме этого, существуют соответствующие департаменты при министерствах сельского хозяйства, торговли, обороны, здравоохранения, образования и социального обеспечения, внутренних дел и юстиции. Налицо ведомственно-административная система.

Важное звено (подсистему) представляют региональные службы, относящиеся к категории автономных организаций. Как правило, эти службы функционируют в рамках территорий, границы которых не всегда совпадают с границами административно-территориальных единиц. Они охватывают территориальные системы различного ранга. Например, существует Администрация по экономическому развитию Аппалачей, Комиссия бассейна р. Делавэр, Администрация долины р. Теннесси, Комиссия бассейна р. Миссисипи при корпусе армейских инженеров.

Законодательные органы федерального правительства включают ряд подкомиссий и комиссий сената и палаты представителей, готовящих решения по отдельным важным вопросам охраны окружающей среды. Основой правительственного контроля над состоянием окружающей среды является система законодательства. Всего в США действует свыше 400 законов, касающихся общих и специальных аспектов охраны окружающей среды. Наиболее важным из них является Закон о национальной политике в области охраны среды (НЕПА), вошедший в силу 1 января 1970 г. В законе содержится требование, по которому любое правительственное агентство (или частная фирма), намеревающееся провести какое-либо действие, способное оказать серьезное влияние на качество окружающей



среды, должно предоставить соответствующие документы об экологических последствиях этого действия. Они должны включать:

- 1) характеристику или описание воздействия намеченного мероприятия на окружающую среду;
- 2) перечисление всех негативных для окружающей среды последствий, которые невозможно устранить в случае осуществления предложенного варианта;
- 3) рассмотрение альтернатив предложенному варианту;
- 4) отношение между краткосрочными целями использования окружающей среды и интересами сохранения продуктивности природы в долгосрочной перспективе;
- 5) указание на любое необратимое и невозполнимое использование ресурсов в случае осуществления предложенного варианта.

Таким образом, в этих документах предлагается обсудить пять различных аспектов будущего территории, т.е. в законе предусмотрено комплексное прогнозное (а по сути прогнозно-географическое) рассмотрение каждого проекта реорганизации использования территорий. Наличие расхождений интересов государственного и частного секторов экономики вызывает в США специальные затраты на ликвидацию последствий неразумной деятельности отдельных предприятий. В 1970 г. затраты в этой области достигли 10 млрд., а в 1977 — 39,9 млрд. долларов. Предлагается, что к 1986 г. эти затраты возрастут до 85,9 млрд. долларов. Естественно, что эти суммы обеспечиваются федеральными программами, т.е. в значительной мере путем налогообложения населения.

Каждое из учреждений различного уровня управления охраны окружающей среды имеет свою структуру и назначение.

*Подсистема учреждений на уровне федерального правительства.* Эта подсистема, как было сказано выше, включает четыре учреждения.

1. Гражданский консультативный комитет по качеству окружающей среды. Комитет основан в целях выполнения консультативных функций при президенте и Совете по качеству окружающей среды.

2. Совет по качеству окружающей среды. Учрежден при исполнительном комитете президента США в целях разработки и представления рекомендаций, касающихся политики по улучшению качества окружающей среды.

3. Федеральное бюро по энергетике. Эта организация создана в разгар энергетического кризиса 1974 г. в целях централизации управления энергоресурсами страны.

4. Агентство по охране окружающей среды (ЭПА). Основано оно в 1970 г. в качестве организации, объединяющей действия правительства по контролю над загрязнением водных объектов и атмосферы, по наблюдению за качеством питьевой воды, за удалением твердых отходов и продуктов радиоактивного распада, а также по борьбе с вредными насекомыми и защите от шумов. Кроме того, ЭПА отвечает за научные исследования, за разработку и внедрение стандартов качества окружающей среды, за контроль над вредными веществами. ЭПА состоит из семи отделов и десяти региональных отделений. Таким образом, по-видимому, ЭПА является одной из наиболее развитых организаций федерального уровня, где воедино слиты консультативные, законодательные и научно-методические функции.



Кроме того, на федеральном уровне в различных министерствах и ведомствах работает более 40 департаментов, агентств и комиссий. Общая характеристика их деятельности может быть дана в настоящее время лишь приблизительно. Одни из них занимаются изучением загрязнения атмосферы, другие ориентированы на вопросы, связанные с водопользованием, использованием лесных ресурсов, ресурсов недр и др. Эти комиссии, агентства и департаменты организуют научные исследования, проводят консультации, ведут контроль за состоянием окружающей среды и исполнением законодательства, проводят исследования по экономической оценке ущерба от загрязнения окружающей среды. Так, только от загрязнения воздуха экономике США, по данным американских экспертов, ежегодно наносится ущерб в размере около 13,5 млрд. долларов. Примерно половина этой суммы представляет собой прямой материальный ущерб, 1/3 связана с пропуском рабочих дней по болезни и 1/6 — с прочими видами ущерба (снижение ценности зон отдыха, вред, наносимый сельскохозяйственным культурам, и др.) [Актуальные проблемы изменения природной среды за рубежом, 1976].

В общенациональном масштабе контроль за состоянием атмосферы и соблюдением установленных критериев осуществляется Агентством по охране окружающей среды.

Основным потребителем воды является орошаемое сельское хозяйство США (460 млн. м<sup>3</sup> в сутки), а главным загрязнителем — промышленное производство. Загрязненные участки охватывают около 1/3 протяженности всех водотоков США. Основной службой в системе организаций на уровне федерального правительства, отвечающей за использование водных ресурсов страны, является Корпус армейских инженеров.

В 60-х годах текущего столетия с деятельностью корпуса связано проведение наиболее крупномасштабных гидротехнических мероприятий на территории страны (улучшение условий навигации, строительство водохранилищ и т.п.). Корпус армейских инженеров подчинен непосредственно Министерству обороны США. Его участие в невоенных мероприятиях решается в Конгрессе США. Интересно, что в организационной структуре Корпуса намечается его "бассейновая" ориентация (в соответствии с бассейнами крупных рек). В 1970 г. в рамках корпуса был создан консультативный орган по вопросам, связанным с охраной и рациональным использованием окружающей среды. В 1972 г. была организована специальная группа, задачей которой является оценка ресурсов окружающей среды для оказания помощи при картографировании ресурсов на уровне отдельных районов. Картографированию подлежат не только гидрологические и биотические ресурсы, но и культурно-исторические памятники. Корпус проводит также исследования по оценке воздействия основных инженерно-строительных сооружений на состояние окружающей среды.

Лесными ресурсами США ведает Лесная служба, подчиненная отделу развития и консервации сельских территорий министерства сельского хозяйства США. В ее ведении находятся 155 национальных лесных хозяйств и 19 пастбищных угодий, которые занимают площадь 74 млн. га; из них 62 млн. га имеют статус охраняемых территорий, а остальная часть используется в качестве источника лесных ресурсов. Программа Лесной

службы включает срочные лесонасаждения (для предотвращения эрозии почв и заиливания водоемов), защиту вверенных ей земель от пожаров, эпидемий, болезней, распространения вредных насекомых, борьбу с наводнениями, с загрязнением воды и воздуха. Лесная служба, прежде занимавшаяся продажей древесины, берет ориентацию на многоцелевое использование природных ресурсов. Хотя продажа древесины все еще составляет основную статью ее доходов, начинают расти прибыли и от различного рода лицензий и рекреационного использования лесных территорий.

Различные аспекты природопользования решаются учреждениями, подведомственными другим министерствам, например Национальным институтом гигиены окружающей среды, в центре внимания которого находится загрязнение воздуха (Министерство здравоохранения, образования и социального обеспечения). К таким учреждениям относятся и службы Министерства внутренних дел (Служба нефти и газа, Служба использования соленой воды и др.), Служба национальных парков, Геологическая служба, Бюро по управлению землями, Бюро по извлечению полезных ископаемых, Бюро по вопросам рекреации, Бюро мелиорации и др.

*Подсистема служб регионального уровня.* В американской системе охраны окружающей среды важную роль играет категория автономных организаций, которые отличаются друг от друга принципами решения стоящих перед ними задач. Можно выделить два типа этих организаций: а) проблемные и б) региональные. К первой категории относятся Комиссия по атомной энергии, Комиссия по морскому судоходству, Федеральная комиссия по энергетике, Национальный научный фонд, Комиссия по профессиональной безопасности и наблюдению за здоровьем, Смитсоновский институт. Каждое из перечисленных учреждений имеет подразделения или реализует программы, связанные с изучением различных аспектов проблем окружающей среды.

К организациям, образованным по региональному признаку, относятся Региональная комиссия для района Аппалачей, комиссии по отдельным речным бассейнам (бассейнам рек Делавэр, Теннесси, речным бассейнам Тихоокеанского Северо-Запада и др.). Главной целью региональных комиссий является ликвидация отставания региональной экономики от общенационального уровня, а для некоторых регионов и подтягивание ее до общего уровня. В работах региональных комиссий видное место занимают проблемы охраны природных ресурсов и природопользования. Так, в докладе региональной комиссии группы штатов Новой Англии за 1969 г. указывается, что бесконтрольный рост урбанизации ведет к повышению расходов по ликвидации загрязнений воды и воздуха, затрудняет работу транспорта, способствует деградации рекреационных качеств территории и т.д. В соответствии с предложениями, указанными в докладе, было принято решение о переносе центра тяжести экономического развития Новой Англии из ее южных штатов в менее развитые северные.

К региональным комиссиям такого рода следует отнести и Региональную комиссию для района Аппалачей. Ее деятельность охватывает территорию 13 штатов, расположенных в районе Аппалаческого бассейна. Основной задачей Комиссии является создание механизма совместного управле-



ния (федерального и штатного) экономикой района Аппалачей. Комиссия разрабатывает перспективные планы развития этого района и планы развития его на один год. Последние представляются штатами и утверждаются лишь в том случае, если соответствуют общему перспективному плану. В работе этой Комиссии можно выделить и природоохранные аспекты, связанные с определением расходов по восстановлению баланса земель (их сельскохозяйственных и эстетических качеств на основе рекультивации и мелиорации), с восстановлением качества вод и системы стока.

Известны еще пять региональных комиссий США: 1) Региональная комиссия "Озарк"; 2) Региональная комиссия "Четыре угла"; 3) Региональная комиссия Верхних Великих озер; 4) Региональная комиссия Прибрежных равнин; 5) Региональная комиссия Новой Англии [Смирнягин, 1976].

В системе региональных комиссий несколько иную территориальную организацию имеют службы, созданные по бассейновому принципу. Комиссии, наделенные определенными полномочиями, в первую очередь занимаются регулированием экономических отношений, возникающих при различных видах водопользования между штатами, расположенными в верховьях и низовьях речного бассейна. По вполне понятным причинам комиссии такого типа оказывают внимание всем видам программ, направленным на более рациональное использование водных ресурсов. Оптимизируются водохозяйственные, транспортные и рекреационные виды использования территории бассейна. В связи с этим проводится изучение проблем природоохранного характера и реализуются частные программы по совершенствованию водопользования (борьба с пожарами, противозерозионные мероприятия, очистка вод от твердых, органических и тепловых загрязнений).

*Информационное обеспечение системы управления водопользованием.* Принятие решений, направленных на изменение существующей практики водопользования, невозможно без соответствующей информации. Судя по имеющимся публикациям, единой системы информационного обеспечения для целей рационального водопользования в США нет. Отдельные фрагменты этой системы имеются в рамках различных министерств и ведомств. Периодически в Министерстве сельского хозяйства США проводится учет земельного фонда. В результате наблюдений и учета земель была установлена тенденция уменьшения площади сельскохозяйственных земель в результате роста городов, развития транспортной сети и расширения рекреационных территорий. Для целей учета земель создана единая система видов земель и типа их использования. На базе этого проводится систематическое картографирование территории США на основе использования аэрокосмических материалов. Для отдельных штатов соответствующие карты составлены в масштабе 1:1 000 000, а для всей территории США — в масштабе 1:5 000 000 [A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, 1976].

В 1971 г. был создан Межведомственный координационный комитет по информации и классификации землепользования. В Комитет входят представители Геологической службы США (Министерство внутренних

дел), НАСА, Службы консервации почв, Министерства сельского хозяйства, Ассоциации американских географов и Международного географического союза. Основным координатором работы этого Комитета является Геологическая служба США.

### 2.3. Сеть учреждений по регулированию воздействия человека на природу в Великобритании

Бурное развитие промышленного производства в Великобритании и связанный с ним рост отходов, загрязняющих природную среду, вызвали в послевоенное время необходимость регулирования воздействия человека на окружающую среду посредством особого законодательства. Знаменитые лондонские туманы, усиливающие губительное действие смога, являлись результатом задымления атмосферы над Лондоном и другими крупными городами и городскими агломерациями Великобритании.

Еще в средние века время от времени появлялись королевские эдикты, запрещавшие сброс мусора и отходов в каналы и реки и устанавливавшие принципы гигиены города или предписывавшие контроль за использованием угля для отопления жилищ в некоторых районах города.

После второй мировой войны законодательство в области регулирования природопользования приняло более систематический характер. Так, в 1956 и 1968 гг. принимаются законы о чистоте воздуха, в 1963 г. — закон о водных ресурсах, в 1968 г. — закон о городском планировании и планировании сельских местностей, в 1974 г. — закон о борьбе с загрязнением окружающей среды [Chandler, 1976].

На основании изданных законов в настоящее время в Великобритании борьба с загрязнением окружающей среды ведется на государственном и местных уровнях. Кроме того, отдельные предприятия выделяют значительные средства на создание внутризаводских систем очистки. Местные власти вносят лепту в борьбу с загрязнением среды; принимаются меры против загрязнения воздуха дымом отопительных устройств, осуществляется контроль за использованием земель. Государственная политика охраны среды разрабатывается Министерством по делам окружающей среды, основанным в 1970 г.

В 1970 г. была образована Королевская комиссия по проблемам загрязнения среды, в задачу которой входили: консультационные функции по национальным и международным проблемам загрязнения окружающей среды, контроль и помощь в осуществлении научных исследований, а также составление прогнозов вероятных опасных явлений, обусловленных загрязнением среды. В 1972 г. для координации усилий, направленных на защиту окружающей среды, в масштабе страны был создан Межведомственный комитет по проблемам загрязнения воздуха. Для целей нашего анализа известный интерес представляет состав Королевской комиссии и характер ее деятельности. Состав участников комиссии способствует комплексному решению стоящих перед ней задач. В состав комиссии входят физик (специалист по ядерной физике), инженер, географ-специалист в области загрязнения воздушного бассейна, юрист, планировщик-экономист, три биолога, а также ответственный представитель проф-



союзов. В решении различных проблем окружающей среды Королевская комиссия использует метод экспертных оценок. С этой целью для разрешения частных задач к работе привлекаются специалисты необходимого профиля.

В первом докладе Королевской комиссии говорилось об основных направлениях ее деятельности в будущем. Предполагалось провести работы по изучению загрязнений в эстуариях рек и в прибрежных морских водах, по созданию способов захоронения радиоактивных отходов, по подготовке квалифицированных кадров для борьбы с загрязнением окружающей среды. Доклад содержал определение степени и характера разносторонних аспектов деградации окружающей среды как в пределах Великобритании, так и в глобальном масштабе.

Во втором докладе были освещены три главных вопроса: 1) доступность и надежность информации относительно количественных и качественных характеристик отходов; 2) необходимость осуществления мер, направленных на борьбу с загрязнением почв и грунтов токсическими веществами; 3) изучение вероятных воздействий вновь создаваемых продуктов на окружающую среду.

Третий доклад был посвящен изучению загрязнения воды в эстуариях и прибрежных районах Великобритании. В докладе содержались положения о конкретных правовых и административных изменениях в целях улучшения экономической обстановки в этих природных средах.

В четвертом докладе Королевской комиссии рассматривается структура организации борьбы с загрязнением окружающей среды в Великобритании. Основное внимание уделяется анализу правовых аспектов решения проблемы. Подчеркивается, насколько значительны в Великобритании региональные различия, отраженные в законодательстве по охране окружающей среды. В оценке эффективности административной структуры большое внимание уделяется учету различных факторов: метеорологического, географического, медицинского, биологического и экономического.

#### 2.4. Сеть учреждений по охране окружающей среды в Швеции

Интересен опыт служб по охране окружающей среды в Швеции. В этой стране с 1969 г. существует Национальное управление охраны природы (учреждение в ранге министерства). Оно располагает кадрами высококвалифицированных инженеров, биологов, химиков, секретарей по координации исследовательских работ. В его распоряжении находится Институт по проблемам производственных загрязнений воздуха и воды. Работы этого института финансируются совместно правительством и промышленными кругами. Для сооружения любого нового предприятия или расширения старого требуется разрешение Совета по охране окружающей среды. Строгие обязательные постановления заставили большинство компаний создать собственные лаборатории для надзора за выбросами, образующими загрязнения. Все существующие предприятия должны быть оборудованы очистными сооружениями. При этом они могут рассчитывать на государст-

венные субсидии в размере 25% от стоимости сооружений, но не более 2 млн. долларов на завод [Gjaervoll, 1972].

Таким образом, наличие четкого государственного аппарата, научно-исследовательского института и жесткого законодательства по отношению к основным загрязнителям окружающей среды обеспечивает успешную борьбу с промышленными загрязнениями в Швеции.

## 2.5. Международное сотрудничество в сфере природопользования в странах Западной Европы

Наряду с национальным уровнем регулирования отношений "человек — окружающая среда" для государств Западной Европы характерно стремление к международному сотрудничеству. Сейчас практически все политические и экономические группировки стран Западной Европы включились в работу по организации совместных программ и мероприятий по охране окружающей среды. Основанием для этого послужили малые размеры отдельных государств, совместная эксплуатация ими ресурсов морей и рек, а также сильное воздействие одних стран на состояние окружающей среды в соседних странах, особенно в связи с загрязнением воздуха и вод. Созданию различных форм международного сотрудничества способствовал и рост политического самосознания трудящихся масс, все чаще включающих требования по улучшению окружающей среды в программы своих политических партий.

Рассматривая сеть существующих международных организаций по охране природы в Западной Европе, можно видеть, что многие страны включили новые виды международного сотрудничества в старые организационные формы сложившихся политических группировок, таких, как Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейский Совет, Европейское экономическое сообщество. Кроме того, в ряде случаев созданы региональные комиссии, координирующие работу отдельных государств в рамках региональных программ. Таковы программы стран Северной Европы, Агенство Рейнского бассейна и др.

Одной из крупнейших экономических и политических организаций Западной Европы, как известно, является ОЭСР. В 1970 г. в рамках ОЭСР создан специальный комитет по делам окружающей среды, который занимается изучением воздействия политики охраны окружающей среды на экономику и международную торговлю, а также дает соответствующие рекомендации странам — участницам этой политической группировки. Западные обозреватели рассматривают действие этого комитета как эффективную помощь правительствам. Комитет действует на трех уровнях управления. Первый из них объединяет высокопоставленных правительственных администраторов, координирующих работу пяти секторов, каждый из которых специализируется на определенном виде загрязнений: 1) загрязнении воды и воздуха в результате сжигания топлива в стационарных условиях и двигателями внутреннего сгорания; 2) загрязнении воды детергентами и отходами цел-

7. Зак. 1541



люлозно-бумажной промышленности. Эти секторы дают количественную оценку уровня загрязнений, разрабатывают экономически обоснованную политику контроля за загрязнениями и определяют стоимость предупредительных мер. Чтобы показать, как комитет на уровне этих групп работает, остановимся несколько подробнее на деятельности первой группы, изучающей загрязнение водных объектов.

В первую группу входят представители 18 стран — участниц ОЭСР и наблюдатели от других международных организаций. Исследования проводятся в следующих направлениях: 1) изучение проблем комплексного управления речным бассейном; 2) создание системы приоритетов в исследованиях; 3) поддержание качества воды в реках и озерах; 4) прогнозирование потребностей в воде для промышленности; 5) подбор документации и информации соответствующих хозяйственных органов; 6) проведение исследовательских программ силами соответствующих научных учреждений стран — участников проекта. Группа проводит консультации с ВОЗ, Комиссией Европейских сообществ, Европейским Советом и Европейской экономической комиссией ООН. Основная задача в управлении водными ресурсами, стоящая перед странами — участницами ОЭСР, заключается в том, чтобы определить, каким образом обеспечить качественно и количественно многих потребителей, одновременно пользующихся водой, когда условия одного использования связаны с возможностью (или невозможностью) последующих использований. Выход из критического положения ОЭСР видит в создании своеобразного "единого фонда".

На втором уровне сотрудничества в рамках ОЭСР также созданы группы, но уже с относительно ограниченными полномочиями. Их задача состоит в рассмотрении частных проблем загрязнения среды на фоне всех аспектов загрязнения. Такие группы были созданы для изучения атмосферного загрязнения в результате сжигания топлива, выбросов отходов целлюлозно-бумажной промышленности и двигателей внутреннего сгорания. Деятельность этих групп включает рассмотрение ситуации, сложившейся в связи с загрязнением конкретного источника. В результате правительствам отдельных стран в консультативном порядке предлагаются конкретные меры для сокращения потока загрязнений из данного источника. Эти группы действуют в тесном контакте с комитетами по промышленности, сельскому хозяйству и энергетике.

К третьему уровню относится центральная служба анализа и оценки, созданная в рамках Совета управления ОЭСР по проблемам окружающей среды. Этот орган разрабатывает основные принципы политики природопользования на основании конкретных проблем. Центральная служба анализа и оценки: 1) использует экономическую методологию для включения фактора среды как динамического элемента в экономическую политику; 2) изучает степень общности проблем среды для разных стран и районов с учетом нарушения экономического равновесия; 3) оценивает потери естественных или искусственно созданных ресурсов; 4) определяет условия, при которых концепция общей политики с учетом требований охраны окружающей среды может быть приемлема для пра-

вительственных органов; 5) рассматривает вопросы установления международных норм и стандартов.

В ОЭСР ведутся и теоретические исследования для установления системы индикаторов, отражающих изменения окружающей среды, как одного из критериев "качества жизни" в целом.

Второй крупнейшей организацией стран Западной Европы является Европейский Совет, включающий 17 стран. Помимо экономических задач, в качестве своей первоочередной задачи Европейский Совет выдвигает "укрепление идеалов и принципов, разделяемых странами-участницами". В Европейском Совете осуществляется межправительственная программа по широкому кругу вопросов, включающих и охрану окружающей среды. Для решения этих вопросов в 1962 г. был создан Европейский Комитет по охране природы и природных ресурсов. Он выполняет консультативные функции при Комитете министров стран — участниц Европейского Совета.

Цель работы Комитета — подготовка рекомендаций в области политики по отношению к окружающей среде. Так, по инициативе Комитета 1970 год был объявлен Европейским годом охраны природы. В том же году в Страсбурге, где расположена штаб-квартира Европейского Совета, состоялась Европейская конференция по вопросам охраны природы, которая завершилась принятием "Декларации об управлении окружающей средой в Европе". Одним из самых значительных результатов конференции следует считать предложение о создании специальных министерств по вопросам окружающей среды в странах Западной Европы. Основные положения декларации по управлению средой Западной Европы сводятся к следующему.

1. Вопросы рационального использования и управления средой должны иметь приоритеты в деятельности правительств всех стран и соответствующее финансирование. Должна быть введена четкая ответственность каждого ведомства в области планирования и использования земель, а также других природных ресурсов и охраны природы в целом.

2. Необходимо усиление или введение мер по борьбе с загрязнением воздуха, воды и почвы. С этой целью как можно скорее должно быть достигнуто соглашение о введении международных стандартов оценки интенсивности загрязнения.

3. Желательно, чтобы законодательство и регулирование по сохранению среды и ее качества были приведены в соответствие с требованиями к ним в большинстве стран Европы.

Третьей крупной организацией, объединяющей страны Западной Европы, является Европейское экономическое сообщество (ЕЭС). В отличие от двух предыдущих организаций, чьи программы базируются исключительно на доброй воле правительств отдельных государств, ЕЭС располагает возможностью применять соответствующие санкции, обеспечивающие выполнение его решений. При ЕЭС создан специальный фонд для финансирования мероприятий этой организации в области охраны окружающей среды в размере около 250 млн. долларов, а также фонд для финансирования совместных научных исследований. ЕЭС, по мнению В. Мандл — главного администратора отдела окружающей



среды и интересов потребителя, заинтересовано в охране окружающей среды ввиду растущей стоимости мероприятий по борьбе с загрязнением, а также из-за опасности нарушения условий конкуренции, свободы торговли и количественного аспекта общественного благосостояния [Natur, 1976].

Основная программа ЕЭС по охране окружающей среды, принятая в 1973 г., состоит из трех разделов. 1. Стремление к уменьшению загрязнения окружающей среды и снижению отрицательных последствий загрязнения. Основное направление работы — организация единой системы для обмена данными и методикой по борьбе с загрязнением окружающей среды и по снижению содержания загрязняющих веществ в различных продуктах, а также по развитию научно-исследовательской деятельности в целях улучшения обмена информацией по проблеме загрязнения в целом и по загрязняющим веществам. 2. Оптимальное размещение людских ресурсов и промышленных предприятий с точки зрения учета экологических интересов, улучшения условий труда на предприятиях, а также программы улучшения информации и образования среди широких слоев населения. 3. Разработка общих или совместных действий стран — участниц ЕЭС в международных организациях более высокого ранга.

Существуют и другие организации, объединяющие действия нескольких государств. Так, Северный совет объединяет Данию, Финляндию, Норвегию и Швецию. Он имеет координационные и консультативные функции. В стадии оформления находятся комитеты и комиссии по регионам Северного и Средиземного морей. Отношения между государствами по вопросам окружающей среды пока контролируются различного рода конвенциями и соглашениями.

Интересно, что существуют международные организации регионального уровня, созданные на основе "бассейнового" объединения. Среди них следует прежде всего назвать Международную комиссию по защите Рейна от загрязнения, куда входят представители Бельгии, Нидерландов, Люксембурга, Франции, ФРГ и Швейцарии. Комиссия предложила установить компенсационные взносы за загрязнение Рейна солями, определив сумму в 100 млн. французских франков в год, из которых на долю Франции приходится 30%, Нидерландов — 34%, ФРГ — 30% и Швейцарии — 6%. Комиссии удалось достичь соглашения о запрещении химического загрязнения, которое происходит главным образом на территории ФРГ и Швейцарии. Определены три списка веществ, сброс которых должен быть ограничен или даже полностью запрещен. Первый из них ("черный" список) включает пестициды, канцерогенные вещества, ртуть и кадмий. Сброс этих веществ в Рейн по принятой программе прекращен к концу 1976 г. Второй ("серый") список содержит перечень тяжелых металлов. В соответствии с программой к 1979 г. сброс этих веществ был заметно уменьшен. И наконец, третий ("бежвый") список содержит перечень веществ, которые постепенно будут удаляться из сбросов в течение 15 лет. Для повышения эффективности работы этой комиссии предполагается на ее базе создать Агентство Рейнского бассейна с более широкими полномочиями [Henkell, 1974].

Анализ существующих систем, обеспечивающих охрану окружающей среды в Западной Европе, позволяет видеть многообразие форм регулирования отношений "производство — окружающая среда — человек". В ряде стран существуют государственные учреждения различного типа с разным уровнем полномочий и различной организационной структурой. В большинстве комиссий среди экспертов наряду с физиками, химиками и техниками заметная роль принадлежит экономистам, медикам, биологам и географам. Интересна и наднациональная международная структура этих комиссий, комитетов и агентств. Все комиссии выполняют прежде всего консультативные функции по отношению к правительствам отдельных государств, а также ведут научно-методические работы по обследованию отдельных объектов и их групп, по методике сбора информации, стандартизации оценок "уровней загрязнения"; они проводят определенную идеологическую и образовательную работу, обеспечивая заинтересованность налогоплательщика в принятии предложений множества существующих комиссий.

Учет опыта этих организаций при правильном понимании коренных различий, существующих между нашей страной и странами капитала, может быть полезен при совершенствовании нашей системы управления рациональным природопользованием.

## 2.6. Система организаций по охране окружающей среды в европейских странах СЭВ

Проблема взаимодействия между человеком и окружающей его природой рассматривается в Совете Экономической Взаимопомощи как одна из первостепенных по важности комплексных проблем, требующих научной разработки и тесного международного сотрудничества. В связи с этим в Комитете СЭВ по научно-техническому сотрудничеству в 1972 г. был создан Совет по вопросам охраны и улучшения окружающей среды (табл. 2). Совет призван содействовать улучшению организации и повышению эффективности сотрудничества стран — членов СЭВ и СФРЮ в области охраны и улучшения окружающей среды и связанного с этим рационального использования природных ресурсов. Учитывая сложность проблемы, отсутствие до настоящего времени систематизированных научных разработок по этим вопросам (особенно практически прикладного характера), а также природное разнообразие отдельных стран, следует оценить уже достигнутые результаты этих работ как положительные, своевременные и весьма полезные.

В основе теоретико-методологических предпосылок окружающая среда рассматривается как пространственно-ограниченная территория, с которой человек взаимодействует, которую использует, подвергает своему влиянию. Для открытия ряда закономерностей, связей и взаимозависимостей между компонентами окружающей среды используется системный подход. При этом комплексный географический анализ в сочетании с другими научно-техническими разработками, проводимыми специалистами смежных наук, дает возможность целенаправлен-



Таблица 2

Организация научно-технического сотрудничества в области охраны окружающей среды в рамках СЭВ

Руководящие и консультативные органы в порядке содействия	Рабочие органы			
	Координационные центры и Совет Уполномоченных	Основная проблема	Постоянные комиссии (ПК)	Основная проблема
Комитет СЭВ по научно-техническому сотрудничеству	Москва (СССР)	Гигиенические аспекты	ПК по использованию атомной энергии в мирных целях	Радиационная безопасность
Совет по вопросам охраны и улучшения окружающей среды	Братислава (ЧССР)	Экосистемы	ПК по геологии	Охрана недр
Международный центр научной и технической информации	Дрезден (ГДР)	Защита атмосферы	ПК по экологическим проблемам	Охрана вод
	Ленинград (СССР)	Метеорологические аспекты	ПК по строительству	Планировка городов
	Будапешт (ВНР)	Отбросы		

ного прогнозирования воздействия на окружающую среду и в результате этого перехода к управлению ею.

В настоящее время во всех социалистических странах существует развитое, с учетом своей национальной специфики, законодательство, создающее правовую основу для различной деятельности государственных, кооперативных и общественных организаций, а также отдельных граждан, направленное на охрану и рациональное использование окружающей среды.

Так, в мае 1970 г. в ГДР Народной палатой был принят Закон о планомерном социалистическом развитии природных богатств страны, включающем, в частности, целенаправленное преобразование ландшафта, рациональное использование земель, лесов и вод, сохранение чистоты воздуха, борьбу с шумом, утилизацию и удаление бытовых и промышленных отходов. За последние годы государственные расходы на защиту окружающей среды неуклонно растут и составляют в настоящее время около 900 млн. марок.

В Югославии Союзной скупщиной приняты Основы политики урбанизации и использования земель, а каждая из шести социалистических республик Югославии имеет свой закон об охране природы, отвечающий современному этапу социально-экономического развития страны.

В Румынии в сентябре 1973 г. вступил в силу Закон об охране окружающей среды, принятый Национальным собранием, в котором имеют-

ся разделы, посвященные охране качества вод, охране земельных и лесных ресурсов, заповедников и т. д. Созданы Национальный совет по защите окружающей среды, находящийся в подчинении Совета Министров, и уездные комиссии по защите среды. В составе Национального совета действуют пять специальных комиссий, ведающих делами по охране воздуха и защите от шума, по охране вод, почв, флоры и фауны, заповедников и памятников природы, среды обитания людей.

В *Болгарии* в рамках Государственного совета действует Совет по охране и воспроизводству природной среды, а в подчинении Народного собрания находится Комиссия по охране природной среды. В 1971 г. Министерство лесов и лесной промышленности было преобразовано в Министерство лесов и охраны природной среды со специальными отделами по охране вод, почвы, воздуха, недр, природных ландшафтов и других объектов. Большую работу по охране природы проводит созданный в 1975 г. Комитет по охране природной среды при Совете Министров, являющийся подведомственным контрольным органом и осуществляющий государственную политику в области охраны среды. Он выполняет функции руководства, координирует и контролирует всю деятельность по охране среды и рациональному использованию природных ресурсов. С этой целью Комитетом разработан план практических и научно-исследовательских работ, рассчитанных до 1990 г.

Функциональное единство использования, охраны и улучшения природных ресурсов находит отражение и в экономическом содержании категории "природопользование". В частности, были разработаны соответствующие мероприятия и определено их место в общественном производстве; были установлены также методы и способы их отражения в балансе народного хозяйства и межотраслевых связях.

Поставлен вопрос о разработке систем показателей плана природопользования. Речь идет о создании единой системы плановых задач и ее научной классификации по всем направлениям природопользования, о разработке показателей в натуральных и стоимостных величинах, о единой дифференцированной оценке результатов. В связи с этим в стране создается система наблюдения за состоянием окружающей среды — воздуха, воды, почв, растительности, животного мира и др. — и организации информации. Объектом наблюдения являются качественные показатели указанных элементов среды. Основные положения подобной единой национальной системы уже утверждены постановлением Совета Министров от 11 мая 1975 г.

В *Венгрии* в 1973 г. правительством утверждены две долгосрочные программы охраны природной среды, рассчитанные на 15 лет, — по биологическим и гигиеническим проблемам (под руководством ВАН и Министерства здравоохранения) и по технико-экономическим (под руководством Министерства строительства). В интересах обеспечения большего согласования с лесным, водным и сельским хозяйством и другими отраслями была составлена перспективная программа охраны окружающей среды, определяющая задачи на 1976—1990 гг.

По данным обследования, в ВНР имеется 600—700 тыс. га территорий, которые целесообразно взять под охрану. К охраняемым меропри-



яниям относятся запрет или ограничение землепользования и строительства, запрет открытых горных разработок и ликвидация уже нанесенного разработками ущерба окружающей среде и др.

В Польше в 1970 г. был создан Польский комитет охраны среды как правительственный орган межведомственной координации. Для координации научно-исследовательских работ по проблеме среды при Президиуме ПАН был образован научный комитет "Человек и среда". В 1972 г. организовано Министерство лесного хозяйства и охраны среды. С января 1973 г. начал свою работу Институт охраны среды (Варшава) с двумя филиалами, в Катовицах и Вроцлаве.

В 1973 г. согласно решениям VI съезда ПОРП была завершена разработка "Комплексной программы охраны и формирования среды до 1990 г.". Программа состоит из трех основных разделов: 1) современное состояние среды, 2) прогноз изменения среды до 1990 г. и 3) политика и программа формирования и охраны среды. Программа предусматривает проведение следующих исследований и практических мероприятий: оценка неблагоприятных преобразований среды в результате хозяйственной деятельности, разработка рекомендаций по рациональному использованию территории, планирование размещения важнейших объектов народного хозяйства с точки зрения охраны среды, использование природной среды для развития массового туризма и отдыха и др.

В общих установках программы принято, что охрана среды должна осуществляться в соответствии с принципами централизованного планирования и хозяйственного расчета с учетом международного сотрудничества.

В Чехословакии в 1971 г. при правительствах Чехии и Словакии были созданы советы по вопросам окружающей среды (СОС), в обязанности которых входит разработка проектов, связанных с охраной и улучшением состояния среды, и координация деятельности различных министерств и учреждений по их осуществлению.

В 1971 г. при правительстве была образована Комиссия ЧССР по окружающей среде — координирующий, инициативный и консультативный орган. Этим актом было завершено вертикальное и в определенной мере горизонтальное соподчинение учреждений, ведущих работу по проблемам окружающей среды в ЧССР.

Эта работа ведется на трех уровнях: 1) федеральном — обеспечение государственной политики в отношении охраны окружающей среды (включая государственные исследования), международных контактов и сотрудничества, координация деятельности республиканских органов; 2) республиканском — центр тяжести приходится на руководящую, административную и контролирующую деятельность; 3) народных комитетов — наиболее важное звено при реализации мероприятий в отдельных районах.

Важным этапом в работе СОС было принятое в апреле 1974 г. решение о разработке методики воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду в ЧССР. Было выбрано пять модельных регионов (Остравский, Северо-Чешский, Соколовские угольные бассейны, Бржецлавская и Йиглавская области) с различными природными условиями, раз-



Рис. 5. Структура системы "окружающая среда"

личной степенью хозяйственного использования и, следовательно, с различными последствиями воздействия на окружающую среду. Результаты исследований явились исходным материалом для сравнительного анализа состояния окружающей среды и составления модели экономического и внеэкономического воздействия человека на природу.

Исследования модельных областей опирались на географический анализ изучаемых регионов, который позволил определить наиболее важные взаимодействия между элементами физико-географической и социально-экономической среды, т.е. были проанализированы элементы, которые с точки зрения географической оценки являются наиболее важными для структуры системы окружающей среды (рис. 5.).

Вопросы, связанные с охраной природной среды как с потенциальным лимитирующим фактором дальнейшего экономического развития и с необходимостью использования основных преимуществ социалистической системы в их решении и прогнозировании, отражены в материалах XV съезда КПЧ. Начиная с 1977 г. Федеральное Министерство по развитию техники и капитального строительства с рядом заинтересованных ведомств приступило к реализации программы экологической оптимизации использования ландшафта в ЧССР. В специфических условиях ЧССР научные исследования по данной программе должны способствовать решению ряда задач, в том числе:

1) внедрению рациональной системы хозяйственного использования ландшафта, что создает условия для дальнейшего экономического развития в соответствии в экологическим потенциалом природных систем (с одной стороны, в рамках главных отраслей производства, с другой — в рамках охраняемых ландшафтных областей как моделей экологического направления природопользования в ландшафте);



2) оценке современных правовых норм и инструкций, а также современной системы управления в области охраны ландшафта (разработка моделей комплексного законодательного решения и математико-статистической модели организационного совершенствования экологической оптимизации использования ландшафта).

Непосредственное влияние технического развития, фундаментальных исследований, направление международного сотрудничества должны учитываться при разработке прогноза экологической оптимизации использования ландшафта в ЧССР с временными уровнями 1985, 1990 и 2000 гг. Все работы по прогнозированию опираются на развивающиеся информационные системы (банки данных) отраслевого и межотраслевого типа и в прямое сотрудничество с республиканскими статистическими управлениями и плановыми органами.

Странами — членами СЭВ заключено соглашение о создании системы статистических показателей, характеризующих состояние среды и пригодных для международного (на уровне СЭВ) сопоставления.

### 2.7. Система организаций по охране окружающей среды и природопользованию в СССР

Плановый характер социалистической экономики представляет собой широкую основу для рационального природопользования в нашей стране. Уже с первых дней существования нашего государства природоохранное законодательство и мероприятия по рациональному природопользованию были тесно связаны друг с другом. Пятилетние планы развития народного хозяйства определяют планомерное освоение территорий Советского Союза. За последние годы Коммунистическая партия Советского Союза и правительство нашей страны, Верховный Совет СССР и Верховные Советы союзных республик систематически возвращаются к вопросам охраны окружающей человека географической среды и к вопросам рационального природопользования. Вопросы охраны окружающей среды были предметом рассмотрения на XXIV, XXV и XXVI съездах КПСС. Вопросы охраны природы отражены и в новой Конституции нашего государства. Таким образом, у нас в стране существует и действует система государственных законов в отношении рационального природопользования и охраны окружающей среды. Эта система законодательства представлена следующими основными законами: Конституцией СССР (1977 г.) и принятыми ранее Основами земельного законодательства Союза ССР и союзных республик (1968 г.), Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик (1970 г.), Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах (1975 г.).

Наличие системы законов определяет структурно-организационные формы управления природопользованием. Можно выделить несколько уровней государственного управления. На общесоюзном уровне действует Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Во всех союзных министерствах существуют отделы и управления по охране окружающей среды или комитеты. В рес-

публиканских министерствах тоже есть соответствующие управления и отделы. Кроме того, на областном и районном уровнях работают отдельные комиссии, службы, инспекции и станции, которые ведут большой объем наблюдений, составляют справки, являющиеся обоснованием для принятия административных мер к руководителям учреждений или отдельным лицам. Таковы, например, функции инспекций рыбнадзора, охотнадзора и санэпидемстанций.

Разный характер полномочий по отдельным учреждениям, а также различные организационные формы управления природопользованием связаны прежде всего с разной степенью актуальности этих вопросов для разнообразных регионов нашей страны. Кроме того, вероятно, это характеризует стадию развития форм управления природоохранными мероприятиями в нашей стране.

Наряду с ведомственной, отраслевой линией развития форм управления существуют еще и аналогичные организации в системе Госплана, в рамках которой созданы отделы и секторы, определяющие политику планирования природоохранных мер до областного уровня включительно. Кроме того, отделы и секторы по охране природы (охране земель и других природных объектов) существуют при местных советах в некоторых областях, при сельскохозяйственных управлениях и даже при архитектурных управлениях.

Большая природоохранная работа ведется в государственных заповедниках пожарной охраной и другими учреждениями.

Третье направление в области охраны окружающей среды — региональное. Оно реализуется посредством районных планировок. У нас в стране еще в 1933 г. был принят закон о районных планировках. В соответствии с этим законом любое крупное строительство или реконструкция старых промышленных узлов осуществляется на базе районных планировок. Районная планировка представляет собой план регионального развития крупных экономических ячеек нашей страны в ранге группы промышленных узлов. При составлении проекта развития территории размещение объектов проводится с учетом технологии производства и особенностей природной среды. При составлении этих проектов анализируется наличие трудовых и природных ресурсов, учитывается транспортная сеть и энергообеспеченность развивающихся комплексов. Районные планировки не являются догмой, а, как и любой план, время от времени пересматриваются в соответствии с требованиями жизни, и все же любая из районных планировок длительное время обеспечивает планомерный характер освоения и реконструкции территории на базе серьезных экономических проработок. Составление районных планировок у нас поручено нескольким проектным институтам, специализирующимся на проектах городов (Московской и Ленинградской гипрогоры и др.). В состав районной планировки введены новые разделы, связанные с охраной окружающей среды. Таким образом, объединяются функции планирования и контроля в документе, имеющем силу закона.

В связи с внедрением программно-целевых методов планирования наряду с районными планировками в последние годы начали появляться отдельные проекты или программы, касающиеся вопросов охраны



природы в некоторых регионах. Такова, например, программа-проект сохранения природы Азово-Черноморского региона и некоторые другие. Здесь как бы намечается и "бассейновый" подход к анализу территорий.

Наряду с успехами в области управления природоохранными процессами у нас имеются и определенные недостатки. Главным из них, пожалуй, является разобщенность отдельных органов управления, которая не может не вызвать дублирования. Вероятно, еще надо совершенствовать координацию работы этой многоотраслевой и довольно обширной системы управления. Необходимо и совершенствование законодательства в области урегулирования прав и обязанностей отдельных звеньев системы.

Это хорошо видно на ряде примеров. Так, ход составления координационных планов охраны воздушного бассейна Москвы, Ленинграда и Запорожья показал, что региональное перспективное планирование качества окружающей среды в ряде случаев существенно осложняется из-за недостаточной отработки организационно-правовых вопросов и экономического механизма природоохранной деятельности. Это в первую очередь касается определения эффективных источников и способов возмещения затрат на охрану окружающей среды [Брагин, 1975]. Например, некоторые трудности возникли при выполнении проекта сохранения Азово-Черноморского региона. В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 16 января 1976 "О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей" Минводхоз СССР поручил группе научно-исследовательских и проектных организаций разработать региональную схему охраны природного комплекса и рационального использования естественных ресурсов в пределах водосборного бассейна Черного и Азовского морей, занимающего значительную территорию юга Европейской части СССР.

Несмотря на юридическую и ведомственную определенность во взаимодействиях Минводхоза СССР и минводхозов республик, а также отдельных их подразделений, наблюдается несогласованность их действий. Практической реализации отдельных проработок мешает то обстоятельство, что в настоящее время нет еще полных и строгих правовых норм и принципов, определяющих взаимодействия минводхозов республик с бассейновыми управлениями на межреспубликанских бассейнах. Да и сам Азово-Черноморский регион в правовом отношении не является административно-территориальной единицей. В пределах территории, которая в физико-географическом понимании относится к водосборному бассейну, действуют минводхозы пяти союзных республик (РСФСР, УССР, БССР, МССР и ГССР). Кроме того, некоторые вопросы регулирования природопользования бассейна Черного моря должны решаться на уровне международных организаций.

Наряду с трудностями в осуществлении программ имеются и заметные успехи. В частности, показательны изменения в направлении организации целевого управления программой охраны окружающей среды Латвийской ССР [Мильнер, 1977]. В республике разработана комплексная программа "Охрана природы и рациональное использование при-

родных ресурсов Латвийской ССР на 1976—1980 гг.", представляющая собой систему взаимосвязанных и координированных экономических, производственных, организационно-хозяйственных, научно-исследовательских и социальных мероприятий, направленных на существенное улучшение окружающей среды. Их выполнение лишь на первом этапе десятой пятилетки предусматривало затраты в объеме 735 млн. руб. Долгосрочный межведомственный характер программы предопределил необходимость применения системного подхода к организации и управлению всем комплексом природоохранных мероприятий в Латвии. На первом этапе реализации долгосрочной программы, осуществлявшейся в десятой пятилетке, было обеспечено существенное снижение отрицательного воздействия промышленности, сельского хозяйства и других отраслей народного хозяйства на окружающую среду и повысился потенциал природных ресурсов Латвийской ССР. Осуществление этих основных задач предусматривало решение ряда задач второго уровня. Были поставлены следующие задачи:

- 1) рационализировать водопотребление, создать предпосылки для полного прекращения сброса неочищенных сточных вод до 1985 г.;
- 2) к 1980 г. снизить суммарный выброс вредных веществ в атмосферу, обеспечив соблюдение ПДК всех видов вредных веществ в воздушной среде;
- 3) расширить фонд продуктивных земель путем развития мелиорации, орошения, рекультивации и осуществления противозерозионной программы;
- 4) обеспечить ускоренное воспроизводство лесных ресурсов, сохранение их водоохранной и противозерозионной роли.

Выделялись также следующие задачи второго порядка: расширение воспроизводства рыбных запасов, сохранение и регулирование развития природных комплексов. Важно подчеркнуть, что наряду с "подпрограммами основной деятельности" согласно перечисленным выше задачам большое внимание уделялось "подпрограммам обеспечивающей деятельности". К их числу относятся такие подпрограммы, как развитие измерительной и контролирующей сети, информационное обеспечение комплексной программы, научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, подготовка инженерно-технического персонала, пропагандистская и культурно-просветительная работа. По каждой из этих подпрограмм также были сформулированы цели и намечено несколько сот конкретных мероприятий, предназначенных к реализации, установлены количественные показатели достижения конечных результатов.

## 2.8. Географический прогноз и управление природопользованием

Приведенный выше обзор состояния организации управления охраной окружающей среды и природопользованием, несмотря на существенные различия в странах с разным социально-экономическим строем, позволяет видеть и некоторые общие проблемы. В странах с развитой промышлен-



ностью и высокой плотностью населения проблема сохранения окружающей среды стала сферой реальных действий. В большинстве случаев на первое место в связи с этим встают задачи определения предельно допустимых уровней загрязнения воздушных бассейнов, поверхностных и подземных вод, почв и морей. Большой проблемой является экономическая оценка прямых и косвенных ущербов, причиненных в результате нерационального природопользования. Все настойчивее ставится вопрос об определении косвенных последствий реализации тех или иных технических программ, связанных с освоением новых и рекультивирующей старых способов использования того или иного ресурса. Можно уверенно сказать, что на наших глазах начался и набирает силу процесс экологизации мышления у государственных деятелей, экономистов и технологов.

В реализации отдельных проектов в природоохранных мероприятиях отчетливо видны два направления. Одно из них можно условно назвать технологическим, связанным с совершенствованием форм очистки промышленных отходов и созданием безотходных производств. Это особенно актуально для тех территорий, где антропогенные нагрузки уже достигли таких размеров, что требуется экстренная помощь биоценозам, не справляющимся с функциями естественной самоочистки.

Второе направление — конструктивное. В рамках конструктивной идеологии надо рассматривать современную поверхность нашей планеты как сложнопостроенную природно-техническую систему, состоящую из различных территориальных комплексов, обладающих иерархической структурой. Такой взгляд необходим и в первом случае, когда современные технологи исправляют ошибки предшествующих поколений создателей современного производства. Непредвиденные отдаленные последствия состояний этих систем — вот что занимает всех тех, кто работает в природоохранной области. Но ведь предвидеть их можно лишь на базе долгосрочных географических прогнозов. Поэтому можно думать, что сама жизнь выдвигает эту проблему. Нас беспокоит все, что может оказаться вредным для будущих поколений людей, для их здоровья и наследственности, для различных сфер их производственной и духовной деятельности.

Необходимо подумать о том, чтобы дело составления географических прогнозов и управление природопользованием объединились в общественной практике. Для того чтобы управлять, надо знать особенности поведения природно-технических систем. Для этого должна существовать единая система сбора информации. Вероятно, из-за того, что природно-технические системы различного размера и ранга в своем развитии подчиняются различным законам, служба слежения за природной средой должна быть ранжирована, одни звенья должны быть нацелены на планету в целом, а другие — на отдельные регионы. При выделении регионов неизбежны несовпадения природных и административных границ. В рамках управления природопользованием такие несовпадения должны быть зафиксированы, так как именно с ними связаны конфликтные противоречивые решения местных органов управления. Для регулирования этих вопросов должно быть проведено специальное районирова-

ние нашей страны. Такое районирование необходимо для улучшения системы законодательства.

Следующее звено в идеальной системе управления природопользованием должно иметь консультативные функции. К нему должна стекаться имеющаяся информация о состоянии среды и намечающихся тенденциях ее изменения. Эта инстанция должна давать оценку состояния по существующим стандартам и составлять прогнозы.

Следующая инстанция должна принимать ответственные решения и планировать мероприятия по изменению состояния природной среды в необходимом направлении. И наконец, должна существовать инстанция, а может быть служба, реализующая природоохранные мероприятия. Не исключено, что в распоряжении этой службы должны быть средства самоконтроля.

В существующей системе организаций функции последней инстанции ближе всего министерствам и отраслевым ведомствам. Система планирования и принятия решений у нас в стране также уже существует. А вот первые две инстанции пока существуют не в полном объеме, и предстоит работа по их созданию и совершенствованию.

Для успешной работы всей системы в будущем, вероятно, еще понадобятся межотраслевые и межрегиональные консультационные и координационные комиссии и комитеты а также организации, координирующие решение этих проблем в рамках СЭВ.



## ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ

"Когда естествознание ставит себе целью отыскать единообразную материю как таковую и свести качественные различия к чисто количественным различиям, образуемым сочетаниями тождественных мельчайших частиц, то оно поступает таким же образом, как если бы оно вместо вишен, груш, яблок желало видеть плод как таковой, вместо кошек, собак, овец и т.д. — млекопитающее как таковое, газ как таковой, металл как таковой, камень как таковой, химическое соединение как таковое, движение как таковое".

*Ф. Энгельс*

"Во всякой форме и любой формализуемой системе остается неформализованный остаток".

*К. Гюбель*

### 3.1. Основания для выбора прогнозируемых свойств географических объектов

Выбор того или иного пути географического прогнозирования и конкретного метода составления прогноза не может не зависеть от некоторых общих свойств тех природных и природно-хозяйственных объектов, которые изучает длительное время география. Знание этих свойств обеспечивало до настоящего времени развитие географии как науки и одновременно позволяло использовать географические методы для решения ряда прикладных задач.

Исследуя на поверхности Земли природу, хозяйство и население, географическая наука помогла человечеству увидеть известную взаимозависимость их некоторых черт и, что самое главное, выделить такие территориальные единства, в которых взаимосвязанность природы, хозяйства и населения проявляется с большей степенью очевидности. Таких комплексов много, и они достаточно разнообразны. Эти территориальные (а для водных объектов акваториальные) единства, объединяясь, образуют районы, области, провинции, страны. Несмотря на большое их разнообразие, удается выделить такие их черты (свойства), которые встречаются не у одного, а у нескольких объектов. Эти свойства служат основанием для построений типологических классификаций. Вместе с тем в каждом из объектов есть нечто собственное, позволяющее в каждом из них видеть некоторый индивидуум. Установление сходства и различий территориальных комплексов и составляет существо географического анализа. Объединяя объекты в группы по степени сходства, мы тем самым сокращаем число прогнозных моделей, предполагая, что сходные объекты будут одинаково реагировать на внешние воз-

действия. Подчеркивая индивидуальные черты (или различия) объектов, мы обращаем внимание на то, что для конкретных территорий необходимо корректирование прогнозных моделей с учетом их индивидуальностей. Это заставляет в повседневной практике пользоваться "портретными" моделями.

Для прогнозирования общие свойства особенно важны в настоящее время, когда географы делают первые опыты отыскания методов составления суждений о будущем. Поскольку географические объекты чаще всего представляют собой сложные системы, то их прежде всего объединяет то, что свойственно всем сложным системам: иерархическое соподчинение частей и целого, саморегулирование и др. Но, вероятно, существует нечто, что отличает географические системы от негеографических. Поэтому прежде всего следует рассмотреть вопрос о границах географического анализа.

### 3.2. Границы географического анализа

Отделение географических событий от всех остальных негеографических представляет известный интерес для многих целей. В географическом прогнозировании оно определяет рамки исследования. В другом случае оно определяет рамки науки. Известно, что окружающий нас материальный мир представляет собой определенную целостность, единство. Разделение его на части, изучаемые различными науками, отражает опыт многих поколений ученых, которые сумели выделить в окружающем нас мире различные формы движения материи (от сравнительно простого механического перемещения масс в пространстве до чрезвычайно сложных видов движения материи, свойственных обществу и развитию). По мнению Ф. Энгельса, каждая из наук "...анализирует отдельную форму движения или ряд связанных между собою и переходящих друг в друга форм движения ..." и в классификации наук отражается соотношение физических форм движения. В соответствии с этим правилом можно считать, что география — одна из наук, изучающих планетную форму движения материи, и не вообще планетную, а вполне конкретную форму движения материи, создавшую нашу Землю. Изучением Земли занимается не одна география, а семейство наук о Земле. Например, вместе с географией эту форму движения изучает и геология. Каждая из этих наук исследует планетную форму движения материи со своей точки зрения.

Наука, как одна из форм общественного сознания, выделяет из окружающего нас мира определенный объект и изучает особенности его строения и эволюции, а также отношения (взаимосвязь и взаимообусловленность) этого объекта с другими объектами. Наличие взаимосвязей и взаимной обусловленности объектов материального мира является одной из причин расширения области интересов каждой из наук. Из смежных наук привлекаются новые идеи и методы исследования. Нередко в качестве методов используется целая совокупность методов смежных наук. Так, в географии существуют физические, хими-

<sup>1</sup> Энгельс Ф. Диалектика природы, 1955, с. 198.



ческие, биологические и другие методы. С их помощью география глубже познает сущность географических объектов. Можно говорить и о географических методах в других науках.

Современному этапу развития науки особенно свойственны тенденции расширения предмета исследования и построения весьма сложной системы методов науки. Расширение области исследований нередко явление вынужденное. Расширяя тот или иной круг вопросов, ученый (или коллектив ученых) не имеет возможности ждать решения необходимых ему проблем смежных наук, так как выполнение его социального заказа может слишком затянуться. Он вынужден браться за решение этих задач сам. Обычно в таком случае определяются междисциплинарные проблемы. Для их решения создаются комплексные коллективы ученых различных профессий. Рамки старых классических наук в этих исследованиях оказываются временно нечеткими. Однако знания, накопленные классическими науками, и их значение для общего прогресса познания окружающего нас мира и в этом случае не уменьшаются.

География, как известно, изучает одну из оболочек Земли — материальный мир, прилегающий к земной поверхности. Являясь пограничной, эта оболочка испытывала и продолжает испытывать влияние сил внутренних и внешних. Поэтому ее границы проводятся условно, причем разными учеными они проводятся по-разному в соответствии с выбранными ими принципами [Кривошукский, 1974].

Многообразие действующих сил и сочетание веществ, находящихся в разном агрегатном состоянии (газы, жидкость и твердые тела), оказались благоприятными для процессов метаболизма. С течением времени структура оболочки усложнялась. Это усложнение становится особенно заметным с появлением и развитием на Земле жизни, а затем и человеческого общества.

Можно ли говорить об особой форме движения материи — географической ее форме? На этот вопрос ясного ответа нет, по крайней мере, если не принять строгого определения понятия "форма движения материи". Если принять точку зрения Б.М. Кедрова [1963, с. 129—151], то следом за признанием существования геологической формы движения материи следует признать существование и географической ее формы, так как географические объекты — это суть материальные объекты, которые обладают качественной спецификой определенных явлений, своей собственной структурой и специфическим типом взаимодействия составляющих ее элементов.

Если рассматривать последовательный ряд меняющихся форм движения материи, то можно увидеть последовательность образования географической оболочки как особого вида существования материи.

1. Допланетная стадия, для которой характерны механические, физические и химические процессы (и соответственно формы движения материи).

2. Образование планеты. Для этой стадии характерны те же виды движения. Однако определились масса планеты, ее размеры, форма (внешний вид). При сохранении типов процессов обозначились некоторые пределы физических и химических параметров (давление, температура,

состав химических элементов и их соотношение). Процессы получили определенную специфику.

3. Образование оболочки (для нашего случая — географической). Сохранились типы процессов механического, физического и химического рода. Установились новые пределы существования вещества и определился его состав (добиологическая стадия).

4. Возникла жизнь — еще одна форма движения материи. Изменился характер (и главным образом скорость) механических, физических и химических процессов, протекающих на Земле. Изменилась сама географическая оболочка. Географическая форма движения перешла на новый уровень развития.

5. Появились человек и человеческое общество — еще одна форма движения материи. Изменился характер механических, физических, химических и биологических процессов, изменилась и сама географическая оболочка. Географическая форма движения перешла на следующий (третий) уровень развития.

В географии этот путь развития материи нашел отражение в структуре составляющих ее научных отраслей — отраслевых географических наук. Климатология, гидрология, океанология, геоморфология изучают элементы географической оболочки, которые существовали и в добиологическую стадию развития нашей планеты. Однако объекты их исследования в современном виде содержат новые черты, связанные с деятельностью живых организмов и человека. Биогеография, география почв и физическая география изучают объекты, появившиеся уже после возникновения жизни на Земле, но, естественно, в их современных чертах отражается влияние производственной деятельности человека. Экономическая география изучает объекты, возникшие с появлением человеческого общества. Комплексная география занимается изучением территориальных структур географической оболочки, их происхождением и развитием.

Отсюда следует, что любое исследование, связанное с изучением структур географической оболочки (или одной из ее структур), можно называть географическим исследованием. Географические структуры обладают сложным строением, и поэтому их изучение может быть полным или частным — отраслевым. Комплексное географическое исследование должно быть направлено на раскрытие внутреннего строения объекта, на установление характера взаимосвязей между элементами, образующими единое целое, на выявление истории развития объекта и т.д.

### 3.3. Виды описаний географических объектов и способы их формализации

Традиционным методом исследования в географии является описание. В описании обычно дается определение изучаемого района, страны и др. Это может быть горная страна, равнина, долина, впадина или единица административно-территориального или политического деления (государство, область). Но всегда это некоторая территория (или акватория). При сравнении двух географических объектов, территориальных ком-



плексов, в центре внимания находится их внутреннее устройство. Чтобы увидеть особенности внутреннего устройства, каждый объект рассматривается как сложный территориальный комплекс, состоящий из некоторого числа элементов.

В физической географии и ландшафтоведении в настоящее время широко используются два способа разделения территорий на элементы. Некоторые из исследователей видят в этом два самостоятельных подхода в географическом анализе. Так, В.С. Преображенский [1972] выделяет моносистемный и полисистемный способы анализа территорий. Я. Демек [1977] также выделяет два способа расчленения территориальных комплексов на элементы — вертикальный и горизонтальный.

При вертикальном (моносистемном) членении территории географический объект, как известно, разделяется как бы на геогоризонты. Нижним из них является приповерхностный слой коренных пород грунтов, т.е. то литологическое основание, на котором возникают почвы. Внешняя поверхность этих горных пород образует рельеф местности. Выше располагаются поверхностные воды, растительность и приземные слои воздуха. Разнообразие грунтов, почв, рельефа, поверхностных вод и других видов геогоризонтов и их сочетания предопределяют мозаику географических объектов.

Если описывать географический объект методом вертикального членения, то следует перечислить свойства каждого из геогоризонтов. Можно представить два типа таких описаний. Первый из них чисто качественный. В описании в первом случае будут присутствовать определения (типологические классы) типов грунтов, почв, рельефа, растительности, поверхностных и подземных вод, животного мира и воздушной массы. При их описании предполагается наличие классификации каждого из геогоризонтов (необходимо, чтобы такая классификация уже существовала). Чтобы такое описание формализовать, достаточно закодировать тип каждого из горизонтов. Формализованное описание можно представить себе в виде вектора-строки (столбца).

Пусть конкретный географический объект представляет собой фаццию с растительной ассоциацией — ельник-зеленомошник на подзолистых почвах, развитых на покровных лёссовидных суглинках, залегающих на пологом склоне холма. Если каждому из компонентов этой фацции присвоить некоторый индекс (растительность —  $R_e^{zm}$  — ельник-зеленомошник, почвы —  $P_n^c$  — подзолистые средние, грунты —  $\Gamma_c^{лсв}$  — суглинки лёссовидные, рельеф —  $R\phi_{cx}$  — склон холма), то вектор-строку  $\bar{X}$  можно было бы записать в виде

$$\bar{X} = R_e^{zm}, P_n^c, \Gamma_c^{лсв}, R\phi_{cx}, \dots$$

В формализованном варианте записи обычное описание заменено более компактной формой перечисления кодов. Для того чтобы уметь ими пользоваться, необходимо прийти к некоторому соглашению о принципах кодирования (в настоящее время существует большое число

приемов кодирования). У описаний в виде кодов есть два преимущества — компактность и четкость и один недостаток: чтобы им было легко пользоваться, необходимо знать язык кодов.

Второй тип вертикального описания географического объекта — это случаи, когда в типологической характеристике каждого горизонта в описании наряду с названием типа будут присутствовать и некоторые специфические характеристики — параметры, описывающие горизонт качественно или количественно. Так, для описания растительности могут быть даны флористический состав, ярусность, обилие, покрытие, встречаемость видов и др. В.В. Алексин [1951] предлагает для описания 11 частных признаков. При описании рельефа в качестве параметров используются морфометрические характеристики (абсолютная и относительная высота, угол наклона, экспозиция, расчлененность и др.). Так же можно подойти и к другим геогоризонтам. Формализованное описание географического объекта и в этом случае будет иметь вид вектора-строки (столбца). Только число элементов вектора (или его координаты) во втором варианте возрастет. В формализованном виде описание того же объекта может выглядеть следующим образом:

$$\bar{X} = [(P_{\text{с}}^{\text{зм}} 10, 7, 2), (П_{\text{н}}^{\text{с}} 4, 10, \kappa), (Г_{\text{с}}^{\text{нсв}} 7, 2, 5), (Рф_{\text{сх}} 100, 7)],$$

где цифры и буквы имеют некоторое конкретное значение параметра, характеризующего каждый из горизонтов (например, число видов растений, порядковый номер вида-доминанта, высоту растений и т.п.). Естественно, что при описании сохраняется стандартная (раз и навсегда принятая) последовательность перечисления признаков.

Горизонтальное (полисистемное) деление территориальных комплексов предполагает деление территории на части, каждая из которых образует комплекс более низкого иерархического ранга. Так, по Н.А. Солицеву [1949], как известно, относительно крупная территориальная единица — ландшафт делится на урочища, а урочища можно разделить на фации. Тогда при горизонтальном членении урочища мы в его описание включим набор относительно просто устроенных территорий — фаций. Горизонтальное деление ассоциируется здесь с разделением территории на карте. В зависимости от степени полноты характеристик элемента при горизонтальном анализе комплекса описание может быть относительно кратким или распространенным. В формализованном виде краткое описание может быть представлено в виде вектора-строки (столбца)

Пусть в составе урочища речной долины будут выделены фации: пойменный луг ( $П_{\text{л}}$ ), заболоченная старица ( $С_{\text{т}}$ ), сухой луг на склоне ( $С_{\text{ксл}}$ ), залесенный склон ( $С_{\text{л}}$ ), степной склон ( $С_{\text{ст}}$ ), залесенный склон между-речья ( $С_{\text{лм}}$ ) и т.п. Тогда вектор-строка данного урочища в формализованном описании будет иметь вид

$$\bar{Y} = П_{\text{л}}, С_{\text{т}}, С_{\text{ксл}}, С_{\text{л}}, С_{\text{ст}}, С_{\text{лм}} \dots$$

Если каждый из выделенных объектов может быть охарактеризован как нечто целое, то это описание может быть дополнено конкретными параметрами — количественными и качественными. Например, в описании каждого из объектов могут быть даны перечислением высота,



форма, возраст, происхождение элемента и др. Тогда описание примет более распространенный, развернутый вид, так как каждая фация будет охарактеризована не только индексом, но и набором параметров.

Таким образом, традиционное географическое описание в формализованном виде может быть представлено вектором-строкой (столбцом) вида  $\bar{X}$  или  $\bar{Y}$ . Естественно, что можно объединить "вертикальное" и "горизонтальное" описание географического объекта. В этом случае описание примет вид матрицы (таблицы), в которой строчки могут соответствовать типам объектов, выделенных при горизонтальном описании, а столбцы — их свойствам (по геогоризонтам), выделенным при вертикальном анализе.

Пусть в матрице  $A$  будет  $m$  строк и  $n$  столбцов, тогда описание географического объекта можно представить в виде

$$A = \begin{array}{c} \left. \begin{array}{c} \text{Свойства, параметры} \\ \hline a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n} \\ a_{21}, a_{22}, a_{23}, \dots, a_{2n} \\ a_{31}, a_{32}, a_{33}, \dots, a_{3n} \\ \dots \dots \dots \\ a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}, \dots, a_{mn} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \text{Типы объектов} \end{array}$$

Элементы матрицы  $a_{ij}$ , где  $i$  — номер строки, а  $j$  — номер столбца, выражают  $j$ -е свойство  $i$ -го объекта.

Стандартизованные географические описания легко приводят к идеям о возможности использования статистического анализа. С помощью таких таблиц можно сравнительно просто получить среднее значение параметров и частотные характеристики (спектры) свойств объектов (повторяемость тех или иных признаков, сходство объектов между собой, связь между параметрами и т.п.). Если набирать материал по изменению этих свойств во времени, можно получить некоторое представление и о динамике географических объектов, описывая их как функцию от времени.

Следует, однако, помнить, что, изучая статистические взаимосвязи между параметрами, мы ничего не можем узнать о природе этих связей. Очень точно об этом написал Ф. Миллс [1958]: "Статистическое доказательство само не устанавливает причинность. Статистика устанавливает степень ковариации, но существуют ли причинные связи или нет и каким путем они развиваются, не может быть установлено статистикой" (с. 650).

В силу этого для прогнозно-географических целей наряду с традиционными географическими описаниями объектов должны появиться и описания, в которых характеризуются потоки вещества и энергии, циркулирующие в географическом комплексе. Эти новые типы описаний уже существуют, но обычно их используют не столько при комплексных географических описаниях, сколько в ландшафтно-геофизических, ландшафтно-химических и экологических исследованиях.

Когда говорят о потоках вещества, то чаще всего оперируют понятием "масса". В географии широко используются такие понятия, как "воз-

душная масса", "водная масса", "биомасса". Легко добавить и другие разновидности географических масс — "почвенная масса", "грунтовога масса". При каждом виде производств могут возникать и "технологические массы". Все географические разновидности масс — это физические массы, которые можно измерить путем взвешивания. Стало быть, возможны и балансовые методы изучения динамики этих масс.

Наиболее простые виды описания измерения или эволюции географических масс давно известны. Они имеют вид различного рода балансов. Так, баланс водных масс отражает характер процессов, и можно записать равенство

$$Q = P - E - Q_{\phi},$$

где  $Q$  — сток,  $P$  — атмосферные осадки,  $E$  — испарение,  $Q_{\phi}$  — фильтрация.

При описании процессов изменения биомассы мы не можем уже записать аналогичное равенство. Пусть биомасса растительного покрова (биомасса продуцентов) будет обозначена индексом  $МБ_{п}$ , а биомасса травоядных животных (консументов) — индексом  $МБ_{к}$ . Пусть также биомассы продуцентов, перешедших в биомассу консументов за отрезок времени  $\Delta t$ , будут равны  $МБ_{п}^{\Delta t}$ ,  $МБ_{к}^{\Delta t}$  и  $МБ_{к}^{t_1}$  — биомассы консументов на начальный отрезок времени  $t_0$  и  $t_1 = t_0 + \Delta t$ . Тогда

$$МБ_{к}^{\Delta t} + МБ_{п}^{\Delta t} \neq МБ_{к}^{t_1},$$

так как не вся биомасса продуцентов переходит в биомассу консументов. Здесь мы видим как бы другой тип отношений в рамках понятия "биомасса". Два разнокачественных элемента биомассы при их сложении относятся друг к другу иначе, чем обычные элементы балансовых уравнений. Это более похоже на химическую реакцию, и по аналогии можно говорить о некоторых "географических реакциях".

Второй особенностью географических масс является то, что каждая из них (будь то "воздушная", "водная", "почвенная" масса или "биомасса") обладает своим особым качеством. Это качество возникает при функционировании географического комплекса. И "водные массы", сформулированные в условиях одних территориальных комплексов, будут отличаться от "водных масс" других комплексов.

Для того чтобы правильнее записать перемещение географических масс в ходе функционирования географических комплексов, может быть, следует различать некоторое географическое вещество — "географическую массу" и некоторый носитель этой массы. К первому мы относим газы, жидкости, твердое вещество, живое органическое и мертвое органическое вещества, ко второму — грунт, почву, растительность, поверхностные воды (реки, озера, моря и др.), животный мир, приземный слой тропосферы. Нетрудно видеть, например, что грунт — это сложная система, в которой могут одновременно присутствовать и твердое вещество, и жидкость, и газ, и живое и мертвое органические вещества. То же самое можно сказать о почве, растительности, приземном слое воздуха и других массах. Носители масс — обычные географические объекты, которые образуют геогоризонты, внутри которых и между



которыми циркулируют потоки вещества и энергии. Это почва, растительность, поверхностные воды и др.

Географическое описание такого типа можно представить в виде матрицы. Пусть газообразное вещество мы обозначим буквой г, жидкое — ж, твердое — т, органическое вещество мертвое — ом, органическое вещество живое — ож, приземный слой воздуха — А, органический мир — Б, поверхностные воды — В, почвы — П, грунты — Г. Тогда географический объект можно описать в виде матрицы

	Г	Ж	Т	ОЖ	ОМ
А	Аг	Аж	Ат	Аож	Аом
Б	Бг	Бж	Бт	Бож	Бом
В	Вг	Вж	Вт	Вож	Вом
П	Пг	Пж	Пт	Пож	Пом
Г	Гг	Гж	Гт	Гож	Гом

Условимся этот вид матрицы обозначать буквой ( $M$ ); ее элементами будут  $m_{ij}$ , Аг (газы приземного слоя воздуха), Аж (капельно-жидкая вода в приземном слое воздуха), Гж (жидкость в грунтах) — конкретные виды вещества, находящиеся в определенном географическом носителе. Взаимодействие между массами здесь имеет вид обмена веществом между горизонтами. В этом варианте описания имеется возможность составления балансов.

Дальнейшее усложнение матрицы — включение "техногенных масс", которые могут находиться в различных агрегатных состояниях, и расширение видов "географических носителей". В качестве последних могут выступать технологические сооружения. Кроме того, возможно разделение газообразного вещества на их составные части — кислород, азот, жидкостей — на растворители и растворенные части и др. При этом имеет смысл выделить в самостоятельные группы те разновидности веществ, которые можно рассматривать как самостоятельные потоки. Можно делить и вещественные носители ("географические резервуары") на такое количество геогоризонтов, которое позволит полнее раскрыть меняющуюся со временем структуру географических объектов. Последняя разновидность географических описаний позволит более полно оценить количественный и качественный аспекты состояний географических объектов.

Таким образом, в современной комплексной географии существуют два основных вида описаний объектов с их разновидностями. Для целей географического прогноза может оказаться прогнозным и третий вид описаний. В формализованном варианте географический объект может быть достаточно полно описан в матричном виде.

#### 3.4. Критерии сходства и различия географических объектов

Сравнение объектов — необходимый этап любого географического исследования. Оно присутствует в явном или неявном виде уже тогда, когда мы делим территорию на части (горизонтальное членение) или объеди-

нием наиболее простые территориальные комплексы в более сложные. Не сравнивая объекты друг с другом, нельзя заметить их пространственные изменения. А для определения тенденций развития каждого из объектов необходимо сопоставление описаний их свойств во времени.

Сравнение объектов между собой начинается со сбора признаков. Как известно, одни из них длительное время остаются без изменений, другие изменяются за относительно короткие отрезки времени. Поэтому представление о степени изменения объекта за определенный отрезок времени сильно зависит от того, какие признаки отобраны для сравнения. И, наоборот, если нужно увидеть тенденции изменения какого-либо из объектов за некоторый срок, то необходим выбор строго определенных признаков. Обычно при их отборе исходят из представлений о существенности того или иного признака для целей характеристики явлений (объектов). Если отбирают не один, а несколько признаков, то необходимо выполнять следующее условие: они должны быть независимыми друг от друга и обладать одинаковой значимостью при сравнении. Неодинаковая значимость выбранных свойств неудобна, так как приходится в этом случае уравнивать значения с помощью весовых коэффициентов, а это всегда связано с привнесом в процедуру сравнения некоторой субъективности.

Понятие существенности признака относится к той категории понятий, количественная оценка которых плохо формализуется. Часто бывает так, что один и тот же признак существен для одних целей и несуществен для других. О существенности того или иного признака мы очень часто судим на основании опыта науки, и значимость того или иного параметра может быть оценена на основании анализа высказываний специалистов-экспертов. Для целей географического прогноза существенными будут те из признаков, которые могут указывать на изменение количества или качества природных ресурсов, обеспечивающих условия жизни или иного типа производства.

Независимость признаков при проведении сравнения объектов не по одному, а по многим переменным — требование совершенно другого рода. Оно направлено на уменьшение числа операций, выполняемых в ходе сравнения. Если между какими-либо признаками имеется связь, то их отношения можно записать в виде уравнений регрессии и при необходимости по численному значению одного признака получить значение другого (в случае парной корреляции) или по совокупности ряда признаков (множественная корреляция).

Для сравнения двух и более объектов между собой по совокупности признаков важным является анализ изменчивости каждого из них, а также сопоставление между собой шкал измерений. Обычно признаки, раскрывающие различные свойства объектов, имеют неодинаковую размерность. Это могут быть и проценты, и градусы температуры, и градусы углов наклона или углов азимутов простираний, и метры, и квадратные метры, и единицы измерения объемов, концентраций; могут встречаться безразмерные величины, определяющие число особей (элементов), или цифры некоторого кода, описывающего количество или качество объекта. Выбор шкалы и ее обоснование относятся к критериям качества сравнения.



Таблица 3

Пример сравнения трех объектов по трем признакам

Признак	Объект		
	А	Б	В
1. $a$ (шт.)	111	74	82
2. $b$ (%)	7	12	4
3. $c$ (°C)	17,2	17,0	17,9

Поскольку разбивка на классы в любой системе коэффициентов сходства и различия учитывает абсолютные значения чисел, то при наборе из различных шкал измерений более значимым окажется тот из признаков, чья изменчивость будет большей по абсолютному значению чисел, характеризующих размах колебаний.

Пусть у нас имеются три различных объекта — А, Б, В, которые сравниваются нами по трем признакам —  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Первый признак пусть будет характеризоваться безразмерной величиной (штуки), второй — процентами, а третий — градусами Цельсия (табл. 3).

Очевидно, что наибольшие различия по первому признаку и определяют степень сходства и различий объектов, и может случиться так, что мы хотели изучаемые объекты разделить на группы по трем признакам, а разделим по одному из них. Чтобы уравнять значение каждого из выбранных признаков, перед операцией сравнения проводится их нормирование.

Нормирование значений признаков можно провести различными способами. Один из них заключается в том, что сначала для каждого признака  $P$  выбираются значения максимума ( $P_{\max}$ ) и минимума ( $P_{\min}$ ). Тогда нормированное значение  $\tilde{P}$  признака  $P$  определяется по формуле

$$\tilde{P} = \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

После проведенных преобразований значения различных признаков уравниваются. Проведем такое преобразование для примера, показанного в табл. 3. Нормированный вариант этой же таблицы показан в табл. 4.

Нормирование подобного рода представляется целесообразным в том случае, если исследователь уверен, что в выбранной им для изучения совокупности содержатся абсолютный максимум и абсолютный минимум возможных значений измеренных параметров.

Операция сравнения близости оказывается справедливой лишь для замкнутой группировки. Кроме того, этот тип нормирования правомочен для случая, когда распределение значений признаков равновероятно.

Для случаев нормального распределения нормирование может быть проведено с помощью вычислений среднего квадратичного отклонения ( $S^2$ ) или значений среднего арифметического ( $\bar{X}$ ). Для малых выборок





Таблица 5

Матрица евклидовых расстояний между объектами А, Б, В

	А	Б	В
А	0	1,09	1,27
Б	1,09	0	1,43
В	1,27	1,43	0

Из табл. 5 видно, что по совокупности признаков ближе всего находятся объекты А и Б, а дальше всего (т.е. наименее похожи) объекты Б и В.

Если признаков берется  $n$ , то евклидово расстояние измеряется в  $n$ -мерном пространстве признаков.

Свойства различных коэффициентов мер сходства разные, но, как показали исследования Б.И. Семкина [1973], при довольно разных условиях они отличаются лишь на монотонную функцию. Иными словами, объекты, наиболее "далекие" по одной мере, будут такими же и по другой мере, если, разумеется, обе меры удовлетворяют упомянутым условиям.

На основании применения различных алгоритмов в настоящее время разработано довольно большое число способов автоматической классификации (разбиения объектов на группы) с помощью ЭВМ. В географии наиболее четко используются алгоритмы факторного, дискриминантного и кластерного анализов.

Разделение объектов на группы, отличающиеся друг от друга по ряду признаков, иногда проводится и без применения математических методов, на основании внешнего сходства или подобия объектов. Географией в целом и ее отраслями проведено немало опытов построения классификаций, которые можно использовать в качестве классификаций первого приближения или которыми удобно пользоваться в начале исследования для сокращения работы по отбору объектов, подлежащих изучению.

После того как проведены операции сравнения географических объектов по совокупности признаков, заключительным этапом анализа является расположение их в ряды близости. Один из таких рядов — ряд эволюции. Могут быть и другие ряды, раскрывающие действие тех или иных факторов, например ряд нарастания влажности или температуры почвы, ряд нарастания каменистости и др. Два соседних члена такого ряда могут характеризовать изменение свойств того или иного объекта в зависимости от изменения условий существования объектов. Один из способов построения рядов давно уже используется в географии и известен под названием сравнительно-географического метода. Его введение в нашу науку связывают с именем крупного немецкого географа XVIII в. А. Гумбольдта. Сущность этого метода для целей геоморфологии, по И.С. Шукину [1960], состоит в следующем. Для того чтобы установить путь развития несходных объектов А и Б, находящихся в одной генетической группе, необходимо найти все имеющиеся в этой группе формы и расположить их в последовательности так, чтобы рядом находились такие

два объекта, сходство которых не вызывает сомнений. Тогда весь ряд будет построен так, что, переходя от одного объекта к другому мы увидим постепенный характер изменений, связывающих отдельные друг от друга объекты [с. 117].

В географии этот метод находит свое применение при изучении медленно развивающихся явлений. Благодаря этому методу наблюдения во времени могут быть заменены изучением объектов, расположенных в пространстве (иногда по соседству или удаленных на достаточно большие расстояния). Построение географического прогноза, как это будет показано позже, может опираться на анализ эволюционных рядов, построенных на основании сравнительно-географического анализа.

### 3.5. Неоднородность географического пространства.

#### Проблема географических границ

Географическая оболочка Земли неоднородна. Чтобы это заметить, совершенно необязательны специальные знания. Достаточно небольшого путешествия, чтобы можно было увидеть, что реки ограничены заболоченными берегами, образующими поймы. Поймы переходят, в свою очередь, в более сухие склоны, то залесенные, то распаханнные; равнины сменяются горами, суша переходит в море. Эта простая истина знакома нам еще из школьной географии. Качественно различные территории сменяют в пространстве друг друга то резко, то постепенно. Если один из объектов резко отличается от другого, значит, в его формировании и развитии принимает участие один комплекс факторов, а на сопряженной с ним территории — другой. Проводя границы между различными территориями, мы отделяем их друг от друга, разделяем единый континуум географической оболочки (сферы) на отдельные части. Это необходимо для разных целей — для учета разнокачественных территорий (лесов, болот, лугов и др.) и для того, чтобы, обнаружив непохожие объекты, объяснить причины этого несходства, познать законы, приводящие к дифференциации единой оболочки на ее части (пространственные структуры). Это, казалось бы, простое и очевидное действие вызывает в последнее время дискуссию.

Большинство советских географов считают, что географические комплексы — реальность и практически любую территорию можно разделить на несколько качественно различных частей. Каждая из них представляет собой некоторый территориальный комплекс, который, в свою очередь, можно делить дальше, выделяя комплексы более низких рангов. Предполагается, что элементы территориального комплекса обладают более высокими внутренними связями. Это и создает возможность существования комплекса. Внешние связи элементов территориальных комплексов должны быть менее сильными. Ослабление внешних связей по сравнению с внутренними может позволить отделять одни комплексы от других. Внутренне однородный в некотором смысле территориальный комплекс образует единство, напоминающее "организм". Этот "биоцентризм" географического мышления, вероятно, и вызывает возражения у некоторых

других географов, которые дискретному рассмотрению пространства пытаются противопоставить свойства его континуальности. Так, известный немецкий физико-географ Э. Нееф [1974] пишет, что в географической действительности вообще не существует границ, имеющий вид резкой линии раздела. Он считает, что "граница является, разумеется, не чем иным, как мысленной конструкцией, лишь до некоторой степени представляющей собой аналог трудноуловимого пограничного перехода. Это есть методически необходимый вспомогательный прием, а не реальное отражение объективного явления" (с. 33). По его мнению, граница не может быть свойством географического комплекса.

Близкой точки зрения придерживался Д.Л. Арманд [1975], который писал: "Строго говоря, комплексы не имеют границ, так как каждый их пограничный участок связан какими-либо общими свойствами либо переносом тех или иных видов материи и энергии с участками, лежащими еще дальше за его краем" (с. 8). Существование границ, если бы они были, Д.Л. Арманд связывает с наличием или отсутствием внешней связи. Таким образом, в географических границах он хотел бы видеть разрывы в связях, барьеры, разделяющие территории.

Имеется и другая точка зрения. Она заключается в том, что границы между географическими объектами всегда можно показать одной линией [Солицев, 1948; Лидов, 1949; Видина, 1962; Коваленко, 1963; Мамай, 1978; и др.]. Промежуточные суждения о том, что географические границы могут быть четкими и нечеткими, высказывали Л.Г. Раменский [1938], П.С. Кузнецов [1950], С.В. Калесник [1954], В.П. Лидов и др. [1954], Д.Л. Арманд [1955], А.Г. Исаченко [1961], К.И. Геренчук [1961] и др. Достаточно полный обзор взглядов по этой проблеме можно найти у А.Г. Воронова [1963].

Если рассмотреть сущность этой дискуссии, то можно увидеть несколько ее аспектов. В одном из них реальность географических границ рассматривается под углом зрения наличия или отсутствия на этих границах обмена веществом и энергией между соседними комплексами. Такой взгляд возможен лишь в том случае, если признать, что граница всегда разделяет объекты, изолирует их друг от друга. Но широко известно и то, что существуют границы иного типа — границы, на которых происходит активный обмен веществом и энергией. Так, ни у кого не вызывает сомнений наличие четкой границы между жидким и газообразным телом (поверхность раздела океана и атмосферы). На этой границе, как известно, происходит широкий обмен веществом и энергией, играющий важную роль в жизни нашей планеты. Аналогичный обмен, как известно, происходит в определенных условиях и на границе твердого тела с газообразным (сублимация и возгонка), твердого и жидкого тела (гидролиз и обратный гидролизу процесс кристаллизации). В связи с этим правильнее говорить о различных функциях границ — разделительной функции и функции обмена. Границы-разделы хорошо известны. Наиболее частой и важной их разновидностью являются водоразделы. Встречаются границы — геохимические рубежи. А границы, вдоль которых осуществляется обмен, кажутся действительно самыми распространенными разновидностями границ.



Вторым аспектом этой проблемы является взгляд на границу как на способ выделения некоторого индивидуума, на способ разграничения одного индивидуума от другого. Нам кажется, что проблема существования географического индивидуума очень важна и серьезна для нашей науки. Она решается при практическом изучении тесноты связей элементов, образующих территориальный комплекс. Опыт проведенных нами исследований позволяет говорить о том, что связи внутри выделенного географического объекта (между его элементами) и аналогичные связи между объектами (фациями и др.) имеют одинаковую природу и примерно одинаковую силу. В конкретных случаях могут быть различные вариации между значимостью тех или других. Общего правила здесь, пожалуй, нет. И это понятно, так как географические индивидуумы объединяются в территориальные комплексы более высокого ранга. Их существование не вызывает сомнений, и поэтому мы должны предположить, что между индивидуумами более высокого ранга должны существовать и достаточно прочные связи, не менее сильные по сравнению с теми, которые объединяют элементы — объекты низшего ранга.

Представление о том, что границы есть лишь "мысленные конструкции", по меньшей мере неточно (если не сказать неверно), потому что во многих случаях существование границ как реальности не вызывает сомнений. Но даже и тогда, когда на местности границу установить непросто, даже тогда ее можно обнаружить, проведя некоторые специальные исследования. Наиболее просто ее обнаружить, если принять, что граница разделяет на местности два территориальных комплекса, отличающихся друг от друга по своему устройству (структуре), состоянию или типу функционирования. Такой подход требует от ученого проведения конкретного исследования. Насколько хорошо мы выбираем параметры для сравнения географических комплексов друг с другом, а также насколько точно мы выбираем критерии сходства (меры сходства), настолько точно мы проводим границы. Меняя параметры и критерии сходства, мы, естественно, можем получать и различное положение границ. Но, во-первых, каждый раз мы будем получать и границы, и "географические индивидуумы" не похожие или по крайней мере отличающиеся друг от друга. Во-вторых, и это самое главное, многие из границ даже после изменения критериев сходства и набора параметров окажутся пространственно устойчивыми рубежами. И именно это позволяет говорить об объективности (реальности) существования географических индивидуумов.

В предлагаемой читателю монографии границы рассматриваются как реальные географические рубежи, отделяющие друг от друга территориальные географические комплексы (любого ранга). Границы могут выполнять различные функции (обмена или' разделения). Они не остаются постоянными во времени и возникают вследствие географической дифференциации территории. Со временем границы могут менять свое положение то постепенно, то скачкообразно. Они обладают своей морфологией, и поэтому в каждом конкретном случае границы территориальных комплексов должны явиться предметом специального изучения.

При отыскании местоположения границ мы сравниваем существенные признаки (свойства) географических объектов. Правила проведения границ рассматриваются в учебниках и методических руководствах. Их проведение обусловлено различиями в сущности объектов.

Установление сущности географического объекта (его определенного качества) обычно проводится при полевых обследованиях. Исследователь перед выездом в поле на основании изучения результатов предыдущих исследований и литературных источников, дешифрирования аэрофотоснимков (а теперь и космических материалов) составляет себе представление о территории, изучение которой ему предстоит. В идеальном случае он до выезда в поле составляет карту-макет, на которой им проведены границы и сделано предположение о сущности каждого из выделенных территориальных комплексов. Затем в полевых условиях эти предположения уточняются, собирается фактический материал, раскрывающий свойства каждого из выделенных объектов. Одновременно уточняются и границы.

Сбор фактического материала проводится по определенным маршрутам, а в их пределах имеются точки наблюдений, станции, точки опробования, пробные площадки. Главные свойства географического объекта, например преобладающий тип рельефа, типы почв, растительности, устанавливаются довольно просто. Для этого достаточно нескольких точек наблюдения.

Опытный исследователь на основании описаний выполняет эту операцию без большого труда. В результате каждому объекту можно дать определенное родовое и видовое наименование. Для определения же свойств этого объекта — состава и возраста растений, запасов биомассы, свойств почв и грунтов и др. — нужны более подробные исследования (измерения). Одни сведения о свойствах географического объекта получаются на месте прямыми измерениями, другие становятся известными лишь после выполнения ряда специальных лабораторных анализов: химических, минералогических, гранулометрических и др. Изучение этих свойств вполне соответствует выборочному методу исследований, где вся площадь одного из объектов представляет собой генеральную совокупность, а точки наблюдения — выборку. Здесь имеются все основания для статистического планирования и проведения эксперимента выбора проб, для их обработки, составления оценок. К сожалению, такой статистический подход при проведении исследований представляет скорее исключение, чем правило. Чаще используется нормативный подход и частота точек опробования зависит от масштаба исследований.

Так, при геоморфологических съемках масштаба 1 : 100 000 обычно выбирают одну точку наблюдения на 1 км<sup>2</sup>, при масштабе 1 : 50 000 — две, 1 : 25 000 — четыре, 1 : 10 000 — 16 точек наблюдения. При лесотаксационных работах наблюдения проводятся на нескольких (не менее трех) пробных площадях на каждом из выделенных типов леса.

Для стандартизации наблюдений измерения проводятся по строго определенной программе. Обычно заполняется стандартный бланк, который в дальнейшем легко может быть переделан в таблицу для составления матри-



цы данных и проведения классификаций по одному из способов, описанных в предыдущем разделе.

Здесь же нам следует подчеркнуть лишь некоторые особенности процедуры определения свойств того или иного объекта. Итак, элементарной единицей информации об объекте является точка наблюдения. А на самом деле это не точка, а площадка определенных размеров. Так, для определения типа леса рекомендуется площадка размером 20 x 20 м. Совокупность точек наблюдения (совокупность площадок) позволяет установить некоторые общие (средние) свойства объекта.

Для проведения границы между двумя объектами необходимо установить принадлежность контрольной точки к тому или другому объекту. Постепенно приближаясь к периферии, мы можем с той или иной степенью определенности относить точки наблюдений к одному из двух граничащих объектов. Эта процедура вполне соответствует распознаванию образов с обучающей последовательностью. И поэтому для объективизации проведения границ были бы вполне уместны алгоритмы теории распознавания образов.

Следует обратить внимание на то, что такой подход к анализу территории неизбежно связан с разделением ее на отдельные пробные площадки, на определенные "кванты", и поэтому границы наших объектов зависят от границ этих пробных площадей. Это становится понятным, если мы на изучаемой территории проведем сплошную выборку. Разобьем весь объект на квадраты и опишем каждый из них в отдельности (рис. 6).

Отнесение того или иного квадрата к определенному классу географических явлений перемещает границу на расстояние, соответствующее размеру выборочной площадки. Если же мы имеем границы, выделенные при предварительном дешифрировании аэрофотоснимков, а затем проводим границы с учетом данных наземных исследований, то граница перемещается в пространстве на расстояние, соответствующее размерам контура (рис. 7).

Пусть на основании дешифрирования выделено шесть контуров. На каждом из них проведено опробование выборочным случайным методом. При этом оказалось, что контуры 1 и 5 не отличаются друг от друга, и поэтому граница, их разделяющая, не может быть признана существенной. Также оказались неразличимыми контуры 2, 3 и 4, а разделяющие их границы несущественными. И теперь видно, что если объект, обозначенный цифрой 6, окажется ближе к контурам 1 и 5, то граница между двумя объектами пройдет по линии АВГД, в противном случае границей станет линия АБД. Здесь особенно хорошо становится заметным, что при отнесении того или иного объекта к некоторому классу мы передвигаем границы скачками (квантами), и это, конечно, является результатом определенного способа изучения территории.

Также скачками природные территориальные комплексы меняют свои границы вследствие их естественной эволюции (саморазвития) при изменении условий действия естественных и антропогенных факторов. Два объекта, эволюционируя, могут со временем оказаться похожими друг на друга. Они объединятся, и если они соседи, то их граница переместится в пространстве скачкообразно.



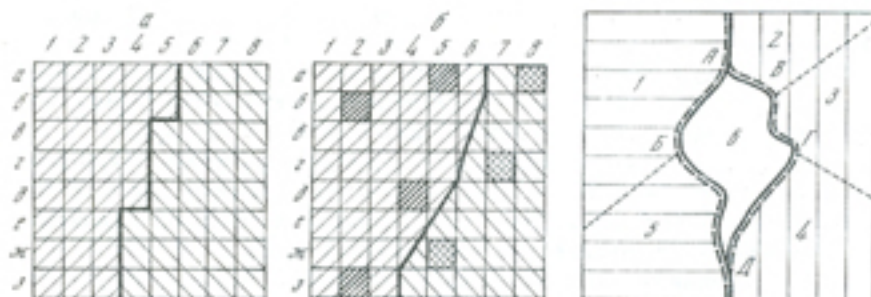


Рис. 6. Разделение территории на разнокачественные объекты при сплошной (а) и случайной (б) выборках

Штриховкой показаны условные объекты различной природы

Рис. 7. Участок местности с границами, выделенными по дешифрированию и уточненными после проведения полевых исследований

Объяснения см. в тексте

Могут быть и плавные, постепенные изменения границ. Это происходит тогда, когда один тип объекта расширяет свои размеры или смещается по пространству. Тогда на границах и в пограничных участках происходит замена одного комплекса другим. Иногда элементы одного комплекса наступают на ареал распространения другого так, что его элементы постепенно проникают в соседнее пространство (например, лес наступает на степь). Внешне это напоминает диффузию. Такие изменения обычным методом выборочных описаний объектов (рассмотренным выше) заметить нельзя. Для установления тенденции постепенных смещений границ необходимы специальные исследования в пограничных частях территорий методами сплошных съемок, измерений и др. При этом следует помнить, что любое географическое описание (площадки) относится не к точке, а к некоторому пространству или площадке. Такая площадка представляет собой пространственный "квант". Отсюда следует, что и в этом случае можно установить лишь скачкообразное смещение границы. Величина скачка соответствует размерам той площадки, на которой проводится описание. Чем меньше выборочная площадка, тем плавнее движение границ. Однако размеры площадки не могут уменьшаться беспрестанно, так как существует ряд требований к их представительности.

Существует еще один тип изменения границ. Каждый территориальный комплекс наряду с горизонтальной расчлененностью может обладать еще и некоторой вертикальной структурой. Это объясняется прежде всего вертикальной расчлененностью рельефа (мезо- и макрорельефа). Вертикальные превышения измеряются иногда сантиметрами, а в других случаях могут достигать нескольких десятков и даже сотен метров. Однородная в генетическом отношении территория может обладать пятнистостью. Понижения в рельефе нередко заняты одними типами объектов, возвышения — другими. Так, в понижениях нередко располагаются объекты, тяготеющие к условиям с повышенной увлажненностью. Изменяя

уровень грунтовых вод, мы можем видеть, как замещения одних типов элементов комплекса другими будут происходить без существенного изменения местоположения комплекса в целом. Пятна заболоченных низин могут со временем увеличиваться, сливаясь друг с другом, а при противоположных тенденциях — сокращаться и исчезнуть вовсе. Конечно, проводя наблюдения за изменением границ, мы неизбежно увидим, как эти изменения будут проходить квантами.

При проведении прогнозно-географических исследований важно обратить внимание на прерывисто-непрерывный характер смещения границ.

### 3.6. Географическая дифференциация и ее меры

Разнообразие географических объектов на поверхности Земли, несомненно, является результатом сложных и противоречивых тенденций эволюции ее природы. На разных отрезках истории их становления могли существовать различные тенденции: усиление разнообразия — дифференциации территории на самостоятельные части и упрощения пространственной территориальной структуры. Принято считать, что в периоды, характеризующиеся высоким увлажнением, дифференциация объектов уменьшается. При аридизации разнообразие пространственной структуры растет [Глазовская, 1968]. Человек может в отдельных случаях повышать степень дифференцированности структур, в другом — уменьшать ее, сближая друг с другом непохожие типы территориальных комплексов.

В каждом конкретном случае на любой территории мы застаем этот процесс на определенной стадии развития. Эту картину мы можем рассматривать как статическую. Изучая разнообразие дифференциации территориальных комплексов, мы можем видеть и причины, их вызывающие. В качестве таких причин нередко выступают определенные условия или стадия развития.

Б.Л. Гуревич [1968] увидел возможность строгого описания характера дифференцированности территориальных комплексов. Наметились два подхода в определении степени дифференцированности. Первый из них учитывает видовое разнообразие объектов, второй — разнообразие размеров отдельных комплексов (предполагается, что на карте выделены географические объекты одного таксономического ранга).

Для определений территориальной дифференциации географического объекта в пределах изучаемой территории устанавливается общее число существующих в его пределах территориальных комплексов. Пусть общее число комплексов будет равно  $N$ , а среди них —  $k$  повторяющихся типов. Пусть число каждого из типов будет равно  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$ , и их сумма

$$n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k = N.$$

Тогда отношения  $n_1/N, n_2/N, n_3/N, \dots, n_k/N$  можно рассматривать как вероятности встречи каждого из объектов в пределах изучаемого объекта. Оценка степени дифференцированности территории, по мнению Б.Л. Гуревича, может быть проведена с помощью энтропийной характеристики Шеннона. Обозначим отношения вероятностей встреч объе-

ктов так:

$$P_1 = n_1/N; \quad P_2 = n_2/N; \quad P_3 = n_3/N; \quad \dots; \quad P_k = n_k/N,$$

тогда

$$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_k = 1 \quad \text{и} \quad H^1 = - \sum_{l=1}^k P_l \log_2 P_l,$$

где  $H$  — энтропийный показатель разнообразия;  $P_l$  — вероятности встречи каждого из  $k$  выделенных типов территориальных элементов комплекса.

Известно, что  $H$  стремится к максимуму тогда, когда

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_k = 1/k.$$

Тогда

$$H_{\max}^1 = \log_2 k,$$

где  $k$  — число выделенных типов географических элементов территориального комплекса. Встречаясь с одинаковой вероятностью, они обеспечивают максимальное структурное разнообразие (дифференциацию) территории, что и подчеркивается удачно выбранной мерой.

Если необходимо сравнивать между собой территории с неодинаковым числом типов элементов, следует использовать меру относительной дифференциации. Ее удобнее всего измерить отношением

$$D^1 = H^1/H_{\max}^1 \cdot 100\%.$$

Эта мера показывает, насколько данная территория дифференцирована. Ее абсолютные значения меняются от нуля до единицы.

Аналогичным образом можно построить вторую меру пространственной дифференциации. Только вместо частоты встреч необходимо измерить соответствующие площади. Пусть  $F$  — площадь всей изучаемой территории, и пусть на ней встречено  $k$  различных типов объектов. Первый тип пусть встречается  $l$  раз, второй —  $m$  раз, а  $k$ -й объект пусть встречается  $n$  раз. Тогда можно измерить площади каждого из объектов. Проведем измерения по группам. Обозначим площади отдельных объектов в группах буквой  $f$ , верхний индекс будет обозначать номер группы, а нижний — номер объекта внутри группы. Тогда  $f_1^1, f_2^1$  и т.д. — объекты первого типа;  $f_1^2, f_2^2$  — объекты второго типа и т.д.

Пусть

$$f_1^1 + f_2^1 + f_3^1 + \dots + f_l^1 = f^1,$$

$$f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + \dots + f_m^2 = f^2,$$

$$\dots$$

$$f_1^k + f_2^k + f_3^k + \dots + f_n^k = f^k.$$

Тогда вероятности их встреч равны:

$$P_1^1 = f^1/F; \quad P_2^1 = f^2/F; \quad \dots; \quad P_k^1 = f^k/F$$

и

$$P_1^1 + P_2^1 + P_3^1 + \dots + P_k^1 = 1.$$



Отсюда можно получить и вторую меру территориальной дифференциации:  $D^2 = H^2/H_{\max} \cdot 100\%$ . Тогда  $H^2 = - \sum_{i=1}^n P_i^1 \log_2 P_i^1$ .

При равенстве  $P_1^1 = P_2^1 = P_3^1 = \dots = P_k^1 = 1/k$ ,  $H_{\max}^2 = \log_2 k$ . Заметим, что  $H_i^1$  не обязательно должна быть равной  $H_i^2$ , так как степень дифференциации территории по обоим признакам может совпадать лишь в особых случаях. Естественно, что неодинаковыми могут быть и меры относительной дифференциации  $D^1$  и  $D^2$ .

Для того чтобы учесть эти две меры совместно, следует ввести такие понятия, как слабо-, средне- и сильнодифференцированные территории. Пусть при слабой дифференциации  $D$  меняется от нуля до 0,3, при средней —  $0,3 < D < 0,7$ , при высокой —  $0,7 < D < 1,0$ . Тогда, совмещая меры типологической (признаковой) и территориальной (взвешенной по площади) дифференциации, можно построить такую матрицу:

		Классы территориальной дифференциации		
Степень		Слабо	Среднее	Сильно
Классы типологической дифференциации	Сильно	$D_{1,1}$	$D_{1,2}$	$D_{1,3}$
	Среднее	$D_{2,1}$	$D_{2,2}$	$D_{2,3}$
	Слабо	$D_{3,1}$	$D_{3,2}$	$D_{3,3}$

Эту матрицу можно использовать для классификации объектов по степени дифференцированности и проводить соответствующее картографирование территории.

При проведении прогнозно-географических исследований необходимо иметь в виду, что со временем характер дифференциации может измениться и поэтому степень дифференцированности может быть предметом географического прогнозирования.

Весьма полезные дополнения к вопросам и методам изучения дифференциации, неоднородности, контрастности ландшафтов предложил В.А. Николаев [1979].

### 3.7. Географическое соседство и упорядоченность пространства<sup>1</sup>

Географическая дифференциация территории представляет собой результат действия ряда факторов, определяющих размещение географических объектов в пространстве. Известно, что главными факторами территориальной дифференциации являются зональное распределение солнечного тепла по поверхности планеты, наличие рельефа, разнообразие свойств горных пород, слагающих верхние части литосферы, и неравномерность

<sup>1</sup> Раздел написан при участии Т.Ю. Симоновой и И.М. Зейдеса.

размещения типов и интенсивности хозяйственной деятельности человека. Поэтому каждый географический объект на поверхности располагается не случайно, а закономерно. Одним из главных видов этой закономерности является зональность.

Понятие "географическая зональность" в географии было введено В.В. Докучаевым в 1898 г. Дальнейшее развитие идей о географической зональности связано с работами Л.С. Берга [1930], А.А. Григорьева [1946], И.П. Герасимова [1960], А.А. Григорьева и М.И. Будыко [1956]. А.А. Григорьев определил наличие количественных закономерностей, связывающих размещение географических зон с распределением тепла и влаги; вместе с М.И. Будыко он выявил периодический характер изменения ландшафтов в зонах.

Наряду с общими законами о зональном размещении географических объектов могут существовать и иные, более частные закономерности. Некоторые из них известны, например законы размещения парагенетических комплексов, представляющих собой цепочки постепенных взаимосвязанных переходов от плакорных условий на междуречьях к склоновым комплексам. Еще ниже располагаются долинные комплексы, которые вниз по течению рек претерпевают определенные изменения и заканчиваются природными комплексами дельт и морских равнин. Закономерности этого типа, как локальные, так и более общие, тесно связаны с перераспределением тепла и влаги по склонам различной крутизны и экспозиции и объясняются наличием рельефа. В разных природных зонах они различны. Но в каждом отдельном случае удастся увидеть некоторый порядок в пространственном расположении объектов, и тогда можно говорить об их пространственной упорядоченности, проявляющей себя многообразно. Во-первых, можно видеть, что в определенных случаях географические комплексы одного типа переходят по пространству в комплексы другого типа. Проявляется пространственная близость одних из них и пространственная разобщенность других. Они отличаются друг от друга по географическому соседству. Главная черта этого свойства заключается в закономерном взаимном расположении объектов. Наряду с взаимным расположением можно увидеть еще один аспект размещения географических комплексов — расположение объектов в пространстве вообще.

Объекты, группируясь определенным образом, могут создавать некоторый пространственный орнамент или текстуру географического пространства. Ее анализу будет посвящен следующий параграф главы.

Географические аспекты анализа соседства были выдвинуты в работах И.М. Маергойза [1973], Ю.Г. Симонова [1970] и др.

Введем некоторые определения. Будем называть соседями (прямыми соседями, или соседями 1-го порядка) такие два географических объекта, которые имеют общую границу в виде отрезка. Не соприкасающиеся друг с другом объекты могут характеризоваться соседством более высоких порядков, например быть соседями соседей (соседство 2-го порядка) или еще более далекими соседями. Говоря о том, что у прямых соседей должна быть общая граница в виде отрезка, мы тем самым исключаем из множества окружающих объект географических комплексов те из них,

которые соприкасаются друг с другом в точке. Такое условие может быть принято, если предполагать, что, когда длина отрезка границы стремится к нулю, становится невозможным обмен веществом и энергией между объектами.

Вероятно, в природе встречается большое число разновидностей упорядоченности расположения объектов по отношению друг к другу. Но все разнообразие можно свести к трем основным типам упорядоченности по соседству (рис. 8).

Если не рассматривать геометрические особенности границ и размеры объектов, то можно видеть, что все три типа являются производными от концентрической зональности. Так, разновидность типа *a* является фрагментом колец с бесконечно большим радиусом кривизны, а квадратно-сетчатый вариант *b* есть система "пережатых" колец (рис. 9). Отсюда любую территорию можно рассматривать как полицентрическую систему объектов, где у каждого из центров можно выделить последовательно отдаленные кольца соседей 1 и 2, 3-го и более высоких порядков соседства.

Анализ соседства важен с различных сторон, и прежде всего с той точки зрения, что явления на границах объектов заслуживают особого внимания. В пограничной полосе (если граница не является разделом или барьером) может происходить обмен веществом и энергией. Он может стать тем более интенсивным, чем шире фронт границ (при постоянной скорости обмена). Конечно, можно думать, что не все точки или отрезки границы обладают одинаковой "проводимостью" взаимных влияний, но это уже является уточнением анализа.

К вопросу о подобных различиях можно вернуться после проведения специальных исследований. Пока же примем в качестве условия утверждение о том, что, чем чаще встречаются в пространстве два различных типа объектов друг с другом и чем большей протяженностью обладает их совместная граница, тем о большей пространственной близости, о большей степени их соседства можно говорить. Если будет найдена мера пространственной сопряженности (в указанном смысле), то следует попытаться выявить последовательности объектов близких соседей по разным уровням соседства (соседство 1, 2, 3-го и более высоких порядков). Поскольку такая мера оценивает взаимное расположение объектов, позицию каждого объекта по отношению к другому, она может быть названа мерой взаимной позиционной упорядоченности.

Мера пространственной близости серии географических объектов наиболее важна для оценки возможности замены эволюционных рядов рядами пространственной близости, рядами тесноты соседства. Логически кажется оправданным, что два события, следующие в одной точке друг за другом во времени, могут иметь и в пространстве определенную степень близости. Если это справедливо, то следует найти способ измерения степени соседства.

Пусть на рассматриваемой территории есть *N* географических объектов, которые можно сгруппировать в четыре группы типов. Предположим, что в результате исследований удалось установить, что *A* всегда встречается только с типом *B*, объект типа *B* -- с типом *B*, а объекты



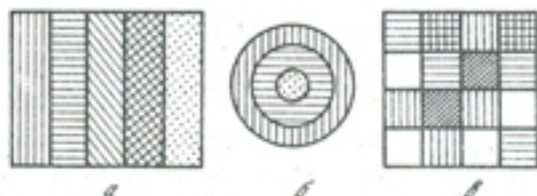


Рис. 8. Три основных типа упорядоченного расположения объектов в пространстве

*a* — полосчато-зональный; *б* — concentрически-зональный; *в* — квадратно-сетчатый

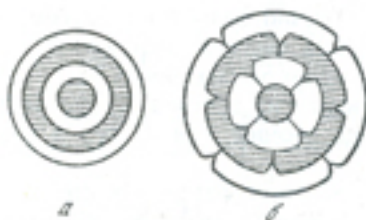


Рис. 9. Нормальные (*a*) и перекрывающиеся (*б*) кольца в concentрически-зональной структуре

типа В — с типом Г. Тогда можно нарисовать цепочку соседства (пространственных переходов) следующего вида:

A → B → B → Г

Примем данный порядок за идеальный случай пространственной упорядоченности. Нетрудно предположить, что высокая степень упорядоченности может зависеть не столько от общего числа объектов ( $N$ ), сколько от числа типов групп ( $k$ ). Так, если групп будет две, то кроме смены двух полос в пространстве (или двух колец), можно представить себе пространство, напоминающее шахматную доску. Граф соседства будет выглядеть одинаковым, а способов расположения объектов на местности (при наличии типов А и Б) может быть три (рис. 10). Если типов объектов три, то имеются две разновидности графов пространственной упорядоченности. Один из них образует цепочку, аналогичную показанной на рис. 10, *a*, только состоящую из трех ячеек. Но существует еще одна возможность расположения объектов, когда образуется цикл, показанный на рис. 11.

Имея некоторый опыт, можно представить себе, как могут выглядеть объекты такого рода в действительности: они должны иметь характер более или менее регулярных сеток, повторяющих последовательности расположения объектов. Теперь можно подумать о том, как должен выглядеть граф географического пространства, для которого отсутствовала бы упорядоченность соседства. Естественно предположить, что порядка в соседстве нет, когда любой из типов объектов встречается в пространстве с каждым из остальных в равной вероятности, не отдавая

предпочтения ни одному из типов. Граф соседства для пяти типов объектов в этом случае будет иметь вид цикла со всеми диагоналями (рис. 12).

Относительная упорядоченность соседства будет расти по мере того, как будет увеличиваться число типов объектов при сохранении условий равенства вероятности попарных встреч между всеми типами объектов. Можно думать, что отсутствие порядка в соседстве может быть достигнуто и значительной "перемешанностью" объектов разного типа. Интересно заметить, что беспорядок в расположении объектов можно обнаружить лишь в том случае, если число типов объектов оказывается равным четырем и более. При большой перемешанности объектов по территории обеспечивается равная вероятность попарной встречи (их соседства) объектов, что приближает понятие "территориальной неупорядоченности" (хаоса) к понятию гомогенности.

Если эти допущения принять, то нетрудно построить соответствующие меры соседства. Естественно, что таких мер может быть предложено две. Первая из них учитывает лишь число совместных встреч. Вторая должна учитывать и протяженность совместных границ. Построим эти меры вначале для соседства 1-го порядка (для непосредственных соседей).

*Первая мера соседства 1-го порядка.* Пусть на некоторой территории мы имеем  $N$  объектов, сгруппированных в  $k$  типов. Тогда число возможных сочетаний по два будет равно

$$C_k^2 = \frac{k!}{(k-2)!2!} = \frac{k(k-1)}{2}.$$

Для того чтобы  $k$  типов могли разместиться в пространстве случайным образом, необходимо, чтобы  $N$  было намного больше, чем  $k$ . Опыт, поставленный для этой цели, показал, что для случайного размещения объектов необходимо, чтобы  $N$  было больше  $k$  не менее чем в 3 раза.

Каждый из  $k$  объектов при условии, что он может встречаться со всеми остальными объектами, может иметь не более чем  $k-1$  типов соседей, так как объект сам для себя соседом быть не может. Тогда при равенстве вероятности встреч между объектами всех типов величина этой вероятности должна равняться  $1/(k-1)$ . Пусть, например,  $k$  равно 5, тогда для объекта  $k_1$  соседями могут быть объекты  $k_2, k_3, k_4, k_5$ . Если все вероятности встречи их равны, то каждая из них равна  $1/4(k-1)$  и в данном примере  $P_{ij} = 0,25$  ( $i$  — номер объекта,  $j$  — номер соседа). При увеличении числа типов объектов  $P_{ij}$  уменьшается. Тогда удобно построить энтропийную меру позиционной однородности (первую меру соседства 1-го рода) в виде

$$H = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P_{ij} \log_2 P_{ij}.$$

Известно, что  $H$  растет и достигает максимума тогда, когда все  $P_{ij} = 1/(k-1)$ . Отсюда

$$H_{\max} = k \log_2 (k-1),$$

где  $k$  — число типов объектов на изученной территории.

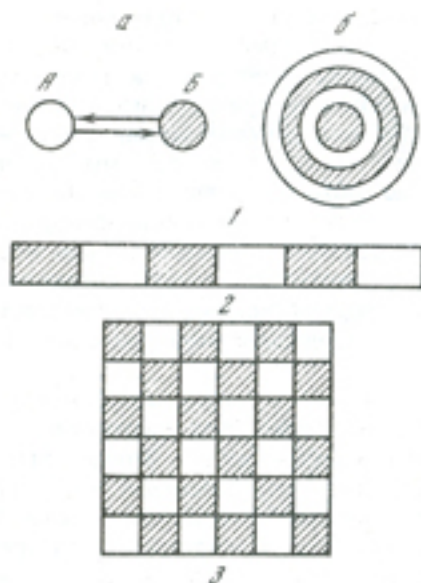


Рис. 10

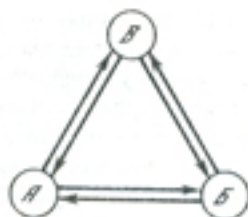


Рис. 11

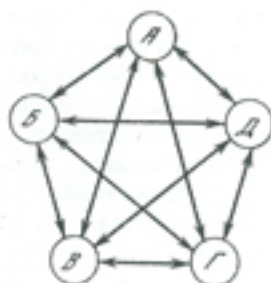


Рис. 12

Рис. 10. Граф упорядоченного пространства (а) по двум типам объектов и способы их расположения в пространстве (б)

Рис. 11. Циклический граф упорядоченных пространств из трех типов объектов

Рис. 12. Граф соседства для территории с пятью типами географических объектов при минимальной упорядоченности их положения в пространстве

Отсюда можно предположить меру относительной упорядоченности территории по степени соседства:

$$U_s = \frac{H_t}{k \log_2 (k - 1)}$$

А первая мера соседства 1-го порядка ( $S_{1,1}$ ) будет равна

$$S_{1,1} = 1 - U_s,$$

$S_{1,1}$  может изменяться от 0 до 1.

Вторая мера соседства 1-го порядка строится аналогичным образом, но она должна учитывать протяженность границ. Такой подход имеет смысл в том случае, если длина границ играет определенную роль в оценке возможного обмена веществом или энергией между двумя соседними объектами. Тогда можно считать, что, чем больше доля совместных границ, тем более тесными соседями являются два смежных территориальных комплекса.

Пусть объект А имеет общую длину границ  $L_A$ , а длина границ объекта В равна  $L_B$ ; пусть протяженность совместной границы равна  $L_{A,B}$ . Тогда



отношения

$$P_{A/B} = \frac{L_{AB}}{L_A} \quad \text{и} \quad P_{B/A} = \frac{L_{AB}}{L_B}$$

можно рассматривать как вероятности встречи объектов А и В. Так как  $L_A$  и  $L_B$  могут быть не равны друг другу, то и вероятности их встречи также не будут равны. Условимся на графах соседства показывать стрелкой направление соседства. Граф вида  $A \longrightarrow B$  следует воспринимать, как утверждение, что объект В является ближайшим соседом объекта А. При этом не утверждается обратное, так как сосед А может и не быть ближайшим соседом территориального комплекса В. Это является следствием известной "некоммутативности" в соседских отношениях объектов. Если мы встречаемся со сложной территорией, в которой определенные типы комплексов повторяются, чередуясь с другими типами географических объектов, то при выяснении "некоммутативности соседских отношений" приходится суммировать все периметры, а также получать суммарную протяженность всех совместных отрезков границ между объектами.

Пусть объекты типов А и В встречаются несколько раз. Протяженность границ объектов типа А может быть равна  $\Sigma L_{A_i}$ ; протяженность границ объектов типа В —  $\Sigma L_{B_i}$ ; общая протяженность их совместных границ —  $\Sigma L_{AB}$ . Тогда мерой их соседства будут отношения

$$P_{A/B} = \frac{\Sigma L_{AB}}{\Sigma L_A}; \quad P_{B/A} = \frac{\Sigma L_{AB}}{\Sigma L_B}.$$

Для территории, где встречается и многократно повторяется  $k$  типов, у каждого из объектов может быть от 1 до  $k-1$  соседей. Поэтому для того, чтобы охарактеризовать пространственную упорядоченность по соседству, всю изучаемую территорию, состоящую из  $N$  объектов, объединенных в  $k$  групп типов, необходимо разбить на части. Для каждого из объектов, образующих первую группу, нужно измерить отношение соседства с окружающими его объектами, а затем составить таблицу для всей группы в целом.

Покажем на примере процедуру измерения для одной из групп. Пусть у нас имеется пять типов объектов А, В, Г и Д ( $k=5$ ). Пусть объект типа А на территории, включающей  $N$  объектов, встречается девять раз. В каждом отдельном случае он окружен соседями то двух, то трех, то четырех типов. Измерения с конкретными соседями представлены в табл. 6.

Аналогичным образом можно измерить и получить представление о распределении мер соседства и для других типов объектов. Естественно, что для того, чтобы заключения о значимости различных вероятностей соседства были достоверными, как и для всех других случаев, в которых используются статистические данные, необходимо определить ошибку среднего и получить представление о существенности различия средних (вероятностей соседства). Для примера, приведенного в табл. 6,

Таблица 6

Пример измеренных вероятностей соседства для девяти объектов, образующих группу типа А с соседями типов В, Г и Д

Тип соседа	Вероятности соседства для отдельных объектов из группы А									Сумма $\Sigma p_i$	Средняя вероятность $\bar{p}_i$
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>		
В	0,5	0,22	0	0,37	0	0,18	0	0,20	0,25	1,72	0,19
В	0,5	0,22	0,25	0	0	0,28	0,50	0,20	0,25	2,19	0,24
Г	0	0,22	0,25	0,25	0,33	0,18	0,50	0,40	0,25	2,38	0,27
Д	0	0,34	0,50	0,38	0,67	0,37	0	0,20	0,25	2,71	0,30
Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0	1,0

построим матрицу различия средних, используя следующее соотношение:

$$\epsilon_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n},$$

где  $\epsilon_{\bar{x}}$  — ошибка среднего;  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение, а  $n$  — число измерений (в нашем случае оно равно 9). Тогда ошибка разности средних равна

$$\epsilon_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{(\epsilon_{\bar{x}_1})^2 + (\epsilon_{\bar{x}_2})^2}.$$

Различия средних будем считать существенными, если

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \geq 2 \epsilon_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}.$$

Для удобства сравнений введем меру различий

$$M_p = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\epsilon_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}.$$

Если  $M_p$  больше 2, то различия существенны.

Для случая, приведенного в табл. 6,  $\epsilon_{В,В} = 0,08$ ;  $\epsilon_{В,Г} = 0,08$ ;  $\epsilon_{В,Д} = 0,09$ ;  $\epsilon_{Г,Г} = 0,08$ ;  $\epsilon_{Г,Д} = 0,09$ ;  $\epsilon_{Д,Д} = 0,09$ . Тогда матрица существенности различия средних вероятностей встреч соседства объектов типа А с объектами других типов, определенных с помощью меры  $M_p$ , будет иметь вид

Типы объектов	А/В	А/Г	А/Д
А/В	0	0,62	1
А/Г	0,62	0	0,38
А/Д	1	0,38	0
В/В	0,89	0,67	0,33

Таким образом, вероятности встреч друг от друга существенно не отличаются, так как все элементы матрицы меньше 2. Тогда можно считать, что объекты типа А имеют равную вероятность встречи со всеми объектами других типов. А сама вероятность встречи  $p = 0,25 \pm 0,06$  (где 0,06 — ошибка средней вероятности встреч). Можно использовать и другие критерии различия средних вероятностей (например, критерий Стьюдента).

После подсчета средних вероятностей встреч соседства для всех типов объектов можно составить и всю матрицу соседства объектов, аналогичную той, которую мы составляли для первой меры соседства 1-го рода (непосредственного соседства).

Оценивая степень пространственной упорядоченности по соседству 1-го рода для территорий, на которой встречаются  $k$  различных типов, можно использовать, как и для первой меры соседства, энтропийную меру. Она и в этом случае будет равна

$$H_I'' = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P_{ij} \log_2 P_{ij}.$$

В случае максимальной неупорядоченности

$$H_{\max}'' = k \log_2 (k - 1),$$

где  $k$  — число типов групп географических объектов.

Соответственно мера относительной неупорядоченности ( $U''$ ) будет равна

$$U'' = \frac{H_I''}{H_{\max}''}.$$

Дополняющая ее мера упорядоченности пространства по соседству 1-го рода (с учетом распределения длин границ) будет равна

$$S_I'' = 1 - U''.$$

Чтобы использовать эти меры в конкретных географических исследованиях, необходимо представить себе, что такое максимальная и минимальная неупорядоченность пространства по соседству. Максимальную неупорядоченность можно представить себе следующим образом. Пусть у нас имеется  $k$  типов объектов. Необходимо, чтобы: 1) число разных групп типов встречалось примерно одинаковое число раз; 2) внутри каждой группы типов число объектов одного типа зависело от размеров (крупные объекты встречались редко, а мелкие часто); 3) число встреч крупных и малых объектов было приблизительно равным; 4) средние вероятности взаимных встреч отдельных объектов в пространстве с учетом протяженности их границ были равны для всех групп. Чтобы представить, как может выглядеть такой вариант случайного размещения объектов по территории, сделаем (исходя из соседства) следующий опыт.

Возьмем квадрат  $10 \times 10$  единиц и будем на нем размещать случайным образом объекты в виде четырехугольников различных размеров. Для



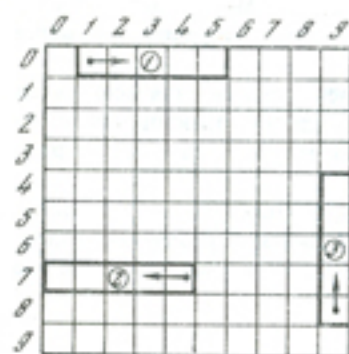


Рис. 13. Размещение объектов 1, 2, 3, соответствующих случайным числам 017, 742 и 891

Объяснение см. в тексте

Рис. 14. Беспорядочное размещение объектов пяти типов

А, Б, В, Г, Д – различные группы типов объектов; 1–9 – порядковые номера объекта в группе



этого можно воспользоваться таблицей случайных чисел. Два числа из таблицы случайных чисел можно рассматривать как координаты точки в пределах избранной территории. Прodelанный нами опыт показывает, что размещать объекты нужно начиная с самых крупных.

Построим хаотически размещенные объекты пяти типов ( $k = 5$ ). Пусть имеется 5 объектов размером в 5 квадратов, 5 объектов размером в 4 квадрата, 5 объектов в 13 квадратов, 10 объектов в 2 квадрата и 20 объектов по 1 квадрату. Тогда они в сумме образуют искомые 100 квадратов площади, на которой мы проводим опыт, а их групповые площади примерно равны:

$$5 \times 5 = 25; \quad 5 \times 4 = 20; \quad 5 \times 3 = 15; \quad 10 \times 2 = 20; \quad 20 \times 1 = 20.$$

Из таблицы случайных чисел возьмем трехзначные числа и условимся, что первое число – горизонтальная координата, второе – вертикальная координата, третье – направление, по которому располагается объект; цифры 0, 1 означают направление вверх, 2, 3 – влево, 4, 5 – вниз, а 6, 7 – вправо. Будем размещать вначале объекты из пяти квадратов, затем из четырех, далее из трех и т.д. Пусть у нас будут выбраны три трехзначных случайных числа: 1) 017, 2) 742, 3) 891. Построим квадрат  $10 \times 10$  и разместим внутри его три объекта по 5 клеточек в каждом (рис. 13). Объект 1 с координатами 0, 1 показан точкой, направление вправо (которое задает цифра 7) показано стрелкой.

Разместив все объекты и нарисовав все границы, следует определить их тип. В нашем примере типов 5. Закодируем эти типы следующим образом: 0, 1 – тип 1; 2, 3 – тип 2; 4, 5 – тип 3; 6, 7 – тип 4; 8, 9 – тип 5. Затем из таблицы случайных чисел берем снова трехзначное число; две первые цифры – координаты, а третья – тип контура. Каждому типу контура присвоим свою штриховку (или цвет). Заполнение квадрата  $10 \times 10$  различными типами проведем с учетом соседства. На границе по обе ее стороны должны встречаться объекты различного типа. На рис. 14 показан полученный вариант случайного размещения объектов.

В каждой группе типов (А, В, Б, Г и Д) по 9 объектов. Из них 4 объекта размером в 1 квадрат, 2 объекта по 2 квадрата и по одному объекту размером в 3, 4 и 5 квадратов. Всего, таким образом, разместилось 45 объектов.

Для того чтобы подтвердить правильность выдвинутой гипотезы о беспорядочном размещении объектов, были проведены измерения второй меры соседства 1-го рода для каждого из 45 объектов. Данные сведены в табл. 7.

При проверке различий средних значений оказалось, что они несущественны. Это позволит построить матрицу соседства следующего вида:

Типы объектов	А	Б	В	Г	Д
А	0	0,25	0,25	0,25	0,25
Б	0,25	0	0,25	0,25	0,25
В	0,25	0,25	0	0,25	0,25
Г	0,25	0,25	0,25	0	0,25
Д	0,25	0,25	0,25	0,25	0

Поскольку все элементы матрицы равны между собой, то по определению она соответствует случаю наибольшей дифференциации территории по соседству:

$$U_s = \frac{H_1}{H_{\max}} = \frac{H_{\max}}{H_{\max}} = 1.$$

А мера соседства ( $S_{1,2}$ ) для нашего примера равна нулю. Отсюда следует, что способ построения неупорядоченно расположенных объектов с помощью таблицы случайных чисел нами выбран правильно. Здесь уместно поставить вопрос о том, является ли расположение объектов, которое у нас получилось, единственным для характеристики расположенных с точки зрения соседства объектов, или же может быть несколько видов их размещения.

Нетрудно видеть, что аналогичными свойствами будет обладать большое число различных типов размещения объектов, так как для построения мы использовали таблицу случайных чисел с последователь-

Таблица 7

Результаты измерений соседства для каждого из 45 объектов при беспорядочном (случайном) их размещении

Индекс объекта	Индекс соседа	Номер объекта в группе каждого типа					
		1	2	3	4	5	6
А	Б	0,50	0,22	0	0,38	0	0,18
	В	0,50	0,22	0,25	0	0	0,27
	Г	0	0,22	0,25	0,25	0,33	0,18
	Д	0	0,34	0,50	0,37	0,67	0,37
	Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Б	А	0,29	0	0,38	0,25	0	0
	В	0	0,67	0,12	0	0,33	0,50
	Г	0,57	0	0,38	0,50	0,17	0,25
	Д	0,14	0,33	0,12	0,25	0,50	0,25
	Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
В	А	0,34	0	0,34	0,25	0,43	0
	Б	0,33	0,50	0,33	0	0	0,17
	Г	0	0	0,33	0,25	0,14	0,66
	Д	0,33	0,50	0	0,50	0,43	0,17
	Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Г	А	0	0,33	0,22	0,17	0,10	0,25
	Б	0,50	0,17	0,14	0,49	0,20	0,50
	В	0,17	0	0,29	0,17	0,30	0,25
	Д	0,33	0,50	0,28	0,17	0,40	0
	Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Д	А	0,25	0,29	0,25	0,33	0,20	0,25
	Б	0,25	0,14	0,25	0,17	0,30	0,50
	В	0,25	0,29	0	0,17	0,30	0
	Г	0,25	0,28	0,50	0,33	0,20	0,25
	Сумма	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

ностью из трех цифр. Если использовать другую последовательность случайных равновероятных чисел, конкретный рисунок поменяется, а свойства упорядоченности пространства по соседству сохранятся.

*Соседство 2-го и более высокого порядка.* Если анализировать территорию с точки зрения соседства, то нетрудно увидеть, что вокруг каждого из объектов соседи 1-го порядка образуют как бы определенное кольцо. В этом случае можно увидеть и второе кольцо – соседей 2-го порядка. На рис. 15 показаны два кольца соседей объекта А. Для соседей 2-го порядка характерно, что они отделены от центрального объекта двумя границами.

Аналогичным образом можно выделить соседей и более высокого порядка. С увеличением порядка соседства центральный объект (а им последовательно может и должен быть каждый из изучаемых объек-



Номер объекта в группе каждого типа			Сумма вероятно- стей	Средняя вероят- ность	Средняя в группе	Ошибка средней
7	8	9				
0	0,20	0,25	1,72	0,19		
0,50	0,20	0,25	2,19	0,24		
0,50	0,40	0,25	2,38	0,27		
0	0,20	0,25	2,71	0,30		
1,0	1,0	1,0	9,0	1,0	0,25	0,06
0,17	0,25	0,33	1,67	0,19		
0,17	0,25	0,34	2,38	0,26		
0,33	0,25	0,33	2,78	0,31		
0,33	0,25	0	2,17	0,24		
1,0	1,0	1,0	9,0	1,0	0,25	0,06
0	0,40	0,34	2,10	0,23		
0,63	0	0,33	2,29	0,25		
0,37	0,20	0	1,95	0,22		
0	0,40	0,33	2,66	0,30		
1,0	1,0	1,0	9,0	1,0	0,25	0,07
0,50	0,67	0,50	2,81	0,32		
0,25	0	0	2,25	0,25		
0	0,33	0,50	2,01	0,22		
0,25	0	0	1,93	0,21		
1,0	1,0	1,0	9,0	1,0	0,25	0,06
0,33	0,27	0,50	2,67	0,29		
0	0,09	0,17	1,87	0,21		
0,34	0,18	0,33	1,86	0,21		
0,33	0,46	0	2,60	0,29		
1,0	1,0	1,0	9,0	1,0	0,25	0,06

тов) как бы окружен кольцами соседей. Для соседей 3-го порядка уже будут два таких кольца, для 4-го — три и т.д. (рис. 16).

Прежде всего заметим, что для соседства 2-го и более высокого порядка можно построить меру упорядоченности, аналогичную соседству 1-го порядка. В этом случае все рассуждения можно полностью применить, и поэтому нет смысла их повторять.

Однако для соседства выше 1-го порядка в ряде случаев удобно ввести меру упорядоченности, основанную на сравнении данного пространственного расположения объектов с основными типами упорядоченности (см. рис. 8).

Будем считать, что географическое пространство упорядочено по уровню  $K$ , если каждый объект, обладающий некоторыми свойствами, имеет соседа уровня  $K$  с теми же свойствами. В этом случае мера упорядочен-



Рис. 15. Объект А и его соседи 1-го и 2-го порядков

1 — кольцо соседей 1-го порядка; 2 — то же 2-го порядка

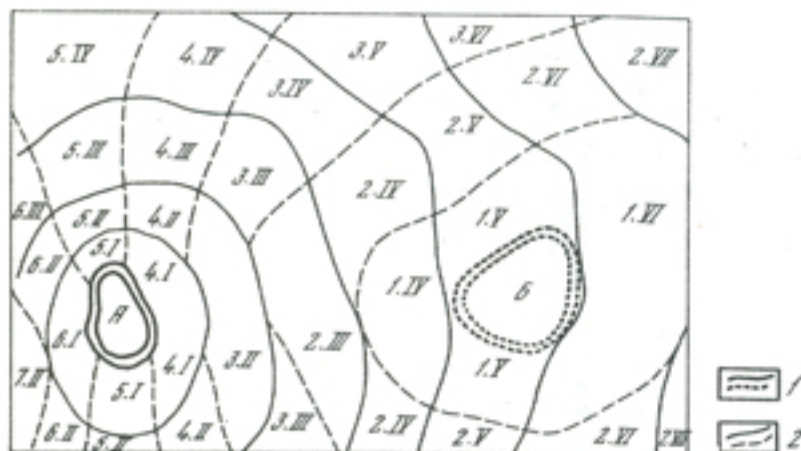


Рис. 16. Примеры построения "колец" соседства I-VI порядков

1 — границы объектов А и Б, для которых строится "кольцо соседства"; 2 — внешние границы "колец соседей" I-VI порядков; 5. IV, 7 - II и т.д. — индексы контуров соседей I-VI порядков объектов А и Б

ности по уровню  $K$  определяется относительным числом таких объектов:

$$\mu_k = \frac{\sum M_{ki}}{\sum N_i}$$

где  $M_{ki}$  — количество объектов со свойством  $i$ , имеющих соседа порядка  $K$  со свойством  $i$ ;  $N_i$  — общее число объектов со свойством  $i$ .

Проводя прогнозно-географические исследования, следует думать, что сложные географические территориальные системы в процессе саморазвития или в результате воздействия человека могут менять степень упорядоченности пространства по соседству различных порядков.

### 3.8. Структура и текстура географического пространства

При рассмотрении местности в первую очередь заметна некоторая мозаика в расположении определенного набора географических объектов. Это же нетрудно увидеть и на картах природы, на аэрофотоснимках территорий и космических снимках. На картах территориальная неоднород-

ность видна в цветовой мозаике контуров. На снимках она отражается в неравномерном распределении фотоплотностей. Сравнивая две местности между собой (по картам или снимкам), можно видеть их сходство и различия: в наборе элементов, в их размерах, в расположении и др. Человеческий глаз сравнительно легко улавливает своеобразие этих различий. В результате мы выделяем полосчатый, пятнистый, ветвистый рисунок, или текстуру местности. Естественно предположить, что она причинно обусловлена. Чаще всего рисунок (текстура) местности предопределен ее геологическим строением, рельефом территории, зональностью грунтового увлажнения (подтопления) или техногенными чертами местности, связанными с типом и историей освоения территории, с видом хозяйства и технологий совокупности производств. Выделение типов рисунков местности в географии направлено в конечном счете на районирование географических объектов и типологию. Предполагается, что на территориях, обладающих одинаковым рисунком, действуют близкие текстуроформирующие факторы. Из сравнения объектов, обладающих неодинаковой текстурой, можно сделать значимые для географии выводы, т.е., изучая текстуры, можно получить дополнительные знания о свойствах природных и природно-технических объектов. Поэтому изучение текстур может стать самостоятельным направлением в исследовании географических объектов, так как сведения о текстурах можно получить камерально, т.е. относительно дешево. Следует думать, что одни элементы рисунка местности (ее текстуры) во времени будут устойчивы, другие же будут меняться; отражая изменение свойств географических объектов. Отсюда будет полезным установить ряды постепенных переходов одного рисунка в другой. Эти ряды могут быть и временными и пространственными. Анализу пространственной структуры и текстуры в географии посвящено большое число работ, в которых наряду с анализом значения этих свойств географической оболочки предлагаются и количественные меры их описания [Невяжский, 1964; Глазовская, 1968; Геренчук и др., 1969; Геренчук, Толпчев, 1970; Фридрих и др., 1972].

В настоящее время в географии и смежных науках имеется достаточно большое число попыток создать классификацию рисунков на качественной основе. Обычно при этом выделяют регулярные рисунки, где их элементы повторяются в пространстве, образуя пятна, полосы, сетки или элементы более сложной конфигурации. Нерегулярные текстуры это такие составные части, которые не имеют в пространственном расположении упорядоченности.

Таким образом, категория текстуры оказывается связанной с неоднородностью пространства, географической дифференциацией и географическим соседством. Эти свойства имеют отношение и к структуре географического пространства. Поэтому следует остановиться на определении понятия "структура географического пространства".

Понятие "структура" в географии используется в двух смысловых значениях (т.е. этот термин является омонимом). Первый из них имеет отношение к системно-структурному анализу. В этом варианте слово "структура" является синонимом слова "элемент". Структура понимается как часть сложной системы и может, в свою очередь, распадаться на



несколько "подструктур" или "подсистем". В близком смысле этот термин используется в геологии (сравните, например, термины "нефтеносная структура", "складка" как структура или горст и грабен как структуры и др.).

Второй смысл понятия "структура" соответствует слову "строение", или "устройство". Так, говорят о структуре территориального комплекса или о структуре системы. При этом обычно рассматривают состав элементов, образующих систему, и те связи, которые существуют между ними. Из этого можно предположить, что меры географической дифференциации описывают структурные особенности территории с точки зрения состава образующих ее элементов. Меры соседства, или упорядоченность территории по соседству, уже в большей степени характеризуют связи между элементами. Описание связей с помощью мер соседства, естественно, не является полным, так как в нем отсутствует отражение реальных процессов обмена веществом и энергией. К тому же оно статично. Описание "рисунка географических объектов" (текстур), их пространственной упорядоченности как совокупности причинно-обусловленных отношений могло бы быть более полным. Вероятно, меры соседства должны являться частью формализованного описания текстур. При этом можно было бы считать, что характер территориальной дифференциации и ее меры плюс описание текстуры совместно могли бы явиться описанием географической структуры территории (понятия "структура", употребляемого во втором смысле, как синоним понятий "строение", "устройство"). Здесь термин "текстура" занимает подчиненное положение по отношению к понятию "структура".

Для формализованного описания пространственной текстуры и структуры территории необходимо сначала рассмотреть, из чего складывается рисунок произвольной формы. Воспользуемся для этих целей некоторой аналогией и рассмотрим картину, выполненную с помощью мозаики. Нетрудно увидеть, что разнообразие цветовых пятен (в географическом анализе цветовому пятну соответствует определенный тип территориального комплекса) определяется числом и набором красок, применительно к нашему случаю — числом типов объектов. Важным оказывается и учет повторяемости (частота) объектов различной крупности. Эти два свойства описываются двумя мерами географической дифференциации. К тому же каждый объект может обладать своей формой и ориентировкой. Каждая группа объектов, естественно, будет обладать некоторым набором форм и видов ориентированности. Располагаясь в пространстве, они могут иметь определенную упорядоченность по соседству. Как было показано выше, меры соседства описывают пространственный порядок внутри системы. В качестве отсчета определяется взаимное расположение объектов. Даже при высокой степени упорядоченности пространства по признаку соседства может оказаться, что объекты могут размещаться несколькими способами, поэтому должна существовать еще одна мера, раскрывающая "абсолютные" закономерности пространственного размещения. Это может быть описано лишь по отношению к некоторой системе координат — внешних реперов, не связанных с территориальной системой.

Поскольку дифференциация территории, географическое соседство и методы их формального описания были рассмотрены в предыдущих разделах этой главы, то здесь нам следует остановиться на способах формализованного описания формы, географических объектов, ориентировки объектов и их положения в системе внешних координат.

Известно, что описание формы с помощью числа является сложной задачей. Подробное ее изложение можно найти у В. Бунге [1967, с. 91—118]. Пытаясь решить эту задачу, он находит некоторый способ измерения формы по сумме определенных параметров. В. Бунге доказывает две теоремы. Первая из них утверждает, что любой замкнутый контур можно "совместить" с равносторонним многоугольником с произвольным числом сторон, длина которых может изменяться. Во второй теореме утверждается, что если суммировать все расстояния между вершинами через одну, две, три и т.д. до тех пор, пока не будут перебраны все варианты, а затем таким же образом суммировать квадраты этих же расстояний, то каждой форме соответствует одна и только одна система сумм, полученных описанным образом. При измерении длин за единицу принимается длина равностороннего вписанного многоугольника. Работая с восьмиугольником, В. Бунге выделил 97 разновидностей форм. По этой классификации круг совпадает с правильным восьмиугольником и соответствует номеру 57, квадрат — 37. Довольно близкие по конфигурации прямоугольные четырехугольники могут иметь номера 13, 31, 62 [см. Бунге, 1967, с. 99—100, рис. 3—5, а]. Несмотря на всю строгость подхода, цифры здесь имеют описательный характер. Их довольно много и поэтому трудно запомнить. Может быть, следует отказаться от идеи представления и формального описания формы географического объекта в плане с помощью одной цифры.

Для того чтобы определить возможности описания формы с помощью нескольких цифр, следует рассмотреть, из каких элементов складывается наше представление о форме вообще. Таких элементов, по-видимому, может быть много, но наш опыт показывает, что описание формы с помощью четырех элементов уже дает вполне удовлетворительные результаты. Первым элементом является категория степени изометричности.

О форме большинства предметов можно судить, определяя степень их удлиненности (или изометричности). Представление об этом дает описывающий прямоугольник, характеризующий внешнее очертание объекта. Обычно для такого прямоугольника выделяют длинную ось  $a$ , соединяющую две наиболее удаленные точки внутри замкнутого контура, и перпендикулярную ей ось  $b$ , характеризующую ширину объекта. Отношение  $b/a$  является первым коэффициентом ( $K_f$ ), описывающим форму объекта.

Две оси  $a$  и  $b$  пересекаются друг с другом, и их взаимное пересечение позволяет судить о симметрии формы в плане (рис. 17). Естественно, что могут быть предложены два коэффициента симметрии (по отношению к осям  $a$  и  $b$ ). Для определения коэффициента симметрии по длинной оси следует рассмотреть пересечение осей и выбрать наименьший отрезок ( $a'$ ). Он не может быть больше  $0,5a$ . Тогда, чтобы эта мера симметрии меня-

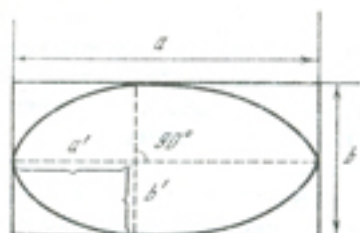


Рис. 17. Длинная ( $a$ ) и короткая ( $b$ ) оси в замкнутой фигуре



Рис. 18. Типы контуров по особенностям оси  $a$   
 1 — прямой; 2 — угловатый; 3 — изогнутый; 4 — извилистый

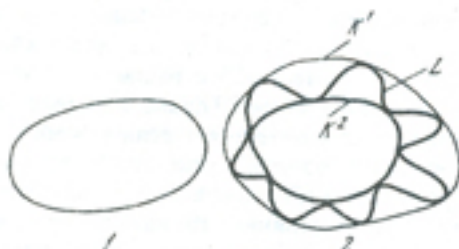


Рис. 19. Различия в форме абриса  
 1 — плавный; 2 — изрезанный

лась от 0 до 1, следует взять отношение

$$K_s^a = \frac{2a'}{a},$$

где  $K_s^a$  — коэффициент симметрии по оси  $a$ ;  $a'$  — меньший отрезок оси  $a$ , полученный при пересечении осей  $a$  и  $b$ . Рассуждая аналогичным образом, можно получить представление и о симметрии фигуры по ее ширине. Тогда коэффициент симметрии ( $K_s^b$ ) будет равен

$$K_s^b = \frac{2b'}{b},$$

где  $K_s^b$  — коэффициент симметрии по оси  $b$ , а  $b'$  — меньший отрезок, полученный при пересечении осей  $b$  и  $a$ .

Третьим элементом описания формы объекта в плане является характеристика конфигурации длинной оси. Она может быть прямой, угловатой, изогнутой и извилистой. Для угловатой формы характерны угол сопряжения и два отрезка, описывающие отношение сторон угла. Изогнутая форма оси  $a$  описывается радиусом кривизны, а извилистость — коэффициентом извилистости. Примеры этих форм даны на рис. 18.

И наконец, последним элементом описания формы объекта в плане является описание его абриса, или внешней границы. Она может быть плавной, выпуклой или изрезанной, лопастной (рис. 19). Если изрезанный контур описать плавной замкнутой кривой ( $K^1$ ) и вписать вторую



замкнутую кривую ( $K^2$ ), то обе они образуют некоторое кольцо, внутри которого и будет размещаться граница изучаемого объекта. Форма абриса характеризуется средней шириной кольца и изменчивостью, а также извилистостью этой линии ( $L$ ) по отношению к плавным — описывающей или вписанной — кривым ( $K^1$  или  $K^2$ ).

$$K_{изв}^a = \frac{K^1}{L}.$$

Таким образом, форма географического объекта в плане может быть охарактеризована совокупностью шести-семи параметров.

Ориентированность объектов в известной мере связана с формой, так как об ориентированности элементов, слагающих ту или иную территорию, можно говорить лишь в том случае, если они удлинены. Изометричные объекты обычно не ориентированы. Об ориентированности одного объекта судят по азимуту простирания его длинной оси. Об ориентированности серии однотипных территориальных комплексов можно судить по кривой распределения (кривой плотности вероятности) азимутов простирания их длинных осей.

Расположение объектов в пространстве (по отношению к некоторой системе координат) можно описать с помощью анализа расположения их центров. Понятие центра объекта не очень точно определено. Им может быть точка пересечения осей  $a$  и  $b$ , центр тяжести контура или, наконец, некоторый генетический центр — точка роста, точка слияния, устье и др. Здесь предстоит еще известная работа, хотя в некоторых отраслях географии уже давно существуют интересные "теории центральных мест". Таковы, например, теории Кристаллера, Лёша и некоторые другие.

В теории центральных мест самой главной проблемой является проблема оценки регулярности (или нерегулярности) расположения центральных мест. В качестве примера возьмем рис. 20, на котором расположение контуров заменено расположением центральных точек. Поскольку это расположение является инвариантным по отношению к любой системе координат, проведем координаты произвольно, сохранив лишь их ортогональность.

Распределение центральных мест может быть регулярным, регулярно-случайным (групповым) и случайным. Измеряя расстояния между точками и строя кривые распределения этих расстояний, можно сделать заключение о том, к какой из трех групп размещения центральных мест относится данная территория. При случайном распределении мы можем получить одну из обычных форм кривых (гауссовскую, пуассоновскую или пирсоновскую), при регулярно-случайном, скорее всего, будет полимодальная кривая (предполагается, что группы распределены регулярно, а внутри их возможно и случайное распределение центральных мест). Для обоих из этих случаев (случайного и регулярно-случайного) возможно построение и энтропийной меры упорядоченности центральных мест.

Регулярное расположение центральных мест представляет собой систему правильных многоугольников. Такая система хорошо видна и на глаз. Но для проверки правильности суждений можно провести некоторые простые измерения. Например, измерив координаты трех ближайших

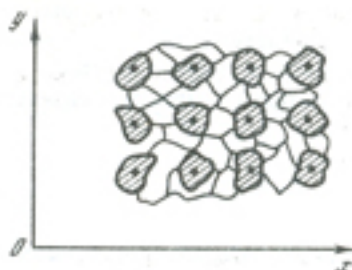


Рис. 20. Система контуров (однотипные контуры заштрихованы) и их центральные места в системе координат  $xу$

друг к другу точек, образующих некоторый равнобедренный треугольник, можно вычислить (или непосредственно измерить) угол при вершине этого треугольника и определить число сторон ( $n$ ) многоугольника, образующего регулярную сеть:

$$n = \frac{360^\circ}{180^\circ - \alpha^\circ}$$

где  $n$  — число сторон многоугольника,  $\alpha$  — угол при вершине треугольника.

Регулярные сети чаще всего бывают квадратными или шестиугольными.

Таким образом, формальное описание структуры и текстуры складывается из набора мер: 1) пространственной дифференциации; 2) географического соседства; 3) формы объектов; 4) ориентировки; 5) упорядоченности расположения центральных мест. Каждая территория может быть охарактеризована некоторым вектором-строкой указанных параметров.

При постановке задач прогнозирования следует иметь в виду неодинаковую изменчивость элементов, образующих данный вектор.

### 3.9. Географический объект как комплекс (система).

#### Соотношение части и целого. Функционирование объектов

Принято считать, что комплексом (системой) следует называть сложный объект, части которого взаимосвязаны и взаимообусловлены таким образом, что образуют некоторое единство. Комплекс противопоставляют механической смеси, для которой, наоборот, считается характерным отсутствие связи и случайный, незакономерный набор элементов. Комплекс обычно сравнивают с организмом или клеткой, предполагая его самостоятельность и известную автономию. Подчеркивается, что, разделяя комплекс на части, его разрушают, так как часть не эквивалентна целому. Следует рассмотреть, остается ли это справедливым и для географических комплексов.

Выше, в разделе 3.3 данной главы, было показано, что в настоящее время в географии сложились три типа географических описаний. Каждый из типов описаний одновременно является определенным видом разделения целого на части. Отсюда следует, что разделение географического целого на части неоднозначно, следовательно, и отношения между частями и целым также не могут быть единственными. Рассмотрим их на примере трех существующих видов описаний.



При вертикальном членении, когда географический объект разделяется на геогоризонты, в качестве частей выступает каждый из элементов географического комплекса: растительный покров, почвы и др. Отношения частей между собой связаны их взаимным положением. Соседние геогоризонты, проникая друг в друга, обмениваются веществом и энергией. Интенсивность этого обмена определяет их взаимообусловленность. Целое воздействует на части с помощью механизмов метаболизма. Целое отличается от части своей собственной структурой (набором элементов и их связей). Каждая из частей обладает своей собственной структурой. Отношение части и целого здесь таково, что, изменяя часть, мы меняем и целое, так как меняется его структура. Заменяя одно целое другим, мы меняем, естественно, и все (или многие) его части. Здесь вполне уместны сравнения "географического комплекса" с "организмом".

Аналогичные отношения возникают и при анализе географического объекта, когда его рассматривают в виде определенного набора географических масс (матрица  $||M||$ ). Но несколько иные отношения возникают при горизонтальном членении географического объекта, когда целое представлено определенным набором географических объектов более низкого таксономического ранга. Здесь отчетливо видны два различных подхода. И только один из них дает результат, отличающийся от описанного выше. Известно, что при горизонтальном географическом анализе территориального комплекса мы можем разделить его двояко: по принципу районирования (подчеркивая различия между отдельными его частями) и по принципу типологического членения (выделяя группы сходных элементов).

Пространственные связи здесь, как и при вертикальном членении объекта (когда выделяются геогоризонты), осуществляются с помощью процессов энерго- и массообмена. Но структура одного и того же объекта (набор элементов и связи между ними) существенно различается. При этом совершенно иначе будут оценены плотности потоков вещества и энергии. В случае выделения геогоризонтов интенсивность потока будет в какой-то степени связана с площадью поверхности раздела горизонтов (она будет не меньше площади территориального комплекса). При горизонтальном членении обмен осуществляется вдоль смежных границ объектов-соседей. Фронт взаимодействия здесь значительно уже. Отношение части к целому во втором случае пропорционально той доле, которую эта часть вносит в особенности структуры целого. Это прежде всего зависит от размеров и интенсивности функционирования и положения части в системе территориальных комплексов. Нетрудно представить себе случай, когда изменение части не повлечет за собой коренной перестройки целого. Естественно, что в этом случае и влияние всего целого на данную часть может быть не очень заметным.

Это становится более заметным при типологическом горизонтальном расчленении территории. Чем большее число типологически повторяющихся элементов мы будем выделять, тем меньшее значение будет иметь каждый отдельный элемент для особенностей структуры и типов функционирования комплекса в целом. Обратное воздействие — воздействие целого на его часть — будет тесно связано с местоположением объекта



по отношению к целому. Здесь ведущая роль принадлежит рисунку сети потоков вещества и энергии, циркулирующих внутри системы, и положению каждого из них по отношению к этой сети.

При горизонтально неупорядоченной системе, когда нет четко направленной системы горизонтальных отношений, возникает несколько иная "биоцентрическая" аналогия сущности географического объекта как целого. Географический объект скорее напоминает некоторую "живую ткань", состоящую из большого числа "клеток", нежели единый "организм". Это хорошо можно показать на примере лесной территории. Известно, что если убрать (срубить) одно дерево из верхнего яруса леса, то изменения в растительном покрове пройдут на парцеллярном уровне. Тенелюбивые растения уступят место светолюбивым, несколько изменятся почвенный покров, водный и температурный режимы этой маленькой территории. Не вызывает сомнений, что на некотором расстоянии от места интенсивной перестройки отношений между элементами комплекса в лесу ничего не произойдет, и о наличии указанных изменений нельзя будет узнать ни по структуре, ни по типу функционирования комплекса как целого. Дальнодействие этих изменений будет невелико.

Сравнивая целое и части между собой, следует подчеркнуть, что целое в географическом смысле — это принципиально новый объект, а иногда и объект иного таксономического ранга по сравнению с его частью. Главные их различия видны в структуре. Например, речная долина может быть разделена на ее склоны и днища. Каждый из элементов по смыслу с целым не совпадает. Склоны не похожи на днища, и наоборот. И ни один из них не совпадает с понятием долины.

Известно, что при изменении структуры меняется качество, и поэтому целое — это качественно новый объект. Изменение структуры связано с набором не только элементов, но и той доли, которую каждый из элементов занимает в целом. Некоторые сложные географические объекты, распадаясь на части, сохраняют подобие — набор и соотношение элементов, их образующих. Так, водосборный бассейн, разделяясь на бассейны более низкого ранга, сохраняет в себе сочетания приводораздельных склонов и склонов речных долин, а также их днищ. Только абсолютные размеры этих элементов могут сильно отличаться. Отсюда, может быть, следует считать, что два объекта качественно отличаются друг от друга, если они различаются своим набором элементов, их соотношением и размерами.

Говоря о части и целом в географическом анализе, мы уже подчеркивали их различия в структуре. Теперь важно подчеркнуть их различия в функционировании. Понятие "функционирование" прочно вошло в географию. Когда говорят о функционировании, то обычно имеют в виду то, что происходит внутри географического комплекса. Это главным образом процессы метаболизма. В результате функционирования внутри комплекса возникают, существуют и отмирают части каждого из его элементов. В связи с этим можно говорить, что функционирование комплекса создает географические объекты (или массы) определенного качества. Известно также, что существование географического объекта возможно лишь благо-

даря тем связям, которые у него существуют с окружающей средой (т.е. географический объект представляет собой "открытую систему"). Функционирование осуществляет эту связь. Сравнивая те процессы, которые "обеспечивают" географический комплекс веществом и энергией извне, с теми, которые "обеспечивают" перенос вещества из комплекса за его пределы, можно увидеть, что функционирование комплекса превращает "входные" процессы ("сигналы") в "выходные". По аналогии с техникой функционирование географического комплекса выполняет роль некоторой передаточной функции.

Формальные способы описания географических объектов с точки зрения описания отношений части и целого существуют или в виде блок-схем, или в виде различного рода математических моделей. Во всех них в той или иной форме присутствует время и процесс, поэтому необходимо более подробно остановиться на этих вопросах в следующих разделах главы.

Проводя прогнозно-географические исследования, надо иметь в виду, что человек, воздействуя на территориально-географические комплексы и изменяя их, прежде всего изменяет их структуру. При этом могут быть изменены отдельные их части или комплексы как целое. Одновременно меняется и тип функционирования. Поэтому структура и тип функционирования могут быть выбраны в качестве объектов прогнозирования.

### 3. 10. Категория времени в географии.

#### Изменение состояния объектов.

#### Проблема инварианта

Временной анализ географических объектов занимает специфическое положение. Как правило, считают, что географии более присущ анализ пространственных соотношений. К этому прибавляется и то обстоятельство, что в своем анализе и синтезе географы чаще используют географические карты, в которых время как бы остановлено. Ведь именно такой подход позволяет увидеть "пространственный срез", одновременную картину поверхности нашей планеты. Однако генетический анализ в географии неизбежно направлял исследователя на изучение процессов возникновения "лица Земли", тех географических структур, которые некогда были созданы и затем, в последующие времена, изменяли свой облик под влиянием внешних воздействий или в результате саморазвития.

В практике изучения географических процессов используются три очевидных цикла явлений: суточный, годовой и для отдельных явлений период вращения Луны вокруг Земли. Иногда говорят о цикле вращения Солнечной системы вокруг центра нашей Галактики. Однако реально это может быть использовано лишь для изучения географических структур в рамках палеогеографических исследований, охватывающих всю историю нашей планеты или большие ее отрезки.

Наряду с этим нередко говорят и о циклах другого рода. Имеются в виду 11-летние циклы солнечной активности, а также циклы, или ритмы, природы, которые удается проследить в повторении некоторых событий — наводнений, засух или иных примечательных явлений.



В малых масштабах времени можно видеть повторение типов погоды, а в длительных интервалах — чередование материковых оледенений и межледниковий, трансгрессии моря и др. Как будет показано ниже, эти циклы имеют другую природу и нередко связаны с некоторыми специфическими свойствами географических объектов.

Ритмы, или циклы, природы, а также эволюция человеческого общества накладываются друг на друга, образуя сложные периодические явления. Повторяющиеся события представляют собой как бы определенные вехи географической истории, и поэтому нередко можно видеть, как пытались объяснить их причинную обусловленность географы, выделяя из сложнопериодической кривой серию гармоник различной частоты. Одним из удачных примеров являются анализ Брикнера, выделившего 11-летний цикл, и анализ, проведенный Миланковичем, показавший причинную обусловленность оледенений. Если бы всегда можно было привязаться к каким-либо циклам, то составление географического прогноза было бы сильно облегчено, так как для его составления необходимо лишь привязать начальный момент событий к этой совокупности выявленных гармоник. Однако, к сожалению, нам чаще удается объяснить с помощью ритмов и циклов события, которые уже имели место, и мы часто не уверены в истинности наших прогнозов.

Для того чтобы правильно описывать изменения географических событий во времени, полезно ввести понятие "состояние" географических объектов. Условимся понимать под состоянием объекта некоторую совокупность его свойств, отнесенную к некоторому отрезку времени. Поскольку главными свойствами географических объектов являются их структура и тип функционирования, полезно именно эти признаки объекта включить в описание состояний.

Изменяя продолжительность отрезка времени при описании состояний, мы как бы изменяем временной масштаб нашего анализа. Поэтому, проводя конкретные исследования во времени, необходимо выбрать строго определенный шаг по времени. Два объекта, которые мы решили сравнить друг с другом, могут отличаться уже потому, что они сопоставляются при неодинаковом масштабе времени их анализа. Проблема выбора масштаба времени в исследовании, как и выбора пространственного масштаба, является сложной и к настоящему времени удовлетворительно не решена. На практике мы следуем некоторым традициям или выбираем эти масштабы опытным путем, нащупывая оптимум методом постепенных приближений (итераций). Вероятнее всего, масштаб должен определяться целью исследования и организационными возможностями достижений этих целей (отсутствие измерительных приборов, существующие возможности хранения и обработки информации и др.).

Если структуру и тип функционирования объектов описывать с помощью некоторых параметров (набор элементов, их масса, температура, скорость реакции и др.), то при сравнении двух или более состояний, образующих последовательную серию, нетрудно увидеть, что различные параметры меняются с неодинаковой скоростью. Существуют параметры, которые мало меняются даже на больших отрезках времени. Они пере-



ходят из прошлого в современность без изменений и являются своеобразной "памятью о прошлом". Другие параметры, меняясь, имеют как бы "короткую память". Если проанализировать динамику состояний, удлиняя шаг по времени, то можно увидеть, что медленно меняющиеся объекты имеют как бы одно и то же значение, в то время как другие на том же интервале принимают множество значений. В состоянии, имеющем большую длительность, они представлены не одной цифровой характеристикой, а целым их ансамблем. Отсюда возникает проблема, как следует их регистрировать, характеризуя состояние. Их можно записать целиком, перечисляя все измеренные величины. Можно определить среднее или другую статистику или, наконец, используя методы математического анализа, описать их в виде некоторой функции  $y = f(t)$ . В современных исследованиях можно встретить все эти способы, предпочтительность выбора одного из них пока остается субъективной.

Значения одного и того же параметра при его анализе во времени образуют некоторую последовательность или временной ряд. Меняя интервалы времени по продолжительности, мы можем встречать периодические изменения различной амплитуды и периода. Отсюда нетрудно перейти к анализу частотных спектров или частоты повторяемости событий и их вероятности. Анализируя временные ряды одного и того же параметра с точки зрения закономерностей перехода одного значения в другое, можно увидеть "временное соседство". Этот анализ можно вести и на количественном и на качественном уровне. Так, изучая последовательность в смене погод с шагом в сутки, можно довольствоваться такими характеристиками: пасмурно, облачно, ясно; сухо, влажно; тепло, холодно, жарко; ветрено: дождливо и т.д. Можно использовать и сочетания этих характеристик (например, пасмурно и тепло, ясно и холодно). Каждое качественно охарактеризованное состояние имеет свою длительность, срок наступления события. Они могут быть охарактеризованы с точки зрения частоты встреч во временном ряду. В качестве примера отрезков времени, качественно однородных, но разной продолжительности, можно назвать зиму, лето и другие времена (сезоны) года или периоды большой продолжительности — ледниковый период, межледниковье и др.

В течение отрезка времени, который считается качественно однородным, предполагается, что изучаемый объект не меняет своего состояния, т.е. не изменяет своей структуры и типа функционирования. Все изменения, происходящие внутри однородного по качеству периода, считаются незначимыми. Сопоставляя два похожих, но отделенных друг от друга отрезком времени состояния иногда используют и эти "внутренние" различия. Например, можно сравнивать две смежные зимы, весны и т.д.

Разделение событий во времени на разнокачественные подчеркивает их различия. И это аналогично действию "районирования", которое мы проводим при анализе пространства. Выделяя отрезки времени, похожие друг на друга, мы осуществляем их типологический анализ. Во втором случае становится целесообразным анализ временного соседства первого и более высоких порядков. Более высокие, чем первый порядок, временные соседи могут рассматриваться как некоторые траектории

во времени. Для описания изменения структуры и типов функционирования географических объектов во времени Н.Л. Берушвили [1972] ввел особое понятие – “стекс”. Стекс – это тип структуры и функционирования природно-территориального комплекса (ПТК), отнесенный к шагу времени, равному одним суткам. Далее он исследовал последовательности стексов, используя идеи теории концептуальных систем, разработанные В.В. Чавчавадзе [1975].

Естественно, что для анализа соседства во времени абсолютно пригоден тот же ход рассуждений, который был описан выше (см. раздел 3.7). Пусть последовательность изменения состояния объекта описывается с помощью цифр 1, 2, 3, 4, 5, где цифра – порядковый номер состояния, тогда временной ряд имеет вид

$$1, 2, 2, 2, 1, 1, 3, 3, 3, 2, 4, 4, 4, 4, 5 \dots$$

При наличии в ряду одинаковых смежных цифр подчеркнем их сверху скобками. Длина этих скобок будет соответствовать продолжительности состояний:

$$\overline{1}, \overline{2, 2, 2}, \overline{1, 1}, \overline{3, 3, 3}, \overline{2}, \overline{4, 4, 4, 4}, \overline{5} \dots$$

Такой подход позволяет оценить временную дифференциацию последовательности состояний, используя две меры географической дифференциации, которые предложил Б.Л. Гуревич [1968] для пространства. Анализируя приведенную последовательность событий, нетрудно составить и матрицу соседства. Естественно, что таких матриц может быть две: одна из них учитывает только число повторяющихся встреч во времени (число случаев временного соседства), а другая – продолжительность предыдущей и последующей длительности состояний.

Естественно, что матрицы эти будут вероятностными и, следовательно, будут описывать временную последовательность географических событий (в рамках одного объекта) как регулярную марковскую цепь. Этим также доказывается сходство свойств географического пространства и времени. Получив матрицу вероятностей перехода для каждой из пар смежных географических событий, нетрудно получить матрицу вероятностей траекторий событий в два, три и более шага времени. Это достигается возведением матрицы в необходимую степень  $K$ , где  $K = n - 1$  шагов времени.

Можно говорить и об упорядоченности событий во времени. Для наиболее неупорядоченных временных рядов матрицы временного соседства будут иметь максимальную энтропию:

$$H_{\max} = m \log_2 (m - 1),$$

где  $m$  – число выделенных разнокачественных состояний. А относительная упорядоченность событий во времени ( $U^T$ ) может быть получена в виде отношения

$$U^T = 1 - \frac{H_I}{H_{\max}},$$

где  $H_I$  – энтропия матрицы ближайшего соседства временной последова-

тельности событий;  $H_{\max}$  — энтропия матрицы максимально неупорядоченных во времени событий.

Естественно, что аналогичный анализ можно провести в том случае, если вместо последовательности состояний, описанной как последовательность качественных изменений, мы будем описывать ряд, где изменения определены на основании количественных изменений выбранных параметров.

Ниже приводится матрица временной последовательности изменений количества сухой подстилки на луго-степных пологих склонах по данным наблюдений на Мартковском стационаре (июль 1973 г.) и матрица вероятностей перехода таблицы случайных чисел ("белый шум"). Последовательность из 31 числа: 70, 160, 70, 110, 200, 80, 60, 230, 30, 40, 70, 40, 280, 50, 60, 120, 20, 270, 280, 200, 70, 100, 70, 80, 90, 100, 80, 70, 180, 160, 100 — оценивалась с точки зрения упорядоченности по временному соседству. Чтобы несколько упростить процедуру счета (уменьшить размеры матрицы, описывающей соседство), весь интервал встречаемых чисел от максимума (280 г/м<sup>2</sup>) до минимума (20 г/м<sup>2</sup>) был разделен на пять равных частей, и каждой части приписывался определенный буквенный индекс:

- (20–70) — а
- (80–130) — б
- (140–190) — в
- (200–250) — г
- (260–310) — д

Чтобы лучше увидеть цикличность наступления состояний (определенного вида букв), цифровой ряд был переписан в последовательность букв (состояний) и приобрел вид: а, в, а, б, г, б, а, г,  $\overline{\text{а, а, а}}$ , д,  $\overline{\text{а, а}}$ , б, а,  $\overline{\text{д, д}}$ , г, а, б, а,  $\overline{\text{б, б, б, б}}$ , а,  $\overline{\text{в, в}}$ , б. Одинаковые состояния длительностью более чем в одни сутки подчеркнуты сверху скобками. Условимся далее для сокращения длительность состояний показывать индексом степени. Пусть "а<sup>2</sup>" означает, что длительность состояния "а" равна двум суткам, "б<sup>4</sup>" — длительность состояния "б" равна четырем суткам. Тогда ряд можно переписать, и он будет иметь вид а, в, а, б, г, б, а, г, а<sup>4</sup>, д, а<sup>2</sup>, б, а, д<sup>2</sup>, г, а, б, а, б<sup>4</sup>, а, в<sup>2</sup>, б, или, опуская показатели степени, мы получим ряд а, в, а, б, г, б, а, г, а, д, а, б, а, д, г, а, б, а, б, а, в, б. Его длина 22 члена. Плотности вероятностей отдельных его элементов равны

$$P_a = \frac{9}{22} = 0,409 \pm 0,107,$$

$$P_b = \frac{6}{22} = 0,273 \pm 0,097,$$

$$P_v = \frac{2}{22} = 0,091 \pm 0,063,$$



$$P_r = \frac{3}{22} = 0,136 \pm 0,075,$$

$$P_d = \frac{2}{22} = 0,091 \pm 0,063.$$

Отсюда можно получить представление об однородности (относительной признаковой дифференциации временного ряда). Она будет равна

$$D_r = 1 - \frac{H_f}{H_{\max}} = 1 - \frac{2,0597}{2,3219} = 0,113,$$

т.е. ряд довольно неоднороден.

Чтобы определить уровень упорядоченности временной последовательности смен состояний, составим матрицу вероятностей их переходов друг в друга. Оказалось, что она имеет следующий вид:

	а	б	в	г	д
а	0	0,445±0,175	0,222±0,147	0,111±0,111	0,222±0,147
б	0,800±0,200	0	0	0,200±0,200	0
в	0,500±0,866	0,500±0,866	0	0	0
г	0,667±0,333	0,333±0,192	0	0	0
д	0,500±0,866	0	0	0,500±0,866	0

Известно, что матрица вероятностей перехода возведенная в квадрат, тоже представляет собой матрицу вероятностей перехода объектов друг в друга, но уже как бы на втором шаге. Таким образом, мы (как и в случае пространственного соседства) имеем возможность получить матрицы соседства 2-го порядка и, продолжая это умножение, получить представление о соседстве 3-го, 4-го и более высоких порядков. Известно, что вероятностная матрица имеет предел в виде матрицы, у которой все строки похожи друг на друга. Значения вероятностей в строке предельной матрицы стремятся к распределению плотностей вероятностей в изучаемой совокупности.

Однако это справедливо лишь в том случае, если изучаемая временная последовательность представляет собой марковский процесс. В малых выборках (коротких временных рядах) это правило реализуется не всегда, и в реальных исследованиях следует провести оценку достоверности отклонения выборочной последовательности от марковского процесса. В нашем конкретном примере, когда оценка вероятности наступления со-

бытий определена с точностью  $\pm 0,11$ , перемножение матриц дает увеличение ошибок; однако в рамках принятой исходной точности этот процесс можно признать марковским.

После статистической обработки и оценок свойств полученных матриц вероятностей перехода можно вычислить меру упорядоченности выбранной последовательности по соседству 1, 2, 3-го и более высоких порядков. Проведенные расчеты показаны на графике (рис. 21).

Относительно высокий уровень упорядоченности событий во времени связан со спецификой распределения плотности вероятности событий, в частности с тем, что три события (в, г, д) встречаются относительно редко и на высоких порядках соседства оказываются соседями одного или двух (из четырех возможных) событий. А расположение более часто встречающихся событий типа "а" свидетельствует о том, что ряд по отношению к событиям типа "а" относительно лучше упорядочен по соседству 2-го и 4-го порядков, затем упорядоченность стремительно падает. Повидимому, закономерность временного расположения всей последовательности событий в значительной мере в избранном примере связана с периодической повторяемостью минимумов (характер минимумов имеют события типа "а").

Процедура изучения упорядоченности событий имеет много общего с процедурой определения автокорреляционной функции, только здесь временному шагу соответствует смена состояний (вне зависимости от их продолжительности).

Для проверки правильности суждений об упорядоченности временных рядов с помощью анализа соседства был проделан опыт анализа цифровой последовательности из таблицы случайных чисел. Длина ряда 400 членов. Бралась однозначные цифры от 0 до 9. Для того чтобы упростить вычисления, выбранный из таблицы ряд переписывался так, что цифрам были присвоены определенные буквенные индексы: (0; 1) = а; (2; 3) = б, (4, 5) = в, (6, 7) = г; (8, 9) = д.

После анализа совместной встречаемости матрица соседства 1-го порядка имела вид

	а	б	в	г	д
а	0	0,26	0,24	0,19	0,31
б	0,19	0	0,23	0,25	0,33
в	0,23	0,27	0	0,31	0,19
г	0,23	0,27	0,18	0	0,32
д	0,21	0,28	0,34	0,17	0

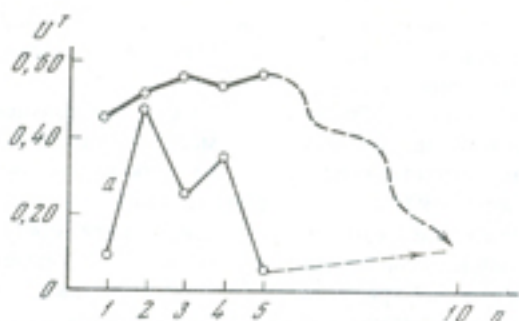


Рис. 21. Изменяемость степени упорядоченности по соседству временной последовательности в зависимости от порядка соседств. Отдельно показано изменение упорядоченности ряда по различным степеням состояния типа  $a$

$U^T$  — относительная упорядоченность событий во времени;  $n$  — количество шагов

После оценки ошибок различия вероятности матрица соседства приобрела вид

	а	б	в	г	д
а	0	0,25	0,25	0,25	0,25
б	0,25	0	0,25	0,25	0,25
в	0,25	0,25	0	0,25	0,25
г	0,25	0,25	0,25	0	0,25
д	0,25	0,25	0,25	0,25	0

Это подтверждает неупорядоченность в последовательности членов ряда, что и должно было иметь место, так как исходные данные были взяты из таблицы случайных чисел.

Анализируя категории времени в географии, следует обратить внимание на то, что разбиение временной последовательности событий на разнокачественные отрезки неизбежно ставит задачу объяснения причин той или иной последовательности событий, т.е. становится необходимым генетический анализ временных рядов. Некоторые аспекты такого подхода давно уже известны. Так, длительное время не снимается вопрос о происхождении оледенений. Это, безусловно, "причинно-временная" проблема географии. Другие проблемы в географической науке более известны как причинно-феноменологические. Генетический подход к анализу пространства придал многим проблемам происхождения географических объектов четко выраженную пространственную окраску. Следует обратить внимание на то, что каждого из объектов, являющихся тради-



ционно объектом географии, имеется причинно-временная обусловленность.

И наконец, последним аспектом категории времени в географическом анализе, важным для целей прогнозирования, является проблема инварианта, выдвинутая в географии В.Б. Сочавой [1968]. Инвариантом он предложил называть такие черты природно-территориального комплекса (ПТК), которые остаются без существенных перемен при изменениях ПТК под воздействием внешних импульсов. Это как бы некоторый запас прочности, который у каждого типа объектов может быть неодинаковым. Можно думать, что к инварианту следует относить в первую очередь наиболее устойчивые элементы географических систем, их "каркас". При разных способах описания систем, при различном виде членения объектов на части этот "каркас" будет неодинаковым. При "вертикальном" членении географических объектов наиболее устойчивыми оказываются нижние из геогоризонтов и соответствующие им типы географических масс (грунты, почвы). Инвариант здесь близок к понятию базиса, который изменяется в последнюю очередь.

При горизонтальном членении территории функции "инварианта" обычно выполняет наиболее низко расположенный элемент комплекса, на который в конечном счете выходят все возможные траектории движения вещества и энергии. Его устойчивость (инвариантность) растет по мере увеличения сложности связей в системе.

Анализируя проблему "инварианта" в географии, нельзя не обратить внимание еще на одну ее сторону — проблему инвариантности функционирования географического комплекса (ГК). В ряде случаев можно видеть такие изменения структуры ГК, которые не приводят к существенным изменениям его функционирования. Так, известно, что в регулировании стока в горных сильно расчлененных местностях лесные пожары вызывают лишь кратковременные изменения в режиме стока, так как со временем функции его регулирования вполне успешно могут выполнять кустарниковые и травяно-кустарничковые растительные ассоциации — ранние стадии пирогенных сукцессий. Может быть, следует изменения ГК такого вида отнести к особому классу инвариантных изменений географических объектов. Естественно, что все элементы, описывающие временные свойства ГК, могут быть объектами географического прогнозирования.

### 3.1.1. Пространственно-временные географические структуры.

#### Эргодические свойства географических объектов

Выше мы рассматривали свойства географического пространства и проанализировали пути анализа изменения состояний. Тем самым мы старались показать тождественность подходов в раздельном изучении географического пространства и времени. Полезно затем совместить эти два подхода. Пространственно-временной анализ географических событий затруднен главным образом тем, что отсутствует четко определенный объект исследования. Таким объектом должен быть однородный территориальный комплекс обладающий одинаковой тенденцией в развитии.

В качестве примера объекта этого типа могли бы быть однородные в генетическом отношении территории, испытывающие некоторое направленное воздействие. Пусть у нас имеется массив леса значительных размеров. Проведем его пространственные границы. Предположим, что над одной из его частей выпадают атмосферные осадки. Покажем на рисунке мгновенное положение границы области выпадения осадков (рис. 22). Интересующий нас объект образуется путем пересечения границ.

На рис. 22 показан единичный пространственно-временной объект или пространственно-временная структура (ПВС). Естественно, что во времени его размеры и конфигурация не остаются без изменений. Поскольку пространственные границы географических комплексов более или менее устойчивы, так как зависят от его инварианта (или инфраструктуры), то все изменения ПВС зависят от динамики контура Б (в нашем примере контура выпадения осадков). При всем разнообразии преобразований контура типа Б (наложенный контур внешнего воздействия, меняющий в области перекрытия состояние объекта А) можно видеть четыре типа простых его преобразований: рост или обратный ему процесс сокращения размеров, изменение конфигурации и пространственный перекосяк (включая и поворот). Естественно, что, объединяясь, они могут создавать большое разнообразие реально протекающих совмещений контуров. Поскольку в данном случае мы не рассматриваем различные массы, вызывающие изменение состояний, а говорим лишь об изменении контуров, то подобные преобразования границ пространственно-временных структур можно назвать кинематическими преобразованиями.

Рассматривая эти процессы, можно видеть, что во многих случаях пересечение границ при перемещении по пространству объекта типа Б в рамках единого контура А эквивалентно переходу из одного состояния в другое. Можно думать, что в этом случае реализуется эргодическое свойство географического пространства (рис. 23).

Если проанализировать эти процессы за длительный отрезок времени, то по отношению к каждому из пространственных контуров (в нашем примере контур типа А) может реализоваться множество способов наложения траекторий контуров типа Б. При этом они могут проходить многократно над одной и той же территорией или каждый раз над другой территорией, могут менять направление, тип кинематического процесса (рост, разворот, перенос и др.). Кроме того, над одним и тем же пространством за длительный отрезок времени проходит не один-единственный вид географических явлений, а их множество: атмосферные осадки, ураганы, наводнения и др.

Когда воздействие имеет стационарный характер, это неизбежно накладывает отпечаток на структуру территориального комплекса. И можно ожидать, что границы таких траекторий станут границей территориального комплекса. Таковы границы постоянных затоплений и подтоплений. Можно думать, что реально существующие границы территориальных комплексов в какой-то мере представляют собой результат приспособления их структуры к внешним воздействиям определенных траекторий, и их положение отражает не только пространственные отношения, но и



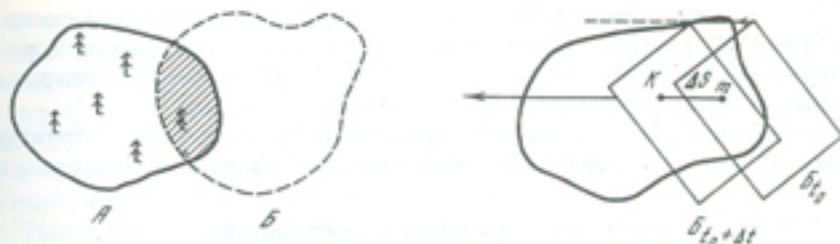


Рис. 22. Способ выделения пространственно-временной структуры

А — контур массива леса; Б — мгновенный контур области выпадения осадков. Заштрихована пространственно-временная структура

Рис. 23. Климатические перемещения контура Б по отношению к контуру А за момент времени  $\Delta t$

Изменение свойств на расстоянии  $Km(\Delta\delta)$  может быть эквивалентно изменению этих же свойств в точке  $K$  за отрезок времени  $\Delta t$

динамику географических процессов. Исключение представляют лишь границы-рубежи, обусловленные резкой сменой коренных пород и некоторыми другими, подобными им факторами. Границы, имеющие вид постепенных переходов, на которых возможен обмен, напоминающий процессы диффузии, проникновения, замещения, несомненно, являются и границами относительно часто встречающихся состояний. Это можно представить себе в следующем виде. Пусть у нас есть два объекта  $M$  и  $N$ , имеющие в пространстве общую границу, которые в ходе длительной эволюции могут сменить друг друга. За меньшие промежутки времени они могут находиться в нескольких состояниях  $M_1, M_2, M_3, \dots$  и  $N_1, N_2, N_3, \dots$ . При анализе пространственно-временных отношений в качестве наиболее вероятных пусть будут состояния  $M_2$  и  $N_3$ . В этом виде анализа можно говорить о пространственно-временном соседстве. Для пространственно-временного анализа можно использовать те же приемы, которые были разработаны для исследований свойств географического соседства. С их помощью можно получить матрицу вероятностей пространственно-временного соседства и использовать ее для оценки степени упорядоченности пространственно-временных отношений географических объектов. Естественно, что полезно сопоставить между собой матрицы географического соседства, соседства состояний и матрицы соседства пространственно-временных структур.

Пространственно-временной анализ в географии может иметь еще один аспект. В некоторых случаях можно увидеть определенные пространственно-временные соотношения даже в структуре одного объекта, особенно тогда, когда элементы его структуры имеют различный относительный возраст. Так, в лесном фитоценозе можно видеть одновременно растения одного и того же вида, но различного возраста. Каждый индивидум имеет свой возраст (время и соответствующее ему состояние). Кроме того, он занимает и некоторое пространственное положение. Можно думать, что имеются некоторые основания предполагать, что средние значения по пространству и по времени здесь близки, т.е. и в этом случае реализуются эргодические свойства географических объектов.



Это остается справедливым и для других элементов географических комплексов, которые можно расположить в некоторый временной ряд. Таковы грубый и тонкий гумус, первичные преобразованные минералы, частицы механического состава различной крупности и др.

Естественно, что элементы пространственно-временных структур и их свойства могут быть объектами географического прогнозирования.

### 3.12. Непрерывность и дискретность географического пространства времени. Элиасинг

Окружающее нас пространство и процессы, в нем протекающие, кажутся непрерывными. Мы почти не наблюдаем резких границ ни в пространстве, ни во времени. Две близкие по пространству точки обладают большой степенью сходства. Различия между ними стираются особенно в том случае, если мы увеличиваем интервал времени их наблюдения. Так же невелики различия между двумя последовательными событиями во времени, если промежуток между их наступлением достаточно мал, а наблюдаем мы их на едином и весьма большом (по размерам) пространстве. Эти наши ощущения и являются той базой, на которой возникают представления о непрерывности географического пространства-времени.

Однако в эти представления мы должны внести некоторые дополнения. Они прежде всего касаются способов получения данных о свойствах пространственно-временных переменных. Хорошо известно, что эти данные получают на основе наших визуальных (приблизительных) наблюдений или измерений. Во втором случае мы берем некоторые отсчеты — показания барометров, термометров и др. Обычно такие наблюдения проводятся в стандартные сроки, разделенные интервалами достаточной продолжительности. Нередко аналогичные данные получают с помощью непрерывных записей (данные записей барографов, термографов, пнеумографов и др.). Во втором случае измерения, записанные на ленту в виде непрерывной кривой, способствуют укоренению наших представлений о непрерывности течения событий во времени (об их континуальности). Измерения этого типа позволяют нам получать временные ряды различной длины. Несколько иные представления мы получаем тогда, когда наши измерения имеют характер отбора проб с последующими измерениями в лаборатории. Так определяют химический состав пород и почв, содержание гумуса, пористость, влажность и многие другие компоненты. В этом случае проба изымается из природы. Затем она проходит некоторую процедуру обработки и обратно уже не возвращается. Новая проба берется в другой отрезок времени и в иной по сравнению с первоначальной пробой точке пространства (пусть достаточно близкой, но другой). Здесь нетрудно увидеть, что измерения проводятся над определенным объемом пространства (каждый раз новым). Так мы получаем дискретный ряд точек.

Еще более очевидной становится дискретность тогда, когда мы изучаем пространственные закономерности. В этом случае мы обычно размещаем наши точки наблюдений на некотором расстоянии. Расположить их очень близко друг от друга невозможно по двум причинам. Во-первых,

это дорого, особенно для территорий больших размеров, так как точек окажется очень много. Во-вторых, если бы это когда-либо и удалось сделать, то мы могли бы получить данные не о том объекте, который нас интересует, а о совершенно другом, где естественная поверхность оказалась бы покрытой системой приборов, датчиков и т.п. Конечно, эти данные характеризовали бы какую-то иную обстановку, а не естественный объект, избранный для измерения.

Таким образом, наши представления о непрерывности свойств географического пространства-времени часто базируются на дискретных данных. Чтобы получить представление о непрерывных изменениях мы проводим интерполяцию данных между точками наблюдения. Если интервалы между наблюдениями равны, то легко получить представление о градиентах изменения свойств во времени (или по пространству). Нетрудно сопоставить данные изменений в свойствах по времени и пространству. Пусть в точке А мы измерили температуру один раз в сутки в 13 часов по местному времени и получили временной ряд (рис. 24). На рисунке кружками показаны данные наблюдений, а пунктирной линией — наши представления о непрерывном изменении температуры.

Для описания пространственных свойств аналогичным образом мы можем построить некоторый ряд по профилю АБ (рис. 25), зафиксировав время.

Подчеркнем, что в обоих случаях мы опираемся на данные дискретных наблюдений и строим некоторую континуальную модель изменения свойств. Если изучается не один параметр (температура), а множество, то вместо одной кривой получается семейство кривых. При изучении пространства в двумерном случае аналогичным образом получается карта, на которой температура показана в изолиниях. Это также континуальное представление о распределении температуры основанное на дискретно собранных данных.

Двумерные модели непрерывных явлений во времени обычно не строятся, но их можно получить, проводя наблюдения в двух шкалах времени. В качестве примера можно назвать солнечно-лунное время. Оно использовано, в частности, А.И. Дуванинным [1973] для описания закономерностей формирования приливов. Двумерное временное поле параметров легко получить, если привязывать наблюдения к различным циклам.

Изучая карты в изолиниях, обычно отыскивают положения максимумов и минимумов и затем объясняют их местоположение, исходя из взаимозависимости и взаимной обусловленности свойств географических объектов. Максимумы и минимумы (ареалы их распространения, размеры и пространственное положение) считаются реально существующими. Это стало привычным и не подвергается сомнению, хотя здесь имеется одно допущение которое подлежит проверке — допущение о линейности изменения свойств в промежутках между точками наблюдений. Линейность изменений можно проверить, сгустив точки наблюдения по пространству или участвив их при получении временных рядов.

Пусть у нас имеется временная последовательность из трех измерений. Возьмем два крайних из них и соединим их прямой линией (рис. 26).

Затем нанесем и промежуточное третье измерение. Имея эти данные, нетрудно вычислить (на базе представлений о линейности изменения свойств), какова должна быть величина параметра в промежуточной точке наблюдений, и сравнить с измеренной. Обозначим их разницу  $\Delta K$ . Если  $\Delta K$  мало то можно считать линейную интерполяцию достаточно хорошей. При анализе временных рядов большой протяженности эту проверку можно осуществить для всей последовательности наблюдений. В качестве меры для определения значимости отклонений от линейности можно предложить следующую.

Пусть у нас имеется временной ряд наблюдений с шагом  $m$  и можно получить сведения об изменчивости  $K$  за интервал времени, равный  $2m$ . Предположим, что он равен  $l$ . Тогда если в начальный момент его величина была равна  $l_0$ , то через время, равное  $m$ , его значение будет равно

$$l_1 = l_0 + \frac{l}{2}.$$

Разность измеренного и вычисленного значений ( $\Delta K$ ) можно выразить в процентах, которые и будут характеризовать степень отклонения от линейности ( $M_l^{(2)}$ ):

$$M_l^{(2)} = \frac{\Delta K}{l_1} \cdot 100\%.$$

Для большого ряда наблюдений можно получить среднее значение  $M_l$  и статистики его распределения. Если взять не три, а четыре значения на интервале времени  $3m$ , то можно проверить линейность изменения свойств на большем промежутке времени. В этом случае можно получить значения  $\Delta K$  не в одной, а в двух точках. Тогда линейность может быть охарактеризована средним значением  $\Delta K_1$  и  $\Delta K_2$ . Полезно взять из них среднее значение и отнести его к вычисленному значению ( $l_1$ ). Тогда мера линейности ( $M_l^{(3)}$ ) приобретает несколько иной вид:

$$M_l^{(3)} = \frac{|\Delta K_1| + |\Delta K_2|}{2l_1} \cdot 100\%.$$

Это можно рассчитать для любого числа шагов по времени. Пусть мы имеем ряд наблюдений, содержащий  $q$  членов; тогда внутри его будет  $(q - 1)$  интервалов времени. Сделаем так, что

$$p = q - 1.$$

Отсюда

$$M_l^{(p)} = \frac{\sum_{t=1}^p |\Delta K_t|}{p l_1} \cdot 100\%.$$

Нетрудно видеть, что эта сумма представляет собой остаток или некоторую среднюю величину отклонений от линейного тренда, построенного





иную картину. Обычно говорят, что, уменьшая шаг по времени (или по пространству), мы будем обнаруживать все более высокочастотные составляющие процесса (или размещения объектов по пространству). Это подразумевает, что в результате повышения плотности измерений мы обнаруживаем реально существующие максимумы и минимумы иной частоты (рис. 27А), и это, конечно, не исключено. Однако нас должен заинтересовать случай (рис. 27Б), когда после такого уплотнения (повышения частоты) наблюдений мы обнаруживаем новые максимумы, но при этом теряем другие, выявленные при меньшей плотности измерений.

На рис. 27А мы видим, что кривая, проходящая через точки 1, 2, 3, . . . , 7, является как бы осью, вокруг которой колеблются кривые 2 и 3. Положение максимумов и минимумов по отношению к системе координат  $(t, K)$  практически не изменяется. Соотношения между кривыми 1, 2, 3 похожи на те, которые существуют у кривых, описывающих тренды различных порядков. Если в этом случае и можно говорить о разночастотных составляющих, то следует обратить внимание на то, что пересечения кривых принадлежат одновременно двум или трем кривым. Тогда, если мы имеем единственную последовательность чисел, не уточненную измерениями более высокой частоты, следует помнить, что мы не знаем, принадлежат ли точки только одной или нескольким кривым. Ведь при сгущении (или разрежении) наблюдений мы можем получить другую кривую, которая будет пересекаться с первой. Иначе говоря, имея только одну реализацию наблюдений, исследователь не уверен в том, что он правильно охарактеризует частотность явлений. Он неизбежно их "перепутывает". Этот вид ошибок в наших представлениях о частотах получил название *элиасинга* [Blackman, Jukey, 1958; Сабинин, 1967; Гаврилов, Цыцарин, 1974; Цыцарин, 1975; Симонов, 1977].

Значительно более сложную картину мы видим на рис. 27Б. Здесь уже не сохраняется относительное положение максимумов и минимумов в системе координат  $(t, K)$  для кривых, полученных при различной частоте наблюдений. Каждая из кривых представляет собой регулярную выборку с разным шагом по времени из случайной последовательности величин. Вследствие элиасинга здесь мы не только перепутываем частоты, но получаем неправильную информацию об амплитуде (энергии) высокочастотных явлений.

Если это распространить на двумерный случай (карта изолиний по пространству), то можно увидеть, что в регулярной выборке при изменении размеров ее ячеек рисунок изолиний существенно изменяется. Меняются конфигурация и размеры отдельных локальных аномалий (максимумов и минимумов). Нередко на месте положительной аномалии возникает резко отрицательная аномалия, и наоборот. На рис. 28 приведен опыт выявления пространственного элиасинга на примере изучения влажности почв.

Можно подумать, что элиасинг отсутствует при получении временных или пространственных рядов, зарегистрированных с помощью самописцев. Но это лишь кажущееся решение задачи. Для любого измерения требуется некоторое пространство (пусть даже самое маленькое) и

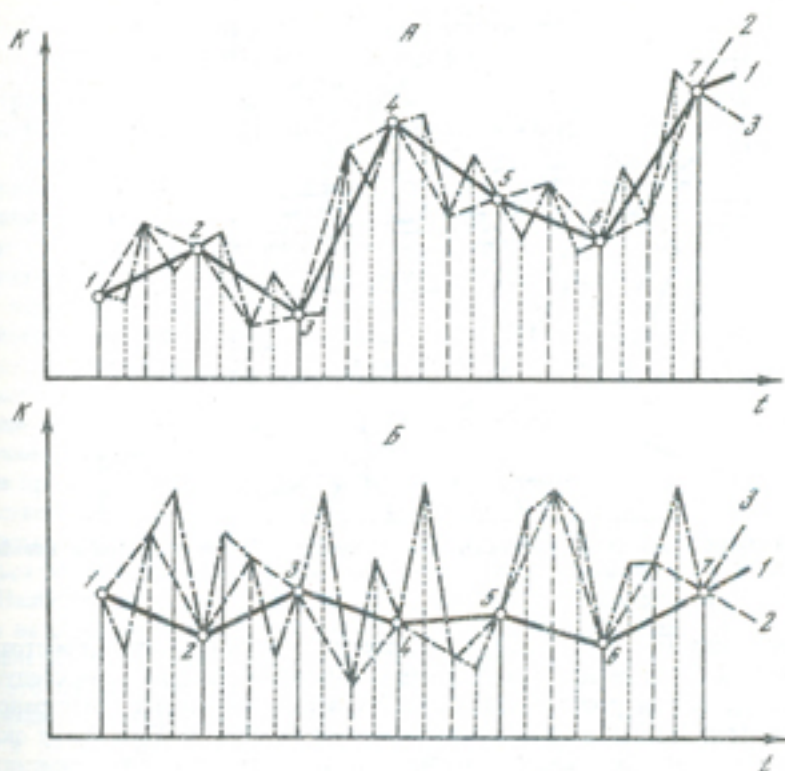


Рис. 27. Два случая изменения наших представлений о свойствах временного пространственного ряда данных при уменьшении интервалов между точками наблюдений

Объяснение см. в тексте

некоторый отрезок времени. В приборах с непрерывной записью данных размеры минимального пространства определяются размерами датчиков, а интервал (шаг) между наблюдениями во времени – их инерционностью. Поэтому для уменьшения ошибок из-за элиасинга стремятся к миниатюризации датчиков и уменьшению их инерционности. Однако если учитывать прогресс измерительной техники, то можно думать, что любое самое лучшее современное измерение со временем будет улучшено и будет выявлен элиасинг даже самых совершенных наших представлений о пространственно-временных закономерностях. Отсюда напрашивается вывод о том, что элиасинг – явление неизбежное, которое необходимо учитывать при интерпретации данных, полученных с помощью тех или иных приборов. Его следует устанавливать, определять вид и характер погрешностей в наших выводах, которые им определяются.

В ряде случаев можно даже использовать это свойство для определения стратегии измерений. Так, если после проведения серии измерений по пространственному распределению определенной группы свойств в границах территориального комплекса установлено явление элиасинга



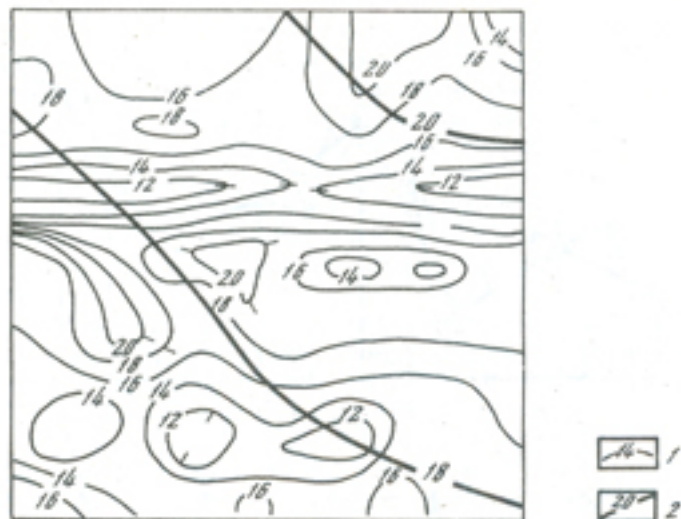


Рис. 28. Опыт выявления пространственного элиасинга в распределении влажности при сетке наблюдений 50 x 50 м (1) и 500 x 500 м (2)

второго вида (см. рис. 27,Б), то не следует искать причины в пространственной или временной локализации аномальных явлений и не следует составлять карты распределения этих свойств в изолиниях. Пространственные (так же как и временные) аномалии явлений вообще могут оказаться ложными. Опираясь на знания свойств элиасинга, можно заменить исследования (измерения) больших пространств исследованиями малых территорий, но с большой плотностью измерительной сети, изучение больших отрезков времени — исследованиями относительно более коротких временных интервалов течения процесса, но с большей частотой.

Наличие элиасинга необходимо учитывать при выборе стратегии исследований, при подборе аппаратуры и при интерпретации полученных данных. Наконец, знание свойств элиасинга имеет большое мировоззренческое значение так как в нем как бы одновременно раскрываются свойства дискретности и континуальности географической формы движения материи. На непрерывно-прерывистый характер материи обращал внимание В.И. Ленин в "Философских тетрадах"<sup>1</sup>. Дискретность географического пространства-времени проявляется в формировании определенных структур которые выявляются в ходе географических исследований. Вследствие некоторых особенностей получения сведений о свойствах объекта эти структуры могут быть явными, объективно существующими и ложными. Непрерывность проявляется в постепенных сменах пространственно-временных географических структур.

Свойства континуальности и дискретности географических объектов могут быть предметом географического прогнозирования.

<sup>1</sup> Ленин В.И. Полн. собр. соч., т. 29.

### 3.13. Внешние и внутренние причины изменчивости географических объектов и их ресурсы

Географические объекты не остаются постоянными. Они меняют свои свойства, размеры, конфигурацию, положение в пространстве, структуру, тип функционирования и др. Собственно, эта возможность изменений и является основанием для постановки прогнозно-географических исследований. Причины этих изменений различны. И обычно среди них выделяют внешние и внутренние. В группе внешних причин рассматривают климатические и тектонические процессы, воздействие человека. Внутренние причины связаны с особенностями перестройки структуры географического комплекса в ходе его саморазвития. Поскольку географические объекты относятся к классу открытых систем (свободно обменивающихся веществом и энергией с окружающей средой), то в ряде случаев можно обнаружить определенную связь между внешними и внутренними причинами изменчивости географических объектов. Между ними могут быть причинно следственные отношения, аналогичные таким, как "воздействие—отклик". Многие из этих вопросов обсуждаются в учебниках и могут оказаться достаточно тривиальными. И все же на них следует остановиться более подробно.

Наиболее часто в качестве причины изменений географических объектов называется климат. Как уже говорилось выше, климат, так же как и рельеф, не является элементом географического объекта; это свойство одного из его элементов — массы воздуха (входящей в пространство, занимаемое географическим объектом). Говоря о климате, обычно имеют в виду "многолетний режим погоды, т.е. совокупность и последовательную смену всех возможных в данной местности условий погоды" [Географическая энциклопедия, т. 2, с. 311–312]. Главные изменения климата, захватывающие большие области, называют изменениями *макроклимата* (например, климата северного полушария). Климатические изменения, происходящие на территории от нескольких квадратных километров до нескольких десятков, характеризуют *местный климат*. Еще более мелкие колебания, отмечающиеся в районе площадью в десятки или сотни квадратных метров, определяют изменения *микроклимата*. Таким образом, здесь налицо определенная иерархия понятий, возникающая вне зависимости от иерархии природных территориальных комплексов. Для географического анализа важно было бы разделить эти понятия несколько иначе. Так, если принять таксономическое деление природных территориальных комплексов по Н.А. Солнцеву, то следовало бы выделять климат фации (как свойство массы воздуха, входящей в пространство фации), урочища, сложного урочища, ландшафта и т.д.

Когда говорят о воздействии климата на элементарный природный территориальный комплекс, то в неявном виде имеется в виду воздействие изменений макроклимата на данный объект. И это воздействие имеет характер цепочки:

Макроклимат → Местный климат → Микроклимат

Изменяя режим массы воздуха, входящей в географический комплекс, мы меняем его состояние, а стало быть, и тип функционирования.

Если эти изменения значительны и продолжительны по времени, то может возникнуть и новая структура комплекса: произойдет коренная перестройка. Исходный комплекс будет заменен другим, более приспособленным к изменившимся условиям.

Если говорить об изменениях макроклимата, то нужно располагать длительным рядом наблюдений. При проведении текущих наблюдений бывает нелегко сделать вывод о том, меняется ли макроклимат или нет. Это означает, что в текущих исследованиях совсем не просто установить причинно-следственные отношения между изменчивостью климата и природного комплекса. Более точно можно судить об этом на основании изучения особенностей реакции географических объектов. Особенно показательны здесь изменения их структуры.

Предположим, что мы ведем систематические наблюдения за строением и функционированием некоторого природно-территориального комплекса. Пусть это будет кедрово-широколиственный лес на склоне средней крутизны с бурыми лесными почвами на склоновых щебнисто-суглинистых рыхлых отложениях (типа дефлюкций), перекрывающих флишодные породы мелового возраста, слаботрешиноватые, бедные трещинно-грунтовыми водами. Рассматривая структуру этого комплекса, можно видеть, что с изменениями макроклимата могут быть связаны грунты, почвы, растительность и животный мир, массы воды и воздуха, циркулирующие внутри изучаемого объекта. Оценивая возраст каждого из элементов, можно обнаружить, что воздух данного территориального комплекса — это самое молодое образование. Его возраст обычно измеряется часами или первыми сутками. Воды могут находиться в пределах одного комплекса несколько суток и даже, может быть, недель. Почвы и растительность, как правило, имеют возраст, измеряемый несколькими столетиями. Накопление грунтов за счет процессов выветривания (учитывая и денудацию) требует времени до нескольких тысячелетий.

Если принять, что каждый из этих элементов находится в соответствии с климатом, является его продуктом, то следует считать, что все время, в течение которого шла формирование данного элемента (его свойств и строения), режим типов погоды на уровне макроклимата оставался без изменений. Так, если в верхнем ярусе леса присутствуют деревья (например, дубы), имеющие возраст 200—300 лет, то можно говорить о том, что макроклимат в течение этого отрезка времени оставался без существенных изменений (по крайней мере по отношению к данному структурному элементу).

Предположим, что в течение некоторого времени произойдут такие изменения в режиме погоды, что в данном месте погибнут все деревья этого вида и их возобновление окажется невозможным; это будут события, соответствующие изменениям макроклимата, вызвавшим изменение в структуре комплекса. Вновь созданная структура будет уже приспособлена к новым условиям, и самый древний элемент растительного покрова позволит определить период, в течение которого можно говорить о постоянстве климата.

Если считать, что для целей географического прогнозирования очень важным является изучение изменений климата, то за этим необходимо



увидеть не только абсолютный, но и относительный характер изменчивости климата. Текущие изменения макроклимата могут в одно и то же время в одних случаях вызывать на отдельных территориях изменение структуры географических объектов, а в других случаях не вызывать. Структура географических комплексов по отношению к внешним климатическим воздействиям как бы выполняет функции фильтра. Колебания одного уровня амплитуд она пропускает не изменяясь. При повышении некоторого уровня "нагрузок" она меняет свое строение. Когда мы будем строить модели географического прогнозирования, в которых следует учесть изменения климата, то должны будем иметь в виду относительный характер климатических изменений при описании событий типа "воздействие - отклик".

Другим видом внешних воздействий являются тектонические процессы. Тектонический режим и его изменения характеризуют определенные свойства грунтовых масс (характер рельефа, трещиноватость и др.). Но, пожалуй, самое главное это то, что тектонические движения перемещают весь ПТК на другой гипсометрический уровень, на котором действуют иные факторы, меняющие структуру комплекса. Так, погружение суши ниже уровня моря приводит к смене континентальных ПТК на морские. Коренные изменения структуры вызывают и поднятия. Это становится заметным при наличии ландшафтно-гипсометрических рубежей, определяемых высотной поясностью. В настоящее время наши представления об особенностях строения и функционирования географических комплексов базируются на данных сравнительно-географического анализа. Они более обоснованы в тех случаях, когда речь идет о медленнопротекающих тектонических движениях. Менее известны нам реакции комплексов на новейшие (современные) тектонические проявления. Еще меньше в этой области сведений, базирующихся на тщательно выполненных измерениях.

Третья группа внешних причин изменчивости географических объектов объединяет все то, что связано с влиянием на них человека. Здесь можно видеть некоторые черты сходства и различия с описанными выше причинами изменчивости географических комплексов. Имея в виду, что человек, объекты и результаты его труда являются элементами этих комплексов, можно заключить, что почти в каждом, даже наиболее просто устроенном, географическом объекте можно найти подсистему "социального блока". В объектах более высокого иерархического уровня могут оказаться и элементы более высокого уровня социальных систем. Поэтому внешние воздействия могут иметь вид, знакомый нам по описанию воздействий климата. Если делить социальную систему на такие иерархические уровни, как мировая система - группа стран - страна - группа областей - область - район - хозяйство - социально-хозяйственный объект (может существовать и какое-то другое деление), то социально-хозяйственный объект (например, строение, дорога, поле, луг и т.д.) может быть элементом простого географического объекта. Отношения с окружающими их растительностью, почвами, водами и другими компонентами ландшафта будут отношениями внутри комплекса. Внешние воздействия - это воздействия, идущие от элементов более высокого

таксономического ранга. Например, изменилась специализация хозяйства, возникли новые социально-хозяйственные объекты (или существовавшие ранее). Как следствие этого, изменились структура и тип функционирования всего комплекса. Здесь имеется определенная аналогия с описанными выше.

Но есть и существенные отличия — это сознательный, целенаправленный характер воздействия человека на окружающую среду. Даже тогда, когда последствия хозяйственной деятельности и реакция природы оказались непредвиденными, остается возможность для ретроспективного анализа и конструктивного подхода для устранения нежелательных последствий.

Таким образом, при анализе проявления факторов внешнего воздействия (внешних причин изменчивости) мы обратили внимание на то, что имеется определенная линия воздействия, идущая от "целого" (более крупного комплекса) на его "части", — воздействие по иерархической схеме. Есть, конечно, и другой вид воздействий — воздействие комплексов одного и того же иерархического уровня друг на друга. Естественно, что наибольшее воздействие здесь может быть осуществлено лишь ближайшими соседями за счет переноса вещества и энергии. Наиболее активными в этом смысле являются границы соседних комплексов, перпендикулярные направлениям главных потоков вещества и энергии. Поскольку эти потоки определяются чаще всего гравитацией, то важными становятся границы, близкие к простираению склонов (если они не являются "разделами", "барьерами" и т.п.). Менее активен обмен на границах, совпадающих с падением склона. Сказанное относится по крайней мере к воздействию географических объектов, которое обеспечивается стоком поверхностных вод и перемещением грунтовых масс. В других географических обстановках те же функции могут выполнять потоки масс воздуха и транспортные потоки.

Внутренние причины изменчивости географических объектов связаны с их саморазвитием. Так, в результате эволюции рельефа выполаживаются склоны. Вследствие бурного развития горнодобывающей промышленности происходит истощение запасов полезных ископаемых. Можно привести и другие примеры. В результате этих изменений с течением времени происходит замена одних элементов комплекса другими и изменяется тип функционирования. Но имеется и внешняя причина подобных изменений. Так, для того чтобы крутизна склонов длительное время (в геологическом смысле) не изменялась, необходимо, как показали работы В. Пенка [Penck, 1924], определенное соотношение между темпами денудации и интенсивностью тектонических поднятий. В результате тектонических процессов здесь вводится некоторое количество вещества коренных пород, а вследствие денудации за то же время этот же объем удалится. Отсюда можно сделать предположение о том, что внутренние причины изменчивости географических объектов как-то связаны с некоторой реакцией комплекса на изменившиеся внешние условия. Так, при прекращении поступления воды в комплекс в течение определенного времени он потеряет всю воду, которую не сможет удержать; при прекращении поступления биогенов или солнечной радиации со временем



исчезнет жизнь. В ходе подобных изменений комплекс как бы расходует некоторые внутренние ресурсы.

Состояние ресурсов географических комплексов, их количество и качество, естественно, могут быть объектом прогнозирования.

### 3.14. Географические объекты как интеграторы.

#### Проблема адаптации. Структурная память<sup>1</sup>

Как было показано выше, географические объекты относятся к классу открытых систем, широко обменивающихся веществом и энергией с окружающей средой. В качестве последней выступают соседние объекты этого же или более высокого таксономического ранга. Вещество и энергия поступают в комплекс сосредоточенно, в виде потока (например, река, впадающая в море), и рассредоточенно, через всю граничную поверхность (например, атмосферные осадки, поступающие на водосборную площадь). Вещество и энергия, поступив в систему, циркулируют в ней некоторое время, качественно изменяются и затем частично или полностью выводятся из системы. Выход вещества и энергии может быть концентрированным в виде потока, следующего некоторому каналу (руслу реки и др.), или рассредоточенным, проходящим через всю граничную поверхность (испарение, инфильтрация и др.).

Анализируя соотношение только входа и выхода, можно выделить три состояния функционирующей системы: 1) количество вещества (энергии) на входе больше, чем на выходе; 2) количества вещества (энергии) на входе и выходе равны; 3) количество вещества (энергии) на входе меньше чем на выходе.

В первом состоянии система работает как аккумулятор, накапливающий вещество (энергию). В это время изменяется соотношение между элементами, возникают или возобновляются определенные виды связей, т.е. меняется структура объекта. В таком состоянии иногда возникают и новые элементы системы (например, выпадение первого снега).

Во втором состоянии система находится в динамическом равновесии. Структура ее сохраняется или меняется незначительно. Система как бы приспособлена, адаптирована к входному сигналу (к окружающей ее среде). Она функционирует, перерабатывая поступающее в нее вещество (энергию). На выходе появляется некоторый продукт функционирования системы качественно отличающийся в той или иной степени от вещества на входе. Если вещество существенно не изменяется, то система выполняет лишь транспортные функции. Если же вещество меняется качественно то, как правило, этот продукт по своим свойствам индивидуален. Продукт системы по выходе из нее поступает в другую систему и проходит следующий цикл преобразований.

В третьем состоянии, когда расход вещества (энергии) больше прихода, система меняет свою структуру. Она как бы упрощается, деградирует или возвращается в исходное состояние. Обычно в это время расходуется то вещество, которое было накоплено в первом ее состоянии.

<sup>1</sup> Раздел написан при участии И.М. Зейдеса.



Говоря о различных типах функционирования в этих трех состояниях, обычно подчеркивают, что в первом и третьем случае система нестационарна, а стационарна (устойчива) лишь во втором. Изменение окружающей среды равноценно изменению сигнала на входе, что неизбежно приводит к изменению состояния системы. Стационарный режим в это время сменяется нестационарным. Географический комплекс в целом и отдельные его элементы на разных стадиях эволюции могут находиться в стадии роста, динамического равновесия или деградации. И в любой момент каждый из элементов сложной системы может быть в одном из трех состояний. Приспособление (адаптация) системы к некоторому новому сигналу из окружающей среды означает образование некоторой новой внутренней подструктуры (новой системы внутренней связи) внутри объекта, которая наилучшим образом будет приспособлена к новым условиям (новому входному сигналу, новой внешней "нагрузке"). Эта подструктура начинает функционировать наиболее активно, в то время как другие элементы системы и другие каналы связей в этот процесс могут быть и не вовлечены. Например, после засушливого периода при небольшом количестве выпавших атмосферных осадков начинает активно работать система следующих связей: поглощение воды почвой, всасывание воды корневой системой, транспирация и биопродуцирование.

Если осадков много и они выпадают продолжительное время, то возникает подструктура поверхностного стока. Первая система связей может перестать функционировать или может изменить ход протекающих в ней процессов.

В сложной географической системе может участвовать параллельно или последовательно несколько активно функционирующих структур. Каждая из них имеет строго определенный механизм. Поскольку географические объекты имеют определенные размеры и перемещение вещества по разным каналам осуществляется с различной скоростью, то на выходе неизбежно происходит сложение сигналов поступивших в систему одновременно. Сигналы могут иметь дискретный или непрерывный вид, и система может работать как сумматор или как интегратор. Последний вид функционирования в природе встречается чаще. Например, в качестве простого интегратора функционирует речной бассейн. Если даже предположить, что атмосферные осадки на территорию бассейна поступили одновременно (рассредоточенный одновременный вход), то из-за разных расстояний к замыкающему створу одновременно подойдут порции воды, поступившие в пространство бассейна в разное время.

Наиболее просто это можно показать на примере стока со склона. Возьмем сначала склон относительно простой формы в плане. Разобьем его на элементарные площадки, которые специально пометим для того, чтобы затем, зная скорость движения воды на отдельных участках, определить время добегаания ее от площадки до замыкающего створа (рис. 29). Для малого водосбора площади синхронного добегаания показаны на рис. 30. Если знать площади, ограниченные различными изохронами добегаания ( $S_1, S_2, \dots, S_n$ ), и интенсивность выпадения осадков на каждый момент времени ( $I_{p_1}, I_{p_2}, \dots, I_{p_n}$ ), то можно получить представ-

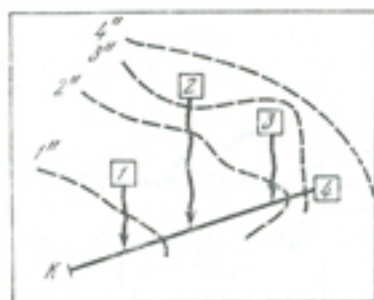


Рис. 29. Траектория стока воды от площадок 1, 2, 3, 4 к замыкающему створу *K* (пунктиром показаны изохроны добегаия в секундах)



Рис. 30. Изучаемый водосбор с изохрониями добегаия в секундах

ление об изменениях расходов воды во времени на замыкающем створе. Запишем это построчно в виде сумм, где  $Q$  — расход,  $I_p$  — интенсивность осадков,  $S$  — площадь полосы одновременного стока (пока для упрощения анализа опустим влияние изменчивости других составляющих водного баланса). В первый момент на замыкающий створ вода успеет добежать с площади  $S_1$ . Ее количество (без учета потерь) будет равно  $I_1 S_1$ ; с остальной площади водосбора вода поступит еще не успеет. Во второй момент придет вода с площади  $S_2$ , выпавшая в предшествующий момент, когда интенсивность осадков была равна  $I_1$ . Расход на замыкающем створе будет равен

$$Q_2 = I_{p_2} S_1 + I_{p_1} S_2.$$

Для первых четырех моментов нарастание расхода на замыкающем створе будет иметь следующую последовательность:

$$t_1 \dots Q_1 = I_{p_1} S_1,$$

$$t_2 \dots Q_2 = I_{p_2} S_1 + I_{p_1} S_2,$$

$$t_3 \dots Q_3 = I_{p_3} S_1 + I_{p_2} S_2 + I_{p_1} S_3,$$

$$t_4 \dots Q_4 = I_{p_4} S_1 + I_{p_3} S_2 + I_{p_2} S_3 + I_{p_1} S_4.$$

Пусть время  $t_4$  (в нашем примере) будет соответствовать времени добегаия до замыкающего створа из самой дальней точки водосбора. Зная на каждый момент времени значения  $I_p$  и соотношение водосборных площадей  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , можно рассчитать на любой момент времени (исключая пока потери на испарение и фильтрацию) расход воды на замыкающем створе. Кривая изменения расходов во времени приведена на рис. 31. Если продлить записанный выше ряд дальше за момент времени  $t_4$ , то можно увидеть, что число слагаемых в этой сумме не изменяется, если сохраняется число зон (полос) одновременного добегаия.

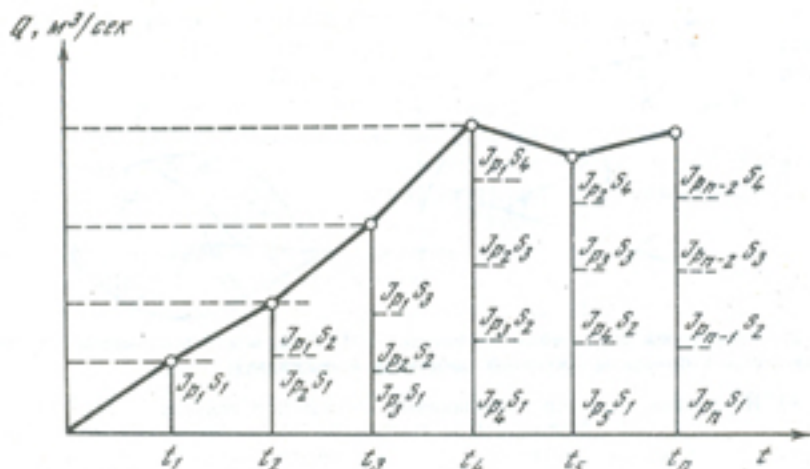


Рис. 31. Кривая изменения расходов по времени на замыкающем створе (без учета потерь)

Нарастающая сумма в момент времени  $t_4$ , равный времени добегающего, и в последующем будет иметь вид

$$t_4 \dots Q_4 = I_{p_4} S_1 + I_{p_3} S_2 + I_{p_2} S_3 + I_{p_1} S_4,$$

$$t_5 \dots Q_5 = I_{p_5} S_1 + I_{p_4} S_2 + I_{p_3} S_3 + I_{p_2} S_4,$$

$$t_6 \dots Q_6 = I_{p_6} S_1 + I_{p_5} S_2 + I_{p_4} S_3 + I_{p_3} S_4,$$

$$t_7 \dots Q_7 = I_{p_7} S_1 + I_{p_6} S_2 + I_{p_5} S_3 + I_{p_4} S_4,$$

$$t_8 \dots Q_8 = I_{p_8} S_1 + I_{p_7} S_2 + I_{p_6} S_3 + I_{p_5} S_4,$$

$$t_n \dots Q_n = I_{p_n} S_1 + I_{p_{n-1}} S_2 + I_{p_{n-2}} S_3 + I_{p_{n-3}} S_4.$$

Сравнивая между собой строчки, можно увидеть, как значение уровня интенсивности дождя в некоторый отрезок времени (например,  $I_{p_4}$ ) перемещается от первого слагаемого к последнему, а затем исчезает. Пока это значение сохраняется, система (бассейн) как бы "помнит" об интенсивности дождя в момент времени  $t_4$ . Это своеобразная "память" системы (бассейна). Продолжительность памяти равна времени добегающего. Поскольку площади ( $S_1, S_2, \dots, S_n$ ) синхронного добегающего не равны между собой и характеризуют структуру бассейна по отношению к данному типу функционирования, условимся называть время добегающего сигнала структурной памятью системы ( $T_p$ ). При одинаковом виде функционирования бассейны различных размеров будут обладать неодинаковой памятью. С увеличением размеров системы при прочих равных условиях растет и память. Она увеличивается и при замедлении скорости прохождения сигнала через систему. Отсюда геометрия (размеры и форма) и проводимость (скорость прохождения) сигналов взаимно дополняют друг друга. Могут функционировать совершенно одинаково, обладая одинаковой памятью, большие бассейны с высокой проводимостью сигнала и маленькие — с малой проводимостью.



Влияние формы бассейна на длительность структурной памяти связано с увеличением или уменьшением пути прохождения "сигнала" из самого удаленного участка системы. Если форма системы меняется так, что длина пути изменяется, это не может не сказаться на длительности "структурной памяти".

Наряду со структурной памятью важным свойством системы является "кривая роста", или "кривая насыщения", системы. Как было показано выше (см. рис. 31), кривая роста зависит от изменения во времени интенсивности воздействия на систему извне и от структуры (соотношения площадей) зон синхронного добегания. Чтобы исключить влияние внешнего воздействия, приравняем  $I_d$  единице (случай равномерного по пространству и по времени дождя) и построим кривую изменения расходов на замыкающем створе. При равенстве скорости прохождения "сигнала" на всем пространстве системы кривая примет вид вогнуто-выпуклой кривой, известной как S-образная, или логистическая, кривая (рис. 32).

При равномерном сигнале на входе в момент времени  $t_4$  (при четырех зонах синхронного добегания в системе) сигнал на выходе достигнет "предела роста" и в дальнейшем не будет меняться. Уровень сигнала на выходе будет равен

$$Q_{\max} = I_p F,$$

где  $I_p$  — интенсивность постоянного сигнала (дождя), а  $F$  — площадь (емкость) системы (площадь водосбора в нашем примере). Поскольку мы имеем здесь в правой части произведение двух сомножителей, это означает, что на выход из системы в равной мере будут оказывать влияние и характер внешнего воздействия, и внутренние свойства системы. Мгновенно увеличивая интенсивность сигнала на входе, мы линейно изменяем "предел роста" (предел насыщения) сигнала на выходе во столько раз, во сколько изменилась интенсивность входного сигнала. Увеличивая площадь водосбора, мы пропорционально увеличиваем и расход воды на замыкающем створе. Колебательный режим выпадения осадков (сигнал на входе) приведет к колебаниям на выходе. Если водосборная площадь неоднородна и с разных частей водосбора вода поступает с неодинаковой скоростью, то можно представить себе такой случай, когда система будет превращать равномерный сигнал на входе в колебательный сигнал на выходе (для равномерного дождя это будет справедливо лишь для нестационарных состояний системы).

Следует несколько подробнее остановиться на особенностях воздействия каждого из сомножителей, определяющих изменение (реакцию системы) выходного сигнала. Вначале несколько слов об особенностях влияния внутреннего устройства системы на "выходной сигнал". Внутреннее строение большинства географических систем отличается большим разнообразием и индивидуальностью. Поэтому сначала рассмотрим наиболее простой из вариантов. Продолжая аналогию с бассейнами стока, представим себе такой бассейн, водоток которого не имеет притоков, два склона опираются на прямое русло, склоны одинаковы по форме, площади и углам наклона, поверхность склонов ровная, продольный профиль прямой (рис. 33).

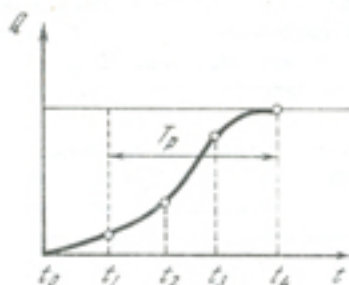


Рис. 32. Кривая роста сигнала на выходе и структурная память

Поскольку склоны одинаковы, можно проанализировать всего лишь один склон и затем результат его действия удвоить. Предположим, что скорости течения воды на склоне и в русле (скорость передачи сигнала во всех звеньях системы) равны, тогда изохроны добегаания будут иметь на склоне вид прямых, пересекающихся с линией русла под углом  $\alpha = 45^\circ$ . Если скорости течения в русле будут больше, то этот угол будет меньше  $45^\circ$ , а при обратном соотношении скоростей — больше  $45^\circ$  (рис. 34).

Даже при равенстве размеров площади склонов и совпадении их формы в плане число зон синхронного добегаания будет неодинаковым. Структурная память и форма кривой роста (при равномерном дожде) для каждого из этих случаев окажутся различными. Отсюда следует вывод о том, что соотношение скоростей передачи сигнала на разных участках системы является важным параметром, описывающим ее свойства.

Если склон неровный и на отдельных его участках встречаются то более пологие, то более крутые участки (для системы вообще участки с различной скоростью добегаания), конфигурация зон синхронного добегаания изменится. Это найдет свое отражение и в рисунке изохрон добегаания.

И рисунок изохрон, и конфигурация зон синхронного добегаания сами по себе могут и не оказывать влияния на особенности функционирования системы. Здесь важнее соотношение площадей. При  $S_1 = S'_1; S_2 = S'_2; \dots; S_5 = S'_5$  (рис. 35) нет различий в функционировании этих двух систем. Если же изменение рисунка повлечет за собой увеличение или уменьшение площади, то, начиная с некоторой величины изменения площади ( $\pm \Delta S$ ), можно говорить об изменении пространственной структуры системы. Такие "аномалии", меняющие скорости прохождения сигнала, обычны для пространственно неоднородных систем. Размеры, форма и пространственное расположение этих "аномалий" (неоднородностей) могут быть такими, что они способны гасить или усиливать сигналы, поступающие на вход в систему.

Чтобы проанализировать и определить размеры этих влияний, перейдем к описанию приведенной выше системы с помощью некоторой математической модели [Зейдис, Симонов, 1980]. На основании принятых выше допущений (ровный склон; скорость течения воды на склоне равна скорости движения воды в русле; интенсивность дожда одновременно и однозначно меняется над всей поверхностью склона) было получено следующее уравнение для вычисления параметров стока:

$$Q(t) = \int_0^t u f(\tau u) \cdot q(t - \tau) d\tau,$$



Рис. 33. Простой водосбор с прямыми склонами и руслом и их блок-схема



Рис. 34. Изохроны добегаия на прямом склоне треугольной формы а - при  $v_{\text{скл}} > v_{\text{рус}}$ ; б - при  $v_{\text{скл}} = v_{\text{рус}}$ ; в - при  $v_{\text{скл}} < v_{\text{рус}}$



Рис. 35. Рисунок изохрон добегаия для ровного (а) и неровного (б) склонов

где  $Q(t)$  – расход как функция времени;  $u$  – скорость движения воды;  $f$  – функция, ограничивающая область стока;  $\tau$  – время интегрирования;  $t$  – текущее время;  $q$  – функция выпадения осадков.

Если скорость во времени не изменяется, то ее можно вынести из-под знака интегрирования. Тогда уравнение примет вид

$$Q(t) = u \int_0^t f(\tau \cdot u) \cdot q(t - \tau) d\tau.$$

Чтобы исследовать влияние входного сигнала на выход из системы, вспомним, что входной сигнал часто имеет вид сложной периодической функции. Ее, как известно, всегда можно разложить в ряд синусов или косинусов. Тогда, чтобы ответить на поставленный выше вопрос, нам достаточно рассмотреть одну из синусоид (предположить, что идет дождь, интенсивность которого изменяется по синусоиде), а затем проанализировать, каково влияние изменений амплитуды и длины периода (или частоты) на поведение системы на выходе. Пусть в нашем случае изменение дождя во времени описывается функцией вида

$$q(t) = c + A \sin(\omega \varphi(t)),$$

где  $c$  – интенсивность постоянного дождя;  $A$  – амплитуда изменений дождя;  $\omega \varphi(t)$  – частота колебаний;  $\omega \varphi'(t)$  – фаза колебаний, где  $\varphi'(t)$  производная  $\varphi$  по  $t$ .



Следует заметить, что поведение системы рассматривается на конечном отрезке времени  $[0, T]$ , поэтому величину  $\omega$  можно выбрать столь малой, что при постоянной амплитуде, т.е. при низкочастотных колебаниях сигнала на входе, член  $A \sin(\omega \varphi(t))$  будет стремиться к нулю, а  $q(t)$  — к (постоянному сигналу на входе).

В итоге будем иметь

$$Q(t) = c \int_0^t u f(\tau u) d\tau + A \int_0^t u f(\tau u) \sin(\omega \varphi(t - \tau)) d\tau = I_0 + I_1,$$

где  $I_0$  — вклад от постоянной составляющей входного сигнала;  $I_1$  — вклад от колебательной составляющей входного сигнала.

При малых  $\omega$

$$I_1(\omega) \sim cA\omega \quad \text{при } \omega \rightarrow 0$$

(амплитуда  $A$  предполагается постоянной), следовательно,  $I_1 \rightarrow 0$  при  $\omega \rightarrow 0$ .

Разумеется, если величина  $\omega$  порядка  $1/T$ , то вклад входного сигнала будет значительным. Интересно также оценить вклад от  $I_1$  при больших частотах колебаний входного сигнала. Из метода стационарной фазы следует, что в этом случае вклад в  $I_1$  будут вносить те точки, где фаза стационарна, т.е. производная от  $\varphi$  равна нулю ( $\varphi' = 0$ ). Тогда если  $\varphi'' \neq 0$ , то

$$I_1(\omega) \sim \frac{cA}{\sqrt{\omega}} \quad \text{при } \omega \rightarrow \infty,$$

причем  $c$  выражается через функции  $f$  и  $\varphi$  в точках, где фаза стационарна.

Если же, в частности, входной сигнал разложен в ряд Фурье, то можно ограничиться рассмотрением сигнала вида

$$q(t) = c + A \sin(\omega t),$$

тогда  $\varphi(t) = t$  и  $\varphi'(t) = 1 \neq 0$ .

В этом случае

$$I_1(\omega) = \frac{cA}{\omega} \quad \text{при } \omega \rightarrow \infty.$$

Следовательно, здесь  $I_1(\omega) \rightarrow 0$  при  $\omega \rightarrow \infty$ . Обратим внимание на то, что влияние амплитуды на результирующий сигнал весьма значительно. Все рассуждения приводились при постоянной амплитуде. Из полученных оценок видно, что, чем больше амплитуда, тем больше вклад, например, от низкочастотной или высокочастотной составляющей в результирующий сигнал. Однако при конечной амплитуде частота может быть столь малой или столь высокой, что вклад амплитуды в результирующий сигнал окажется мал.

Теперь можно сделать и окончательный вывод о влиянии изменений сигналов, получаемых системой на входе, на ее выходные сигналы. При высоко- и низкочастотных колебаниях система ведет себя как объект, испытывающий постоянное, не меняющееся во времени воздействие. Для каждой из систем есть такие среднечастотные колебания, которые

при поступлении извне заставляют систему колебаться. Понятия "низко-, средне- и высокочастотные колебания" относительны, и то, что для одной системы оказывается высокочастотным, для другой системы, меньших размеров и главное с меньшей структурной памятью, может оказаться среднечастотным, и наоборот. Поэтому для определения уровня "частотности" частоту внешних колебаний следует отнести к отрезку времени, равному структурной памяти системы ( $T_p$ ). Так же могут быть разделены на уровни "частотности" и пространственные аномалии скорости прохождения сигналов. Они могут быть высоко-, средне- и низкочастотными. И только среднечастотные пространственные неоднородности (если можно так говорить) способны вызывать заметные колебания сигнала на выходе. Для каждой из систем значения высоко-, средне- и низкочастотных пространственных переменных будут пропорциональны скорости прохождения сигналов и длине структурной памяти.

Соотношение временных и пространственных частот может быть различным. Неодинаково и их совместное влияние на выходной сигнал. Импульсы, идущие от неоднородности сигнала во времени, могут гаситься или увеличиваться пространственной разночастотной неоднородностью системы. Увеличение входного импульса до максимума соответствует явлению резонанса. Он может возникнуть лишь при определенном расположении зон сгущения и разряжения изохрон добегаания (прохождения внешнего импульса). И наоборот, если изохроны добегаания распределены неравномерно, то обязательно существует такая последовательность изменения сигнала на входе, которая будет максимально усилена территориальной географической системой.

Мы рассмотрели одну из систем, работающую как интегратор. Обращение к примеру формирования стока на элементарном водосборе казалось нам необходимым лишь для образности и для той части читателей, которой такой простой пример поможет легче увидеть особенности одного из основных свойств географических объектов, работающих как интеграторы. Может вызвать вопрос то, что при анализе формирования стока сопоставлялись лишь функции изменения дождя и расходов воды (на замыкающем створе) во времени и не учитывались потери на фильтрацию и испарение. Для анализа реального процесса формирования поверхностного стока их учет необходим. Это, конечно, усложнит анализ, но не настолько, чтобы изменить полученные результаты. Можно элементарный водосбор рассматривать как систему с тремя видами "выходов" или же, записывая функции испарения  $I(t)$  и инфильтрации  $F(t)$ , рассматривать их как "отрицательный дождь", изменяющийся сигнал "дождя" на входе в систему. Такой подход изменит конкретные результаты расчетов, но не изменит основные свойства географических объектов как интеграторов. Это важно иметь в виду и при построении конкретной ("портретной") модели.

Здесь уместно вернуться к некоторым вопросам внешних воздействий, и в частности к воздействию климата на географические системы. В предыдущем разделе (3. 13) были высказаны соображения в пользу того, что представления о непрерывном и в известном смысле абсолютном изменении климата вызывают затруднения в анализе отношений "воздей-

ствие — отклик”, так как нужно считать климат неизменным на некотором отрезке времени. Его длина, как это было показано выше, зависит от выбора анализируемого элемента системы. Если некоторый элемент существует в настоящее время, то это означает, что на отрезке времени, соответствующем возрасту, не было таких колебаний, которые изменили бы или уничтожили его. Теперь, после рассмотрения особенностей функционирования географических объектов как интеграторов, следует дополнить это положение еще одним правилом. Каждый импульс определенной силы и частоты вызовет отклик (т.е. он будет отмечен системой) только одной части географических объектов. Другая часть может “не заметить” воздействия на систему, так как эти системы будут или слишком малы, или слишком велики по отношению к данному импульсу (или его частотным характеристикам). Отсюда становится важным разделение географических объектов не только по их иерархическим уровням, но и по их относительным размерам. Мерой относительных размеров должны быть пространственные эквивалентные длины их структурной памяти ( $T_p$ ).

Заключив данный раздел, следует сказать, что при составлении географических прогнозов необходимо иметь в виду свойство географических систем как интеграторов. Объектами прогнозирования могут быть изменение состояний объекта (рост, равновесие, деградация), форма, кривая роста и длина структурной памяти.

### 3.15. Типы функционирования географических систем и превращения вещества и энергии

Анализируя свойства систем как интеграторов, мы уже останавливались на том, что имеются различные типы их функционирования. Классифицировать эти различия можно по-разному. Две такие классификации имеют определенный смысл и некоторую связь друг с другом. Прежде всего следует выделить типы функционирования системы по виду их продукции. Обычно выделяют гидрофункционирование, биофункционирование, литофункционирование, функционирование с преобразованием масс воздуха и др. В предыдущем разделе мы коснулись одного из свойств — гидрофункционирования, показав особенности работы системы как интегратора. Однако этот раздел (3.14) не следует рассматривать как специально описывающий гидрофункционирование. Естественно, гидрофункционирование включает в себя не только количественную трансформацию входного сигнала. Большого внимания заслуживают качественные изменения воды, ее превращения из атмосферной в воды поверхностного стока. Эти качественные преобразования свойственны и другим видам функционирования географических объектов. Естественно, самые сложные превращения веществ можно наблюдать в рамках анализа технологического функционирования географических объектов. Поскольку конкретный анализ систем не входит в нашу задачу, мы остановимся на них лишь в самом общем виде.

Каждый тип функционирования имеет свой собственный внутренний механизм: свой вход в систему, набор связей (некоторую подструк-



туру системы) между элементами, обеспечивающих прием, "временное хранилище" и передачу веществ и, наконец, свою систему выводных каналов. Поэтому второй вид классификации типов функционирования системы должен быть построен на различиях в строении этих каналов внутренних связей. При весьма большом их разнообразии типы механизмов легко объединяются в четыре группы.

1. Концентрированный сигнал по некоторому каналу (входу) поступает в систему в виде потока вещества и энергии, которые, проходя ряд преобразований (количественных и качественных), поступают на единый "концентрированный" выходной канал. Например, подземная река (входной сигнал) впадает в проточное подземное озеро (система), из которого вытекает река (выходной сигнал).

2. Концентрированный сигнал поступает в систему и выходит из нее в виде множества выходных сигналов. В качестве примера можно назвать дельту реки.

3. Множество различных входных сигналов (рассредоточенных выходных сигналов) превращается в концентрированный сигнал на выходе. Примером может служить водосборный бассейн.

4. Множество различных рассредоточенных входных сигналов преобразуется во множество различных рассредоточенных выходных сигналов. Типичный пример — биогеоценоз, функционирующий как система.

В действительности каждый из этих четырех типов механизмов раздельно не существует. Они действуют то одновременно, то последовательно как в пространстве, так и во времени. Создавая блок-схемы их внутреннего устройства, можно видеть, что выходные и входные сигналы вследствие их связей иногда можно объединять.

Так, уже говорилось выше, что фильтрацию в бассейне можно рассматривать как "отрицательный" дождь. Могут быть и другие преобразования схем, если они продиктованы удобствами анализа.

При всех видах функционирования и типах механизмов отдельные звенья систем работают как интеграторы. Однако не менее важными являются и те преобразования сигналов, которые нам хорошо известны из ряда примеров. Попробуем их увидеть на примере биофункционирования.

Если рассматривать природные географические комплексы для целей анализа их биофункционирования, то нельзя не видеть сложность строения той их части, которая объединяет все живое в единый блок (элемент геосистемы). Известно, что биоблок геосистемы сам является сложной системой, состоящей по крайней мере из трех подсистем различного иерархического уровня (мы опускаем здесь клеточный уровень анализа): 1) организмы, 2) популяции, 3) ценоз.

Если мы будем изучать реакцию природного географического комплекса на климатические изменения (входной сигнал), то в биоблоке импульс внешнего воздействия пройдет, переходя с одного иерархического уровня на другой. Он окажет воздействие на биопродуцирование: изменится объем биомассы и ее качество (так как может измениться соотношение различных видов живых организмов). Сопоставляя вход и выход, мы должны обратить внимание на то, что на входе мы имеем

импульс изменения тепла и влаги и набор питательных веществ, а на выходе — живое органическое вещество. Превращение входного сигнала здесь имеет вид биохимической реакции. И скорость прохождения сигнала будет другой. Стало быть, изменится представление и о "структурной памяти", и о "кривой насыщения". Они изменят вид не только из-за того, что в данном примере простое вещество на входе преобразуется системой в сложное, но и из-за некоторых особенностей передачи сигнала с одного иерархического уровня на другой.

Пусть в какой-либо конкретный год погодные условия сложатся так, что определенный вид растений не даст вообще плодов (семян) или значительно изменит интенсивность плодоношения. Этот высокочастотный импульс будет передан в систему популяции данного вида (на следующий иерархический уровень системы) как сигнал с определенной длиной структурной памяти. Для однолетних растений это будет близко к уничтожению популяции в определенных пространственных границах. Ее восстановление окажется возможным лишь за счет запаса семян или вегетативных частей растений, которые часто имеются в почве (своеобразная память о существовании на этой территории данной популяции в настоящем и, может быть, в прошлом). В противном случае потребуются длительные отрезки времени для ее восстановления за счет естественных процессов расширения ареала растений из смежных территориальных комплексов.

Передача этого уже трансформированного сигнала в систему более высокого иерархического уровня — ценоз — будет иметь вид нарушения трофических цепей, отношений в симбиозе и др. Естественно, что прохождение сигнала через этот уровень будет обладать своей спецификой. Может оказаться, что этот импульс приведет к сложным изменениям структуры ценоза. При других обстоятельствах эти изменения могут оказаться в разряде "инвариантных преобразований", так как могут и не найти отражений в данном и других видах функционирования геокомплекса.

Особого внимания заслуживает то, что эти преобразования сигнала внешнего воздействия осуществляются одновременно с другими видами функционирования, где и прохождение сигнала, и реакция географического комплекса на них будут совершенно иными. В частности, для гидрофункционирования тот же внешний сигнал (изменения погоды) может оказаться "слишком высокочастотным" и система не успеет на него отреагировать.

Естественно, что и понятия "структурная память", "кривая насыщения" приобретают для каждого вида функционирования свои смысловые оттенки. Так, "структурная память" ценоза — это память о формировании его отдельных элементов. Роль зон "синхронного добегаания" здесь выполняют разновозрастные элементы. Для растительности это часто совпадает с высотной ярусностью (например, для леса). Для системы ранга популяций функции структурной памяти выполняют также наиболее старые (но продолжающие генерировать данный вид) возрастные группы. Что же касается "кривых насыщения" или роста, то и они имеют здесь отличия, так как для каждого из уровней систем есть свои раз-



личия в зависимости от того, что мы будем считать выходным сигналом системы, подсистемы и ее блока.

При проведении прогнозно-географических исследований следует иметь в виду особенности различных типов функционирования и действующие в них механизмы превращения вещества и энергии, так как продуктивность системы и устойчивость ее функционирования являются одним из важнейших объектов прогнозирования.

### 3.16. Основные свойства географических объектов и их классификация для целей прогнозирования

В данной главе мы стремились обнаружить такие свойства объектов, которые были бы характерны для всех (или почти всех) типов географических объектов. Описывая их в некоторой логической последовательности, хотелось следовать от наиболее простых к наиболее сложным. Естественно, что отбор этих свойств складывался на базе того опыта, который приобрел наш коллектив в ходе многолетних исследований и размышлений о проблемах географического прогнозирования. Вероятно, другой коллектив основными назовет не описанные выше, а другие свойства или дополнит перечень свойств иными, пропущенными. Не хотелось бы сейчас закрывать круг "основных свойств" и считать это исследование законченным. Известно, что отделение основного от второстепенного — задача, имеющая отношение к цели, и поэтому она может и не иметь общего решения. Остановившись на данном перечне свойств, мы стремились подчеркнуть, что они могут и должны быть объектами прогнозирования.

В каждом отдельном случае, кроме той роли, которую сможет играть данное свойство в прогнозировании, мы стремились назвать параметры, описывающие данное свойство. Кроме того, там, где это было возможно, мы ввели (или назвали имеющиеся) меры для измерения этих параметров. Это преследовало несколько целей: методическую (дать представление о способах измерения), теоретическую (определить идеологию, связанную с данными свойствами и их измерением) и, наконец, организационную (показать, какие материалы могут понадобиться при их прогнозировании). Не последнее место среди них занимает то обстоятельство, что в зависимости от состава материалов нередко приходится выбирать и методы прогнозирования.

Поэтому полезно рассмотреть эти свойства и параметры под углом зрения возможностей и методов прогнозирования. Вероятно, следует перечислить (табл. 8) свойства и параметры объектов и высказать некоторые замечания в связи с необходимостью и возможностью прогнозирования.

Как видно из табл. 4, выделилось восемь основных свойств, которые названы в качестве возможных объектов географического прогнозирования. Однако из таблицы прямо не следует, как можно прогнозировать каждое из указанных свойств. Поэтому могут оказаться полезными некоторые пояснения, приведенные ниже.

1. Неоднородность географического пространства, разнообразие сос-



Таблица 8

Основные свойства географических объектов и описывающие их параметры

Свойства	Параметры
1. Неоднородность географического пространства	а) территориальная дифференциация б) признаковая дифференциация
2. Пространственная упорядоченность (структура и текстура пространства)	а) упорядоченность центральных мест б) упорядоченность пространства по соседству объектов в) размеры объектов г) формы объектов в плане д) ориентировка
3. Целостность географических объектов	а) структура б) тип функционирования
4. Упорядоченность географических событий во времени	а) временное соседство б) инвариант в) инвариантные изменения
5. Пространственно-временная структура размещения и эволюции географических объектов	а) структура б) длительность состояний в) размеры (в пространстве)
6. Непрерывность и дискретность географического пространства-времени	Элиасинг
7. Связь с окружающей средой и ресурсы устойчивости	Воспроизводство географических ресурсов а) тип взаимодействий б) состояние объектов в) тип функционирования г) кривая роста д) структурная память
8. Преобразование внешних воздействий. Взаимодействие объектов	а) соотношение пространственной и временной изменчивости

тава и размеров территориальных комплексов могут быть интересны в качестве объекта прогнозирования с многих точек зрения. Особенно это представляет интерес для долгосрочного прогнозирования. Большая степень дифференцированности территорий, ее многообразие могут рассматриваться как разнообразие возможностей разностороннего использования географических ресурсов и регулирования "механизмов" природопользования. Это разнообразие вызвано прежде всего сложностью пространственной структуры. Сложность — это трудности в управлении природопользованием, но и известная надежность функционирования системы в целом. В ходе естественной эволюции можно видеть противоречивые тенденции усиления и уменьшения степени дифференцированности. Скажем, морская равнина при выходе из-под уровня моря кажется относительно однородной. По мере ее поднятия вырастает ее расчлененность и начинает проявляться разнообразие природно-территориальных комплексов. Соответственно изменяется и характер приро-

допользования. При определенных тенденциях развития пространственная структура может упрощаться, а разнообразие признаков (набор типа объектов) и размеров территориальных объектов уменьшаться. Так, при выполаживании горного рельефа становится меньшим разнообразие элементов рельефа, а следовательно, уменьшается и дифференцированность природно-территориального комплекса. Пока мы можем наблюдать эти различия лишь при пространственно-географическом анализе. За срок прогнозирования с упреждением 20–30 лет можно ожидать изменения пространственной дифференциации за счет воздействия на почвенной и растительный покровы, на географические объекты, которые образуются в процессе реконструкции хозяйства или возникают на этапах освоения территории.

2. Упорядоченность пространства — это наличие пространственных закономерностей в размещении географических объектов, которые возникают в результате их взаимодействия и эволюции. Здесь мы должны особенно подчеркнуть свойства зональности, цикличности в расположении объектов различного типа и в противоположность им — пространственный хаос. Упорядоченность пространства возникает под действием порядкаобразующих потоков вещества и энергии. Наложение нескольких разнонаправленных потоков создает сетчато-мозаичную структуру пространства, предопределяет тот или иной рисунок или текстуру местности. В результате хозяйственной деятельности в связи с различиями технологий производства появляются новые центры влияния и перестройки пространственной структуры. Прогнозирование изменений во времени этих свойств может быть использовано для управления природопользованием и регионального планирования. Прогнозирование изменений указанных свойств потребует знания законов преобразования пространственной структуры под влиянием хозяйственной деятельности; необходимо также получить ответ на вопрос, как скоро меняется структура пространства и т.д. На отрезке времени в 25–50 лет эти изменения связаны с изменением почвенного и растительного покровов, а также хозяйственно-технологических и жилых построек, сети дорог и линий передач.

3. Свойство целостности для составления географических прогнозов важно в связи с необходимостью учета отношений "целого и части". Изменяя часть, можно изменить и целое. И даже небольшие изменения целого могут привести к существенному изменению отдельных частей. Объектом прогнозирования в этом случае является не только набор элементов (пространственная структура), но и характер связей между элементами. Выявление отношений части и целого для географии традиционно. Их анализ на уровне логических схем не вызывает особых затруднений. Что же касается количественных оценок связи "части и целого", целостности, устойчивости целого при изменении частей, то это вопросы, далеки от решения, хотя и находятся в центре внимания многих ученых.

4. Упорядоченность, или закономерность, временных изменений — центральный вопрос прогнозирования. Для объектов различных масштабов этот вопрос решен с разной степенью ответственности. Быстро



проходящие явления можно наблюдать в настоящее время. О возможностях их прогнозирования имеются различные суждения, однако более или менее точно известно, как можно определить вероятность наступления того или иного события. Нам пока еще лучше удастся ретроспективный анализ причин их наступления. Медленно меняющиеся события изучены главным образом с помощью методов палеогеографического анализа. Модели их реконструкций обычно детерминированы, но не имеют проработки более глубокой, чем создание логических схем. Как реконструкции, так и прогноз этого типа с трудом поддаются верификации.

5. Группа параметров, описывающих пространственно-временную изменчивость объектов в ближайшие годы, как нам кажется, станет предметом детальных исследований в географии. Длительное время географы не располагали аппаратурой для наблюдений за пространственно-временной изменчивостью объектов географического анализа. С развитием космических съемок земной поверхности такие средства появились. Теперь затруднения заключаются в том, что пока еще проводится мало синхронных с измерениями из космоса наземных исследований. По мере накопления материалов появятся и логические схемы, и различного рода модели, которые и будут заложены в методологию прогнозирования.

6. Учет одновременной непрерывности и дискретности географического пространства-времени позволит правильно интерпретировать данные о пространственно-временной изменчивости объектов, поможет несколько глубже рассмотреть проблему географических границ и реальности существования географических комплексов как целостностей. Эволюция географических объектов — это непрерывный и противоречивый процесс смены дискретных, "квантованных" отношений непрерывными, и наоборот. Возникновение любого нового объекта за счет полного или частичного замещения других всегда происходит с образованием границ определенного типа. Иногда можно наблюдать и обратный процесс "стирания" старых границ и возникновения новых в совершенно иной части пространства. Это также может служить объектом прогнозирования.

7. Наличие природно-географических ресурсов, их обогащение и истощение — центральный вопрос недавно возникшей "экологической проблемы". Конечность географических ресурсов неизбежно говорит о том, что существуют "пределы роста" их изъятия и потребления. Центральным вопросом прогнозирования этих свойств является определение сроков наступления локальных и глобальных "кризисов", дефицита того или иного ресурса или их совокупности.

8. При составлении географических прогнозов важное место будет занимать учет внутренних механизмов, объясняющих саморазвитие территориальных комплексов или раскрывающих сущность процессов типа "воздействие—отклик". При эволюции географических объектов, а также при направленном или случайном их изменении мы должны будем предсказывать результат этих изменений и возможные изменения самого "передаточного механизма", действующего в объектах. Предметом или объектом прогнозирования могут служить сроки наступления событий, их тип, а также предельная нагрузка на географические комплексы, которая может явиться причиной наступления смены.



В данной главе хотелось показать, что при всем многообразии географических объектов имеется ограниченное число общих свойств, типичных для большинства из них. Эти свойства могут быть описаны с помощью то простых, то сложных параметров. Многие из них в настоящее время неизвестны, и их необходимо получить при базисных (по отношению к прогнозу) географических исследованиях, которые необходимо специально планировать. Изучение некоторых из этих свойств нуждается в разработке новых методов измерения. Реальные географические объекты, состояние которых придется прогнозировать, будут обладать и своими собственными свойствами. Хочется надеяться, что их рассмотрение на фоне общих свойств географических объектов позволит глубже увидеть природу основных свойств и возможности их эволюции.

"Я хочу показать тебе тот вид причины, который я исследовал, и вот я снова возвращаюсь к известному и сто раз слышанному и с него начинаю, полагая за основу, что существует прекрасное само по себе и благое, и великое, и все прочее".

*Платон*

#### 4.1. Основания для выбора методов географического прогнозирования

Конкретные методы географического прогнозирования в будущем будут определяться целью прогнозирования: выбором тех параметров (преддукторов), значения которых должны быть определены на заданный прогнозный срок; свойствами тех географических объектов, которые определяют процесс изменения прогнозируемых параметров в настоящем и будущем (предикаторов); обеспеченностью и качеством материалов специальных и общих географических наблюдений. В настоящее время географы, приступившие к составлению прогнозов, как правило, необходимыми материалами специальных исследований не обеспечены, и им приходится работать с теми фактическими данными, которые были собраны специалистами для других целей и даже для других территорий. В этом случае в распоряжении прогнозиста — знания общих закономерностей развития природных и производственных комплексов и географическая логика. Но и такие знания могут иметь большую ценность, несмотря на то что они имеют приблизительный, подчас интуитивный характер. География к настоящему времени накопила большой объем знаний о природе, хозяйстве и населении. Было бы неправильным не использовать этот индивидуальный опыт отдельных ученых и коллективный разум науки в целом. Методы, которые в этом случае можно рекомендовать, могут быть объединены в группу методов качественного, или интуитивного, прогнозирования.

Число методов интуитивного прогнозирования велико. Все их разнообразие может быть сведено в три подгруппы: методы логического (морфологического) анализа, методы пространственно-временных аналогов и методы экспертных оценок.

В том случае, если в распоряжении исследователя имеется достаточно большой количественный материал, то для построения прогнозов можно использовать статистические методы: регрессионного анализа, анализа дискриминантных функций, информационного анализа. Они как бы продолжают идеи, заложенные в морфологическом анализе и в методе пространственно-временных аналогов, подкрепляя их статистической базой. Следует только напомнить, что отсутствие статистически обоснованных подтверждений наличия связей не может служить основанием для

опровержения самих гипотез, так как взаимосвязь между событиями далеко не всегда подтверждается относительно простыми статистическими расчетами. Порой вместо отказа от того или иного логического утверждения, к которому могут привести статистические расчеты, нужно лишь изменить аппарат математического описания.

Среди статистических методов широкое распространение получили методы определения вероятности событий и статистической экстраполяции. Первый из них оказывается единственным, когда не удается выявить значимые тенденции изменения явлений во времени. Второй предпочтительнее в том случае, если имеется некоторая направленность изменений значений параметров во времени — временной тренд. В статистических методах особое место занимает информационный анализ, который опирается на анализ условных вероятностей совместного наступления некоторых географических событий. Говоря о преимуществах статистических методов прогнозирования, важно подчеркнуть, что в них уже присутствуют оценки ошибок прогнозирования, и поэтому они имеют некоторое преимущество перед интуитивными методами.

И наконец, существует еще одна группа прогнозных методов, основанных на математическом описании тех или иных механизмов процессов, протекающих в природе в результате ее саморазвития, а также при воздействии на нее человека. Известно, что механизмы эти сложны и что наши представления о развитии природы под воздействием человека приблизительны. Они соответствуют уровню современных знаний. Поэтому и прогноз, основанный на математических моделях этого типа, не может не содержать некоторую ошибку. Величина и характер ошибок зависят от полноты учета взаимодействующих явлений. Важно также подчеркнуть, что модели этого типа опираются на физические, химические и другие естественнонаучные законы. Эту группу методов нередко называют методом математического моделирования. Мы избегаем такого названия, так как за последние годы понятие "моделирование" приобрело столь широкий смысл, что поглотило в себе и логические и статистические методы описания.

## 4.2. Методы интуитивного прогнозирования

Методы интуитивного прогнозирования, как уже указывалось выше, можно разделить на три подгруппы: методы морфологического анализа, методы аналогов и методы экспертных оценок.

### 4.2.1. Методы морфологического анализа

Методы морфологического анализа представляют собой логические операции. После их выполнения географический прогноз приобретает условный характер. Содержательной стороной этого вида анализа является разделение сложного события на части и установление связей, или "цепочек реакций", которые можно проследить внутри сложного явления, если оно является неустойчивым в результате саморазвития или внешнего воздействия. Прогнозирование в этом случае можно вести



в виде словесного описания событий будущего или с помощью рисунков или блок-схем.

*Пример.* Пусть нам предстоит сделать прогноз для последствий хозяйственной деятельности на территории, где предполагается развитие горнодобывающей промышленности. Предположим, что нам известно также, что разработка выявленного месторождения будет вестись открытым способом и в технологии производства предполагается обогащение по принципу флотации.

Все, кто когда-нибудь бывал на участках действующих карьеров горнодобывающей промышленности, без особого труда могут составить логическую схему последовательности событий. Однако описания одного специалиста будут отличаться от описания другого в зависимости от его опыта, квалификации и профессии. Вот одно из них.

При создании рудника возникает определенная природно-техническая структура территории. На месте природного ландшафта как минимум появятся карьер, поселок с подсобным хозяйством, обогатительная фабрика, система дорог, линии передач, система водоснабжения, система канализации, отвалы пустой породы, хвостохранилище. Горизонтальное размещение этих объектов будет определяться техническими, экономическими и санитарными условиями. Поэтому в каждом конкретном условиях пространственная компоновка объектов будет различна. И в общем случае между отдельными объектами могут оказаться разные природные объекты: горные, лесные, степные или заболоченные склоны с развитием многолетнемерзлых пород или без мерзлоты, с каменистыми или землястыми грунтами (подвижными или устойчивыми), участки пойм рек, русел постоянных или временных водотоков, берега озер или морей и др. Эта мозаика природных образований может изменяться в результате ненаправленного воздействия человека. В другом случае она может быть источником здоровья, местами кратковременного отдыха, служить естественными барьерами, преграждающими путь нежелательным последствиям хозяйственной деятельности человека, быть естественными рубежами, закрывающими "каверны" измененного ландшафта, повышать комфортабельность условий жизни человека. Между каждым из элементов, включенных в комплекс измененной и неизменной природы, могут быть бинарные или более сложные отношения. Они могут быть описаны в виде матрицы. Приведем схематический вариант такой матрицы, чтобы пояснить методику.

Предположим, что на залесенном склоне южной экспозиции будет заложен карьер глубиной 20–30 м. У основания склона на днище долины (в пределах той ее части, которая не заливается паводковыми водами), вне зоны влияния карьера, возникает поселок, а еще ниже — обогатительная фабрика. Отвалы пустой породы закладываются в распадки и эрозионные борозды на склоне; хвостохранилище находится ниже обогатительной фабрики на пойме. Таким образом, ограничимся в данном примере следующим набором элементов природно-производственного территориального комплекса:

- 1) залесенный малокаменистый склон, не измененный человеком;
- 2) карьер на склоне;
- 3) склонный шлейф сухой, малокаменистый;

4) поселок на склоне с подсобным приусадебным хозяйством; 5) пойма ручья; 6) русло; 7) хвостохранилище (на пойме); 8) дорога на склоне у карьера; 9) дороги на склоне вне карьера (типа карьер – обогатительная фабрика, карьер – поселок); 10) дороги на пойме у хвостохранилища; 11) дороги через русло (вброд); 12) бензозаправочная станция, расположенная на шлейфе; 13) топливный склад; 14) свалка, находящаяся на пойме ниже хвостохранилища.

Эти элементы можно членить еще и дальше в соответствии с целью составления прогноза и с той степенью точности, которая определена заданием при выборе объекта прогнозирования; бинарные отношения между этими элементами можно показать в виде матрицы или блок-схемы. Пусть на первом этапе нас интересует лишь установление наличия или отсутствия связи; тогда обозначим "1" – наличие прямой связи, а "0" – ее отсутствие. Матрица бинарных связей может иметь следующий вид:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
5	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
6	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
7	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
10	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
11	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
12	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Примечание. В матрице записаны "1" и "0" из предположения о воздействии элемента "строки" на элемент "столбец".

В рамках морфологического анализа каждое из бинарных отношений можно рассмотреть отдельно, например отношения между склоном (1) и карьером (2). Здесь целесообразно проанализировать всю последовательность возможных воздействий. Это можно сделать в виде поэтапного описания причин и следствий.

*Пример.*

1. Если создать карьер глубиной 30 м на склоне крутизной  $30^\circ$ , то возникнет площадка шириной около 50 м, и при протяженности фронта работ 100 м объем вынутой породы будет достигать 75 тыс. м<sup>3</sup> (при вертикальной задней стенке карьера).

2. В результате произойдут следующие изменения в природном ландшафте:

а) будет уничтожен лес на площади 6000 м<sup>2</sup>;

б) у задней стенки будет снижен уровень почвенно-грунтовых вод, в результате чего погибнет лес еще на части площади склона, примыкающей к стенке карьера;

в) изменение растительности ухудшит противозерозионные свойства территории, прилегающей к карьере, и поэтому с потоками воды после дождей и таяния снега на дно карьера будет прибывать некоторое количество грунта; необходимо предусмотреть меры против заносимости и затопления дна карьера;

г) дно карьера превратится в антропогенную водосборную воронку; отсутствие леса и рыхлого покрова грунтов приведет к тому, что уменьшатся потери на фильтрацию; при сильных дождях возможно затопление дна карьера и формирование русла временного водотока, вытекающего из карьера;

д) к карьере будут проведены дороги, что также приведет к уменьшению залесенной площади; вдоль дорог возможны дорожная эрозия и рост оврагов;

е) неизбежно возникновение вдоль дорог загрязненной территории: полосы осаждения пыли, потерь рудного и безрудного материала при его транспортировке, осаждение на почве и растительности продуктов сгорания дизельного и автомобильного топлива;

ж) вдоль дорог возможны антропогенные и пирогенные сукцессии растительности за счет интродукции видов, изменения режима увлажнения и освещения, а также изменения фауны;

з) в сухие периоды карьеры и дороги могут стать источниками запыления.

Этот неполный список изменений в цепи причин и следствий нет смысла продолжать, так как для каждого конкретного места набор причин и видов изменений может быть совершенно иным. Нетрудно, однако, видеть, что такой прогноз может быть сделан одним или несколькими специалистами. Характерной его чертой является условность, которая проявляет себя прежде всего в самой форме его составления: "если будет сделано то-то, то наступит некоторая, но всегда определенная реакция". Естественно, что следствие может и не наступить. Воздействие человека может не вызвать заметных последствий сразу же, так как для их проявления потребуется большой отрезок времени или увеличит-



ся интенсивность воздействующего усилия. Недостатком такого вида прогноза является то, что на базе только морфологического членения еще нельзя сказать о сроке наступления того или иного события. Но сам по себе перечень возможных, часто непредвиденных последствий позволяет проектировщику или человеку, осуществляющему долгосрочное планирование, увидеть возможные последствия намечаемого использования территории. Уже на самой начальной стадии он может воздержаться от планирования тех видов воздействия, которые могут вызвать нежелательные последствия, а затем, где это необходимо, предусмотреть защитные меры или провести специальные исследования для уточнения сроков наступления тех или иных событий. Пожалуй, в этой направляющей, постановочной функции морфологического анализа содержится самая рациональная его часть. Как мы увидим несколько позже, на базе морфологического анализа основываются все без исключения более сложные методы географического прогнозирования.

Морфологический анализ и прогноз могут быть основаны не только на выяснении отношений бинарных. Так как наряду с прямым воздействием в природе часто отмечается и опосредствованное воздействие, то в морфологическом анализе следует рассмотреть и более сложные взаимоотношения между элементами природно-производственного территориального комплекса (ППТК).

Для того чтобы увидеть возможности такого анализа, преобразуем матрицу 4.2.1. в блок-схему (рис. 36).

Многообразие связей, показанных на рис. 36, свидетельствует о бесконечно большом числе возможностей прямых и косвенных влияний. Из этой схемы можно выбрать в соответствии с целью прогнозирования конечное число "траекторий" возможного влияния. Эти траектории будут соответствовать цепным реакциям, возникновение которых предполагают Ю.Г. Саушкин и Т.В. Звонкова (подробнее см. в главе 1).

Рассмотрим одну из возможных цепочек — траекторию причин и следствий, возможных для данного вида ППТК.

Если в карьере ведется добыча руд сульфидной формации, то на обогатительной фабрике (бинарное отношение карьер — обогатительная фабрика) произойдет обогащение полезного компонента и сульфидов. Поскольку сульфиды обычно представлены арсенипиритом, то в "хвостах" (бинарное отношение обогатительная фабрика — хвостохранилище) накопится большое количество мышьяка. Обычно в период его создания хвостохранилище не залесено, поэтому ветер, дующий снизу вверх по долине, будет переносить на поселок пыль и песок, обогащенные мышьяком. Если эта пыль попадет на огороды и пастбища, то мышьяк может быть включен в цепи питания. У людей, проживших длительное время в поселке, может накапливаться в организме мышьяк. У старожиллов могут произойти изменения в организме, связанные со свойством ряда организмов (в том числе и человека) накапливать мышьяк, ртуть и другие вредные вещества. Прогноз, составленный на базе этой "траектории" воздействий, должен направить проектировщика, плановика, медика на выработку защитных мер и на предупреждение нежелательных последствий.

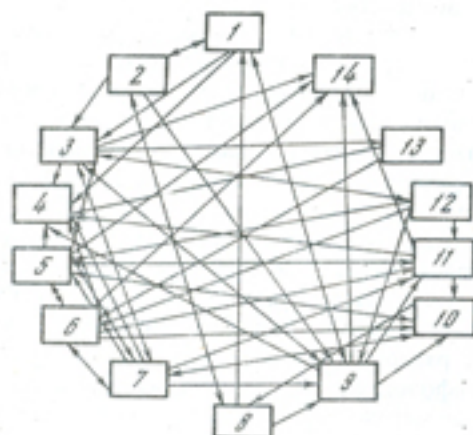


Рис. 36. Блок-схема двончных связей в геотехнологической системе, описанной матрицей

Процедура составления географического прогноза по методу морфологического членения включает следующие операции.

1. Выбирается географический объект, свойства которого в будущем (на определенный прогнозный период) должны быть определены.
2. Уточняется перечень прогнозируемых свойств (преддукторов).
3. На базе опыта географической науки в целом и прогнозиста-исполнителя в частности определяется взаимосвязь параметров в сложной системе отношений существующего в настоящее время географического объекта; при отсутствии необходимых сведений проводятся специализированные исследования; оценивается чувствительность выбранных параметров и характер возможных реакций на изменение внешних воздействий.
4. Составляется блок-схема, позволяющая увидеть возможности разделения объекта на более просто устроенные части, выделить замкнутые контуры взаимодействия, в которых могут существовать механизмы обратной связи.
5. Составляется сценарий изменения внешних воздействий на изучаемый объект на весь прогнозируемый срок; оценивается вероятности прохождения сценария; если она мала, то надо составить и конкурирующие сценарии.
6. Составляется перечень — прогноз возможных откликов на внешние воздействия; для этого на блок-схеме специально оцениваются все контуры прямых и обратных связей.
7. Делаются замечания о возможных побочных целесообразных и нежелательных последствиях воздействия на изучаемый объект и определяются предупредительные меры.

#### 4.2.2. Методы пространственно-временных аналогий

После проведения морфологического членения для уточнения ряда прогнозируемых параметров может быть использован метод аналогий. Метод географических аналогий широко используется в оценочных и некоторых других географических исследованиях. В частности, он открывает широкие возможности и для прогнозирования сроков наступления того или иного события, и для оценки размеров ожидаемых событий, но зато практически исключает возможность предсказания непредвиденных событий. Это связано с тем, что, когда уже выбрана территория-аналог, как правило, на ней уже произошел некоторый комплекс событий. Именно его-то и можно оценить при прогнозировании методом аналогий.

При использовании метода географических аналогий возможны два подхода — пространственный и временной. В первом случае мы ведем пространственный анализ и из множества территорий выбираем такую, которая больше всего похожа на ту, для которой составляется прогноз. Наилучшим вариантом территории (аналога) является та, которая в близких природных условиях располагается в той же ландшафтно-климатической зоне, обладает одинаковым геологическим строением, одинаковыми почвами и растительностью и испытывает на себе один и тот же тип антропогенных воздействий, свойственный тому же самому типу освоения территории, для которой составляется прогноз. Обычно территории — пространственные аналоги располагаются недалеко друг от друга и удобны для использования. Так, если нам следует прогнозировать сроком на 20–30 лет последствия хозяйственной деятельности человека в результате развития горнодобывающей промышленности, то следует в первую очередь обратить внимание на те ныне действующие рудники, которые уже ведут добычу в течение 20–30 лет. При прогнозировании последствий хозяйственной деятельности на 2000 г. необходимо сейчас выбирать территории-аналоги, на которых рудники возникли в начале 50-х годов. Для южной части Сихотэ-Алиня довольно типичной в этом отношении является группа рудников Кавалеровского района Приморского края.

Чтобы увидеть, какие изменения произошли с природой в связи с добычей руды, необходимо сравнить антропогенно измененную территорию с относительно нетронутой. И здесь в первую очередь становятся очевидным некоторые трудности прогнозирования методом аналогий, так как часто эти аналогии оказываются неполными хотя бы уже потому, что месторождения "сидят" на первичных геохимических аномалиях, а нетронутые девственные территории расположены на геохимически фоновых участках. Учитывая это, можно сказать, что аналогия будет справедлива в том случае, если геохимические различия территории-аналога не придают течению природных явлений такого своеобразия, которое ставит под сомнение проведение аналогий. Здесь приходится нередко подкреплять метод аналогий методом морфологического анализа, составляя логические схемы, а также определять, насколько важны для последующего прогноза частные геохимические или иные различия. Чем дальше друг от друга находятся в природном отношении территории, тем больше поправок требует использование метода аналогий, для



которого необходимо сохранение принципов природопользования на прогнозируемой территории.

Близкие требования предъявляются и к методу временных аналогий. Как уже говорилось выше, академиком К.К. Марковым и его учениками предлагается для территории СССР в качестве времени, более теплого, чем современная эпоха, период 1000 лет назад, а для относительно холодного времени — эпоха 20 000 лет назад. Для территории СССР на указанное время были составлены мелкомасштабные схемы распределения ландшафтов определенного климата. Сравнивая эти карты с картой типов ландшафтов текущего времени, можно получить представление о главных тенденциях изменения ландшафтов при потеплении и похолодании климата. Мелкий масштаб этих карт не может рассматриваться как недостаток метода. Это скорее его достоинство. В крупном масштабе для каждой территории такие карты можно составить далеко не всегда (из-за отсутствия или плохой сохранности необходимых данных), и мелкомасштабные карты — это пока единственный возможный вариант использования метода временных аналогий. Можно видеть и другое их преимущество. Если на основании анализа этих карт можно выявить тенденции изменения крупных регионов при изменении климата (естественном или связанном с антропогенным воздействием), то далее любой квалифицированный географ, зная структуру пространственно-временной связи элементов ПТК более низкого ранга, может на базе логико-географического анализа составить заключение о направленности их развития для ПТК практически любых рангов. Так, методы аналогий могут послужить основанием для интуитивного прогнозирования на основе морфологического анализа, и наоборот.

У метода временных аналогий, как и у любого метода, есть некоторые ограничения. Одни из них заключаются в том, что метод исторических и палеогеографических реконструкций обладает известными неопределенностями, которые вытекают из принятых в этих научных направлениях правил. Следует иметь в виду, что реконструкции климата базируются на некоторых приемах восстановления растительности (спорово-пыльцевой и диатомовый анализы). Восстановление растительности на какой-то отрезок времени представляет собой операцию, логически напоминающую составление прогноза, т.е. здесь имеется определенная вероятность ошибки, величину которой палеогеографы обычно не указывают. Поэтому прогноз событий здесь должен иметь приблизительный характер, а его точность не может превосходить точности самой реконструкции.

Второе ограничение, которое также следует иметь в виду, — это то, что неопределенность реконструкций возрастает по мере удаления от современности в прошлое. Это вызвано тем, что определения возраста эпохи-аналога всегда имеют некоторую ошибку. Причем ошибка должна удвоиться, так как она может принимать в отдельных случаях то положительный, то отрицательный знак. Отрезок времени, равный удвоенной ошибке, — это то время, за которое проведено осреднение существования ландшафтов, изображенных на карте. Предположим, мы имеем возрастную привязку эпохи с точностью  $20\ 000 \pm 500$  лет. Ошибка здесь

в 500 лет, а период осреднения данных, равный удвоенной ошибке, составляет 1000 лет. Длина этого периода осреднения накладывает ограничения на возможность использования палеогеографических данных для отрезков времени, меньших, чем эта удвоенная ошибка. Если срок упреждения при прогнозировании выбран нами в 20–50 лет, то осреднение данных за счет ошибки определения возраста в 1000 лет охватит около 10–100 периодов прогнозирования и опираться на такой аналог нецелесообразно. Следует также иметь в виду, что фактический материал, на котором построены реконструкции, в разных точках наблюдения может обладать той же степенью разновременности, что и ошибка в определении возраста. Это, в свою очередь, явится причиной пространственных искажений объектов, изображенных на карте, так как различные по возрасту точки пространства на карте выполненных реконструкций могут быть приняты как одновременные. Когда мы имеем дело с реконструкцией какого-то определенного времени (например, конца верхнего плейстоцена), то этот отрезок времени мог иметь продолжительность 1000–10 000 лет, а может быть, и более. Нужно отдавать себе отчет в том, что означает карта осредненных состояний природы на таком большом отрезке времени. Ее сравнение с картой ландшафтов, для формирования которых требуются десятки–сотни лет, может иметь такой же результат, что и при сравнении высокочастотных и низкочастотных колебаний, период которых отличается на два порядка.

И все же метод пространственных и временных аналогий в географическом прогнозировании может играть важную роль, как один из методов интуитивного прогнозирования.

Процедура прогнозирования методом пространственно-временных аналогий должна, таким образом, включать следующее:

- 1) обоснование выбора территории аналога (пространственной или временной аналогии);
- 2) определение меры сходства территории-аналога с той, для которой осуществляется прогнозирование;
- 3) корректировка методами морфологического анализа географической структуры территорий-аналога по тем компонентам, для которых устанавливаются различия;
- 4) сопоставление географической структуры изучаемой территории, для которой составляется прогноз, и территории-аналога в целях выявления степени совпадений направленности (тренда) в предполагаемых изменениях;
- 5) составление географического прогноза, который может иметь вид карты, блок-схемы или описания.

#### 4.2.3. Методы экспертных оценок<sup>4</sup>

В рамках группы методов прогнозирования на уровне научной интуиции метод экспертных оценок занимает особое место. Если морфологический анализ и метод пространственно-временных аналогий опираются на науч-

<sup>4</sup> Подраздел написан при участии М.И. Невжского.



ную квалификацию одного ученого или группы совместно работающих и имеющих близкие точки зрения на предмет исследования специалистов, то метод экспертных оценок предполагает поиск истины в столкновении различных, иногда диаметрально противоположных точек зрения. Коллектив, участвующий в проведении экспертизы, создается только для нее. Отдельные участники экспертизы могут встречаться и не встречаться друг с другом. Важно, что организаторы проведения экспертизы специально разработанными приемами пытаются из разноречивых суждений о предмете экспертизы (в нашем случае о будущем того или иного географического объекта) получить более или менее достоверное мнение. Если в двух предыдущих методах суждение о будущем — это суждение одного эксперта, то здесь мы имеем уже групповое суждение — точку зрения группы экспертов.

Процедуры проведения экспертиз известны. Они имеют уже давнюю историю. В рамках этой монографии хотелось бы обратить внимание на некоторую их специфику в связи с составлением географического прогноза. Региональный географический прогноз обладает рядом отличительных черт по сравнению с теми, которые могли бы стать и становиться предметом экспертной оценки. Перед руководителями экспертизы на первом этапе возникает необходимость ограничения территории, выбора масштаба исследования — тех элементарных операционных единиц, для которых должен будет составляться прогноз на заданный срок упреждения. Если границы территории и срок упреждения могут быть избраны относительно произвольно и в соответствии с поставленной целью, то выбор операционной единицы сам по себе должен быть предметом экспертной оценки.

Вторым этапом в проведении экспертизы будет подбор состава экспертов. Следует иметь в виду три категории возможных участников: специалисты-географы, хорошо знающие территорию, специалисты-географы, хорошо знающие проблему, и специалисты-негеографы, знающие территорию или проблему. Состав экспертов — важная часть экспертизы. От него зависит, будет получено одно или другое решение. В настоящее время мы знаем два вида комплексных географических исследований: исследования, проводящиеся специалистами-комплексниками (например, ландшафтоведами), и исследования, проводящиеся группой специалистов-отраслевиков. Первый путь простой, так как эксперт сам увязывает результаты исследований для получения ответа на поставленные вопросы. Второй путь — сложный, потому что для увязки стыков (смежных идеологий, языка, результатов исследований и др.) обычно трудно найти специалиста, обладающего широкой эрудицией. Включение в состав группы экспертов специалистов общих профилей — "комплексников" и "отраслевиков" — приведет к тому, что они могут дать неоднозначные ответы на общие вопросы и не знать ответа, выходящего за рамки его специализации.

В нашей стране географов-исследователей, являющихся специалистами по каждому конкретному району, немного. Чем меньше район по размерам, тем труднее найти специалиста, хорошо знающего конкретный район. Это накладывает известные ограничения на возможность



привлечения к экспертизе большого числа ее участников, которых можно было бы считать группой экспертов. Поэтому, кроме обычных для проведения экспертных оценок процедур, требуется проведение некоторой дополнительной организационной работы.

Как известно, центральным звеном экспертной оценки и третьим этапом в проведении экспертизы является составление вопросника или анкет. Руководитель (лидер) экспертизы и комиссия (или секретариат), которую за рубежом называют группой функционеров, должны иметь ясную цель проведения экспертизы. В качестве цели, имеющей промежуточное значение мы уже называли выбор операционных единиц, для каждой из которых в рамках выбранной территории должен быть составлен прогноз. Поскольку цели прогнозирования и объекты могут быть различными, то и вид анкетирования вряд ли может быть единым.

Анкеты содержат обычно несколько групп вопросов. Первая из них предполагает получить ответ на вопросы, где и когда (в рамках изучаемого региона) наступит некоторое строго определенное событие (например, выбросы производства превысят нормы допустимых концентраций токсичных веществ или появится дефицит в том или ином виде ресурсов и т. п.).

Вторая группа вопросов связана с определением цепи последовательных изменений в структуре и функционировании географических объектов после проведения того или иного мероприятия. Например, организаторов экспертизы мог бы заинтересовать вопрос о том, что произойдет в структуре и функционировании природных территориальных комплексов в полосе шириной 20 км, прилегающей к БАМу, через 20 лет после начала ее эксплуатации, или вопрос о том, какие изменения структуры и функционирования природно-технических систем произойдут на территории размещения комплекса предприятий горнодобывающей промышленности после того, как добыча полезного ископаемого прекратится в связи с исчерпанием ресурса, и др. Этот круг вопросов должен быть направлен на определение возможных нежелательных последствий нерегулируемой эволюции природы или итога неразумного (или, наоборот, разумного, сознательного) воздействия человека на окружающую среду.

Третья группа вопросов может быть связана с определением причин и тенденций изменения территориальных географических комплексов. На некоторых территориях в результате неразумных действий или специально выбранной экономической стратегии ухудшаются условия жизни людей, скудеет природа, мелеют реки, уменьшается численность популяций животных и т.д. Иногда причина этих изменений очевидна и является единственной. В другом случае действует множество противоположных факторов и причины не столь очевидны. Тогда-то и может оказаться полезной экспертиза.

Четвертая группа вопросов может иметь конструктивную направленность. В частности, можно и нужно спрашивать экспертов о том, что необходимо сделать для исключения того или иного нежелательного последствия, какова будет экономическая эффективность того или иного преду-

предительного мероприятия, из каких элементов она будет складываться и др. Естественно, что в каждой из этих четырех групп вопросов должны быть и такие, которые позволят определить ход и направление не только природных, но и социально-экономических явлений, протекающих на изучаемой территории.

Не исключено, что в порядке подготовки ответов на поставленные вопросы, особенно на той стадии, когда комиссия примет решение о необходимости уточнения позиции того или иного эксперта, для проведения этой большой работы потребуются определенное информационное обеспечение. Его создание потребует и определенной квалификации руководителей экспертизы, и определенного времени. Это будет четвертым этапом в проведении экспертизы. Во времени этот этап должен частично опережать подготовку вопросника, так как часть информационных материалов должна быть готова к моменту рассылки анкет. Но особенно важно иметь его в период предварительной обработки собранных материалов.

Обработка материалов экспертизы — пятый, и заключительный, этап проведения экспертизы — заканчивается составлением прогноза.

В проведении третьего, четвертого и пятого этапов имеется и определенная географическая специфика. Главное в ней, пожалуй, географические карты. Они могут служить и информационным обеспечением экспертизы, и своеобразным ее "вопросником", и, конечно, ее результатом. Карта-прогноз будет обязательно итогом всех или почти всех видов прогнозно-географических работ. Если карта как вид информационного обеспечения вряд ли вызовет у кого-либо возражение (большинство географов примут карту и как итоговый документ), то "карта-вопросник" в рамках экспертных оценок никем не обсуждалась. А ведь здесь важным является ее содержание и оформление, а также масштаб. В качестве примера "карты-вопросника" можно назвать бланковую карту. Если она будет приложена к анкете, в последней могут появиться такие ее пункты: проведите территориальную границу области проявления таких-то (строго определенных) последствий, например границу засоления почв при таком-то уровне интенсивности орошения земель. В анкете могут быть и такие пункты: нарисуйте на карте типы оптимального размещения природных технологических объектов для оптимального использования природных ресурсов; сопоставьте присланные Вам карты и укажите наиболее благоприятное место для организации однодневного отдыха трудящихся, укажите, каков он будет к такому-то году. В этой области географических исследований сделано пока еще немного.

Опыт нашей работы показал, что главными материалами для проведения географических экспертиз должны быть серии карт следующего содержания:

- 1) серия, раскрывающая экономико-географическое положение;
- 2) серия, характеризующая природные возобновимые ресурсы;
- 3) карты экономико-географической характеристики территории;
- 4) карты промышленных источников загрязнения, а также использования удобрений и пестицидов;



- 5) карты физико-географического районирования, а также для отдельных компонентов природы и природно-территориальных комплексов;
- 6) карты земельных угодий;
- 7) карты этапов освоения и историко-географические карты.

На базе серий этих карт должна быть создана синтетическая карта современного состояния природной среды, на которой одновременно должны быть показаны и главные агенты, ее изменяющие.

В обработке "карт-ответов", полученных в ходе экспертизы, главное место может занимать степень совпадения однозначных контуров, выделенных на карте различными экспертами при оценке качества состояния территории или времени наступления того или иного события. Оценка точности проведения границ контуров различного типа обладает некоторой субъективной и объективной ошибкой [Симонов, Невяжский, 1978]. Специалистам известно, что проведение границ географических объектов определенного ранга вызывает некоторые трудности, которые, в свою очередь, зависят от таксономического уровня территориального комплекса и масштаба карты. Так, особенно трудно провести границы природно-климатических зон на картах крупного масштаба. Опыт, осуществляемый для изучения возможностей использования экспертной оценки для проведения границ природно-территориальных комплексов различных рангов, показал, что на карте мелкого масштаба несогласованность в мнениях отдельных экспертов увеличивается при переходе от высоких таксономических уровней к низким.

По картам может быть проведена оценка качества природной среды той или иной территории. Для сведения этих материалов, полученных от различных экспертов, вероятно, целесообразно составление определенных матриц, где каждая строка с помощью группы параметров будет описывать тот или иной географический объект ранга выбранной для прогноза операционной единицы. Дальнейшая процедура сравнения матриц, полученных от различных экспертов, может быть проведена с использованием статистики (определение средних, дисперсий и других статистик).

Географический прогноз может иметь вид карт. Например: 1) экономико-географическое положение региона к заданному для прогнозирования году; 2) набор важнейших региональных народнохозяйственных планов и программ; 3) тенденции развития существующих хозяйственных структур и систем поселений во времени и пространстве; 4) тенденции развития внепроизводственных сфер деятельности; 5) суммарные изменения природной среды (покомпонентные и в целом) к заданному году под влиянием реализаций событий, указанных в предыдущих пунктах; 6) рекомендации (в форме карт и таблиц) для корректировки директивных или перспективных планов по экономическому и экологическому критериям.

Поскольку в системе экспертной оценки может быть проанализировано несколько экономических стратегий воздействия на природный потенциал территории, то естественно, что каждому из выбранных вариантов должен соответствовать свой собственный прогноз. И только в этом смысле он может быть многовариантным.



Экспертные оценки в географическом прогнозировании могут выступать в виде заключительного этапа при прогнозировании с помощью морфологического анализа территориальных объектов и путем выбора территории – пространственно-временного анализа. В свою очередь, итоги проведения экспертиз могут быть основанием для постановки специальных прогнозно-географических исследований с последующим составлением прогноза на базе количественных оценок.

Процедура составления географических прогнозов методом экспертных оценок включает следующие этапы:

- 1) учреждение организатора и комиссии для проведения экспертизы;
- 2) выбор территории, операционной единицы прогнозирования, определение масштаба прогнозных карт и сроков упреждения;
- 3) разработка системы информационного обеспечения экспертизы;
- 4) составление анкеты;
- 5) утверждение группы экспертов;
- 6) рассылка анкеты;
- 7) предварительный анализ полученных ответов и дополнительное анкетирование;
- 8) обработка материалов и составление прогноза.

### 4.3. Количественные методы прогнозирования

#### 4.3.1. Статистические методы<sup>1</sup>

Статистические методы прогнозирования обладают различной степенью сложности. Бывают и относительно простые их разновидности, и достаточно сложные, опирающиеся на развитый аппарат теории вероятности и теории случайных процессов. Общей их особенностью является то, что все статистические методы опираются на довольно большой объем количественных, а иногда и качественных данных. В основании этих данных лежит определенная процедура их сбора (процедура измерений), которая обычно содержит некоторую ошибку. Кроме того, все природно- и хозяйственно-географические объекты обладают определенной изменчивостью свойств в пространстве и во времени. Поэтому число необходимых измерений зависит от точности наблюдений и от степени изменчивости свойств изучаемых объектов. Все выводы, которые могут быть получены на основании статистических расчетов, тоже содержат некоторую ошибку, связанную с объемом выполненных наблюдений. Поэтому в статистических построениях обычно определяют некоторый доверительный интервал значений изучаемого параметра. В основе статистических построений заложено представление о том, что при большом числе повторений измерений в изучаемом объекте раскрываются некоторые его устойчивые свойства ("частотные спектры свойств"). Одни из них повторяются часто и выявляются даже при малом объеме измерений (при малом объеме выборки), другие проявляются редко, и для их выявления объем выборки должен быть достаточно большим.

Статистические данные обычно опираются на представления о случайном характере проявления тех или иных свойств объектов. Но это относится к способу получения характеристик. Предположим, мы из-

<sup>1</sup> Подраздел написан при участии В.И. Кленова.

меряем температуру воды в некоторой точке водного объекта (водохранилища) в 7 ч. утра 11 сентября 1978 г. Конечно, одна точка в пространстве и один срок наблюдения по отношению ко всему пространству, которое занимает изучаемый объект, можно рассматривать как сведения достаточно случайные, так как другой специалист мог бы произвести свои измерения в другой точке пространства и в другой момент времени. Однако "случайность" этого измерения относится к выбору места и времени наблюдения. В самом же значении измеренного параметра есть и "причинная обусловленность", так как в каждом конкретном случае существуют определенные причины (солнечная радиация, потери на испарение и др.), которые обусловили то или иное значение измеренной температуры. Если знать эти причины с необходимой точностью, то температуру можно и рассчитать, не производя измерений. Статистический метод опирается на сам факт наблюдения, и только после этого с помощью некоторых процедур проверяется гипотеза причинной обусловленности измеренного параметра. Статистические методы относительно просты в измерительной стадии, но нередко требуют затем значительных расчетов и использования ЭВМ с большим объемом памяти и быстройдействием.

Сбор статистических данных планируется, опираясь на логические знания о свойствах предмета, т.е. на данные качественного анализа объектов. Статистический анализ может количественно обосновывать определенные части морфологического анализа и прогноза или метода отыскания пространственно-временных аналогий. При прогнозировании методом экспертных оценок статистические методы позволяют выявить наиболее вероятное мнение по интересующему прогнозистов вопросу. Статистические методы могут иметь, как мы увидим ниже, и самостоятельное значение при прогнозировании. И наконец, статистические методы нередко используются при отыскании некоторых параметров, которые в дальнейшем необходимы для определения параметров в детерминированных (аналитических) моделях.

Наиболее простым методом статистического прогнозирования является метод анализа кривых распределения. Его суть заключается в установлении вероятности того или иного события. Если мы располагаем достаточно большим числом измерений, то можно построить кривую распределения плотности вероятностей, вид которой приведен на рис. 37.

При прогнозировании значения  $x_1$  по кривой распределения плотностей вероятностей определяется вероятность встречаемости  $x_1$  в данном ряду наблюдений. Эта вероятность является основанием для прогноза. Пусть в нашем примере  $p(x_1) = 0,3$ ; тогда можно говорить о том, что за достаточно большой отрезок времени в трех случаях из десяти будет наступать событие  $x_1$ . Но при этом нельзя сказать, наступит ли это событие в следующем году или вообще в какое-то строго определенное время. Такой прогноз широко используется в ряде отраслевых географических прогнозов (в гидрологии, климатологии, океанологии). Он оказывается достаточным тогда, когда требуется оценить экстремальные значения параметров. Например, для целей водоснабжения важно оценить вероятность наступления засушливых лет, а для устойчивости работы защит-

ных сооружений (против наводнений, лавин, селей и т.п.) надо знать максимальные значений явлений и вероятности их наступления). Нередко оказывается необходимым и получение наиболее часто повторяющихся значений изучаемого параметра.

На этом примере хорошо видно, что метод прогнозирования оказывается тесно связанным с определенным назначением прогноза и характером материалов, имеющихся в распоряжении прогнозиста.

К методу анализа кривых распределений достаточно близок метод анализа условных вероятностей. В основе их анализа, как известно, лежит



Рис. 37. Кривая плотности распределения вероятности значения параметра  $x$

представление о том, что некоторые события наступают одновременно или наступление событий одного вида вызывает наступление событий другого вида. При этом события проявляют себя как независимые в одном случае или как зависимые в другом. Обычно в таких случаях рассматривается система случайных величин, в которую входят две, три или сколько угодно величин. Для анализа вероятностей здесь строится (а чаще вычисляется) поверхность двух-, трех-,  $n$ -мерного распределения. Функция распределения здесь уже приобретает более сложный вид. Так, в случае совместного анализа двух случайных переменных ( $x$  и  $y$ ) функция распределения величины  $x$  (или  $F(x, \infty)$ ) примет вид

$$F(x, \infty) = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy,$$

а плотность распределения системы двух случайных величин

$$f(x, y) = f(x) f(y | x).$$

Плотность распределения системы независимых случайных величин равна произведению плотностей распределения отдельных величин, входящих в систему.

При прогнозировании случайных величин, связанных таким образом, что появление одной величины меняет вероятность появления другой, используют расчеты условной вероятности одной из них. Вероятность совместного наступления двух событий в этом случае равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого (при условии, что первое из них уже наступило):

$$P(x, y) = P(x) P(y | x).$$

В ряде случаев удобнее для прогнозирования взаимосвязанных величин использовать корреляционный и регрессионный методы прогнозирования. Обычно они используются тогда, когда одну из величин измерить относительно легко, а для измерения другой требуются значительно большие организационные усилия. Так, в гидрологии, зная уровень реки в одной из точек, можно легко рассчитать расход воды (если связь между



ними установлена) и, прогнозируя изменение уровня воды, прогнозировать расходы воды. Для прогнозов этого вида сначала устанавливают степень взаимосвязи между двумя или большим числом величин с помощью вычисления значения парной корреляции, а в случае большого числа переменных — и множественной. Высокие значения коэффициента корреляции (в случае нелинейной связи корреляционного отношения) позволяют использовать эти связи при прогнозировании. Высокие значения связи принято считать в случае, если коэффициент корреляции  $r_{xy} \geq 0,7$ . В этом случае одним из методов вычисляется уравнение регрессии, которое и используется в дальнейшем для целей прогнозирования. Относительно простые соотношения дают линейные уравнения связи типа

$$y = ax + b.$$

Если связи между величинами  $x$  и  $y$  нелинейные, чаще всего находится некоторая степенная зависимость вида

$$y = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_{n-1}x + a_n.$$

Сам вид аналитического выражения не имеет принципиального значения, так как записанные полиномом отношения используются лишь для расчетов (прогнозов) и не обязаны раскрывать механизмы в отношениях между параметрами. Всегда следует помнить, что статистические показатели связей сами по себе, как бы высоки они ни были, не могут служить доказательством наличия или отсутствия связи между двумя переменными.

Статистические методы, основанные на анализе регрессии и корреляции, как бы продолжают логический анализ, в основе которого лежат наблюдения, позволяющие увидеть системы взаимосвязей и взаимозависимостей. Можно также выделить группу статистических методов, усиливающих и повышающих достоверность пространственно-временных аналогий. В логическом основании этих методов прогнозирования, как правило, используется арсенал средств, разработанных при проведении типологических и региональных разделений территории. Как известно, типологический анализ территорий направлен на выявление тех черт сходства, которые возникли у природно-территориальных комплексов (ПТК) в процессе их становления. Назовем это сходство генетическим. Генетически сходные территории могут быть использованы при прогнозировании методом аналогий. Региональный анализ, как известно, может быть основан и на методах районирования, в которых центральным является способ выявления особенного, неповторимого, присущего только выделенному району. Районирование накладывает как бы ограничение на использование метода при прогнозировании. Имея карту различий территориальных объектов, проводя аналогии, мы должны при прогнозировании логически обосновать возможность сравнения объектов, находящихся в разных физико-географических районах. Таким образом, наличие карты районирования ставит прогнозирование методом аналогий в более строгие рамки. Районирование подчеркивает также территориальную организацию природных объектов. Статистические методы широко используются в настоящее время для

анализа сходства и различий территориальных объектов. Методы определения сходства находят применение и для построения классификации. Они широко разработаны для биологических, геологических и медицинских целей.

Несмотря на большое многообразие конкретных приемов определения степени сходства двух или множества объектов, всегда выбирается некоторая строго определенная мера. И от способа выбора этой меры получается тот или иной результат.

Приведем несколько примеров. Наиболее простой случай определения степени сходства с помощью меры — евклидово расстояние — был описан выше, в разделе 3.4.

Примеры сходства могут быть построены и иными способами. Один из обзоров этих методов приводит в своей монографии Н. Бейли [1970]. В ней рассматривается несколько методов определения сходства на основании учета числа общих и несовпадающих свойств.

В ряде случаев сравнения затруднены тем, что свойства, характеризующие территорию, обладают пространственно-временной изменчивостью. Тогда сравнение двух объектов проводится не с помощью двух-трех параметров, а при сопоставлении кривых распределения этих параметров или же методами сравнения поверхностей множественных распределений. Можно считать, что два объекта похожи друг на друга, если кривые распределения описывающих их параметров совпадают. Меры различия и сходства кривых распределения описываются в статистических руководствах и учебниках. Наиболее часто используются критерии согласия Колмогорова ( $\lambda$ ) и Пирсона ( $\chi^2$ ).

Метод выбора территорий-аналогов может быть видоизменен, если перед исследователем открываются некоторые возможности выбора не одного, а целой группы или даже нескольких групп природно-территориальных комплексов. В этом случае сравнительно легко уточняется круг параметров, по которым возможен выбор территории-аналога. При сравнении объекта с несколькими группами территорий-аналогов математическая задача может быть сформулирована так, чтобы определить, к какой группе природных объектов может быть отнесен изучаемый природно-территориальный комплекс. Для решения этих вопросов может использоваться аппарат дискриминантного анализа. Таким образом, целая группа статистических методов подкрепляет и объективизирует составление прогноза методами пространственно-временных аналогий.

Среди методов статистического анализа, подкрепляющих прогнозирование методами аналогий и установления связей между свойствами объектов, следует назвать и методы информационного анализа. В основе использования информационного анализа лежит представление о том, что два взаимосвязанных явления могут встречаться совместно в пространстве и во времени и что различные вероятности их совместного появления могут быть оценены через условную информацию. Географический объект рассматривается как сложная информационная система, находящаяся в одном из множества состояний. Каждый элемент этой сложной системы (элементарная система) обладает некоторой ве-



Таблица 9

Вероятности ( $p_i$ ) наступления среднесуточных температур

Температура	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x$
Вероятность наступления данных значений температур	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p$

роятностью появления. Если эти вероятности известны, то количество информации, содержащейся в сообщении о том, что то или иное состояние наступило, подсчитывается на основании анализа энтропии сложных систем. В соответствии с основными положениями теории информации принимается, что количество информации о возможном состоянии равно энтропии этой системы ( $H$ ):

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i,$$

где  $p_i$  — вероятность появления каждого из возможных состояний системы. Пусть мы имеем некоторый географический объект, состояние которого можно описать распределением потока тепла и атмосферных осадков в течение некоторого отрезка времени. Предположим, что среднесуточные температуры в течение периода наблюдений могут принимать значения  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{12}$ , а соответствующие вероятности наступления этих температур можно записать в виде табл. 9.

Известно, что

$$\sum p_i = 1.$$

Величина энтропии  $H$

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

характеризует некоторым образом состояние системы. Когда температура не меняется, то имеется лишь одно состояние  $x = \text{const}$ ,  $p = 1$  и  $H(x) = -(1 - \log_2 1) = 0$ ; другой крайний случай: когда система обладает самым большим разнообразием состояний, сменяющих друг друга, тогда вероятности их наступления равны между собой:

$$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n = \frac{1}{n},$$

отсюда

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n.$$

Если состояние географической системы определяется не одним, а двумя параметрами, то их совместное распределение может быть определено табл. 10.

Нетрудно понять, что табл. 10 представляет собой таблицу вероятностей совместной встречаемости двух систем параметров. Ее можно распространить и для любого числа параметров, необходимых для описания географической системы. Из теории информации известно, что если эти два параметра независимы, то энтропия объединенной системы будет



равна сумме энтропий этих двух параметров. Это можно записать в виде

$$H(x, y) = H(x) + H(y).$$

Если же параметры зависят друг от друга, то энтропия объединенной системы будет больше на величину условной энтропии, которая в смысловом значении эквивалентна условной вероятности

$$H(x, y) = H(x) + H(y/x).$$

Пусть у нас имеется объект, для которого соотношение вероятностей значений среднесуточных температур ( $x$ ) и среднесуточных сумм атмосферных осадков ( $y$ ) задано табл. 11.

Тогда условные вероятности события  $p(y/x)$  соответственно будут

$x_i \backslash y_j$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$y_1$	0	$\frac{0,1}{0,4}$	$\frac{0,1}{0,3}$
$y_2$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,2}{0,4}$	0
$y_3$	$\frac{0,2}{0,3}$	0	$\frac{0,2}{0,3}$

Условная энтропия  $H(y/x)$  будет равна

$$H(y/x) = - \left( \frac{0,1}{0,3} \log_2 \frac{0,1}{0,3} + \frac{0,2}{0,3} \log_2 \frac{0,2}{0,3} + \frac{0,1}{0,4} \log_2 \frac{0,1}{0,4} + \frac{0,2}{0,4} \log_2 \frac{0,2}{0,4} + \frac{0,1}{0,3} \log_2 \frac{0,1}{0,3} + \frac{0,2}{0,3} \log_2 \frac{0,2}{0,3} \right) = 2,8298.$$

Энтропия  $H(x)$  системы  $x$  равна

$$H(x) = -(0,3 \log_2 0,3 + 0,4 \log_2 0,4 + 0,3 \log_2 0,3) = 1,5710.$$

Полная энтропия связанных систем будет равна

$$H(x, y) = H(x) + H(y/x) = 4,4008.$$

Далее, в теории информации предполагается, что количество информации, которое можно получить, изучая все возможные состояния системы, равно ее энтропии, т.е. энтропия представляет собой меру возможных состояний. Изучив ее и получив полную информацию, мы можем приравнять

$$I_x = H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i.$$

Частная информация о состоянии системы, получаемая от отдельного сообщения, измеряется как  $I_{x_i} = -\log_2 p_{x_i}$ . Отсюда следует, что наибольшая информация получается от редких, наименее распространенных событий.

Если мы имеем две системы, то можно рассмотреть вопрос о том, возможно ли, получая информацию об одной системе, получить представление о состоянии другой системы. В этом случае рассматривается взаим-

Таблица 10

Значение вероятностей  $p_{ij}$  совместного распределения параметров  $x$  и  $y$ 

Параметры	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_n$	$\Sigma p_{ij}$
$y_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	$p_{1n}$	$\Sigma p_{1j}$
$y_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	$p_{2n}$	$\Sigma p_{2j}$
$y_3$	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$	$p_{3n}$	$\Sigma p_{3j}$
$y_m$	$p_{m1}$	$p_{m2}$	$p_{m3}$	$p_{mn}$	$\Sigma p_{mj}$
$\Sigma p_i$	$\Sigma p_{i1}$	$\Sigma p_{i2}$	$\Sigma p_{i3}$	$\Sigma p_{in}$	$\Sigma \Sigma p_{ij} = 1$

Таблица 11

Соотношение вероятностей значений среднесуточных температур и среднесуточных сумм атмосферных осадков

Осадки ( $y$ )	Температура ( $x$ )			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Сумма
$y_1$	0,0	0,2	0,1	0,3
$y_2$	0,1	0,2	0,0	0,3
$y_3$	0,2	0,0	0,2	0,4
Сумма	0,3	0,4	0,3	1,0

ная информация ( $I_{y \leftrightarrow x}$ ). Если системы не связаны друг с другом, то, зная об одной системе, нельзя получить никакой информации о состоянии другой и

$$I_{y \leftrightarrow x} = 0.$$

Если же они связаны друг с другом, то полная взаимная информация, содержащаяся в двух системах, равна

$$I_{y \leftrightarrow x} = H(x) + H(y) - H(x, y).$$

Отсюда можно получить значение отдельного сообщения о состоянии первой системы на основании знания о состоянии другой, связанной с ней системы. Оно будет равно

$$\log_2 \frac{p(x_i/y_i)}{p x_i},$$

где  $p(x/y)$  – условная вероятность наступления события  $x$  при некотором значении  $y$ , а  $p x_i$  – полная вероятность наступления события  $x$ .

Поскольку

$$\log_2 \frac{p(x_i/y_i)}{p x_i} \neq \log_2 \frac{p(y_j/x_i)}{p y_j},$$

то обычно говорят о различной силе связи между событиями  $x_i$  и  $y_j$ . Информационная мера может служить мерой связи. Нередко в этом случае говорят о направленности связи по некоторому каналу. Эти идеи и исполь-

зуется для анализа взаимосвязей между событиями. При географическом прогнозировании этим способом, как и при регрессионном анализе и прогнозе на основании полученных уравнений регрессии, появляется возможность рассчитать вероятность появления значений одного параметра по вероятности появления значений другого параметра при изменении вероятности наступления изучаемого явления.

В заключение остановимся на методах статистической экстраполяции. В практике прогнозирования эти методы разработаны наиболее полно. Возможность их использования при комплексном географическом прогнозировании ограничена по ряду сложившихся обстоятельств, главное из которых заключается в том, что для составления прогноза этого типа, как правило, не хватает данных. Статистическая экстраполяция предполагает анализ данных наблюдений (временных рядов) за достаточно большой отрезок времени. Это, в свою очередь, требует организации стационарных наблюдений. Их число в нашей стране пока невелико, а профиль наблюдений ориентирован таким образом, чтобы как можно более полно исключить вмешательство человека в естественный ход природных процессов. Конечно, такие наблюдения важны и нужны, но теперь пора уже подумать и о специальных стационарных наблюдениях, ориентированных на изучение особенностей воздействия человека на ход природных процессов в разных географических обстановках и при разных способах использования природных ресурсов. Эти стационары со временем могли бы создать фонд (банк) данных и для составления прогнозов методами статистической экстраполяции.

В основе анализа временных рядов лежит предположение о том, что ход явлений, наличие причинно-следственных отношений и т.п. находят свое отражение во временной последовательности изменения значения выбранного для наблюдений параметра. Экстраполяция такого ряда предполагает, что соотношения действующих причин, объясняющих значение выбранного для прогноза параметра, сохраняются на весь прогнозный период. При комплексном географическом прогнозировании это ограничение оказывается в дальнейшем сильным, так как необходимость самого прогнозирования вызвана тем, что уже сейчас можно заметить существенное изменение факторов, определяющих ход географических процессов. Некогда малозначимый фактор развития географической оболочки — человек стал одним из активных факторов, определяющих ход процессов. Отсюда следует, что прогнозирование методами статистической экстраполяции возможно на ограниченный срок.

Таким образом, при прогнозировании методом статистической экстраполяции необходимы ряд временных данных достаточной длины и предположение о сохранении условий, определяющих развитие событий.

Процедура прогнозирования производится обычно в несколько этапов. Имеющийся ряд наблюдений за каким-либо природным объектом — сток, прирост биомассы, температура, осадки и т.д. — за достаточно большой срок рассматривают как реализацию случайного процесса. На первом этапе находится ответ на вопрос, является ли данный процесс стационарным, так как методы экстраполяции в достаточно полной мере разработаны в основном для стационарных процессов и лишь для некоторых



частных видов нестационарных. Заключение о стационарности процесса зависит от наличия в анализируемой последовательности величин тренда, или тенденции развития процесса. Выявление наличия или отсутствия тренда, помимо чисто технической задачи — выбора того или иного аппарата прогнозирования, имеет также и самостоятельный интерес, поскольку его выявление представляет определенную часть прогнозирования как самостоятельной задачи.

Существует несколько способов определения стационарности процесса. Самым простым и наглядным является построение графика процесса во времени. Ясно выраженный тренд при этом сразу бывает заметен. Существуют и строгие методы оценки стационарности: критерий серий, построение автокорреляционной функции, выделение тренда методами регрессионного анализа с оценкой его значимости.

При прогнозировании нестационарных процессов, т.е. таких, которые имеют некоторую тенденцию в развитии (снижение значений параметра со временем, их рост или колебательный режим), полезно выделить имеющуюся тенденцию (тренд). Если это возможно, тогда она вычисляется и затем вычитается из имеющейся последовательности значений временного ряда. Остаток, получившийся после вычитания, рассматривается как стационарный случайный процесс.

Он анализируется и прогнозируется отдельно, независимо от тренда. Затем прогнозы складываются. Если тренд установлен, то его легко экстраполировать. Однако прежде чем делать прогноз, необходимо проверить его устойчивость. Поиски тренда ведутся в несколько этапов. Сначала проверяется, существует ли линейный тренд. Обычно его уравнение для временного ряда имеет вид

$$x = at \pm b,$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, определяющие положение прямой линии в системе координат  $(t, x)$ . Затем определяется наличие трендов второго, третьего и более высоких порядков. Процедура отыскания трендов хорошо описана в ряде руководств по математической статистике, поэтому мы подробно на ней не останавливаемся. Скажем лишь здесь, что для установления функции, описывающей тренд, используется метод наименьших квадратов.

Для проверки возможности составления прогнозов методами статистической экстраполяции мы провели анализ нескольких временных рядов. Нами были использованы ряд годового стока р. Амур (73 года), ряд атмосферных осадков г. Сеул (150 лет), ряд чисел Вольфа (270 лет), ширина колец японского кипариса (данные Аракова — 800 лет).

Приведем вариант анализа линейного тренда на примере временной последовательности годового стока р. Амур (по посту "Хабаровск"). Оказалось, что линейный тренд, определенный методом наименьших квадратов, имеет вид

$$y = 2,15t + 711,$$

где  $y$  — значения годового стока,  $t$  — время, а числа 2, 15 и 711 — коэффициенты уравнения регрессии. Проверка значимости углового коэффициента регрессии  $A = 2, 15$  показала, что коэффициент значим, т.е. в

данной последовательности имеется линейный тренд. Однако на более коротких, как выяснилось при анализе, отрезках ряда угловой коэффициент не остается постоянным. Второй коэффициент уравнения регрессии  $b = 711$  определяет, как известно, положение точки линии регрессии (тренда) с осью "у". В соответствии с правилами статистического анализа следует определить доверительный интервал прогнозирования. При уровне значимости 0,95 доверительный интервал на всем протяжении ряда оказался равным  $\pm 400$ . За пределами ряда он имеет тенденцию расти. Поэтому мы должны переписать уравнение, и оно примет вид

$$y = 2,15t + (711 \pm 400).$$

Это преобразованное уравнение позволяет видеть, что точность прогнозирования невелика, так как ошибка прогнозирования здесь колеблется около  $\pm 56\%$ . К тому же по мере увеличения срока упреждения ошибка растет. Можно было бы аппроксимировать данный временной ряд нелинейными трендами и добиться меньшей ошибки. Увеличивая степень полинома аппроксимации, можно сделать ошибку аппроксимации сколь угодно малой. Однако экстраполяция на базе этих полиномов (за пределами базисных данных) дает ошибку значительно большую, так как границы доверительных интервалов, как и у линейного тренда, будут расходиться нелинейно [Ивахненко, Лапа, 1971] и значительно быстрее, чем в первом случае.

Аналогичный результат был получен и при анализе временных рядов (дендрохронологические ряды, выпадение атмосферных осадков и др.).

Для тех случайных процессов, для которых наличие тренда установить не удалось (т.е. процесс относится к стационарным), прогнозирование осуществляется с использованием других приемов математической статистики. Стационарность процесса проверяется с помощью двух критериев:

1) среднее значение и дисперсия процесса должны быть постоянными в ряде реализаций (или в отдельных частях достаточно длинной реализации);

2) автокорреляционная функция должна зависеть лишь от сдвига по времени ( $\tau$ ) между аргументами.

На практике случайные процессы, соответствующие стационарным природным явлениям, как правило, обладают свойством эргодичности, что позволяет определить характеристики случайного процесса по одной реализации, по одному достаточно длинному временному ряду.

Для описания основных свойств временных рядов (среднегодовых температур, среднегодовых осадков, прироста биомассы, величины стока и др.) используются следующие основные характеристики случайных процессов.

1. Оценка дисперсии процесса, дающая представление о степени отклонения процесса от среднего значения:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{(N-1)}, \text{ где } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$



2. Плотность распределения изучаемого параметра характеризует распределение вероятностей процесса при фиксированных значениях последнего, и определяет вероятность, того, что значения процесса в произвольный момент времени будут заключены в определенном интервале.

3. Автокорреляционная функция процесса характеризует общую зависимость процесса в некоторый момент времени от значений в другой момент. Оценка автокорреляционной функции определяется выражением

$$R(\tau) = \frac{C(\tau)}{C(0)}; \tau = 0, 1, \dots, N-1,$$

$$\text{где } C(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-\tau} (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x}).$$

4. Спектральная плотность процесса дает разложение общей дисперсии случайного процесса по частотам. Автокорреляционная функция и спектр связаны между собой косинус-преобразованием Фурье:

$$P(f) = 2 \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{l-1} R(k) \omega(k) \cos \frac{\pi l k}{F} \right], \text{ где } l = 0, \dots, F_l.$$

Поскольку автокорреляционная функция и спектр математически эквивалентны, то и информация в них содержится одинаковая. Выбор между спектром и автокорреляционной функцией зависит от постановки задачи, от того, что мы хотим нагляднее представить. Автокорреляционная функция применяется для исследования зависимости значений процесса в некоторый данный момент от значений процесса в некоторый момент в прошлом. При наличии в процессе периодических составляющих автокорреляционная функция при увеличении  $\tau$  не затухает, в противном случае  $R(\tau)$  стремится к нулю. Автокорреляционная функция применяется при анализе и экстраполяции временных рядов. Ее вычисление входит в алгоритмы прогноза. Спектральная плотность используется в анализе частотной структуры процесса.

Так как значения автокорреляционной функции являются коэффициентами корреляции между сечениями случайного процесса, то очевидно, что величины  $R(\tau)$  говорят о степени связи между данным значением функции и рядом прошлых значений. Отсюда чем выше значения автокорреляционной функции, тем теснее связаны между собой значения временного ряда и тем точнее будет экстраполяция. Чем медленнее затухает автокорреляционная функция, тем на больший срок возможен прогноз. В предельных случаях, если корреляционная функция не затухает и по абсолютной величине близка к единице, мы имеем дело с детерминированным процессом, прогноз которого может быть произведен на достаточно длительное время и с большой точностью. С другой стороны, если значения автокорреляционной функции для  $\tau > 1$  близки к нулю, то это значит, что процесс внутренне не коррелирован и, следовательно, прогноз его невозможен ("белый шум"). Практически мы имеем дело с группой процессов, автокорреляционные функции которых при  $\tau > 1$  имеют значения, меньшие единицы, и через определенное время



затухают. Очевидно, что период затухания определяет теоретически предельную длительность времени упреждения. Вышесказанное касается теоретических автокорреляционных функций, вычисленных на основе какой-либо вероятностной модели процесса. Выборочные значения  $R(\tau)$ , построенные по рядам конечной длины, не всегда затухают так же быстро, как соответствующие им теоретические функции [Дженкинс, Ваттс, 1972]. Отсюда возникают затруднения в оценке предельной длительности экстраполяции, вызванные в общем недостаточной длиной рядов наблюдений. Кроме того, выборочные значения автокорреляционных функций значительно искажаются при наличии трендов. В этих случаях необходима фильтрация исходных временных рядов для установления влияния тренда. Для устранения линейного тренда используется фильтр первых разностей:  $y_t = (x_t - x_{t-1})$ .

Вычисление автокорреляционных функций позволяет получить предварительную оценку возможной максимальной длительности прогноза, установить наличие периодических колебаний.

Для каждого значения  $R(\tau)$  следует производить оценку значимости, т.е. проверку гипотезы о равенстве конкретного значения  $R(\tau)$  нулю. Если гипотеза отвергается, данное значение функции принимается статистически значимым с определенным уровнем значимости.

Например, как известно, автокорреляционная функция чисел Вольфа, отражающих изменения солнечной активности, имеет отчетливую периодичность с периодом около 10–13 лет, значения функции  $R(\tau)$  достигают 0,8 и слабо затухают с увеличением  $\tau$ . Следует предполагать, что экстраполяция чисел Вольфа возможна на более длительный срок и с более высокой точностью, чем экстраполяция большинства временных рядов. Действительно, автокорреляционная функция годового стока р. Амур (за 73 года) имеет значения, не превышающие  $\pm 0,2$ – $0,3$ . Статистически значимы (при 95%-м уровне значимости) значения функции при  $\tau = 2, 5, 6, 12$  лет. При таких низких значениях  $R(\tau)$  не следует ожидать ни существенной точности, ни значительной длительности экстраполяции. Автокорреляционная функция суммы годовых осадков в Сеуле (150 лет) обнаруживает статистически значимые значения (порядка 0,2) при  $\tau = 6$  и 12 лет. Это позволяет предположить наличие очень слабо выраженных циклов с периодом около 12 лет. Наконец, анализ ширины колец японского кипариса (800 лет) позволяет определить статистически значимые значения при  $\tau = 34, 50, 70, 78, 83$ . При этом величина  $R(\tau)$  не превышает  $\pm 0,1$ . Можно предполагать наличие ритмичности, но низкие значения  $R(\tau)$  вряд ли позволят использовать ее для прогноза со сколько-нибудь существенной точностью. Выявленные условия представляют лишь незначительный вклад в общую дисперсию.

Аналогичные результаты дает и сглаженная спектральная оценка перечисленных рядов. Подтверждается наличие слабо выраженных пиков на частотах, соответствующих периодам 2–3, 4–6, 10–13 (в среднем 11), 20–25, 30–35, 60–65, 90–100 лет, но вклад этих пиков в общую дисперсию процесса настолько мал, что перспективы их использования для прогноза представляются сомнительными, за исключением ряда чисел Вольфа, где на частоте, соответствующей 10–13, а также 90–100 годам, наблю-

даются отчетливо выраженные пики, "вбирающие" в себя большую часть дисперсии процесса. В большинстве имеющихся в нашем распоряжении процессов (сток, осадки, кольца деревьев) спектр приближается к спектру "белого шума".

Основы методики экстраполяции стационарных случайных процессов и некоторых видов нестационарных процессов изложены в ряде работ [Колмогоров, 1941; Алехин, 1963; Ивахиенко, Лапа, 1971; Бокс, Дженкинс, 1974; и др.]. Как говорилось выше, методика применима лишь в том случае, когда закономерности, выявленные в прошлом, должны сохраниться и в будущем. Длительность и качество прогноза определяются статистическими свойствами процесса, в первую очередь значениями и периодом затухания автокорреляционной функции.

Согласно А.Н. Колмогорову [1941], задача экстраполяции может быть охарактеризована как задача предсказания по методу наименьших квадратов. Она заключается в подборе таких коэффициентов при заданном числе коэффициентов ( $N$ ) и шаге по времени ( $\Delta t$ ), при которых линейная комбинация  $k_1 Q_{t-1} + k_2 Q_{t-2} + \dots + k_N Q_{t-N}$  случайных величин  $Q_{t-1}, Q_{t-2}, \dots, Q_{t-N}$  является наиболее точным приближением к случайной величине  $Q_t$ . В качестве меры точности такого приближения служит среднеквадратическая ошибка прогноза.

Практически исходные данные позволяют составить систему линейных уравнений, выражающих ряд значений временного ряда через несколько предшествующих им значений с неизвестными коэффициентами ( $k_i$ ). Далее система линейных уравнений приводится к нормальному виду и решается на ЭВМ. Полученные коэффициенты экстраполяции (передаточная функция) применяются для расчета будущих значений с использованием выражения

$$Q_{t+1} = \sum_{i=1}^N k_i Q_{t-i+1},$$

где  $t$  — момент последней регистрации фактического ряда;  $k_i$  — коэффициент экстраполяции  $i = 1, \dots, N$ . Определение коэффициентов  $k_i$  производится путем составления и решения матрицы системы линейных уравнений:

$$A_{ij} = \sum_{L=1}^M Q_{T+L+i-1} Q_{T+L+j-1}, \quad i, j = 1, \dots, N,$$

где  $A_{ij}$  — элемент матрицы, расположенный на  $i$ -й строке и в  $j$ -м столбце;  $T$  — начало отсчета;  $Q$  — значения процесса;  $M$  — число линейных уравнений, используемых для вычисления коэффициентов экстраполяции.

Вектор правых частей системы

$$F_i = \sum_{L=1}^M Q_{T+L-1} Q_{T+L+i-1}, \quad i = 1, \dots, N.$$

Решение системы линейных уравнений приводит к нахождению  $N$  коэффициентов экстраполяции.

Число коэффициентов экстраполяции теоретически определяется по периоду затухания автокорреляционной функции. Но, поскольку



выборочная автокорреляционная функция не идентична теоретической, при данном методе целесообразно производить несколько вариантов вычислений  $k_i$  при разных значениях  $N$  с оценкой полученных результатов по критерию минимизации среднеквадратической ошибки прогноза.

Существуют также так называемые параметрические методы идентификации, позволяющие определить тот сдвиг  $\tau$ , когда автокорреляционная функция практически равна нулю [Бокс, Дженкинс, 1974], а также позволяющие построить различные модели случайного процесса (модели авторегрессии, модели скользящего среднего и др.). При решении задачи экстраполяции, особенно на длительные сроки (сверхдолгосрочная экстраполяция), целесообразно использовать значения фактического ряда, соответствующие значимым коэффициентам автокорреляционной функции.

Близкие результаты можно получить, используя идеи, описанные при анализе соседства состояний (см. раздел 3, 7).

Путем расчетов установлено, что различия в точности при использовании разных способов прогноза (лежащих в рамках классического метода) не столь существенны и что результат определяется в основном статистическими свойствами самого процесса, выражающимися значениями автокорреляционной функции или спектром.

Для оценки полученных результатов необходимы оценки ошибок прогноза или оценки точности прогноза. Наиболее просто качество предсказания можно определить по формуле

$$\epsilon(t) = Q_{\text{пр}}(t) - Q_{\text{ф}}(t),$$

где  $Q_{\text{пр}}(t)$  — предсказанное значение;  $Q_{\text{ф}}(t)$  — действительное;  $\epsilon$  — ошибка предсказания. Но очевидно, что такая оценка сама является случайной функцией времени и не может служить оценкой точности. Другим способом оценки точности является вычисление среднеквадратической ошибки прогноза. Оценку среднеквадратической ошибки можно вычислять после расчета ряда прогнозных значений, сопоставляя их с фактическими.

Обычно для оценки эффективности прогноза в пределах всей последовательности выделяется так называемая проверочная последовательность [Ивахненко, Лапа, 1971], т.е. такая часть ряда, которая не участвует в вычислении коэффициентов экстраполяции. При этом лучше, если число значений проверочной последовательности будет близко к сроку упреждения будущего прогноза. Эти  $n$  чисел составляют как бы верификационный текст. Пусть у нас имеется столетний ряд из некоторой последовательности чисел. Для определения точности прогноза исключим из него последние 20 (если мы собираемся делать прогноз вперед на 20 лет). По оставшимся 80 членам ряда проведем анализ и определим число коэффициентов экстраполяции и их значения. Проведем прогноз: рассчитаем значения прогнозируемых параметров по уравнениям экстраполяции. После этого мы будем иметь два ряда чисел по 20 в каждом. Первый ряд — реализованная последовательность (верификационный тест). Рассчитаем для этого ряда среднеквадратическое отклонение. Пусть оно будет равно некоторой величине  $\sigma_r$ .



Вторая последовательность — ряд чисел, полученный прогнозными расчетами. Вычтем второй ряд из первого, получим ряд отклонений, или ошибок прогнозирования. Прогноз окажется точным, если ошибки прогнозирования будут стремиться к нулю. Поэтому следует найти среднее значение ошибки  $\bar{\epsilon}$  и среднее квадратическое отклонение этой последовательности ( $\sigma_{\epsilon}$ ). Эти величины могут позволить оценить точность прогнозирования на всем отрезке. Отсюда следует, что ошибку прогноза ( $P_i$ ) можно охарактеризовать двойкой. Имеется возможность получить ее на некоторый конкретный срок ( $P_K$ ) или на всем протяжении прогнозируемого периода ( $P_n$ ):

$$P_i = \frac{\Delta x}{x_i} \cdot 100\%,$$

где  $P_i$  — ошибка прогноза на заданный ( $i$ -й) срок;  $x_i$  — значение  $i$ -го параметра из верификационной последовательности;  $\Delta x$  — разность между реализованной величиной и ее значением, полученным на заданный срок с помощью прогноза.

Чтобы оценить степень отклонения всей прогнозной траектории (последовательность чисел, для которой составляется прогноз) от верификационного теста, следует сопоставить между собой средние значения реализованной и прогнозируемой последовательностей величин, а также дисперсии. Оценив различия средних значений реализованной и прогнозируемых величин и различия их дисперсий с помощью критериев значимости, можно оценить и ошибку прогнозирования:

$$P_n = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}_p} \cdot 100\%,$$

где  $\Delta \bar{x}$  — разность реализованного и прогнозного среднего значения ряда;  $\bar{x}_p$  — реализованное в тестовой последовательности среднее значение. Поскольку отклонение вычисленной величины от реально существующей в тестовой последовательности не остается постоянным, то полезно ввести еще один вид ошибки ( $P'_n$ ):

$$P'_n = \frac{\sigma_{\epsilon}}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

где  $\sigma_{\epsilon}$  — среднее квадратическое отклонение разности прогнозируемого и тестового рядов;  $\bar{x}$  — среднее значение тестового ряда.

Эти три вида ошибок и характеризуют точность прогнозирования. Поскольку прогнозная последовательность может быть получена различными методами экстраполяции (следует иметь в виду, что все описываемые методы относятся к методам *линейной* статистической экстраполяции), то каждая из вычисленных последовательностей подлежит оценке.

Нами был проделан ряд опытов экстраполяции на базе указанных выше рядов. Все они показали, что ошибка экстраполяции увеличивается в зависимости от длины базисных данных (чем меньше ряд, тем больше ошибка) и от длины времени упреждения (чем больше время упреждения, тем больше ошибка). Во втором случае было установлено, что она вна-

чале растет, а затем ее значения колеблются. Амплитуда и период этих колебаний сами представляют собой случайные величины. Смысл этих колебаний остается непонятным. И вероятнее всего, они отражают некоторые свойства изучаемой последовательности случайных величин и процедуры получения коэффициентов прогнозирования. В силу этого сам прогноз на период, больший того отрезка, на котором ошибка прогнозирования растет, теряет смысл. Обычно этот период не превышает 1–3 лет (шагов временного ряда). Однако и в этом случае ошибка прогнозирования может достигать  $\pm 80\%$ .

Полученные результаты ставят под сомнение возможность прогнозирования сложных явлений методами линейной статистической экстраполяции. К этому следует добавить те ограничения, о которых уже говорилось выше (требование постоянства внешних условий географических объектов и стабильности их внутренней структуры).

Следует остановиться еще на одном способе экстраполяции — на экстраполяции временных рядов с предварительным сглаживанием их значений. Этой процедурой пытаются уменьшить дисперсию ряда, связанную якобы с высокочастотной составляющей процесса. Последняя рассматривается как случайная. С помощью различных процедур сглаживания стараются уничтожить или по крайней мере уменьшить амплитуду случайных колебаний. Наиболее известен метод скользящих средних, который широко применяется при анализе метеорологических параметров рядов. При сглаживании скользящими средними члены исходного ряда заменяются простыми средними, вычисленными по "активному участку" ординаты. Активный участок при этом каждый раз сдвигается на одно место в ряду, давая сглаженное значение для соседнего члена ряда. Длина активного участка, или шаг сглаживания, выбирается заранее (обычно 3, 5, 10 лет). Объективных критериев для выбора шага сглаживания нет. При сглаживании ряда длина его уменьшается на длину активного участка. Вновь полученный ряд имеет значительно меньшие амплитуды, чем исходный. Существуют и более сложные методы сглаживания, заключающиеся в придании весов значениям ряда, участвующим в сглаживании. Например, производится уменьшение весов по мере удаления от центральной точки.

Процедура сглаживания приводит к тому, что автокорреляционная функция нового ряда имеет большие значения и медленнее затухает. Таким образом, новый сглаженный ряд лучше экстраполируется, следуя изложенной выше методике экстраполяции и методике ее оценки. Однако надо иметь в виду, что любой вариант сглаживания создает между соседними членами сглаженного ряда сильную корреляцию в связи с тем, что соседние значения этого нового ряда получаются при участии одних и тех же значений исходного ряда. Такая искусственная автокорреляция приводит к возникновению "воли Е.Е. Слуцкого", т.е. создает в получаемом тренде псевдопериодические колебания, не имеющие реального существования [Дженкинс, Ватс, 1972; Четвериков, 1973].

Вычисления, проведенные на примере временных рядов осадков, стока и других параметров, показывают, что даже после выполнения этой процедуры прогноз возможен не более чем на 1–2 интервала сгла-



живания с весьма низкой точностью, т.е. процедура сглаживания существенно не улучшает точности величин, полученных при прогнозировании.

Статистические методы в прогнозировании широко распространены. Они тесно связаны с интуитивными методами. Иногда они продолжают их, придают им количественный вид, и данные, полученные с их помощью, могут становиться базисом для интуитивных построений. Эти методы относительно просты, и в этом их большое достоинство. Отсюда нередко простая экстраполяция событий становится основанием для создания общественного мнения. Это имеет свои положительные стороны, так как заставляет активную часть нашего общества обратить внимание на сложные нерешенные проблемы. Однако проведенные некорректно, они могут служить источником общественных заблуждений.

#### 4.3.2. Аналитические методы<sup>1</sup>

Аналитические методы выделяются в особую группу в связи с тем, что для реализации процедуры прогнозирования используется различный аппарат математического анализа. В отличие от статистических методов, где для прогнозирования применяются такие материалы, которые позволяют оценить частоту встречаемости, тенденции развития, цикличность в наступлении некоторых событий и др., в данной группе методов используется совершенно иной подход, когда предметом математического описания становится не вероятность наступления событий, а механизм их эволюции. Естественно, что для этих целей требуется и совершенно иной фактический материал. Смена одного состояния другим описывается как процесс энерго- или массопереноса или их взаимодействия. Математические модели, описывающие явления этого типа, иногда называют *детерминированными*, противопоставляя их в некотором смысле вероятностным. Наиболее часто такие модели строятся для явлений, протекающих не достаточно быстро. Их развитие трудно наблюдать. Тем более трудно получить данные о частоте их повторения. Детерминированное описание является в этом случае единственным способом их характеристики и изучения с помощью математических моделей.

Материалом для построения таких моделей является весь опыт науки, т.е. та логика явлений, которая известна географам, изучающим эти явления своими собственными (нематематическими) методами. На основании классических представлений обычно строится блок-схема структуры объекта и направленный граф его эволюции под внешними воздействиями. Затем рассматриваются связи между элементами, главным образом с точки зрения определения физики тех потоков вещества и энергии, которые эти связи осуществляют. Для описания различных типов движения используются дифференциальные уравнения и те законы, которые известны из различных разделов механики сплошных сред, гидромеханики и других научных дисциплин. Если удастся измерить в природе реальные потоки, то коэффициенты уравнений получаются прямо из измерений. В другом случае их получают аналитически, на основании изучения неко-

<sup>1</sup> Подраздел написан при участии Л.С. Гаранова и Г.А. Зайцева.



торых свойств моделей. Для построения моделей этого типа, как правило, планируется специальный научный эксперимент. Полученные модели обычно индивидуальны, так как их конструируют для описания конкретного объекта. Иногда модели этого типа даже называют портретными. Однако чаще они имеют характер описаний, имитирующих реальный объект и его свойства с некоторым приближением. Поэтому класс детерминированных моделей этого вида иногда называют *имитационными моделями*. Но даже в самых сложных математических описаниях не удастся выявить все тонкие структуры изучаемого объекта. Некоторые из них выступают в генерализованном, интегральном виде. Кроме того, часто эти модели описывают объект без учета сложных пространственных соотношений того реального пространственно-географического разнообразия, которое является существенной чертой любого из географических объектов. Такой объект наделят всеми качествами реального объекта, но они сведены как бы в некоторую точку. Таковы модели с сосредоточенными параметрами. Модели с пространственно-распределенными параметрами являются большой редкостью по ряду причин, главная из которых — отсутствие длительного ряда соответствующих наблюдений.

Как уже было показано выше, в настоящее время существует большое число разнообразных моделей (см. раздел 1.6 данной монографии). Мы остановимся на некоторых из них главным образом в связи с теми особенностями построения моделей и теми проблемами, которые мы выявили в ходе прогнозно-географических исследований. В связи с этим остановимся лишь на пяти группах моделей: 1) модели анализа эволюционных графов; 2) модели анализа динамики процессов в стационарном режиме; 3) модели анализа динамики нестационарных процессов при условии адаптации; 4) модели анализа динамики нестационарных процессов с учетом наследственности; 5) модели анализа динамики процессов с ограниченными ресурсами.

1. *Модели анализа эволюционных графов.* Эта группа моделей особенно близко стоит к методам логического (морфологического) анализа и прогноза. Как и любой метод аналитического прогнозирования, данный метод начинается с выбора предмета прогнозирования, анализа имеющихся материалов, выбора процедуры анализа и составления прогноза.

Приступая к составлению комплексного географического прогноза методом анализа эволюционных графов, выбирают объект прогнозирования. Он может быть "полисистемой" или "моносистемой". Для первого случая объект разделяется на составляющие его подсистемы ("моносистемы"). Для каждой из них составляется свой эволюционный граф и выполняется свой собственный прогноз. Затем эти прогнозы территориально объединяются и заново проводятся территориальные границы.

После выбора объекта определяется прогнозный срок и в соответствии с ним выбирается основной элемент, который может претерпеть изменения за выбранное время. И конечно, интерес представляют лишь изменения, имеющие практическое значение. Таким образом, элементы, образующие комплекс, делятся на три группы: 1) элементы комплекса, изменениями которых на прогнозируемом отрезке можно пренебречь; 2) элементы — объекты прогнозирования; 3) элементы, столь быстро

меняющиеся, что можно говорить лишь о тенденции их развития (к ним относятся части комплекса, описываемые параметрами с высокочастотной изменчивостью и малой структурной памятью). Первые и третьи как бы исключаются из процедуры прогноза: первые — в силу их малой изменчивости, третьи — из-за того, что в эволюции объекта они имеют подчиненное значение. К первой группе для прогнозов с упреждением на 20 лет относятся такие элементы, как геологическое строение, почвы и важные свойства ПТК — рельеф, климат и другие, ко второй группе — растительность, животный мир и хозяйственно-технологические объекты, к третьей — свойства ПТК, определяемые режимом погоды. Географический территориальный комплекс, состояние которого должно стать объектом прогноза, вначале описывается с помощью приемов описания, используемых при горизонтальном и вертикальном членении территории. Пусть мы имеем пологий склон южной экспозиции, тяготеющий к днищу долины, созданный в результате аккумуляции склонового материала в результате делювиально-дефлюкционных процессов, с елово-кедрово-ельщиново-чубушниковой растительностью (возраста  $\approx 200$  лет), с бурами лесными почвами на легких суглинках. По лесу проходит дорога проселочного типа. Массы воздуха меняются в связи с изменениями режима погоды. С режимом погоды связано и перераспределение водных масс в почвах и грунтах.

Перед нами сложная территориальная система. В ней существуют по крайней мере два массива леса и одна полоса дороги. По правилам прогнозирования данным методом для каждого из объектов анализ и прогноз ведутся раздельно. Для примера рассмотрим лишь один массив леса и дорогу как два объекта, имеющие различный характер эволюции.

Разделив каждый из комплексов на геогоризонты и выделив неизменяющуюся часть, можно заключить, что и через 20 лет эта территория остается пологим аккумулятивным делювиально-дефлюкционным склоном с ныне существующим типом геологического строения и рельефа. Растительность изменится, и эти изменения следует прогнозировать. Что касается почв, то они изменятся (если изменится растительность) в той мере, в какой их состояние зависит от растительного покрова. Пусть после прогноза мы определим, что на этом месте возникнут белоберезовые леса. Тогда можно будет сделать прогноз эволюции почв так: здесь будут почвы, свойственные белоберезовым лесам. Их точный состав можно определить методом прогноза на базе пространственных аналогий. Можно также сказать, что и микроклимат этой территории, и режим водных масс будут соответствовать микроклимату и режиму водных масс белоберезовых лесов, расположенных по соседству. Так прогноз сложного комплекса заменяется прогнозом одного из его элементов.

Теперь после этой процедуры сосредоточимся на прогнозировании развития растительности. Воспользуемся для этого представлениями об эволюции растительности под воздействием человека как о закономерных сменах стадий сукцессии. Можно построить граф эволюции растительности, поместив в некоторой последовательности ценозы от пионерных до коренных растительных сообществ, каждое из которых соответствует некоторым типам местообитаний. В эволюционном графе выберем не-



Таблица 12

Перечень деревьев, кустарников и трав по ярусам и горизонтам растительных сообществ

Ярус	№ горизонта	Растения, образующие горизонты
Древесный	1	Кедр, лиственница, ель, пихта
	2	Дуб, ильм, ясень, береза желтая
	3	Береза белая, осина, чозения
Кустарниковый	1	Ива, багульник, ольха
	2	Сирень, лещина, чубушник, жимолость, элеуте-рококк, лианы
	3	Леспедеца, рябинолистник, рододендрон
Травянистый	1	Зеленые мхи, мелкотравье, сфагнум
	2	Злаковое разнотравье
	3	Ксерофильное разнотравье, пионерные руде-ральные, культивируемые виды

который временной шаг, который позволял бы увидеть необходимый минимальный срок для перехода с одной стадии сукцессии на другую (рис. 38, вкл.).

Чтобы затем получить возможность проведения некоторых операций с эволюционным графом, закодируем каждую стадию сукцессии и типы антропогенного воздействия так, чтобы можно было их взаимодействие описать с помощью сложения или вычитания кодов.

Для растительности Кавалеровского района Приморского края мы опирались на представления Б.П. Колесникова [1961] о рядах сукцессий и разработали следующую систему кодирования. Растительное сообщество делится на три яруса: древесный, кустарниковый, травянистый. Травянистые ассоциации рассматриваются как одноярусные, кустарниковые — как двухъярусные, древесные — как трехъярусные. Каждый из ярусов разделили на горизонты. В каждом горизонте в зависимости от яруса присутствуют определенные деревья, кустарники или травы.

Так, пусть в первом горизонте древесного яруса оказались кедр, лиственница, ель и пихта. Если присутствует хотя бы один из видов этих деревьев, то это эквивалентно тому, что горизонт в сообществе существует и это координируется единицей. Если не присутствует ни один из них, то горизонт отсутствует. В коде это соответствует нулю. Названия деревьев, кустарников и трав по ярусам и горизонтам приведены в табл. 12.

Каждый ярус можно закодировать с помощью сочетаний двоичного и восьмеричного кодов, записав одной цифрой любое из сочетаний горизонтов в ярусе. Пример кодирования древесного яруса показан в табл. 13.

Цифра восьмеричного кода (от 0 до 7) означает определенное сочетание: 0 — нет ни одного из горизонтов древесного яруса; 1 — присутствует лишь третий горизонт (береза белая, осина или чозения или любое их сочетание); 2 — присутствует только второй горизонт; 4 — присутствует только первый горизонт; 7 — присутствуют все горизонты; 3, 5, 6 — присутствует несколько горизонтов.



Таблица 13

Восьмеричный код для описания структуры яруса (на примере древесного яруса)

№ горизонта	Деревья	Цифра восьмеричного кода, описывающая сочетание							
		0	1	2	3	4	5	6	7
1	Кедр, лиственница, ель, пихта	0	0	0	0	1	1	1	1
2	Дуб, ильм, ясень, береза желтая	0	0	1	1	0	0	1	1
3	Береза белая, осина, чозения	0	1	0	1	0	1	0	1

Таким образом, каждому ярусу (сочетанию горизонтов) отводится одна цифра. Растительность, содержащая два яруса, кодируется сочетанием двух цифр, трехъярусная — тремя. Географический объект, в пределах которого нет растительности, описывается кодом 000; 777 — код такой растительной ассоциации, которая содержала бы все ярусы и все горизонты в каждом из них. Код 724 описывает елово-кедровый, лещиново-чубушниковый лес с мелкотравьем. Встреченные в Кавалеровском районе растительные ассоциации были разделены на коренные и производные; каждому из сообществ был присвоен некоторый код. Коды сведены в табл. 14.

После того как мы получили все коды (табл. 14), можно составить эволюционный граф растительности, записывая стадии сукцессии кодовыми обозначениями. Эволюционный граф показан на рис. 38. (вкл.).

Составим таблицу типов возможных воздействий человека и закодируем каждый из них. Нетрудно увидеть, что воздействие человека на растительность зависит от стадии развития растительности, а иногда и от возраста древостоя и т.д. Например, рубка леса начинается лишь с определенного возраста. Кроме того, составим коды ответной реакции растительности так, чтобы простые операции с кодами позволили переводить один вид растительного сообщества в другой. Пример таких кодов приведен в табл. 15.

После кодирования типов воздействий можно предположить некоторый алгоритм преобразований растительности в кодах. Пусть мы имеем елово-кедровый лещиново-чубушниковый лес возраста 200 лет (40 пятилетних интервалов). Его код  $p = 724.40$ . Будем на его площади проводить сплошные лесосечные рубки с корчевкой пней (воздействие № 2; код воздействия  $b = 011.00$ ; код перевода растительности на другую стадию  $a = 100.03$ ). Зададимся некоторым сценарием воздействия. Пусть прогнозный период (срок упреждения) равен 27 годам (с 1973 по 2000 г.). Это соответствует 6 пятилетним интервалам ( $n = 6$ ). Предположим, что воздействие в виде рубок начнет с 1985 г., т.е. будет продолжаться 15 лет (или три пятилетних интервала). Обозначим продолжительность воздействия индексом  $m$ ; в нашем примере  $m = 3$ .

Любой код растительной ассоциации в нашем случае обозначается пятизначной цифрой, которую можно представить в виде  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ .

Таблица 14

Коды растительных сообществ Кавалеровского района Приморского края

№ п/п	Тип растительно-сти	Растительные сообщества	Код
1	2	3	4
Производные растительные сообщества			
1		Растительность отсутствует	000
2	Луг	Вейниковый, пионерная и культурная растительность	001
3		Разнотравно-злаковый	002
4		Пойменный	004
5		Рододендровые	011
6	Кустарниковые заросли	Леспедецево-рябинолистниковые	012
7		Леспедецево-лещиновые	021
8		Многокустарниковые	022
9		Лещиново-чубушниковые	024
10		Ивово-ольховые	042
11		Ивово-ольхово-багульниковые	044
12	Белоберезовый лес	Рододендровый	111
13		Лещиново-леспедецевый (вейниковый)	112
14		Леспедецево-лещиновый	121
15		Многокустарниковый (смешанный)	122
16		Лещиново-чубушниковый	124
17		Пойменный	142
18		Болотный	144
Коренные растительные сообщества			
19	Дубовый лес	Рододендровый	211
20		Лещиново-леспедецевый	212
21		Лещиновый	221
22		Многокустарниковый	222
23	Ильмово-ясеневый лес	Ясеневик осоково-разнотравный	224
24		Широколиственная ильмовая урема	242
25		Ясеневик болотный	244
26	Лиственный лес	Березняк рододендровый	311
27		Березняк леспедецево-лещиновый	312
28		Березняк лещиновый	321
29		Оснвик многокустарниковый	322
30		Березняк многокустарниковый	324
31		Топольник многокустарниковый	342
32		Чозениевый	344
33		Лиственничный лес	Рододендровый
34	Вейниковый		412
35	Травяной		422
36	Багульниковый		444
37	Елово-пихтовый лес	Рододендрово-брусничная, осоковый	511
38		Разреженно-кустарниковый	522
39		Мелкотравно-зеленомошная	524

Таблица 14 (окончание)

1	2	3	4
40		Рододендровый	611
41	Широколиственный дубово-кедровый лес	Лещиново-леспедцезевый с кленом (вейниковый)	612
42		Лещиновый с липой	621
43		Кленово-лещиновый	622
44		Сиренево-жимолостный с ясенем, шипом	642
45		Рододендровый с березой желтой, липой	711
46		Лещиново-леспедцезевый	712
47	Елово-кедровый, кедрово-лиственный лес	Лещиновый разнотравный с березой, липой, кленом	721
48		Многокустарниковый	722
49		Лещиново-чубушниковый	724
50		Рябинолистниково-таволговый с ольхой, ясенем	744

Таблица 15

Коды типов воздействия и ответных реакций растительности

№ п/п	Тип воздействия	Код воздействия (b)	Ответная реакция растительности		
			Название ряда стадий сукцессий	Код перевода растительности в другую стадию (a)	Тип возникающей растительности
1	2	3	4	5	6
1	Отчуждение территории для сельскохозяйственного и других видов использования, горные работы, верховой пожар	000.00	Конечные регрессивные стадии	000.01	Культурные фитоценозы, пионерные группировки, каменистые осыпи
2	Многokrатно повторяющиеся палы, выпас скота, сенокосение	001.00	То же	000.02	Сухие луга
3	Сильное загрязнение воздуха, вод, почвы; сплошная лесосечная рубка с корневкой пней; сильное рекреационное воздействие	011.00	Устойчиво производный	100.03 200.03	Производные белоберезовые и другие леса
4	Сплошная вырубка хвойных; многократно повторяющиеся выборочные рубки	011.00	Длительно производный	200.04 300.04	Леса березы белой, березы желтой, дуба



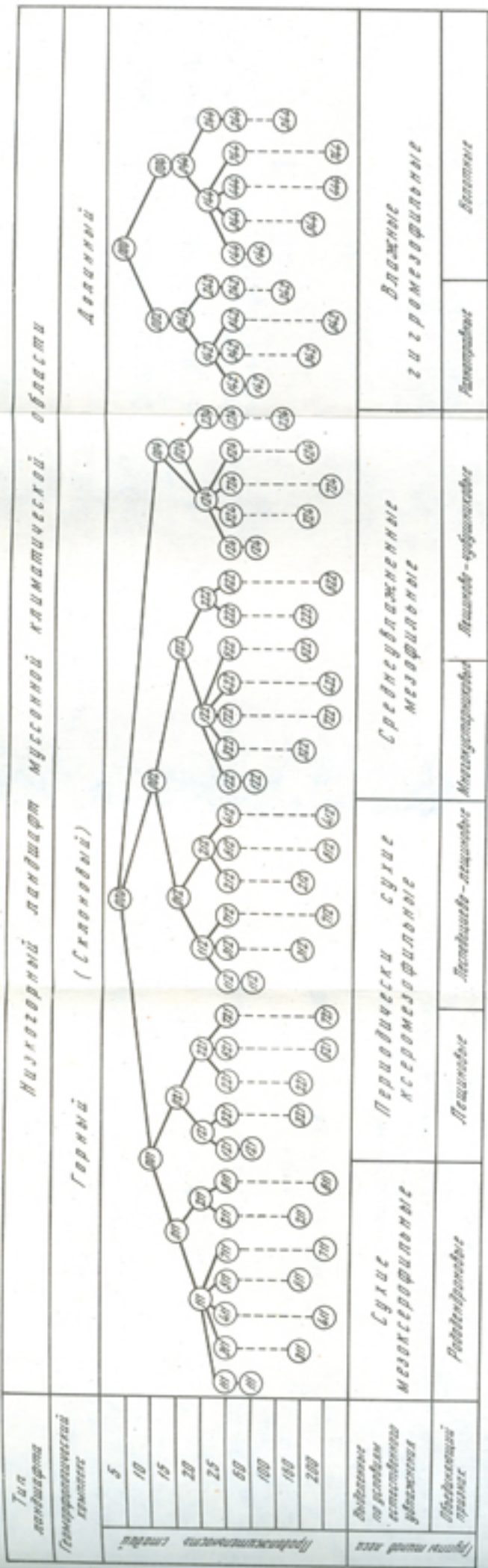


Рис. 38. Схема сукцессии и порядок восстановления стадий в фазы типично кустово-широколиственных лесов [по Б.П. Колесникову, 1961]  
 Обозначения даны в кодах (см. табл. 14)

Таблица 15 (окончание)

1	2	3	4	5	6
5	Интенсивная выборочная рубка	111.11	Коротко-производный	000.24	Редины с преобладанием березы белой, осины, дуба, пихты и единичными деревьями коренных пород в верхнем ярусе
6	Выборочная рубка средней интенсивности, ветровал	111.11	То же	000.20	Разреженные леса, коренные породы составляют не более 10% в составе верхнего яруса леса
7	Очаги массового размножения энтомофитов и грибных заболеваний	111.11	"	000.16	Коренные породы составляют не более 20%
8	Умеренные выборочные рубки	111.11	"	000.12	Коренные породы составляют не более 20%
9	Беглый (низовой) пожар	111.11	"	000.08	Коренные породы составляют не более 30%
10	Рекреационное воздействие, выпас скота, сенокосение	111.11	"	000.04	Гибель подроста высотой до 3 м кустарникового и травянистого яруса
11	Вспышки массового размножения энтомофитов, загрязнение воздуха, вод	111.11	"	000.02	Множественная дефолиация
12	Резкие сезонные колебания температуры и увлажнения почв	111.11	"	000.01	Частичная дефолиация, гибель самосева
13	Воздействие отсутствует	111.11	"	000.00	Специфических реакций нет

Примечание. Две последние цифры кода, отделенные точкой, имеют отношение к возрасту, выраженному количеством пятилетних интервалов: 000.01 соответствует 5 годам, 000.12 — 60 годам.

где  $p_1$  — код древесного яруса,  $p_2$  — код кустарникового яруса,  $p_3$  — код травянистого яруса,  $p_4, p_5$  — коды возраста ассоциации. В кодах воздействия  $b_1$  — воздействие на древесный ярус,  $b_2$  — воздействие на кустарниковый ярус,  $b_3$  — воздействие на травянистый ярус;  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  — коды преобразования соответствующих ярусов. В нашем примере:

1. Исходный код растительного сообщества ( $p$ ) 724.40; отсюда

$p_1 = 7$ ;  $p_2 = 2$ ;  $p_3 = 4$ ;  $p_4 = 4$ ;  $p_5 = 0$ ;

2. Код воздействия ( $b$ )

$b = 011.00$ ; отсюда  $b_1 = 0$ ;  $b_2 = 1$ ;  $b_3 = 1$ ;  $b_4 = 0$ ;  $b_5 = 0$ ;

3. Код преобразования растительной ассоциации ( $a$ )

$a = 100.03$ ; отсюда  $a_1 = 1$ ;  $a_2 = 0$ ;  $a_3 = 0$ ;  $a_4 = 0$ ;  $a_5 = 3$ .

Прогнозный алгоритм для кода прогнозируемой растительной ассоциации ( $P_{пр}$ ) будет иметь вид

$$P_{пр} = \sum_{i=1}^5 (a_i + b_i p_i) \cdot 10^{5-i} + n - m.$$

Подставим указанные значения и вычислим код прогнозируемой растительной ассоциации:

$$\begin{aligned} P_{пр} &= (1 + 0 \cdot 7) \cdot 10^4 + (0 + 1 \cdot 2) \cdot 10^3 + (0 + 1 \cdot 4) \cdot 10^2 + \\ &+ (0 + 0 \cdot 4) \cdot 10^1 + (3 + 0 \cdot 0) \cdot 10^0 + 6 - 3 = 10\,000 + 2\,000 + 400 + 0 + \\ &+ 3 + 6 - 3 = 124.06. \end{aligned}$$

Обратившись к табл. 14, можно прочитать, что это соответствует пятнадцатилетнему белоберезовому лещиново-чубушниковому лесу.

Проводя такие же расчеты для каждого из контуров, можно получить прогноз и на группу ассоциаций. В этом случае исходный материал должен быть представлен в виде карты растительности. Сценарий воздействия также должен иметь вид карты. В результате может быть получена и прогнозная карта на заданный срок упреждения при известном сценарии воздействия человека на выбранную территорию. Пример получения такой карты прогноза показан на рис. 39, 40, 41 (см. также табл. 14).

Естественно, что аналогичный подход с кодированием отдельных горизонтов можно осуществить и для других элементов географического комплекса. Каждый из элементов нужно рассматривать как ярус или группу ярусов. Затем следует подразделить ярусы на горизонты, выделить в каждом из них характерные признаки, определить характерное время их образования. Это позволяет построить эволюционный граф. Затем следует составить таблицу кодов воздействия и отклика. Далее становится возможной реализация аналогичного алгоритма, но с другими значениями  $n$  и  $m$ .

Например, почвенный покров можно разбить на три яруса, каждый из которых будет соответствовать почвенным горизонтам А, В, С. Внутри каждого из ярусов следует выделить три группы признаков: устойчивых (имеющих большой относительный возраст), средних (среднего относительного возраста), малоустойчивых (быстро возобновляющихся). Первая группа признаков будет образовывать 1-й "горизонт" яруса, вторая — 2-й, а третья — 3-й.







Воздействие на растительность	Условные обозначения к карте	Код воздействия (см. табл. 16)	Период воздействия	Количество 5-летних интервалов
Воздействие отсутствует, происходит естественное развитие растительности		13 A=000,00 B=111,11	1973–2000 гг.	6
Умеренные выборочные рубки		8 A=000,12 B=111,11	1973–2000 гг.	6
Выборочные рубки средней интенсивности в контурах, прилегающих к дорогам		6 A=000,20 B=111,11	1973–2000 гг.	6
Сплошно-лесосечные рубки с корчевкой пней		3 A=100,03 B=011,00	1985–2000 гг.	3
Сенокосение, выпас скота по вырубкам и гарям		2 A=000,02 B=001,00	1973–2000 гг.	6
Селитебные территории		– A=000,00 B=111,11	1973–2000 гг.	6

Рис. 41. Карта типов воздействия человека на среду при некотором варианте хозяйственного использования территории Кавалеровского стационара на период 1973–2000 гг.

зирования является возможность поочередного проигрывания различных видов хозяйственного использования территории для отыскания оптимального варианта природопользования.

2. *Общие принципы построения моделей с сосредоточенными параметрами.* При изучении географических систем исследователь часто сталкивается с ситуацией, когда задана совокупность входов и соответствующих выходов системы и требуется найти ее математическое описание (построить модель). В ряде случаев может быть доступна значительная информация о характере функционирования системы, однако конкретный вид связей может оставаться неизвестным. В таких случаях можно предположить вид уравнений системы, но их коэффициенты будут неизвестны и должны быть найдены. Практическая применимость полученной математической модели определяется степенью соответствия между моделью и реальной изучаемой системой.

Общая схема моделирования состоит из трех основных частей (рис. 42).

1. Определение структуры модели (т.е. выбор вида дифференциальных уравнений модели) и выделение неизвестных параметров.

2. Выбор функции качества для оценки степени совпадения реакции модели и реальной системы на одно и то же входное воздействие.

3. Выбор стратегии для постройки параметров модели, при которой происходит минимизация различий между реакциями модели и реальной системы согласно выбранному критерию.

В общем случае будем описывать моделируемую систему дифференциальными уравнениями

$$\dot{x} = f(x, \alpha, n) \text{ и } x(0) = x_0,$$

где  $x$  –  $n$ -мерный вектор параметров состояния;  $n$  –  $r$ -мерный вектор входов;  $\alpha$  –  $m$ -мерный вектор неизвестных параметров.

Если  $y$  – вектор параметров, которые мы можем снять на выходе реальной системы, и  $x$  и  $y$  имеют одинаковую размерность, то функцию качества можно представить в виде

$$I(T, \alpha) = \int_0^T (x - y)' W (x - y) dt,$$

где  $W$  – соответствующая весовая матрица. Штрих означает операцию транспонирования. Для каждой отдельной величины векторного параметра модели  $\alpha$  и при конкретном выборе весовой матрицы, а также времени интегрирования мы получаем значения функции качества.

3. *Модели анализа динамики процессов в стационарном режиме.* Среди прогнозно-географических задач задачи прогнозирования процессов, протекающих в стационарном режиме, занимают не очень большое место. Это скорее задачи управления процессами при сложившейся структуре географических объектов и установившихся внешних взаимодействиях. Обычно в этом случае прогнозируются те колебания, которые ощущаются в продуктивности географических систем на выходе. Поскольку обычно в этом случае речь идет о производительности определенного продукта или ресурса, то прогнозирование целесообразно вести в единицах массы или в ее концентрациях (доля данной массы в единице объема продукции).

Как было показано выше (см. раздел 3.3), при исследовании географических объектов их можно представить в виде сочетаний массы воздуха (А), биомассы (Б), водной массы (В), почвенной (П), грунтовой (Г) и техногенной (Т) масс. При необходимости каждую из них можно разделить на составляющие части и каждую из этих частей рассматривать как самостоятельную массу. Такое представление географического объекта (системы) лишает его пространственной структуры и не имеет в виду изучения пространственной неоднородности. Мы как бы сжимаем территориальный комплекс в точку. Эта материальная точка обладает сосредоточенной массой, в которой могут быть выделены ее разнокачественные части. Обозначим сочетание этих масс вектором  $x$  и предположим, что развитие этих масс в данный момент времени зависит лишь от ее количества в некоторый достаточно малый предшествующий отрезок времени.



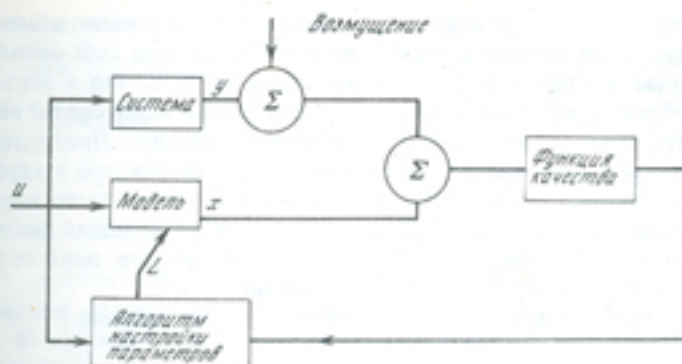


Рис. 42. Структурная схема решения задачи оценки параметров

Естественно, при этом не следует забывать о том, что ПТК представляет собой открытую систему, т.е. обменивается с окружающим миром веществом и энергией. В нашей модели делается предположение о том, что эти внешние потоки в явном виде не оказывают существенного влияния на динамику масс, так как на предыдущем отрезке времени они также участвовали в обмене. Это предположение кажется справедливым для целого ряда процессов, которые действительно наблюдаются в природе. Так, прирост биомассы на малом отрезке времени зависит лишь от количества биомассы в некоторый предшествующий момент времени. Прирост жидкокапельной воды вследствие конденсации зависит от количества водяного пара (при постоянной температуре). Количество песка, которое может образоваться от крупнообломочного материала гранитов, зависит от его наличия и т.д. Поэтому кажется справедливым, что при прогнозировании географических объектов можно использовать систему дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = A(x),$$

где  $x$  – вектор масс;  $t$  – время;  $A(x)$  – некоторая вектор-функция векторного аргумента.

Заметим, что уравнения этой системы автономны, т.е. правые части не содержат явно времени  $t$ . Это означает, что состояние системы в момент времени  $t + \Delta t$  определяется только ее состоянием в момент времени  $t$ . Иными словами, система вполне может быть открытой энергетически, но она "сама решает", что и когда будет поглощать из внешнего мира или испускать в него.

Но известно, что поведение системы будет зависеть от окружающей среды. Это обстоятельство можно учесть, введя зависимость от дополнительных параметров, которые могут определять управление системой. Тогда система будет иметь вид

$$\frac{dx}{dt} = A(x, \alpha),$$

где параметр  $\alpha$ , как и переменная  $x$ , является вектором, число компонент которого никак не связано с числом компонент вектора  $x$ . В рассматриваемом случае вектор  $\alpha$  состоит из масс того же вида, что и вектор  $x$ .

Таким образом, вектор параметров  $\alpha$  влияет на характер связей внутри системы. Это влияние можно учесть следующим образом. Предположим, что на некотором промежутке изменения компонент вектора  $x$  характер связей не меняется и не зависит от значений компонент этого вектора, а затем, когда одна из компонент или некоторая комбинация достигнет предельного значения, связи приобретают другой характер, пока не будет достигнуто некоторое новое предельное значение.

Приведем простой пример. Пусть мы имеем одно уравнение

$$\frac{dx}{dt} = C(x),$$

где

$$C(x) = \begin{cases} kx, & x \leq x^* \\ -kx, & x > x^* \end{cases},$$

т.е. скорость роста сначала увеличивается, пока не будет достигнуто некоторое предельное значение, а затем уменьшается. Вид решения этого уравнения приведен на рис. 43.

Заметим, что такое уравнение нелинейно, так как вид правой части меняется в зависимости от значений  $x$ , хотя на некотором промежутке коэффициент  $k$  постояен.

В многомерном случае система будет иметь вид

$$\frac{dx}{dt} = Ax,$$

где матрица  $A$  постоянна на каждом выделенном промежутке времени, пока какая-либо из компонент вектора  $x$  или их комбинация не достигнет предельного значения.

Решение такой системы на каждом промежутке, где матрица  $A$  постоянна, будет иметь вид

$$x = x_0 e^{At^*}.$$

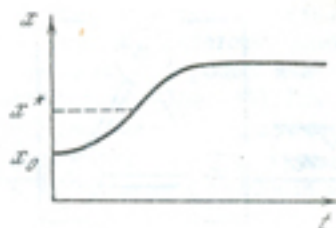
В нашем случае для составления прогноза необходимо отыскать матрицу коэффициентов  $A$  на каждом из выделенных промежутков изменения вектора  $x$ . Для этого необходима серия наблюдений за динамикой масс. Поля этого коэффициента определяются при помощи некоторой процедуры, называемой идентификацией системы.

Приведем пример определения коэффициентов матрицы  $A$  для случая, когда вектор  $x$  состоит из трех компонент, где на каждом из рассматриваемых промежутков матрица  $A$  постоянна и система уравнений линейна.

Приведем пример эволюции системы в стационарном режиме на примере соотношений между тремя видами растительной массы. Возьмем

\* Определение  $e^{At}$ , где  $A$  — матрица, можно найти в книге Ф.Р. Гантмахера "Теория матриц" [1966].

Рис. 43. График решения уравнения  $\frac{dx}{dt} = kx$ , где  $k$   $\begin{cases} k, x < x^* \\ -k, x > x^* \end{cases}$ , с начальным условием  $x|_{t=0} = x_0$ .



три горизонта лесной ассоциации и разобьем следующим образом: 1) все древесные породы, включая подросток; 2) подрост лесообразующих пород; 3) кустарники и травяно-моховой покров.

Сравнивая второй и первый горизонты (при данном виде разбиения массы), мы как бы сопоставим современное состояние леса с будущим. Функционирование этих трех подсистем тесно связано между собой. В результате функционирования они производят лес будущего. Взаимодействие между ними обеспечивает прирост биомассы. Оно осуществляется через затенение, перераспределение запасов питательных веществ и влаги в почве и т.д. Все это дает основание думать, что прогнозирование данной системы (прирост биомассы в единицу времени) можно описать системой дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = Ax,$$

где  $x$  — вектор, отражающий распределение концентрации (процентное соотношение масс) биомассы по выделенным ярусам в единицу времени;  $A$  — матрица коэффициентов, которую для составления прогноза следует определить.

Тогда алгоритм прогнозирования может иметь вид полинома.

$$x^{(t+1)} = x^{(t)} + t_{\text{пр}} A x^{(t)},$$

где  $x^{(t)}$  — вектор, характеризующий распределение концентраций биомассы в момент времени  $t$ ;  $x^{(t+1)}$  — то же, но в следующий прогнозируемый момент времени;  $t_{\text{пр}}$  — прогнозное время;  $A$  — матрица коэффициентов, описывающая характер взаимодействия, которую нужно отыскать. Представим себе структуру нашей системы в виде графа, в котором  $x_1$  — все древесные породы,  $x_2$  — подрост лесообразующих пород,  $x_3$  — кустарники и травянисто-моховой покров. В этих обозначениях структура системы может иметь вид цикла (рис. 44). Тогда можно записать систему линейных дифференциальных уравнений в виде нескольких строк, когда каждая строка представляет некоторый баланс:

$$\dot{x}_1^{(t_1)} = \pm a_{11}x_1^{(t_1)} \pm a_{12}x_2^{(t_1)} \pm a_{13}x_3^{(t_1)};$$

$$\dot{x}_2^{(t_1)} = \pm a_{21}x_1^{(t_1)} \pm a_{22}x_2^{(t_1)} \pm a_{23}x_3^{(t_1)};$$

$$\dot{x}_3^{(t_1)} = \pm a_{31}x_1^{(t_1)} \pm a_{32}x_2^{(t_1)} \pm a_{33}x_3^{(t_1)}.$$



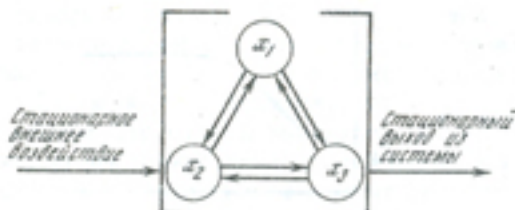
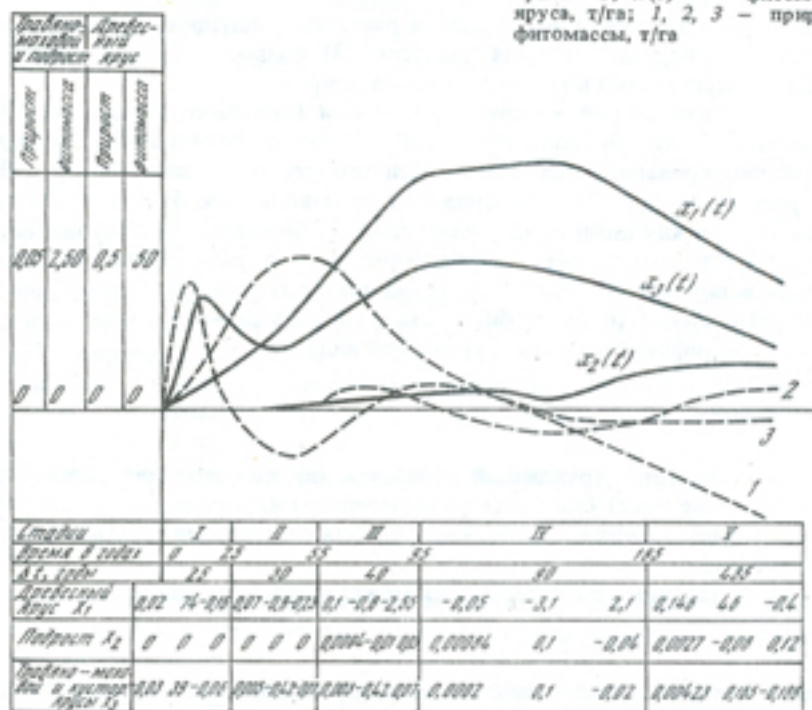


Рис. 44. Структура системы "фитомасса лесного ценоза"

Рис. 45. Изменение фитомассы по возрастным стадиям сукцессии в лесных фитоценозах

Коэффициенты матрицы  $A$  при  $k=1$ ;  $x(t)$  — фитомасса яруса, т/га; 1, 2, 3 — прирост фитомассы, т/га



В этой системе уравнений  $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$  и

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}.$$

Знак "+" или "-" в системе выбирается в соответствии с некоторым правилом: если предыдущее состояние элемента, например  $x_1^{t_1}$  (следует читать "концентрация первой массы в момент времени  $t_1$ "), на последующее состояние  $x_1^{t_2}$  влияет так, что приходится увеличение  $x_1$  ( $x_1 < x_2$ ), то берется знак "+"; если вызывает уменьшение ( $x_1 > x_2$ ), то коэффициент берется с отрицательным знаком.

Для того чтобы получить значения коэффициентов, нужно иметь некоторый экспериментальный ряд значений вектора  $x$ , достаточно длинный (на интервале времени  $t_0, \dots, t_n$ ), чтобы увидеть, что процесс имеет стационарный характер. Пусть такой ряд задан графиком (рис. 45). Поскольку значение вектора  $x$  в детерминированной системе измеряется не достаточно строго и могут быть колебания значений фитомассы по ярусам, то в качестве решения задачи принимаем такую матрицу  $A$ , которая минимизирует функционал  $\Phi = \left\| \frac{dx}{dt} - Ax \right\|$  на множестве  $n \times m$  матриц на отрезке  $t_0 - t_n$ .

Норма вектора функции  $x$ , элементы которой, интегрируемые с квадратом на отрезке  $[t_0 - t_n]$ , действительные функции, определяется по формуле

$$\|x\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t_n} x_i^2 dt}.$$

В работе В.Н. Лукашонка и С.В. Зубарева [1974] показано, что матрица  $A$ , минимизирующая указанный выше функционал, является решением в смысле метода наименьших квадратов переопределенной системы линейных алгебраических уравнений:

$$A(X \circ Z) = XZ' \int_{t_0}^{t_n} - X \circ \frac{dz}{dt},$$

где  $\circ$  — операция для произвольных вектор-функций  $u$  и  $v$  вида

$$U \circ V = \int_{t_0}^{t_n} uv' dt,$$

где штрих — знак транспонирования матриц;  $Z$  — вектор-функция, имеющая своими элементами систему ортогональных нормированных функций типа

$$\sin i \frac{k\pi}{2t_n} t, \quad \cos j \frac{k\pi}{2t_n} t.$$

Решая систему уравнений на ЭВМ "Мир-2", для приведенного рис. 45 мы получили матрицу коэффициентов, которая имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} -0,05 & -3,1 & 2,1 \\ 0,00084 & 0,1 & -0,04 \\ 0,0002 & 0,1 & -0,02 \end{pmatrix}.$$

При анализе матрицы можно заметить, что коэффициенты  $a_{21}$  и  $a_{31}$  чрезвычайно малы. Весьма малые значения коэффициентов всегда свидетельствуют о малой степени взаимозависимости между данными структурными элементами (о слабом их взаимодействии). Сравнивая коэффициенты, расположенные симметрично по отношению к диагонали матрицы, можно косвенно судить о характере взаимодействия. Если значения одного из них значительно больше другого (например,  $a_{13} \gg a_{31}$ ), то можно говорить о направленном воздействии одного элемента

на другой; различия в знаках (например,  $a_{23} = -0,04$ ;  $a_{32} = 0,1$ ) свидетельствуют о наличии контуров саморегулирования. Если коэффициенты в данной матрице разбить на группы по интенсивности (учитывая абсолютное значение коэффициентов), то структура данной системы примет следующий вид (рис. 46).

Говоря о прогнозе прироста фитомассы при стационарном режиме развития ценоза, следует иметь в виду, что даже малозначащие коэффициенты при большом времени упреждения ( $t_n \ll t_{np}$ ) могут иметь большое значение и ими пренебрегать не следует.

Мы остановились лишь на варианте системы линейных дифференциальных уравнений. Если учитывать более тонкие различия в поведении системы, следует ввести в эту систему и нелинейные ее члены. Если это сделать, то система уравнений могла бы иметь вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_1x_2 + a_{15}x_1x_3 + a_{16}x_2x_3 + a_{17}x_1x_2x_3; \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_1x_2 + a_{25}x_1x_3 + a_{26}x_2x_3 + a_{27}x_1x_2x_3; \\ \dot{x}_3 &= a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_1x_2 + a_{35}x_1x_3 + a_{36}x_2x_3 + a_{37}x_1x_2x_3. \end{aligned}$$

Поскольку  $x_1, x_2, x_3$  — концентрации соответствующих масс и выражаются в долях единицы так, что

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1,$$

то их можно рассматривать как вероятности встреч. Тогда произведения концентраций будут соответствовать вероятности их совместных встреч. Члены уравнений каждой строки, начиная с четвертой и по седьмую, показывают, какой вклад в изменения скорости прироста вносят взаимные действия этих элементов. Это аналогично представлениям из химической кинетики, в которой показано, что скорость реакции (она описывает взаимодействие элементов) пропорциональна произведению концентраций реагентов. Поскольку в нашем примере  $x_1 \gg x_2 \gg x_3$ , то их взаимодействие не является наилучшим, так как произведение  $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$  стремится к максимуму при  $x_1 = x_2 = x_3$ .

Следовательно можно думать, что нелинейные члены этих дифференциальных уравнений не должны быть значимыми и при прогнозировании на небольшой срок их можно не принимать во внимание. Однако при  $t_n \ll t_{np}$  (при значительно большем сроке упреждения по сравнению с базисным, для которого были получены коэффициенты матрицы перехода) этими значениями пренебрегать не следует.

Дальнейший учет нелинейности в прогнозировании связан с возведением  $x_1, x_2$  и  $x_3$  в степень и с получением произведений этих степенных членов. Естественно, что эти члены уравнений будут еще большего порядка малости. Целесообразность их учета должна быть предварительно оценена.

Группа моделей для прогнозирования состояний географических систем в стационарном режиме предполагает относительное постоянство их внутренней структуры, постоянство структуры внешних импульсов, определяющих функционирование системы. В географическом прогнозировании они займут вероятно, достаточно скромное место.



Рис. 46. Структура системы "фитомасса лесного ценоза" с указанием связей

1 — сильная; 2 — средняя; 3 — слабая; 4 — весьма слабая



4. *Модели анализа динамики нестационарных процессов при условии адаптации.* Этот класс моделей должен найти широкое применение в географическом прогнозировании, так как в самой постановке задачи имеется условие, которое делает это направление актуальным. В названии класса моделей предполагается, что эволюция географических объектов зависит от меняющихся внешних условий и что комплекс успевает приспособиться к новым условиям внешней среды (изменению климата и изменению характера природопользования). Сам процесс приспособления к новым условиям может происходить различными способами. К этому вопросу следует вернуться несколько позже.

Одним из наиболее четких ограничений для использования моделей этого типа является допущение того, что приспособление осуществляется за счет изменения структуры объекта и что структура достаточно пластична по отношению к факторам внешнего воздействия. Обычно географический объект в это время работает как интегратор. Предполагается, что в процессе изменения объекта проходит последовательно три состояния: начальное стационарное (до момента изменения внешнего воздействия); переходное нестационарное, когда в течение некоторого времени  $\tau$  система приспособливается к новым условиям, меняет структуру, что выражается в изменении соотношения географических масс (одна или несколько масс могут расти или убывать при неизменном количестве других); заключительная стадия, когда географический комплекс (система) выходит на другой уровень функционирования при стационарном режиме.

Типичным примером процессов этого типа является случай формирования поверхностного стока в речном бассейне малых размеров в результате выпадения осадков (со стационарным режимом); другой пример — приспособление растительности к резко изменившимся условиям увлажнения и т.д.

Предметом прогнозирования с помощью этой модели может быть один или группа сопряженных, но относительно независимых параметров, таких, как географические массы (биомасса, водная масса и др.), а также плотность (концентрация географических объектов в пределах той или иной, но ограниченной площади).

Обычно для моделирования подобных процессов используются уравнения логистической кривой, которые в определенных условиях сводятся к уравнениям, проанализированным в предыдущем подразделе. Решением уравнения  $\frac{dx}{dt} = k \left( x - \frac{x^2}{a} \right)$  при условии  $x|_{t=0} = \frac{a}{1+b}$  является  $x =$

$$= \frac{a}{1 + be^{-kt}}, \text{ что и представляет собой уравнение логистической кривой.}$$

Здесь параметры  $a$ ,  $b$ ,  $k$  определяют скорость нарастания кривой в начальный момент переходного режима, затем среднюю (или истинную) скорость нарастания в период адаптации, затухание темпов роста при переходе на стационарный режим и, наконец, размах изменений при переходе с одного уровня стационарного развития на другой. Физическая сущность этих параметров была показана в главе 3, в разделе, посвященном рассмотрению функционирования географических объектов как интеграторов. По своему существу они могут иметь относительно простое содержание и относиться к форме объекта в плане или к распределению уклонов. Но всегда их сущность определяется соотношением процесса интегрирования множества процессов, отвечающих за изменение структуры. На примере анализа водосбора и его реакции на изменение атмосферных осадков видно, что значения коэффициентов уравнения логистической кривой определяются длиной склона и соотношением скорости течения воды на склоне и в русле.

Использование логистического уравнения требует предварительного получения необходимых сведений об объекте для получения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $k$ ,  $c$ . Вид этой кривой приведен на рис. 47.

Предположение о том, что географические комплексы обладают свойствами адаптации, больших возражений не вызывает. Однако в силу ряда объективных причин мы в настоящее время не имеем достаточных данных для определения понятий, которые были бы эквивалентны аналогичным терминам, широко используемым в экологии. К ним относятся емкость среды насыщения, численность популяции и др. Вероятно, в географии можно рассматривать зональные ПТК как комплексы, вполне приспособившиеся к условиям среды, а ландшафтно-сукцессионный ряд — как ряд, отражающий процесс адаптации. Значение таких параметров, как биомасса отдельных ПТК, может быть расположено в соответствии с правилами эволюции. Отсюда материалы, приготовленные для анализа эволюционных графов, могут быть использованы и для логистической модели. Географам, прежде чем приступить к прогнозированию по моделям данного типа, предстоит провести большую работу по систематике данных о динамике ПТК. Одним из преимуществ данного класса моделей является то, что они позволили увидеть весьма важное свойство географических объектов — наличие памяти о прошлом, которое можно измерить некоторым отрезком времени.

Процедуры прогнозирования по модели данного типа заключаются в следующем: 1) в определении предмета прогнозирования; 2) в пространственном ограничении объекта; 3) в отыскании параметров, необходимых для построения кривой; 4) в получении решения.

*5. Модели анализа динамики нестационарных процессов с учетом наследственности.* Географическая оболочка к настоящему времени прошла длительный путь развития. Отдельные этапы этой истории находят отражение в ее строении. Предыстория нередко оказывает существенное влияние на весь ход последующей эволюции, особенно с помощью консервативных элементов ПТК, поэтому данный класс моделей может представ-

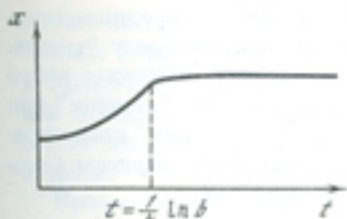


Рис. 47

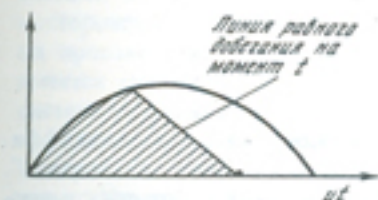


Рис. 49

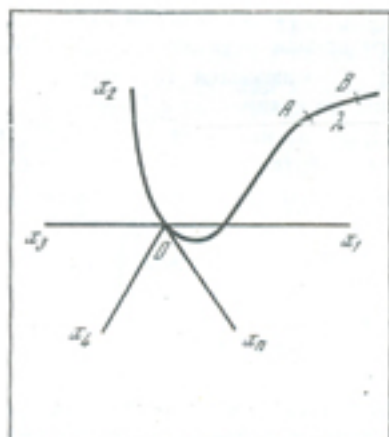


Рис. 48

Рис. 47. График логистической кривой

Рис. 48. Траектория состояний в пространстве  $x_1, \dots, x_n$

Рис. 49. Элемент модели, описывающей формирование склонового стока  
Заштрихована часть склона, с которой происходит сток на момент времени  $t$

дать определенный интерес для географического прогнозирования. Этот тип моделей тесно связан с понятием "памяти", введенным в главе 3. Если мы представим себе траекторию состояний системы в пространстве параметров, характеризующих ее поведение, то может оказаться, что состояние системы в данный момент будет зависеть от всей предшествующей траектории или от некоторой ее части длины  $\lambda$  (рис. 48).

Величина  $\lambda$  называется "памятью" и рассматривается как характеристика системы. В этом случае система "помнит" только часть траектории длины  $\lambda$ , предшествующей рассматриваемой точке траектории. Состояние системы в точке  $B$  не изменится, если отрезок  $OA$  заменить каким-либо другим.

В примере со стоком "память" системы характеризуется временем добегаания. Действительно, если мы зафиксируем момент времени  $t$ , то величина расхода будет зависеть от воды, успевшей стечь с данной площади, а значит, и от всей предшествующей интенсивности выпадения осадков. Соответствующая площадь показана на рис. 49, где  $u$  — скорость течения воды в русле.

6. Модели анализа динамики процессов с ограниченными ресурсами. В экологической литературе этот класс моделей широко обсуждается в связи с проблемой "хищник-жертва". Наиболее ранней моделью этого типа является модель Лотки-Вольтерра, где рассматривается замкнутая система из двух элементов. Поведение одного из них полностью определяется наличием другого. Для описания их взаимодействия принят ряд упрощений: а) их взаимодействие связано с концентрацией как "хищни-



ка" ( $y$ ), так и "жертвы" ( $x$ ); б) при встрече "хищника" предполагается мгновенная реакция — масса "жертвы" превращается в массу "хищника" (исключается то, что требуется время на создание биомассы иного типа по сравнению с "жертвой", и возможность того, что "хищник" при встрече не поглотит "жертвы"); в) в отсутствие "хищника" концентрация "жертвы" растет в соответствии с логистическим уравнением (скорость роста  $a$  и емкость среды  $a/b$ ). Уравнения имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= ax - bx^2 - cxy \\ \frac{dy}{dt} &= -ey + c'xy \end{aligned} \right\},$$

где  $e$  — скорость естественного вымирания "хищника",  $c, c'$  — коэффициенты, определяющие интенсивность выедания "хищником" "жертвы".

По этому вопросу имеется много опубликованных работ, раскрывающих недостатки такого описания в связи с несоответствием опытных и расчетных данных. Большинство предложений по улучшению данной модели сводится к ее усложнению путем введения дополнительных членов, допускающих наличие "сытого хищника", учитывающих время запаздывания превращения массы "жертвы" в массу "хищника" и многое другое. Этот процесс свидетельствует о многократных попытках пойти от общего к частному. Последнее нередко снижает методологическую ценность разработок для специалистов смежных областей.

Использование систем уравнений типа "хищник-жертва" и самого математического аппарата в географии сопряжено с известной теоретической работой в будущем. Необходимо подготовить некоторый понятийный аппарат, который был бы рационален для географии. Так, группу географических процессов, для которых типичны проблемы потребления (развития) и которые ограничивают развитие возобновляемых ресурсов, можно рассматривать с этих позиций. Потребитель может рассматриваться как "хищник", а возобновляемые ресурсы — как "жертва". Для использования данной группы моделей необходимы ограничение внешних связей для потребителя и достаточно благоприятные условия для самовосстановления ресурсов. Если эти условия удовлетворяются, то прогнозирование оказывается достаточно простым. При этом предполагается, что коэффициенты, описывающие свойства среды, в которой происходит взаимодействие, известны.

Одной из центральных проблем, возникающих при анализе модели данного типа, является проблема устойчивости системы по отношению к тем малым возмущениям, которые не учтены в системе уравнений для целей упрощения описания механизма взаимодействия. В числе таких возмущений, кроме тех, которые действительно не учтены из-за незнания полного механизма взаимодействия, обычно рассматривают процессы самоограничения в росте "жертвы", наличие убежища для "жертвы", различие скорости выедания "жертвы", наличие обратных связей с запаздыванием некоторых реакций из-за времени развития, дискретности сезонов размножения, изменения возрастной структуры и др. [Смит, 1976].

Принимая на вооружение эти методы прогнозирования, география должна принять и тот круг проблем, которые уже выявились при их проработке в биологии. Класс этих моделей для прогноза последствий хозяйственной деятельности человека кажется особенно интересным, так как касается именно ресурсной части проблемы рационального природопользования.

Предположим, что число предприятий горнодобывающей промышленности на определенной территории зависит от числа месторождений, известных к определенному моменту времени. Процесс открытия новых месторождений эквивалентен самовозобновлению "жертвы", а рост объема производства эквивалентен росту хищничества. Как будто бы здесь имеется ситуация, которая позволяет использовать идеи, заложенные в системе уравнений "хищник—жертва".

Приведем другой пример. Рост производства в определенном районе может быть ограничен ростом трудовых ресурсов, производства энергии и т.п. Известно, что идеологию, заложенную в описанных выше уравнениях, можно обобщить и на случай взаимодействия трех и более элементов, связанных друг с другом отношениями "потребление—ресурсы". Однако поведение самых сложных систем с большим числом взаимодействующих элементов удобнее анализировать с помощью сложных имитационных моделей с механизмом саморегулирования.

#### 4.4. Некоторые подходы к составлению моделей с пространственно распределенными параметрами

Модели с сосредоточенными параметрами, которые были рассмотрены в подразделе 4.3.2, предъявляют серьезные требования к отбору материалов для прогнозирования. Не вызывает сомнений то, что для составления прогнозных моделей необходимы специальные исследования по эволюции структуры территориальных комплексов во времени при том или ином виде хозяйственного использования территории. Большой материал для этих целей накапливается в настоящее время на стационарах, пока еще немногочисленных. Однако эти стационары очень часто оказываются достаточно удаленными от тех "горячих" точек, для которых необходима географических прогнозов особенно очевидна. Мы в настоящее время не располагаем необходимыми материалами для составления моделей даже с сосредоточенными параметрами. Чтобы выйти из этого положения, необходимо собирать уже имеющиеся сведения о других территориях, полученные в другое время и для других целей, материалы с территорий пространственно-временных аналогов изучаемого комплекса; нужны их оценка и определение степени репрезентативности и логически возможные экспертные данные. Даже столь ненадежный материал может послужить основанием для "проигрывания" некоторых ситуаций, которые могли бы иметь место в будущем. Это необходимо для получения представлений о будущем географических объектов.

Составление моделей с пространственно распределенными параметрами потребует значительно большего количества материалов. Ведь для каждого из изучаемых объектов необходимо рассмотреть и описать



пространственную неоднородность каждого из элементов, образующих структуру изучаемого объекта. Состояние каждого из них в заданный момент времени можно описать некоторой функцией переменных, зависящей от пространственных координат (или показать это распределение в виде карты изолиний каждого из параметров). Если же независимых параметров (или элементов системы), описывающих состояние системы, больше одного, то карты изолиний, наложенные друг на друга, разобьют изучаемое пространство на много частей, внутри которых пространство можно считать однородным. Это позволит воспользоваться той системой идей, которая была описана выше для моделей с сосредоточенными параметрами. Разделяя подобным образом территориальный комплекс, мы как бы переходим с одного пространственного иерархического уровня системы на другой, более низкий и прогнозируемые ведем не для одной единой территории, а для нескольких. Иными словами, мы переходим к описанию более сложных территориальных систем, полученных с помощью горизонтального членения территории. После составления прогноза для каждого из вновь полученных (малых) объектов мы определяем пространственную структуру главного объекта. На следующей стадии составляем граф, описывающий строение и существующие связи в данном комплексе. Зная интенсивность импульсов, идущих от одного элемента к другому, а также скорость его передачи и длину пути, мы можем перейти к составлению системы дифференциальных уравнений вида  $\dot{y} = Vy$ , где  $y$  — вектор, описывающий изменение во времени состояния элементов системы (пространственного комплекса элементов).

Этот подход позволяет далее реализовать все процедуры, описанные в подразделе 4.3.2. Таким образом, для составления моделей, учитывающих пространственно распределенные параметры, необходима лишь иная, чем мы можем иметь в настоящее время, плотность экспериментально полученных данных. Привлечение для построения моделей этого типа материалов по аналогиям (как мы это делали для моделей с сосредоточенными параметрами) чревато тем, что мы не имеем пока возможности проверить величину ошибки, которую мы вносим, используя "прикидочные" материалы. Увеличение плотности наблюдений в пространстве и времени — дело весьма дорогое и сопряжено с принципиальными трудностями, которые обсуждались в главе 3. Их решение следует связывать с совершенствованием методов дистанционных наблюдений, получивших сейчас развитие в связи с аэрокосмическими исследованиями земных ресурсов.



"Природа вовсе не борется с нами и не старается злоумышленным сопротивлением разрушить наши замыслы и повредить нашим интересам. Наши неудачи или неполные успехи просто происходят от нашего неумения и неполного знания причин и следствий; но от чего бы они ни происходили, они, несомненно, существуют и оказывают влияние на ценность предметов, произведенных трудом".

*Д.И. Писарев*

Мы рассмотрели состояние проблемы "региональный географический прогноз", ее теорию и методы. Несомненно, это новое научное направление в географии тесно связано с проблемами рационального природопользования и защиты окружающей среды. Оно возникло и развивается в связи с запросами общества за прогностические знания о будущем человечества и его местообитания. Постановке вопроса о будущем состоянии природы нашей планеты способствовала "экологизация" мышления прогрессивной общественности — руководителей государств, научных общественных деятелей и деятелей культуры. Становлению идей о необходимости географического прогноза благоприятствовал рост самосознания трудящихся масс, включивших в ряде капиталистических стран вопрос об улучшении природных условий в свои политические требования. В социалистических странах вопрос об улучшении окружающей среды входит в общенациональные программы повышения благосостояния трудящихся. Стремление к созданию оптимальных условий жизни требует от общества значительных затрат материальных средств и знания конкретных законов, на основании которых можно направленно воздействовать на нежелательные явления, происходящие в окружающей среде. Если высвобождение средств тесно связано с политической жизнью нашей планеты, с разрядкой напряженности в отношениях между странами с различным политическим строем, с прекращением гонки вооружений, то знание законов, действующих в окружающей среде, может быть обеспечено "экологизацией" всей науки и с развитием наук о Земле.

У географии в связи с проблемами защиты окружающей среды имеются свои задачи. Длительное время развиваясь и накапливая сведения о природе, хозяйстве и населении нашей планеты в целом и отдельных ее частей, география создала учение о территориальных единствах — природных и производственных территориальных комплексах, об их устройстве, истории возникновения и развития и о взаимодействии элементов, их образующих. Эти сведения служили и служат в настоящее время основанием для оценок при размещении различных производственных сооружений, при разных видах освоения поверхности нашей планеты. Занимая промежуточное положение между естественными и гуманитарными науками, география плодотворно питалась потоком идей, идущих от этих наук, использовала их методы и строила свои концепции. В результате в

качестве предмета исследования география получила объекты и явления, в которых сложным образом соединены природные и социальные явления. В этих явлениях переплелись процессы, протекающие в косной и живой природе, с одной стороны, и общественно-социальные и психологические процессы — с другой. Внутри этих комплексов оказался и сам человек с его медико-биологической спецификой и разумным началом, от которого идут осмысленные импульсы воздействия на природу, в результате чего происходит ее преобразование.

Для того чтобы новое научное направление оказалось жизненным, необходимо иметь свой собственный предмет исследования, некоторые общие принципы, позволяющие объяснять полученные и предсказывать будущие факты, а также собственный набор методов. За первые пятнадцать лет существования нового направления обсуждались вопросы, связанные с выделением объекта исследований и наиболее трудных проблем, с созданием системы методов исследования.

В качестве предмета и объекта исследований выделяются территориальные природно-хозяйственные единства, природно-производственные территориальные комплексы или системы. В географическом прогнозировании (в рамках нового научного направления) изучается их прошлое и настоящее в целях определения будущего.

Определяя общие принципы в изучении объектов прогнозирования, большинство географов исходят из того, что территориальные комплексы представляют собой сложные природно-технологические системы с большим числом входящих в них элементов и сложными отношениями между ними. Эти системы обладают иерархической пространственно-временной структурой соподчинения, что должно обязательно учитываться при выборе средств направленного воздействия и управления поведением природно-технических систем. Многие свойства этих систем, несмотря на длительный период их анализа, остаются недостаточно изученными для целей прогнозирования. И это связано прежде всего с тем, что они изучались до сих пор под другим углом зрения и для других целей. Региональное географическое прогнозирование выдвигает новые задачи перед географией и ее теорией. Они связаны прежде всего с уточнением некоторых старых и выработкой новых понятий. Среди них одно из ведущих мест должно занять учение о состоянии географических объектов. Необходимо разработать набор параметров, описывающих различные состояния объектов основных типов, принципы, методы и аппаратуру для их измерения. Главные трудности будут заключаться в определении непрерывности и дискретности отношений между частями и целой географической системой. Необходимо проведение работ в области определения сущности механизмов, обеспечивающих функционирование географических систем (процессов создания биомасс, заданного качества воды и воздуха, почв и грунтов, а также продуктов производства), в тех случаях, когда в их создании принимает заметное участие функционирование природных и природно-технических систем. Многого предстоит еще сделать для выделения и изучения основных свойств географических объектов. В наших исследованиях выделено восемь таких групп свойств: неоднородность географического пространства, пространственная упорядоченность, це-



лостность географических объектов, упорядоченность событий во времени, пространственно-временная структура размещения и эволюции географических объектов, непрерывность и дискретность географического пространства, связь с окружающей средой и ресурсы устойчивости, преобразование внешних воздействий взаимодействия объектов. Многие свойства еще будут обнаружены в ближайшем будущем, и их значение в жизни общества (а стало быть, и целесообразность предвидения их изменений) будет определено.

Прогнозирование перечисленных свойств на разные сроки упреждения и с различной точностью потребует выделения набора параметров, характеризующих описанные выше свойства. Будут установлены способы измерения этих параметров, их обработки и хранения. Они определяют неотложные задачи географии в целом и географического прогнозирования в частности. Говоря о методах прогнозирования, можно заметить, что они зависят от свойств географических объектов, от степени изменчивости параметров, их описывающих (изменчивости во времени и в пространстве). Существенное влияние на выбор методов прогнозирования будет оказывать уровень наших знаний законов изменения изучаемых объектов и процессов, а также наличие или отсутствие определенного набора материалов наблюдений. В настоящее время прогнозист весьма часто встречается либо с отсутствием материалов наблюдений на заданную территорию вообще, либо с небольшими временными рядами (рядами малой длины), что затрудняет экстраполяцию в будущее. В связи с этим географ-прогнозист должен использовать свою интуицию, опирающуюся на опыт всей науки в целом. Это позволяет, в свою очередь, считать, что в географическом прогнозировании еще длительное время будут широко использоваться традиционные для географии сравнительно-географический метод и метод пространственно-временных рядов и аналогий. В них будут дополнять друг друга описательные, расчетные и картографические методы. По мере роста пространственно-временных данных (измеренных параметров) географическое прогнозирование будет все шире использовать методы статистического прогнозирования, а также созданные аналитические и имитационные модели. Последние будут "работать" тем успешнее, чем полнее будут наши знания о действии географических механизмов.

Уже сейчас географы должны выявить перечень организаций — возможных потребителей их прогнозов. Несомненно, что таковыми станут планирующие организации и органы управления народным хозяйством. Известно, что в настоящее время они имеют территориально-отраслевое деление. По мере экологизации идей управления народным хозяйством значение таких прогнозов должно увеличиваться. Следует думать, что потребители географических прогнозов будут иметь территориально-административную структуру, а сами прогнозы составляться для территорий отдельных районов, областей, краев, республик и для территории всего Советского Союза. Во всех странах мира в настоящее время уже создаются органы рационального природопользования и охраны природы, территориально-административной ориентации. Однако их система, опирающаяся лишь на административное деление, оказывается недостаточ-



ной, и в ряде государств они дополняются бассейновыми комиссиями (по бассейнам рек). Это дополнение кажется нам весьма своевременным и устойчивым, так как взаимодействие географических объектов, а также потоки загрязнений концентрируются и рассеиваются по законам речного стока. В будущем такие комиссии должны стать координаторами для решения межрайонных, межобластных и межреспубликанских проблем. Бассейновые комиссии могут иметь несколько территориально-иерархических уровней с соответствующим соподчинением. Так, например, бассейн Днепра охватывает территории ряда союзных республик, поэтому если бы была создана Днепровская бассейновая комиссия, то она должна была бы быть в ранге союзного (общегосударственного) комитета, а Комиссия бассейна Камы могла бы иметь республиканское подчинение.

Чтобы государственные учреждения почувствовали необходимость географических прогнозов, их надо составлять и при этом совершенствовать методы и повышать точность прогнозирования. На стадии начальной разработки проблем географического прогнозирования инициативу должны взять некоторые институты и научные организации Академии наук СССР и министерств высшего и среднего специального образования СССР и союзных республик, имеющие высококвалифицированные научные кадры.

Географическое прогнозирование — новое научное направление, от которого наука и практика ждут конкретных реализаций результатов задуманных и проектируемых фундаментальных исследований.

- Авенариус И.Г., Муратова М.В., Спаская И.И.* Палеогеография Северной Евразии в верхнем плейстоцене-голоцене и проблема долгосрочного географического прогноза. — В кн.: Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Агафонов Б.П.* Прогнозно-геодинамический анализ как методическая основа комплексных исследований на Байкале. — В кн.: Оперативные информационные материалы. Ливневичное-на-Байкале, 1973, вып. 1.
- Агафонов Б.П.* Распространение и прогноз физико-географических процессов в Байкальской впадине. — Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР, 1975, вып. 21 (41).
- Актуальные проблемы изменения природной среды за рубежом/Под ред. А.М. Рябчикова. М., 1976.
- Алексеев В.В.* Человек и биосфера: (Курс лекций). М.: Изд-во МГУ, 1973.
- Алехин В.В.* Растительность СССР в основных зонах. М.: Сов. наука, 1951.
- Алехин Ю.М.* Динамико-статистический метод прогноза геофизических макропроцессов. — Тр. ЛГМИ, 1961, вып. 11.
- Алехин Ю.М.* Статистические прогнозы в геофизике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1963.
- Алолюев Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.* Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Арманд А.Д.* Метод информационных градиентов в географическом районировании. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1973, № 3.
- Арманд А.Д.* Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975.
- Арманд А.Д.* Информационный метод исследования связей в природных геосистемах. — В кн.: Количественные методы в географии. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Арманд А.Д., Миловаидова Н.В.* Информационное моделирование физико-географических систем. — В кн.: Моделирование элементарных геосистем. Иркутск, 1975.
- Арманд А.Д., Торгуевьян В.О.* Принцип дополнительности и характерное время в географии. — В кн.: Системные исследования. М.: Наука, 1974.
- Арманд Д.Л.* Происхождение и типы природных границ. — Изв. ВГО, 1955, № 3.
- Арманд Д.Л.* Нам и наукам. М.: Мысль, 1966.
- Арманд Д.Л.* Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975.
- Багоцкий С.В., Базыкин А.Д.* Математическая экология. Пушкино-на-Оке, 1975.
- Байдал М.Х.* Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. Л.: Гидрометеониздат, 1971.
- Бакланов П.Я.* Географический прогноз и размещение производства. — В кн.: Экономико-географическое прогнозирование: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 2.
- Башахламов И.А., Буфал В.В., Хлебович И.А.* Применение системного подхода при оценке и прогнозировании состояния геосистем. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Бейли Н.* Математика в биологии и медицине. М.: Прогресс, 1970.
- Белов А.В., БуксИ.И., Ильина И.С.* Использование геоботанических карт при географическом прогнозировании. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Белов П.Н.* Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеониздат, 1975.
- Бере Л.С.* Ландшафтно-географические зоны СССР. М.; Л.: Сельхозгиз, 1930. Ч. 1.
- Беруашвили Н.Л.* Сезонная динамика структуры и функционирования фаций. — В кн.: Ландшафтный сборник. Тбилиси, 1972.
- Беруашвили Н.Л., Гуджабидзе Г.А., Тедиашивили А.Г.* и др. Попытка построения структурно-функциональной модели природного комплекса. — В кн.: Ландшафтный сборник. Тбилиси, 1972.

- Берущивили Н.Л., Спектор И.Р.* Модель развития ПТК при изменении внешней среды и хозяйственной деятельности человека (вариант прогноза с мониторингом). — В кн.: География и математика. Тарту, 1974.
- Блауберг И.В., Юдин Э.Г.* Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973.
- Боговаленский Б.А.* Динамика и прогноз природы дельты Селенги. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Бокс Дж., Дженкинс Г.* Анализ временных рядов: Прогноз и управление. М.: Мир, 1974.
- Борисенков Е.П.* Физико-статистические методы анализа и предвычисления метеорологических полей. Л.: Морской транспорт, 1963.
- Боярская Т.Д., Муратова М.В.* Развитие растительности и климата Центральной Якутии, юго-восточной Чукотки в плейстоцене как основа для географического прогноза. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Боярская Т.Д., Муратова М.В.* Возможность детальных палеоклиматических построений на основе результатов палинологического анализа в целях долгосрочного географического прогноза. — В кн.: Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Брагин В.Г.* Некоторые вопросы оптимизации планирования управления окружающей средой. — В кн.: Методы планирования и управления природными ресурсами. М., 1975.
- Брукс К.* Климаты прошлого. М.: ИЛ, 1952.
- Будыко М.И.* О происхождении ледниковых эпох. — Метеорология и климатология, 1968, № 11.
- Будыко М.И.* Изменение климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Будыко М.И.* Современное изменение климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1977а.
- Будыко М.И.* Глобальная экология. М.: Мысль, 1977б.
- Будыко М.И.* Исследование изменения климата и влагооборота. — Тр. Гидрол. ин-та, 1977в, вып. 247.
- Будыко М.И.* и др. Предстоящие изменения климата. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1978, № 6.
- Бунге В.* Теоретическая география. М.: Прогресс, 1967.
- Введение в геофизику.* М.; Л.: Наука, 1968.
- Вернадский В.И.* Биосфера. Л.: Научн. хим.-техн. изд-во, 1926.
- Видина А.А.* Методические указания по полевым крупномасштабным ландшафтным исследованиям. М.: Изд-во МГУ, 1962.
- Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967.
- Виноградов В.Т.* Научное предвидение. М.: Высшая школа, 1973.
- Вительс Л.А.* Аномалии циклического хода солнечной активности и тенденции современных колебаний климата. — Тр. ГГО, 1962, вып. 133.
- Возвак Ю.М., Стаская И.И.* Палеогеографические аспекты долгосрочного прогноза. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Волобуев В.Р.* Почва и климат. Баку, 1953.
- Вольтерра В.* Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976.
- Воронов А.Г.* Геоботаника. М.: Высшая школа, 1963.
- Гаврилов И.Т., Цицарин Г.В.* Проблема оценки качества воды и пути ее решения. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1974, № 4.
- Гайкин Л.М.* Об одном из возможных методов прогноза состояния географических объектов. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Гантмахер Ф.Р.* Теория матриц. М.: Наука, 1966.
- Гаузе Г.Ф.* Борьба за существование. М., 1934.
- Гвоздик Л.И.* Карты сезонной динамики природы как источник информации географического прогнозирования. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды:



- Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Гелета И.Ф.* Оценка роли факторов стока рек при помощи множественного регрессионного анализа. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.
- Гелета И.Ф., Губер П.К.* Вопросы применения экстраполяции случайных процессов в прогнозах природных явлений. — В кн.: География и математика. Тарту, 1974.
- Географическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1961. Т. 2.
- Герасимов И.П.* Мировая почвенная карта и общие законы географии почв. — Почвоведение, 1945, № 3/4.
- Герасимов И.П.* Географическое почвоведение. — В кн.: Советская география. М., 1960.
- Геренчук К.И.* Опыт определения границ природных комплексов: — В кн.: Географический сборник. Львов, 1961, вып. 6.
- Геренчук К.И., Гораш И.К., Топшев А.Г.* Методика определения некоторых параметров морфологической структуры ландшафта. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969, № 5.
- Геренчук К.И., Топшев А.Г.* Информационный анализ структуры природных комплексов. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1970, № 6.
- Гирс А.А.* Основы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1960.
- Гирс А.А.* Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
- Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Глазовская М.А.* Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического районирования. — Вести. МГУ. Сер. 5. География, 1968, № 1.
- Глазовская М.А.* Технобиогеомы — исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза. — Вести. МГУ. Сер. 5. География, 1972, № 6.
- Глазовская М.А., Головенко С.В., Лазукова Г.Г.* Основные направления прогнозирования первичной продуктивности лесных биогеоценозов. — Вести. МГУ. Сер. 5. География, 1972, № 3.
- Главенко В.И.* Менделеевская алгебра. М., 1936.
- Гмошинский В.Г., Флорент Г.И.* Теоретические основы инженерного прогнозирования. М.: Наука, 1973.
- Горюченко Ф.Г., Николаев С.Д., Шаюков А.И.* Методы изучения климатических изменений в прошлом для целей географического прогноза. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Горстко А.Б.* Математическое моделирование и проблемы рационального использования водных ресурсов. Ростов н/Д, 1976.
- Григорьев А.А.* Задачи комплексного исследования территории. — Природа, 1926, № 5/6.
- Григорьев А.А.* Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии. — Изв. АН СССР. География и геофизика, 1946, № 2.
- Григорьев А.А.* Закономерности строения и развития географической среды. М.: Мысль, 1966.
- Григорьев А.А., Будыко М.И.* О периодическом законе географической зональности. — Докл. АН СССР, 1956, № 1.
- Григорьев А.А., Герасимов И.П., Давитая Ф.Ф.* и др. Физическая география в системе наук о Земле. — Вести. АН СССР, 1963, № 10.
- Груза Г.В.* Статистические методы прогноза погоды (обзор). Обнинск, 1975.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Статистические и вероятностные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.
- Гуревич Б.Л.* Географическая дифференциация и ее меры в дискретной схеме. — Вопр. география, 1968, № 77.
- Демек Я.* Теория систем и изучение ландшафта. М.: Прогресс, 1977.
- Дергачев В.А.* Пространственно-временная стратификация хозяйственного освоения территории и географическое прогнозирование. — В кн.: Географические исследования в Московском университете: Традиции — перспективы. М.: Изд-во МГУ, 1976.

- Дженкинс Г., Ватте Д.* Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1972.
- Джордзевский Б.Л.* Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. М., 1968.
- Дмитриенко Л.С.* Некоторые вопросы отображения динамики природы на крупномасштабных ландшафтных картах. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Добров Г.М.* Прогнозирование науки и техники. М.: Наука, 1977.
- Докучаев В.В.* К учению о зонах природы. Избр. соч. М.: Сельхозгиз, 1954.
- Докучаев В.В.* Зоны природы и классификация почв. — В кн.: Учение о зонах природы. М.: Географгиз, 1948.
- Дончева А.В.* Вопросы рационального природопользования в связи с воздействием промышленного объекта на природу. — В кн.: Научные вопросы охраны природы. М.: Изд-во МГУ, 1974а.
- Дончева А.В.* Динамика природных комплексов под воздействием металлургического производства. — В кн.: Современное состояние теории ландшафтоведения. Пермь, 1974б, вып. 1.
- Дроздов О.А., Покровская Т.В.* Проблема прогноза колебаний климата. — В кн.: Труды V Всесоюзного метеорологического съезда. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.
- Дружинин И.П., Резников А.П.* О проблеме верификации сверхдолгосрочных прогнозов природных процессов. — В сб.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Дружинин И.П., Сазонов А.И., Ягодинский В.И.* Космос — Земля: Прогнозы. М., 1974.
- Дружинина И.П.* Применение статистических методов при изучении степной растительности. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.
- Дуванкин А.И.* Системы времени и прогнозирования. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1973, № 6.
- Дьяков А.В.* Исследование информации об активности Солнца в гидрометеорологическом прогнозировании на длительные сроки (1970—1972 гг.). — В кн.: Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Дьяконов К.И.* Виды миграции вещества как диагностический признак выделения геотехнических (природно-технических) систем. — В кн.: Материалы экспериментальных исследований на стационарах. Иркутск, 1973, вып. 3.
- Дьяконов К.И.* Геотехнические системы — методологическая база географического прогноза. — В кн.: Проблемы взаимодействия общества и природы. М.: Изд-во МГУ, 1974.
- Дьяконов К.И.* Концепция геотехнической системы и ее роль в решении задач прикладной географии. — В кн.: Материалы III Всесоюзного совещания по прикладной географии. Иркутск, 1975.
- Дювилю П., Тамг М.* Биосфера и место в ней человека. М., 1968.
- Зайцев Г.А., Гаранин Л.С.* Опыт моделирования динамики растительности. — Вестн. МГУ. Сер. 4, География (депонир. ВИНТИ № 2121, 1979).
- Зайцев И.Ф.* Территориальная модель производительных сил. — Востр. географии, 1968, вып. 77. Математика в экономической географии.
- Зверев И.И.* Синоптические условия формирования крупных аномалий средней месячной температуры на юге Европейской территории СССР, Западной Сибири и на севере Казахстана. Л., 1972.
- Звонкова Т.В.* Принципы и методы регионального географического прогнозирования. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1972, № 4.
- Звонкова Т.В.* Прогностические аспекты природопользования. — В кн.: Проблемы взаимодействия общества и природы. М.: Изд-во МГУ, 1974.
- Звонкова Т.В.* Методы географического прогноза изменений природной среды. — В кн.: Географски проблеми на околжаваштата среда: Доклади от Втория национален конгрес на българската география. София: Изд-во Болгарской АН, 1975.
- Звонкова Т.В., Сушкин Ю.Г.* Проблемы долгосрочного географического прог-



- ноза. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1968, № 4.
- Зейдис И.М., Симонов Ю.Г.** Эффект структурной памяти в динамике географических явлений. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1980, № 4.
- Золовский А.П., Маркова Е.Е., Пархоменко Г.О., Пидолничко И.П.** Картографирование как метод исследования и прогноза изменений географической среды под воздействием деятельности человека. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Ивахненко А.Г., Лата В.Г.** Предсказание случайных процессов. Киев, 1971.
- Израэль Ю.А.** О результатах и перспективах научных исследований в Гидрометеослужбе. — Метеорология и гидрология, 1977, № 11.
- Информационный бюллетень о работе 2-й Всесоюзной школы. Пушкино-на-Оке, 1975.
- Ивахненко А.Г.** Физико-географическое картирование. Л.: Изд-во ЛГУ, 1961, Ч. 1.
- Итоги науки и техники. М.: Изд-во ВИНТИ, 1976. Т. 12.
- Калесник С.В.** Несколько замечаний по поводу статьи "Еще раз о границах географических комплексов". — Изв. ВГО, 1954, № 1.
- Калесник С.В.** Общерегиональные закономерности Земли. М.: Мысль, 1970.
- Калинин Г.П.** Основы методики прогнозов водного режима. — Тр. ЦИП, 1952, вып. 28.
- Калица А.П., Симонов Ю.Г.** Основные проблемы регионального географического прогноза. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Калица А.П., Симонов Ю.Г.** Основные проблемы регионального географического прогноза. — Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1974, вып. 43.
- Калица А.П., Симонов Ю.Г., Бакланов П.А.** и др. Региональный географический прогноз антропогенного воздействия как основа оптимизации в системе "человек — окружающая среда". — В кн.: Материалы XXIII Международного географического конгресса. Общая физ. география, сер. 5. М., 1976.
- Кац А.Л.** О комплексном синоптико-гидродинамико-статистическом методе прогноза погоды за 3–10 дней. — Тр. ГМЦ СССР, 1974а, вып. 155.
- Кац А.Л.** О прогностической значимости некоторых солнечно-атмосферных связей и зависимости их проявлений от обратных влияний атмосферы и подстилающей поверхности. Л.: Гидрометеоиздат, 1974б.
- Кашкаров Д.Н.** Основы экологии животных. М.; Л.: Медгиз, 1938.
- Кедров Б.М.** Единство диалектики логики и теории познания. М.: Госполитиздат, 1963.
- Клемен В.И.** О прогнозе географических процессов методами линейной экстраполяции случайных рядов. — В кн.: География и математика. Тарту, 1974.
- Коваленко Э.П.** Исследование движения воды в открытых руслах. Милск: Изд-во АН БССР, 1963.
- Ковда В.А.** Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1973. Кн. 1–2.
- Колесников Б.П.** Растительность. — В кн.: Дальний Восток. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
- Количественные аспекты роста организмов. М., 1975.
- Колмогоров А.Н.** Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей. — Изв. АН СССР. Сер. мат., 1941, № 5.
- Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С.** Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества, и его применение к одной биологической проблеме. — Бюл. МГУ, 1937, вып. 6.
- Комарек В., Ржигла Л.** Долгосрочное планирование и прогнозирование. М.: Экономика, 1973.
- Кондратович К.В.** Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы в Северной Атлантике. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
- Кочуров Б.И., Хакимзялова Ф.И.** Применение информационного анализа в ландшафтных геохимических исследованиях. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.



- Кошкарев А.В.* О классификации прогнозных карт природных явлений. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География (депонир. ВИНТИ), 1976, № 3.
- Кравченко В.М.* Место прогнозирования в системе географических наук. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1971, № 5.
- Кривоулицкий А.Е.* О предмете физической географии. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1974, № 4.
- Кузнецов П.С.* О границах между географическими территориальными единицами. — Природа, 1950, № 12.
- Кукушкина Е.П., Дружинин И.П.* Информационные функции как инструмент для оценки информативности предсказателей при сверхдолгосрочном прогнозировании. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Кулецкий В.М.* О структуре гелиоклиматических связей и возможности их использования в долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозах. — Изв. ВГО, 1969, вып. 4.
- Лидов В.П.* Из опыта работы по ландшафтному картированию Приокско-Террасного заповедника. — Вopr. географии, 1949, № 16.
- Лидов В.П.* и др. Еще раз о границах географических комплексов. — Изв. ВГО, 1954, № 1.
- Лиханов Б.И.* Некоторые аспекты в прогнозировании природных процессов на территории Сибири с помощью исторической географии. — В кн.: Тезисы и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 2.
- Лонгачин В.Д., Зайкова В.А., Соловьева Г.И., Ершов В.В.* Метод координат и возможности его использования при изучении экосистем (биоценозов). — В сб.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Ляпунов А.А.* Об управляющих системах жюпы природы и общем понимании жизненных процессов. — Проблемы кибернетики, 1964, вып. 10.
- Маергойз И.М.* О макротерриториальности структуре хозяйства европейской группы стран — членов СЭВ. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1973, № 5.
- Максимов И.В., Смирнов И.П., Сарузанян Э.И., Воробьев В.М.* Солнечная активность и эволюция центров действия атмосферы северного полушария в эпоху 1900—1971 гг. — В кн.: Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеондат, 1974.
- Малай И.И.* Границы ландшафтов. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1978, № 1.
- Марков К.К.* Палеогеография. М.: Изд-во МГУ, 1960.
- Марков К.К.* География сегодня и завтра. — В кн.: Будущее науки. М.: Знание, 1973, вып. 6.
- Марков К.К.* Общий взгляд на географию. — Вестн. АН СССР, 1976, № 7.
- Марков К.К., Игнатьев Г.М., Лебедев В.Л.* и др. Физическая география мира: (Введение к курсу). — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1975, № 2.
- Марков К.К., Каплин П.А., Свиточ А.А., Борисов П.М.* Палеогеографические исследования как естественноисторическая основа долгосрочного географического прогноза. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Марков К.К., Каплин П.А., Свиточ А.А.* Задачи палеогеографических исследований в целях долгосрочного географического прогнозирования. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1974, № 6.
- Мартьянова Г.И.* Опыт применения математических методов при изучении теплового режима степных фаций Забайкалья. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.
- Мартьянова Г.И., Нефедьева Л.Г., Смычко В.А., Черняков В.А.* Картографостатистическое изучение влияния тепла и влаги на распределение продуктивности наземной фитомассы. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.
- Математика в социологии. 1977.
- Миллс Ф.* Статистические методы. М.: Госстатиздат, 1958.
- Миловидова Н.В.* Применение методов логики к анализу физико-географических определений и классификаций. М.: Наука, 1977.

- Миломер Б.З.* Организация целевого управления программой охраны окружающей среды Латвийской ССР: Управление реализацией программ. М., 1977.
- Михайлов Н.И., Николаев В.А., Тамашев Н.Е.* и др. Возможные изменения природных комплексов Западной Сибири и Казахстана при переброске части стока сибирских рек. — Изв. АН СССР. Сер. 5. География, 1977, № 6.
- Моделирование почвенных процессов и автоматизация их исследований: (сборник статей). М.: Наука, 1976.
- Молчанов А.М.* Математические модели в экологии. Роль критических режимов: Препринт. Пушкино-на-Оке, 1977.
- Монин А.С., Гаврилин Б.А.* Гидродинамический прогноз погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1977.
- Мордовин А.М., Сохина Э.И.* Тенденции развития природы Удаль-Кизинской низменности (Нижнее Приамурье) в связи с перспективами ее освоения. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 2.
- Морозов Г.Ф.* Учение о лесе. СПб., 1912. Т. 1.
- Науом И.П.* Предисловие к русскому изданию книги П. Ферб "Популярная экология". М.: Мир, 1971.
- Невяжский И.И.* Методика выявления площадей с односторонними условиями геологического дешифрирования. — Бюл. НИИ ГГК СССР, 1964, № 59 (1).
- Невяжский И.И., Пискун И.И., Спектор И.Р.* О системе географического прогноза. — Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1974, вып. 43.
- Нееф Э.* Теоретические основы ландшафтоведения. М.: Прогресс, 1974.
- Николаев В.А.* Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1979.
- Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975.
- Отарин А.И.* Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
- Пазова С.Т., Аристов Н.А., Бламина Л.И., Туркетти Э.Л.* Основы синоптического метода сезонных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1966.
- Полов Е.Г.* Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. М.: Гидрометеоздат, 1963.
- Преображенский В.С.* Беседы о современной физической географии. М.: Наука, 1972.
- Преображенский В.С., Александрова В.П.* Эволюция графических моделей геосистем. — В кн.: Моделирование элементарных геосистем. Иркутск, 1975.
- Привольский В.Е., Музырев С.В.* и др. Статистическое моделирование гидрологических процессов при водохозяйственных расчетах. (Международ. симпоз. по специфическим аспектам гидрометрасчетов для водохозяйственного проектирования). Л., 1979.
- Пузеченко Ю.Г.* Опыт применения информационного анализа при построении географических прогнозов. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Пузеченко Ю.Г.* Принципы информационного анализа. — В кн.: Статистические методы исследования геосистем. Владивосток, 1976.
- Пузеченко Ю.Г., Мошкин А.В.* Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях. — В кн.: Медицинская география. М., 1969, вып. 3.
- Раменский Л.Г.* Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938.
- Раткович Д.Я.* Многолетние колебания речного стока: Закономерности и регулирование. Л.: Гидрометеоздат, 1976.
- Региональный географический прогноз/Под ред. Т.В. Звонковой, Ю.Г. Смирновой, Ю.Г. Саушкина. М.: МГУ, 1977.
- Ретеком А.Ю., Дьяконов К.И., Кумицын Л.Ф.* Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы. — Изв. АН СССР. Сер. 5, География, 1972, № 4.
- Рубинштейн Е.С.* Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованным изменением климата. Л.: Гидрометеоздат, 1979.
- Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г.* Современное изменение климата. Л.: Гидрометеоздат, 1966.



- Руководство по гидрологическим прогнозам. М.: Гидрометеониздат, 1963.
- Руководство по месячным прогнозам погоды. М.: Гидрометеониздат, 1972.
- Ромин В.В.* Прогноз изменения лесных геосистем и составление потенциальной ландшафтной карты. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Рябчиков А.М.* Структура и динамика геосферы. М.: Мысль, 1972.
- Рягин В.А., Михеев В.С., Кротова В.М., Смирнова Д.А.* Антропогенная динамика ландшафтов юга Восточной Сибири и ее картографическое отображение. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Сабитов К.Д.* О выборе соответствия между периодичностью измерений и инерционностью прибора. — Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1967, № 5.
- Саушкин Ю.Г.* Прогноз в экономической географии. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1967, № 5.
- Саушкин Ю.Г.* Географические прогнозы. — Природа, 1968, № 7.
- Саушкин Ю.Г.* Моделирование в экономической географии. — В кн.: Модели в географии. М.: Прогресс, 1971.
- Саушкин Ю.Г.* Сочетание природных и социально-экономических аспектов прогнозирования окружающей среды. — В кн.: Проблемы взаимодействия общества и природы. М.: Изд-во МГУ, 1974.
- Саушкин Ю.Г.* История и методология географической науки: (Курс лекций). М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Светков Н.М.* Основы планетарного географического прогноза. М.: Мысль, 1974.
- Северцов А.Н.* Современные задачи эволюционной теории. М.: Наука, 1914.
- Сёмкин Б.И.* Дескриптивные множества и их приложения. — В кн.: Исследование систем: I анализ сложных систем. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1973.
- Сергеев С.С.* Сельскохозяйственная статистика с основами экономической статистики. М.: Статистика, 1973.
- Сергин В.Я., Сергин С.Я.* "Земная поверхность — атмосфера" как система автоматического регулирования: (Применение к проблеме изменений климата и оледенений Земли). — В кн.: Материалы гляциологических исследований: Хроника. Обсуждения. М., 1966, вып. 12.
- Сергин В.Я., Сергин С.Я.* Исследование динамики колебаний климата на протяжении четвертичного периода. — Докл. АН СССР, 1969, т. 186, № 4.
- Сергин В.Я., Сергин С.Я.* Системный анализ: Проблемы больших колебаний климата и оледенения Земли. Л.: Гидрометеониздат, 1978.
- Симонов Ю.Г.* Географическое соседство и методы его измерения. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1970, № 4.
- Симонов Ю.Г.* Проблемы географического прогноза. — В кн.: Географические исследования в Московском университете: Традиции — перспективы. М.: Изд-во МГУ, 1976а.
- Симонов Ю.Г.* Модели географического взаимодействия для прогнозирования эволюции окружающей среды. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976б, № 4.
- Симонов Ю.Г.* Пространственно-временной анализ в физической географии. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1977, № 4.
- Симонов Ю.Г., Неважский И.И.* Экспертные оценки при географическом прогнозировании. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1978, № 4.
- Скуликов В.С.* Проверка возможности прогноза состава растительности на основе анализа общих закономерностей связи ее компонентов со средой. — В кн.: Статистические методы исследования подсистем. Владивосток, 1976.
- Смирлягин Л.В.* Новое в экономическом районировании США. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976, № 6.
- Смит Дж.М.* Модели в экологии. М.: Мир, 1976.
- Смытко В.А.* Геохимические исследования метаболизма в геосистемах. Иркутск: Наука, 1978.
- Солнцев Н.А.* Природный географический ландшафт и некоторые общие его закономерности. — В кн.: Труды II Всесоюзного географического съезда. М., 1948, т. 1.
- Солнцев Н.А.* О морфологии природного географического ландшафта. — Вост. география, 1949, № 16.



- Сорокина Л.П.* Применение статистического анализа и косвенных расчетов для оценки внутрисуточной изменчивости температуры воздуха. — В кн.: Применение математических методов в географии. Иркутск, 1976.
- Сочава В.Б.* Растительные сообщества и динамика природных систем. — Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1968, вып. 20.
- Сочава В.Б.* Географические прогнозы (методологические аспекты и программные вопросы). — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Сочава В.Б.* Прогнозирование — важнейшее направление современной географии. — Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1974а, вып. 43.
- Сочава В.Б.* Топологические аспекты учения о геосистемах. Иркутск, 1974б.
- Сочава В.Б.* Учение о геосистемах. Новосибирск, 1975.
- Спектор И.Р.* Пространственно-временные аспекты географического прогнозирования. — В кн.: Географические исследования в Московском университете: Традиции — перспективы. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Степанов В.Н.* Океан и будущее Земли. М., 1967.
- Сукачев В.Н.* Биогеоценология и фитоценология. — Докл. АН СССР, 1945, т. 47, № 6.
- Сукачев В.Н.* Основы теории биогеоценологии. М.; Л., 1947.
- Сукачев В.Н.* Основы понятия лесной биогеоценологии. — В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М., 1964.
- Топология степных геосистем. Иркутск, 1970.
- Федоров Е.К.* Взаимодействие общества и природы. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.
- Федоров Р.И.* Пространственно-временные ряды таксационных признаков древостоя. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972.
- Цыцарин Г.В.* О достоверности оценки качества воды по единичным пробам. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1975, № 4.
- Чавчавадзе В.В.* Новый подход к проблеме трактовки понятия ландшафта с точки зрения общей теории концептуальных систем. — Сообщения АН Грузинской ССР, 1975, т. 80, № 3.
- Челурко Н.Л., Ларин А.Ф., Мусин Г.Х.* Применение ландшафтно-геохимических показателей для целей географического прогноза. — В кн.: Ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1973.
- Червяков В.А., Михайлов Ю.П., Лайкин В.И.* Географический прогноз с использованием карт. — В кн.: Теория и методы прогноза изменений географической среды: Тез. V совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1973, вып. 1, ч. 1.
- Четвериков Н.С.* Сглаживание динамических рядов. — В кн.: Статистический анализ экономических временных рядов и прогнозирование. М., 1973.
- Шварц С.С.* Теоретические основы глобального экологического прогнозирования: Всесторонний анализ окружающей природной среды. — В кн.: Труды II Советско-Американского симпозиума. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
- Швец М.Е.* Моделирование атмосферной циркуляции. — Изв. Главной геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова, 1972, вып. 394.
- Щищенко П.Г., Царь В.В.* О методике прогностического анализа фациальной структуры ландшафтов осужденных территорий. — В кн.: Материалы 2-й региональной конференции "Антропогенные ландшафты Центрально-Черноземной области и прилегающих территорий". Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1975.
- Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск, 1968а.
- Шмальгаузен И.И.* Факторы эволюции (теория стабилизирующего отбора). М.: Наука, 1968б.
- Шукин И.С.* Общая геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1960.
- Эйрес Р.* Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. М.: Мир, 1971.
- Элтон Ч.* Экология животных. М.; Л.: Биомедгиз, 1934.
- Яглом А.М.* Атмосферная турбулентность и распространение радиоволн. М., 1967.
- Яковлева Н.Ю.* К вопросу о причине квазипериодических колебаний климата. — Тр. ГГО, 1969, вып. 236.

- Язтовский С.М., Лисовкин В.А.* Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Экономика, 1974.
- Яич Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974.
- Adem G.* Incorporation of Advection of Heat by Mean Winds and by Ocean Currents in a Thermodynamical Model for Longrange Weather Prediction. - *Mon. Wea. Rev.*, 1970, 98.
- Appalachian Regional Commission Annual Report, 1968.
- Ayres R.U.* Technological Forecasting and Long-range Planning. New York, 1969.
- Blackman R.B., Tukey G.W.* The Measurement of Power Spectra. New York, 1958.
- Chandler T.* *Area*, 1976, v. 8, N 2.
- Forrester J.W.* Industrial Dynamics. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1961.
- Gjaervoll O.* Naturvern og Naturreussurser. - *Jaktfiske friluftsliv*, 1972, N 2.
- Henkell The Chemical Industry and the Environment. - *Rev. Societe Royale Beige*, 1974, N 34.
- Herz K.* Das Strukturmodell der Landschaft. - *Z.F. Erdkundeunterricht*, 1966, Bd. 18, H. 3.
- Jantsch E.* Technological Forecasting in Perspective, 1967.
- Kapica A.P., Szimonov Ju.G.* A regionális földrajzi prognózis főbb problémái Különnyomat a földrajzi értesítő XXIII. évf. 3 füzetéből. Budapest, 1974.
- Kamarek V., Riha L.* Dlouhodobé plánování. Praha, 1971.
- Lack D.* The Evolution of Reproductive Rates. - In: *Evolution as Process*/J. Huxley ed., London, Allen and Unwin, 1954.
- A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. Washington, 1976.
- Lorentz E.N.* Maximum Simplification of the Dynamic Equations "Tellus", 1960, N 12.
- Lotka A.J.* The Frequency Distribution of Scientific Productivity. Washington Academy of Sciences, 1926, N 16.
- Margalef R.* Perspectives in Ecological Theory. Univ. of Chicago Press. Chicago, Illinois, 1968.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Rauder J., Behrens W.W.* The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York, 1972.
- Nature*, vol. 250, January, 1976.
- Negut Silvin Prospectiva in geografie de dusă din preocupările actuale. "Terra" (RSR), 1972, N 5.
- Oliver G.B.* On the Response of Hemispheric Mean Temperature to Stratospheric Dust: an Empirical Approach. - *J. Appl. Met.*, 1976, v. 15, N 9. 1976.
- Unadvertent Climate Modification, 1971.
- O'Riordan Y.* Environmental Management. Progress in Geography, London, 1971, v. 3.
- Penck W.* Die Morphologische Analyse. Stuttgart, 1924.
- Pugh A.L.* Dynamo II. User's Manual the M.I.T. Press, Cambridge, Mass. and London, England, 1970.
- Rasool S.G., Schneider S.H.* Atmospheric Carbon Dioxide and Aerosols. Effects of large Increases on Global Climate. - *Science*, 1971, N 17.
- Richer H.* Beitrag zum Modell des Geo-komplexes. - In: *Landschaftschung Neef-Festschr.* Gotha, 1968.
- The Royal Commission on Environmental Pollution, 1, 2, 3, 4 Reports. London, 1972.
- Salzman B., Vernekar A.* An Equilibrium Solution for the Earth's Macroclimate. - *J. Geophys. Res.*, 1971, N 76.
- Sellers W.D.* A Global Climate Model Based on the Energy Balance of the Earth-Atmosphere System. - *J. Appl. Met.*, 1969, N 8, p. 392-400.
- Sellers W.D.* A New Global Climate Model. - *J. Appl. Met.*, 1973, v. 12, N 2.
- System Analysis and Simulation in Ecology, v. III. Academic Press. New York; London, 1971.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение. <i>Ю.Г. Симонов</i> . . . . .	5
<b>Глава 1</b>	
Состояние проблемы. <i>Ю.Г. Симонов</i> при участии <i>Г.И. Барвина</i> . . . . .	18
1.1. Порядок рассмотрения состояния проблемы . . . . .	18
1.2. Комплексное географическое прогнозирование . . . . .	18
1.2.1. Перечень обсуждаемых вопросов и программные статьи . . . . .	18
1.2.2. Географический прогноз и его сущность . . . . .	30
1.2.3. Основные проблемы географического прогнозирования . . . . .	33
1.2.4. Методы географического прогнозирования . . . . .	35
1.2.5. Определение точности прогнозирования . . . . .	37
1.2.6. Цели составления географических прогнозов . . . . .	38
1.3. Метеорологические прогнозы и прогнозы изменений климата. <i>И.И. Горшкова</i> . . . . .	38
1.3.1. Историческая справка . . . . .	38
1.3.2. Классификация прогнозов . . . . .	39
1.3.3. Методы прогнозов . . . . .	39
1.3.4. Климатический прогноз . . . . .	45
1.4. Гидрологические прогнозы. <i>А.А. Лисеев</i> . . . . .	49
1.4.1. Историческая справка . . . . .	49
1.4.2. Классификация гидрологических прогнозов . . . . .	50
1.4.3. Методы гидрологических прогнозов . . . . .	52
1.5. Экологическое прогнозирование. <i>Г.А. Зайцев, И.М. Зейдис</i> . . . . .	57
1.5.1. Постановка задачи и опыт ее решения . . . . .	57
1.5.2. Классификация экологических моделей . . . . .	61
1.6. Географическое моделирование как основание для прогноза. <i>Ю.Г. Симонов</i> . . . . .	73
1.7. Методы прогнозирования научно-технического прогресса. <i>Ю.Г. Симонов</i> . . . . .	79
1.8. Заключение. <i>Ю.Г. Симонов</i> . . . . .	86
<b>Глава 2</b>	
Географический прогноз и управление природопользованием. <i>К.Г. Тарасов,</i> <i>К.К. Тарасов</i> . . . . .	88
2.1. Основания для постановки вопроса . . . . .	88
2.2. Сеть учреждений по регулированию воздействия человека на природу в США . . . . .	89
2.3. Сеть учреждений по регулированию воздействия человека на природу в Великобритании . . . . .	95
2.4. Сеть учреждений по охране окружающей среды в Швеции . . . . .	96
2.5. Международное сотрудничество в сфере природопользования в странах Западной Европы . . . . .	97
2.6. Система организаций по охране окружающей среды в европейских странах СЭВ . . . . .	101
2.7. Система организаций по охране окружающей среды и природополь- зованию в СССР . . . . .	106
2.8. Географический прогноз и управление природопользованием . . . . .	109
<b>Глава 3</b>	
Основные свойства объектов географического прогнозирования и способы их формализованного описания. <i>Ю.Г. Симонов</i> . . . . .	112
3.1. Основания для выбора прогнозируемых свойств географических объектов . . . . .	112
3.2. Границы географического анализа . . . . .	113
3.3. Виды описаний географических объектов и способы их формализации . . . . .	115



3.4.	Критерии сходства и различия географических объектов . . . . .	120
3.5.	Неоднородность географического пространства. Проблема географических границ . . . . .	125
3.6.	Географическая дифференциация и ее меры . . . . .	131
3.7.	Географическое соседство и упорядоченность пространства . . . . .	133
3.8.	Структура и текстура географического пространства . . . . .	146
3.9.	Географический объект как комплекс (система). Соотношение части и целого. Функционирование объектов . . . . .	152
3.10.	Категория времени в географии. Изменение состояния объектов. Проблема инварианта . . . . .	155
3.11.	Пространственно-временные географические структуры. Эргодические свойства географических объектов . . . . .	163
3.12.	Непрерывность и дискретность географического пространства-времени. Элиасинг . . . . .	166
3.13.	Внешние и внутренние причины изменчивости географических объектов и их ресурсы . . . . .	173
3.14.	Географические объекты как интеграторы. Проблема адаптации. Структурная память . . . . .	177
3.15.	Типы функционирования географических систем и превращения вещества и энергии . . . . .	186
3.16.	О . . . . .	

д

## Г л а в а

### Методы

4.1. О

4.2. М

4.2.1. М

4.2.2. М

4.2.3. М

4.3. К

4.3.1. С

4.3.2. А

4.4. Н

д

### Заключе

### Литерату

## ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА (состояние, теория, методы)

*Утверждено к печати*

*Тихоокеанским географическим институтом ДВНЦ АН СССР*

Редактор издательства *Л.П. Дядьчук*

Художник *А.Г. Кобрим*. Художественный редактор *Т.П. Поленова*

Технический редактор *Г.П. Каржима*. Корректор *Л.А. Агеева*

ИБ № 24236

Подписано к печати 11.08.82. Т—15928. Формат 60х90 1/16. Бумага офс. №1  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,5 + 0,1 вкл. Усл. кр.-отт. 16,6. Уч.-изд. л. 19,1  
Тираж 850 экз. Тип. зак. 1541. Цена 3р. 20к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90  
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"  
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12