

ВРЕМЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУКАХ

А. Д. Арманд

§1. Эволюция представлений о времени

Науки о Земле оперируют с чрезвычайно широким диапазоном длительностей природных и социальных процессов — от микросекунд (прохождение электрических разрядов в атмосфере) до миллиардов лет (астрогеологическая история Земли). Изучение этого разнообразия привело к поиску единиц “дления” (Вернадский, 1988), позволяющих сравнивать между собой развертывание во времени несходных явлений. С познанием окружающей человека географической среды связана и разработка идеи о направленности, неповторимости эволюции, задающей необратимость хода времени.

Глубоким проникновением в суть природных и общественных явлений явились ведантические представления древнего Востока о непрерывном движении, символически выраженные в форме вечно вращающейся свастики. Другой символ — змея, кусающая себя за хвост, — развивает первую идею, рассматривая движение как бесконечный ряд циклов. Наконец, этот образ ассимилирован фигурой эволюционной спирали, где цикличность органически сочетается с необратимостью движения. Эта традиция была поддержана в античной философии Гераклитом, Платоном и Аристотелем. В новое время эстафету подхватил Гегель. Однако умами естествоиспытателей идея направленного развития прочно овладела после работ Ч. Ляйеля, Ж. Кювье и особенно Ч. Дарвина. Их трудами было отчетливо показано, что облик нашей планеты необратимо меняется в результате накопления разнообразия геологических и биологических явлений. Палеонтология и теория эволюции легли в основу отсчета “земного” времени. Под влиянием идей великих эволюционистов постепенно завоевывает признание генетический подход к изучению географической действительности, хотя и не без борьбы. Хорологическое направление в географии, представленное А. Геттнером, Р. Хартшорном, пыталось следовать кантовской концепции разделения наук на исторические и

хорологические. Но в работах А.Гумбольдта, К.Риттера, А.Пенка и В.Пенка, У.Девиса, В.В.Докучаева идеи развития получали все большее обоснование.

Параллельно с развитием фактологической базы наук о Земле непрерывно происходила рефлексия, разработка методологических основ этой группы дисциплин. Одним из следствий эволюции теории явилось осознание своеобразия восприятия времени в геологии и географии. Утвердилась идея неразрывной связи времени и пространства. Геологические серии напластований оказались психологически слиты с движением времени, стрела которого направлена в нормально залегающих слоях снизу вверх. Географы внесли в науку представление о ценности времени, а также об эмоциональном моменте, связанном с оценкой длительностей и давностей. “Ничто не мешает нам вводить время в наши уравнения, но при этом следует помнить, что время — это параметр, который оценивается с учетом социальных условий, а не просто величина, измеряемая в часах по Гринвичу”, — пишет известный американский географ Д.Харвей (Харвей, 1974, с.402). Очевидно, специфика восприятия времени землеведами навела В.И.Вернадского на мысль о необходимости выделения особого “биологического” времени (Вернадский, 1988). При этом представление о биологическом времени предназначалось автором для описания событий на протяжении всей геолого-геохимической истории Земли. По мысли В.И.Вернадского, время антиэнтропийного процесса — развития жизни — не может опираться на термодинамический закон всеобщего увеличения энтропии. Ход биологических процессов неравномерен в отличие от геологических процессов, принимаемых за монотонные. Биологическое время, согласно представлениям В.И.Вернадского, должно измеряться собственными, биологическими единицами — поколениями. Наконец, отличие биологического времени от геологического — в субъективном восприятии его живыми организмами.

Концепция биологического времени была поддержана и развита в последние годы С.В.Мейеном (Мейен, 1983). В представлении этого автора утверждение “время течет” приобретает осмысленность при указании изменяющегося объекта. Класс объектов позволяет говорить об обобщенном для всех них времени. Так, С.В.Мейен пришел к представлению о таксономическом времени (см. главу А.А.Шарова в настоящей книге) как архетипе, некотором общем показателе для таксона организмов, живущих и вымерших. Показатель характеризует общее свойство, которое сохраняется, когда мы отбрасываем все индивидуальные отличия особей и таксонов низшего ранга. Такой подход раскрывал дополнитель-

ные возможности для исследователя, в частности, облегчал проведение внутритаксономических экстраполяций.

Наряду с биологическим временем было введено время геологическое (Развитие..., 1982). Стало очевидно, что практически любые объекты или группы взаимосвязанных объектов, а точнее, преобразующие их процессы, допускают представление о собственном, частном времени. Это не исключает возможности одновременного использования общего для всех эталонного времени. За последнее по установившейся традиции принимается астрономическое время с поправками на неравномерность движения планет или идеализированное, так называемое физическое, время. Так, в геологии произошло “раздвоение” на реальное геологическое время, под которым понимаются специфические хронологические отношения геологических объектов, и концептуальное геологическое время, совпадающее с временем физическим (Симаков, 1977). Социальные процессы стало возможным описывать в координатах экономического времени, под которым понимается совокупность экономических процессов (Мэнеску, 1986).

Открывшаяся таким образом почти неограниченная возможность создавать новые системы исчисления времени, обслуживающие более или менее частные комплексы событий в окружающей реальности, заставляет вернуться к истокам представлений о времени и попытаться ответить по крайней мере на два кардинальных вопроса: что мы измеряем, измеряя длительность или хронологическую удаленность событий, и какие условия должны быть выполнены для введения новой системы отсчета времени.

Логически возможны две симметричные точки зрения относительно того, что мы измеряем, определяя длительность события. Во-первых, можно говорить, что определяется некоторая характеристика самого события или процесса, происходящего в ньютоновском независимо идущем времени. Ничего нового о самом времени мы при этом не узнаем. Во-вторых, имеет право на жизнь и другая точка зрения, согласно которой время — это и есть реально совершающиеся процессы. Измеряя длительность чего-либо, мы определяем свойство зависимой от процесса переменной — времени, связанного с этим процессом. По существу, решается вопрос, что первично, что является первопричиной видимых изменений в окружающем нас мире: ход Времени или другая причина, которую можно назвать Энергией или Законом всеобщего развития и т.д. Как показал В.И.Вернадский, вторая точка зрения все более завоевывает умы ученых (Вернадский, 1988).

Для наук о Земле, имеющих дело с огромным разнообразием процессов, распределенных по сильно растянутой шкале временных характеристик, решение указанной проблемы имеет большое значение. Все чаще исследователи становятся последователями концепции о существовании специфического геологического времени или даже множества геологических времен (Круть, 1978). Тем не менее пока нет оснований говорить о том, что дисциплины геолого-географического цикла представили какое-либо решающее обоснование одной или другой точки зрения.

На практике, однако, в обоих случаях измерения производятся с одной и той же целью: получить возможность сравнить длительность интервала или скорость процесса с длительностью другого интервала или скоростью другого процесса. Различается лишь интерпретация результата. В первом случае результат эксперимента несет чисто прагматическую нагрузку, во втором — подразумевается, что он выявляет некоторое скрытое онтологическое содержание. Чтобы не заводить обсуждение проблемы слишком далеко, в данной статье мы будем оперировать с нейтральным понятием “характерное время” (Ляпунов, 1968) процесса или отвечающего ему комплекса материальных тел, оставив толкование понятия в первом или во втором смысле на §7.

Для пояснения содержания понятия “характерное время” рассмотрим второй из поставленных выше вопросов: какие условия должны быть выполнены для введения новой системы отсчета времени?

§2. Характерное время

Социальный опыт человечества привел к выработке представления о времени как о векторе. Это накладывает ограничение на характер процессов, пригодных для выполнения роли измерителей времени. Процесс должен быть, во-первых, необратимо направленным и таким образом задавать направление “стреле времени”. Во-вторых, происходящие изменения не могут быть непрерывными и однородными. Их количественные и качественные характеристики должны меняться. Изменения могут служить “метками”, позволяющими квантовать процесс и таким образом задавать единицу для сопоставления длительности процессов. Длительность событий, важных для идентификации данного процесса, — вторая, скалярная характеристика характерного времени. Очевидно, на роль измерителя времени не годятся полностью замкнутые циклические процессы, так же как процессы в высокой степени равномерные, “безэнтропийные” (Уилсон А., Уилсон М., 1968). Примером изменений замкнутого типа может служить синтез и распад молекул в условиях химического равновесия, обращение Земли вокруг Солнца, если отвлечься от движения солнечной системы в пределах Галактики и необратимого расходования ядерной энергии. Для того чтобы солнечный хронометр мог вы-

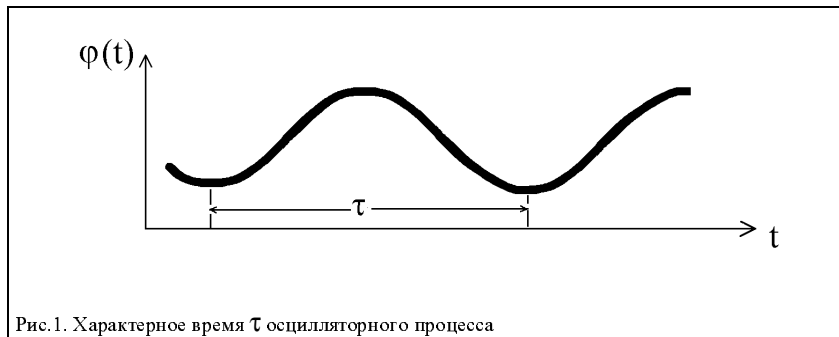
полнять свою функцию, его пришлось дополнить искусственным “счетчиком оборотов” — направленным процессом отрывания листков календаря. Однородный, не содержащий “меток” направленный процесс можно представить, наблюдая течение спокойной реки, не несущей на поверхности соринки, пены и завихрений.

Приборы, специально созданные для измерения времени, обладают двумя указанными свойствами. Они формируют необратимый процесс, на котором отмечаются характерные точки для определения скорости измеряемого прибором времени. Солнечные, песочные, водяные, гиревые, пружинные часы — все основаны на этом принципе.

В неживой природе отчетливой направленностью обладают такие процессы, как выравнивание рельефа, формирование магматических и осадочных горных пород (в интервалах между повторными горообразованиями, расплавлениями и размываниями), выветривание пород и другие. На уровне живой материи необратимость характеризует жизненный цикл развития клетки, организма, вида, начальную и восстановительную сукцессию биоценоза и вместе с ним — почвы. Неповторимость этапов эволюции жизни на Земле создала возможность для разработки геохронологии. Точно так же необратимая последовательность исторических событий позволила создать хронологию человеческого общества.

Понятие “характерное время” призвано дать представление об относительной скорости протекания изучаемых явлений (таблица). Чем больше характерное время, тем меньше скорость. Выбор единицы времени в науках о Земле (Арманд, Таргульян, 1974) в большой степени зависит от характера изменений.

Проще всего выделение основной единицы происходит в тех случаях, когда на необратимый процесс накладываются гармонические колебания или какой-то циклический процесс. Период одного полного цикла



(рис. 1) при этом обозначается термином “характерное время”. Время, в

котором протекают все биосферные процессы, естественным образом расквантовано геофизическими циклами на сутки, месяцы (лунные), годы и другие периоды.

Т а б л и ц а

Характерные времена геолого-географических процессов

Характерное время, лет	Литосфера	Атмосфера	Педосфера
10^9	Массообмен кристаллических пород		
10^8	Геологические циклы. Массообмен осадочных пород	Большие климатические циклы	
10^7	Выравнивание горных систем	Обменный цикл кислорода	
10^6	Выравнивание структурных форм рельефа	Обменный цикл углерода	Формирование зрелого минералогического профиля почвы и коры выветривания
10^5	Выравнивание аккумулятивных форм рельефа	Климатические колебания в пределах ледникового периода	
10^4	Прецессия земной оси		Формирование зрелого дифференцированного по морфологии и химизму профиля почвы
10^3		Климатические колебания в пределах исторического периода	Формирование зрелого гумусового профиля
10^2	Эпейрогенетические циклы	90-летний климатический цикл	Формирование зрелого карбонатного профиля почвы
10^1		Декадные климатические колебания (солнечный цикл)	Биологический круговорот веществ в почве
10^0		Сезонный метеорологический цикл	Формирование профиля легкорастворимых веществ, рН
10^{-1} (месяц)	Выравнивание микроформ рельефа в песке, снегу, пыли. Приливы в земной коре		
10^{-2} (день)		Циклоны. Суточный метеорологический цикл	Влажность и температура поверхностных горизонтов почвы
10^{-3}			
10^{-4} (час)		Внутрисуточные колебания погоды	
10^{-5} (мин)	Микросейсмы	Минутные колебания погоды	

Продолжение т а б л и ц ы

Характерное время, лет	Биосфера	Гидросфера	Электромагнитное поле
10^9			
10^8		Обмен натрия в океане	
10^7		Обмен магния в океане	
10^6		Обмен калия, кальция и углерода в океане	
10^5			Инверсии геомагнитного поля
10^4		Формирование равновесного химического состава озерных вод	
10^3		Саморазвитие покровного ледника. Обмен алюминия и титана в океане. Саморазвитие горного ледника	Западный дрейф, постоянная времени земного динамо
10^2	Формирование зрелого древесного яруса растительности		60-летия вариация геомагнитного поля
10^1	Формирование травяного яруса, популяции мышевидных грызунов, популяции насекомых	Антропогенное эвтрофирование озер	11-летний цикл солнечной активности
10^0		Метаморфизация снежного покрова. Сезонный гидрологический цикл	Сезонный цикл внешнего геомагнитного поля
10^{-1} (месяц)	Формирование микробсообществ. Суточные биоциклы	Выравнивание уровня грунтовых вод	Пересечение секторов планетного поля. 27-дневная вариация геомагнитного поля
10^{-2} (день)		Суточные гидрологические циклы, приливы	Суточная вариация геомагнитного поля. Магнитные бури
10^{-3}		Угасание волнения в морях	
10^{-4} (час)		Выравнивание уровня мелких водоемов	“Бухты” магнитного поля
10^{-5} (мин)			Короткопериодические колебания магнитного поля

*Примечание. Для величин, помеченных звездочкой, за характерное время принято среднее время пребывания вещества в данной среде (Ярошевский, 1988).

Если процесс имеет асимптотический характер (рис.2), то за меру интенсивности затухания процесса принимается время, потребное для

уменьшения параметра вдвое или в $e = 2,72$ раза (время релаксации). Так, характерным временем превращения радиоактивных элементов счи-

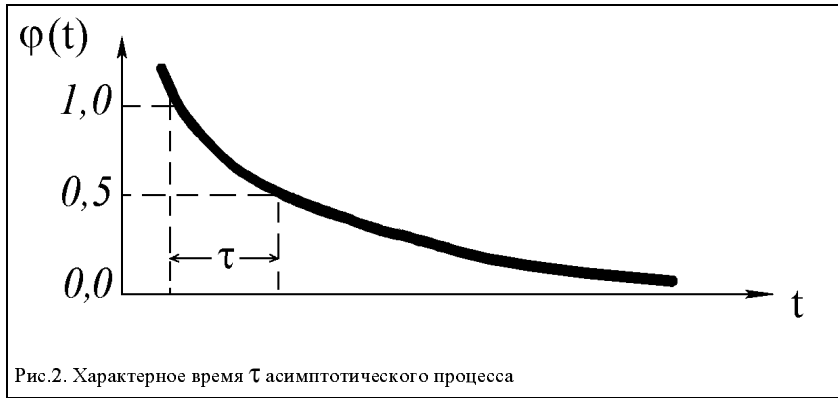


Рис.2. Характерное время τ асимптотического процесса

тается период полураспада. Временем снижения гор и возвышенностей наполовину можно измерять скорость денудации, выравнивания рельефа. Процессы, идущие с ускорением по закону, близкому к параболическому, описываются характерным временем, равным времени удвоения представляющей этот процесс величины. Этим показателем удобно характеризовать, например, рост населения Земли или популяции животных, происходящих от одного предка.

Менее однозначно определяется характерное время для комплексных процессов, описываемых, например, кривой в форме затухаю-

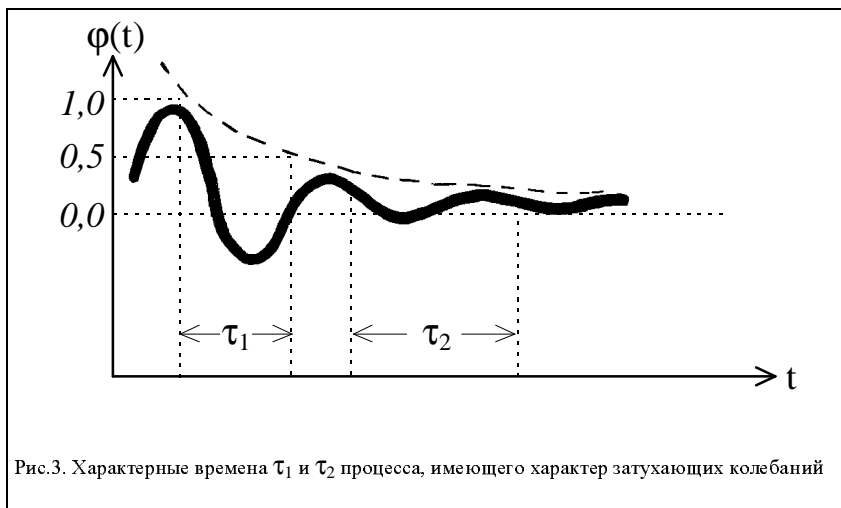
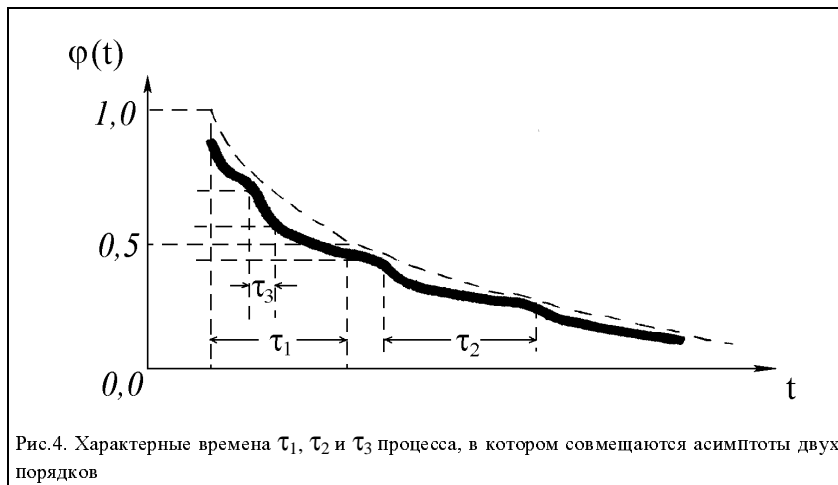
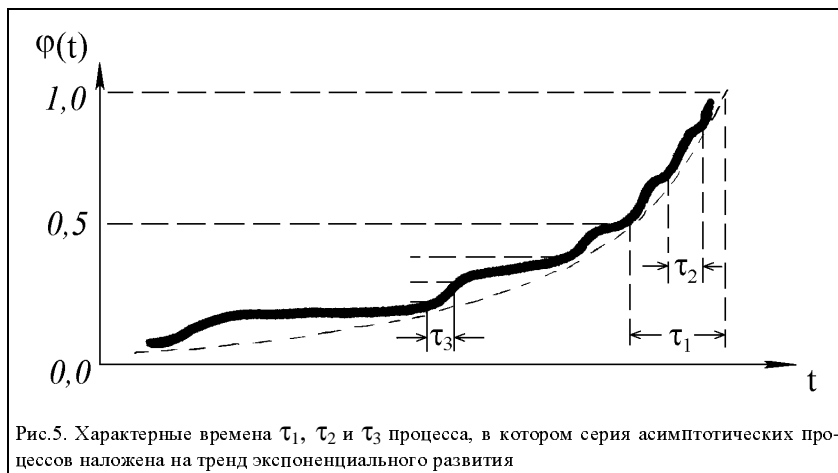


Рис.3. Характерные времена τ_1 и τ_2 процесса, имеющего характер затухающих колебаний



щих колебаний (рис.3) или в форме чередующихся асимптот (рис.4, 5),



или в форме наложенных гармонических колебаний (рис.6). Очевидно, здесь каждый элементарный процесс, входящий в состав комплексного, может описываться своим характерным временем. Единой меры скорости для таких сложных явлений, как изменение климата, почвообразование или социальный прогресс, не существует, их может быть много. Поэтому употребление понятия “характерное время” в этих случаях должно сопровождаться пояснениями, какие изменения имеются в виду.

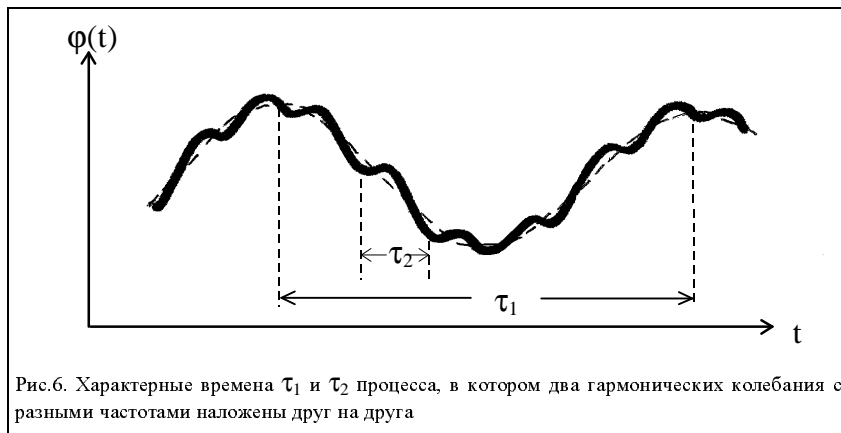


Рис.6. Характерные времена τ_1 и τ_2 процесса, в котором два гармонических колебания с разными частотами наложены друг на друга

Большинство природных процессов подчиняется ритмам, которые, однако, не строго следуют закону гармонических осцилляций, а несут в себе и случайную составляющую. В качестве характерного времени в этих случаях приходится брать средний период колебания, средний период релаксации или удвоения.

Для задания стрелы времени естествоиспытатели получили два физически противоположных, но направленных в одну сторону ряда процессов: возрастания энтропии и возрастания разнообразия, или, в широком смысле слова, информации. Оба принципа используются при создании хронологии биосферы. Энтропийный отсчет времени лежит в основе радиоуглеродных методов измерения времени, датирования по разрушению костных остатков в палеонтологии и минералов в литологии, при определении возраста рельефа и др. Негэнтропийные процессы позволяют выстроить во временной ряд палеонтологическую летопись природы, помогают упорядочить разветвляющиеся на Земле события человеческой истории, идентифицировать стадии сукцессий растительности и т.п.

Для создания хронологической последовательности событий, однако, нужны еще точки отсчета, метки. Разнообразие природных процессов предоставляет исследователям богатый набор подходящих для этого характерных явлений.

Наиболее простыми и, вероятно, первыми среди использованных для этой цели были выдающиеся уникальные события в истории биосферы. Подобно библейскому всемирному потопу они позволили отделить то, что произошло “до” от возникшего “после”. В истории Земли важнейшими из таких меток были возникновение атмосферы и гидросферы, появ-

ление жизни, образование кислородной атмосферы, выход организмов на сушу, появление млекопитающих, появление человека, начало последнего ледникового периода, начало истории человеческого общества, великие географические открытия. Для каждого живого существа важнейшими пунктами его истории являются моменты рождения и смерти.

Однако для увязывания между собой сложнейшей сети событий больше подходят ритмично повторяющиеся явления. Два наиболее устойчивых ритма легли в основу временных шкал, позволивших выстроить хронологию биосферы и человеческого общества. В роли маятника выступила Земля, ее вращение вокруг своей оси, задавшее суточный ритм, и обращение вокруг Солнца с периодом в год. Для более коротких и более длительных интервалов времени не нашлось естественных балансиров с таким же равномерным ходом, но оказалось не столь уж сложным раздробить в нужное число раз эти временные единицы или объединить их в длительности с любым числом единиц в показателе степени.

Этот эталон скорости хода времени позволил выявить в окружающей нас природе и в нас самих множество циклических процессов с более или менее постоянным периодом, с большей или меньшей физической замкнутостью циклов¹. Вот некоторые из них: орогенические циклы, колебания климата от 2—3-летних до смен, сопоставимых с длительностью геологических эр, колебания солнечной постоянной, эпейрогенические колебания земной коры, колебания речного стока, океанские приливы, сейши и ветровые волны на водных поверхностях. Многие из естественных ритмов прямо или опосредованно связаны друг с другом, кратны один другому. В зависимости от них находятся также важные социальные и социально-географические ритмы, такие как миграции народов, расцвет и упадок культур (Гумилев, 1979), засухи (Раунер, 1976), эпидемии, распространение насекомых-вредителей сельского хозяйства (Чижевский, 1976).

Это многообразие циклов, вероятно, следует разделить на две группы: собственные колебания и ритмы, навязанные системами более высокого ранга. Очевидно, например, что сезонные и суточные преобразования ландшафтов, ритмы сельскохозяйственных работ, морские приливы и отливы в первую очередь определяются явлениями геофизическими, внешними для них. С другой стороны, сейши Байкала или Каспийского моря, хотя и стимулируются посторонними причинами — пере-

¹ Физически полностью замкнутый цикл понимается как полный возврат системы к одному и тому же состоянию на каждом витке.

падами атмосферного давления — подчинены ритму, заданному массой колеблющейся воды и формой ванны. Колебательные контуры, осцилляторы широко распространены в неживой природе. Еще более многочисленны и разнообразны они в системах биологических и социальных. Достаточно вспомнить спектр биоритмов, которые управляют функциями человеческого организма. Однако, как показывают наблюдения, частоты биологических и социальных пульсаций не закреплены жестко, могут меняться иногда в довольно широких пределах (в несколько раз). Это позволяет соответствующим системам посредством резонансной подстройки синхронизировать свои колебания с наиболее сильными внешними воздействиями. При этом достигается минимизация энергетических затрат. Возможность подстройки объясняет повсеместную распространенность циркадных и сезонных биологических ритмов, а также соответствующих ритмов в общественной жизни людей. Это осцилляции, которые нельзя назвать ни автоколебаниями, ни колебаниями в полном смысле вынужденными. Скорее их можно определить как наведенные, синхронизированные колебания. Самостоятельность сезонных ритмов растительности умеренной полосы показал, например, Г.Ф.Хильми (1966). Им было установлено, что листопадные породы деревьев реагируют не непосредственно на ухудшение погодных условий осенью, а на сигнал-предшественник — укорочение светового дня. Сигнал вводит в действие генетически запрограммированную цепочку реакций: эвакуацию из листьев питательных веществ, образование пробкового слоя на черешках и т. п., т. е. осуществляет подстройку собственного ритма.

За исключением небольшого числа ритмов с относительно строго фиксированной частотой, системы географического масштаба (10^1 – 10^7 м) во многих случаях меняются с переменной периодичностью. Изменения могут быть направленными или более или менее случайными. Палеонтологией зафиксировано ускорение во времени по мере развития жизни на Земле. Если считать астрономическую единицу времени — год — постоянной, то количество таксонов одного порядка, возникающих за одинаковый период, с течением времени увеличивается (Ермолаев, 1975). Историческая наука также позволяет утверждать, что происходит сокращение интервалов между “метками”, задающими темп развития общества, — выдающимися открытиями, изобретениями, рождением кардинальных религиозно-философских учений и др. Можно думать, что тут мы являемся свидетелями проявления некоторого общего закона самоорганизации материи, согласно которому возникновение новой информации в эволюционных процессах происходит ускоренно, по экспоненте

$$\frac{\partial I}{\partial t} = kI^n,$$

где I — накопленное к данному моменту разнообразие в определенной материальной области, $n > \in 1$.

Впрочем, направленное изменение скорости процессов связано не только с процессами самоорганизации, происходящими в биосфере. Благодаря эффекту приливов на протяжении геологической истории происходит торможение вращательного движения Земли по отношению к периоду обращения вокруг Солнца. Меняется, хотя и очень медленно, ход главного маятника, задающего ритм жизни в биосфере. Длина суток постепенно увеличивается. Число суток в году в докембрийское время вдвое превышало современное (Кукол, 1987).

Случайные изменения характерных времен типичны для гидро-геологических и климатических явлений. А.Н.Кренке и А.Н.Золотокрылин (Институт географии РАН) проанализировали ритмичность озерных осадков в бассейне Днестра за последнюю тысячу лет. Ритмы связаны с изменениями интенсивности речного стока и соответственно климата. Частотный спектр на указанном интервале времени не оставался неизменным. Без какой-либо видимой закономерности в климатической системе возникали ритмы с периодом 2—3 года (наиболее частый) и более, затем исчезали. Сколько-нибудь четкой зависимости между этими “мерцающими ритмами” и солнечной активностью (числами Вольфа) не выявлено.

Другие источники информации, однако, позволяют обнаружить относительно устойчивые климатические циклы с периодом 30, 90 и т.д. лет (Шнитников, 1953). К сожалению, ряды прямых метеорологических наблюдений еще слишком коротки для того, чтобы уверенно судить о периодичности климатических изменений.

§3. Согласование характерных времен

Поплавок, брошенный на поверхность воды, покачивается на волнах, подчиняясь одновременно нескольким системам ритмов: мелкой ветровой ряби, двум-трем более крупным системам волнения, приливно-отливным колебаниям, если дело происходит на море. Теория колебания утверждает, что эти ритмы при достаточно различающихся частотах никак не взаимодействуют друг с другом, даже когда пульсациям подвергается один и тот же объект. Эта закономерность относится ко всем объектам географической оболочки Земли. Ход процессов — почвенных, гео-

морфологических, климатических, биологических, социальных — измеряются не только разными собственными “часами”, но этих часов много у каждого компонента, даже у каждого из элементов организма, почвенного горизонта, водоема. Окружающий нас мир представляется построенным в хронологическом отношении поразительно нецелесообразно. Образно его можно представить себе как набор, механическую сумму бесконечного числа часов, каждые из которых идут в своем темпе, никак не зависящем от темпа всех остальных часов. В этих условиях изучение одного из природных или социальных процессов не может дать никакой информации о процессах, происходящих с тем же объектом или соседними объектами в другом характерном времени. Наука о временной организации географических систем превращается в коллекцию фактов, друг с другом не связанных.

В действительности связь между процессами, идущими с разными характерными временами, существует. Набор механизмов, осуществляющих эту связь, невелик.

Взаимодействие между колебательными процессами реализуется с помощью резонанса. Теорема независимости колебаний относится к достаточно различающимся частотам. Если физически или информационно связаны друг с другом системы, осцилляции которых близки по частоте ω , $\delta\omega = (\omega_1 - \omega_2) < \sqrt{2}$, то происходит их синхронизация. Менее мощный в энергетическом смысле ритм подстраивается к более мощному. Пучок близких по частоте колебательных процессов переходит к единому ритму, взаимно усиливаясь. В случайном спектре частот, имеющем характер фликкер-шума, таким образом возникают предпочтительные частоты, а в промежутках между ними — энергетические “провалы”. Наименьшее расстояние, на котором при наличии резонанса могут располагаться моды частот, равно примерно трехкратному увеличению (уменьшению) частоты. Таким образом, если в спектре существует предпочтительный ритм, заданный неким колебательным механизмом, то по этому камертону организуются не только осцилляции, близкие по частоте, но в принципе — весь спектр колебаний, участвующих во взаимодействии. Информация передается последовательно по цепи от одного узла частот к другому.

Резонансный фильтр, по-видимому, создаст то более, то менее строгую периодичность таких процессов, как извержение гейзеров, подвижки пульсирующих ледников, флуктуации морских течений, например, Перуанского (Эль-Ниньо).

Резонанс в этих случаях служит механизмом, осуществляющим отбор некоторых процессов из первоначального неорганизованного разнообразия шума. Таким образом, взаимодействие частот оказывается составной частью, вторым этапом процесса самоорганизации природных систем (Арманд, 1988). Первый этап заключается в порождении каким-либо способом начального более или менее случайного множества вариантов, в данном случае — вариантов колебательных систем. Резонансный отбор может иметь пространственное выражение в форме, например, речных меандров (излучин), размер которых соответствует частоте колебаний речного потока, отобранной из множества априорно равновероятных частот. Другой пример действия резонансного фильтра — образование циклонов умеренных широт. В северном полушарии одновременно наблюдается от 3 до 9 циклонов, однако с наибольшей вероятностью синоптики обнаруживают 7 сосуществующих циклонов. Устойчивость этой величины свидетельствует о существовании механизма еще недостаточно исследованного — образовании предпочтительной частоты.

В приведенных примерах ритм колебаний задается обратными связями в структуре систем, выполняющими роль колебательных контуров. Период колебаний определяется скоростью прохождения сигнала по контуру.

По-видимому, подобная самоорганизация колебательных процессов находит выражение в пространственном устройстве ландшафтной оболочки Земли (Пузаченко, 1986). Б.В.Виноградов провел изучение размеров естественных территориальных комплексов (ландшафтов), дешифрируемых на аэро- и космических изображениях по изменениям тона (Виноградов, 1979). Весь размерный ряд (спектр) разбился на узлы — особенно часто встречающиеся размеры и промежутки между ними. Коэффициент этой прогрессии близок к 3. Не исключено, что этот ритм генетически связан с прогрессией размеров отдельностей горных пород, разбитых трещиноватостью, а также размеров тектонических блоков кристаллического фундамента платформ, ограниченных линиями разломов (Наливкин и др., 1984).

Вероятно, механизм резонансной фильтрации predetermined сходную упорядоченность размерных спектров планктонных и других водных организмов (Каменир, 1986; Численко, 1981). Упорядоченность пространственных размерных рядов, однако, служит дополнительным косвенным подтверждением того, что в окружающей нас природной макросреде осуществляется резонансное упорядочение “случайного шума”.

Взаимодействие колебаний с близкой частотой может проявляться не только во взаимоусилении синхронизированных волн, но и их подавляющем действии друг на друга. Это происходит тогда, когда близкие процессы питаются из одного энергетического источника и находятся таким образом в конкурентных отношениях. В таком случае одновременно со снижением частоты может произойти расхождение по фазе, сводящее к минимуму конкуренцию. Яркий пример этого — смена аспектов лугового фитоценоза. Популяции трав в ходе совместной эволюции минимизируют конкуренцию путем установления временной последовательности в сроках развития отдельных видов. Оптимальным для конкурентов оказывается наименьшее совпадение друг с другом по фазе.

Приведенные выше примеры взаимодействия “часов” относились к процессам, происходящим между системами одного ранга, так сказать, по горизонтали. В случае объединения таких систем они образуют “однородную” (Арманд, 1988) систему более высокого уровня. Так, объединение особей растений и животных формирует популяцию, объединение популяций — вид. Не менее часты в природе взаимодействия по вертикали в иерархически построенных системах “дополнительного” типа. Пример такой системы — трофическая пирамида. Поведение подчиненных систем, в том числе режим свойственных им колебаний, в этих случаях регулируется следующими сверху по иерархической лестнице потоками энергии и информации. Здесь также работает механизм резонанса, только воздействие направлено преимущественно в одну сторону. Происходит подпитывание энергией, усиление одних частот и подавление других, остающихся на голодном пайке. Примером действия таких резонансных фильтров является множество циркадных (суточных), месячных и годовых ритмов, выявленных у живых организмов и социальных систем. Высокоразвитые живые существа и общественные институты могут сознательно подстраивать свою деятельность к геофизическим циклам, но это ничего не меняет в наших рассуждениях. Резонансные фильтры определяют ритм многих производств, особенно связанных с сельским хозяйством, сезонную игру цен, способствуют возникновению вредных, паразитных колебаний с недельным, месячным, кварталным периодом (“неритмичность” производства). Возможно также сознательное изменение социальных ритмов с помощью управляющих — финансовых и административных воздействий, например, увеличения частоты оборота денежных средств, обновления средств производства.

Другой механизм взаимодействия характерных времен мы обнаруживаем в тех случаях, когда процессы имеют не периодический, а

асимптотический характер. Этот механизм можно назвать подстройкой быстро идущих процессов к более медленным. В результате возникает особый вид системной иерархии — иерархия по характерным временам. Подстройку можно схематически представить следующей цепочкой событий. В результате какого-то катаклизма (тектонического поднятия, оползния, отступления берега моря, резкого изменения климата, пожара и т.п.) запускается ряд компенсаторных процессов — денудации, образования нового растительного покрова, изменения свойств поверхностных вод и приземной атмосферы. Эти асимптотические процессы идут с разной скоростью. Естественно, самый быстрый из них первым приводит соответствующую систему к стационарному состоянию — равновесию или гомеостатическому равновесию, если речь идет о живых компонентах ландшафта. Переход к стационарному состоянию происходит под контролем механизмов саморегуляции, в том или ином виде присутствующих практически во всех природных системах. После достижения равновесия саморегуляция почти перестает работать, компенсируя лишь незначительные отклонения от стационарной точки. Но среда, окружающая самую “быструю” систему, продолжает меняться из-за того, что более медленные процессы еще не закончились. Поэтому “быстрая” система вынуждена перейти к режиму слежения за меняющимися параметрами среды, режиму подстройки к ним своих средних состояний. Вынужденное движение совершается при сохранении квазиравновесного (почти равновесного) или квазигомеостатического состояния. Когда второй процесс заканчивается, роль главного двигателя передается еще более медленному регулятору и т.д., пока не придет к стационарному состоянию механизм с самым большим характерным временем (рис.7).

Примерно таким образом происходит становление природного комплекса, называемого также геосистемой, экосистемой, биогеоценозом, в ходе первичной или восстановительной сукцессии. Ряд процессов, выстроенных по увеличению характерного времени, включает переход к равновесию радиационного баланса, нижней части атмосферы (микроклимата), поверхностных и грунтовых вод, населения беспозвоночных, однолетних трав, многолетних трав, мхов и лишайников, кустов и деревьев, крупных животных, почвы, рельефа (таблица). Где-то на уровне трав в этот ряд может быть включено сельскохозяйственное производство. Восстановление экономики государства, пострадавшего от войны, происходит дольше.

Вместе с тем каждый из перечисленных природных и социальных компонентов — это своя иерархия характерных времен. В рельефе раньше всего происходит выравнивание не закрепленных растительностью песчаных форм, затем — неровностей, образованных в нестойких осадочных породах, потом — кристаллических породах. Для процессов формирования почв выстраивается свой ряд характерных времен: изменение температуры почвы, адаптация почвенных бактерий и беспозвоночных (самостоятельный ряд), миграция подвижных веществ, образование почвенной подстилки, образование развитого профиля почвенных горизонтов, образование профиля коры выветривания.

Если вернуться к образной картине со множеством самостоятельно идущих часов, то сукцессия выглядит как поочередное окончание завода у часов, начиная с самых быстроидущих. Однако продолжающийся-



ся ход более медленных часов поддерживает “быстрые” часы в состоянии слабого подзавода, пока сам не прекратится. Эта взаимосвязь позволяет в каждый конкретный момент разделить в сложном асимптотическом процессе все частные процессы на практически законченные и еще продолжающиеся. На практике наиболее медленные из известных нам земных процессов не успевают привести систему к равновесию. Они прерываются новыми катаклизмами тектонической или космической природы, которые вновь запускают всю коллекцию быстрых и медленных часов.

Существует еще одна постоянная причина нарушения равновесия природных систем. Это постоянно идущие в биосфере процессы самоорганизации, сплетающиеся в непрерывный ряд эволюции Земли. Четыре относительно самостоятельных ряда выделяется в обозримом прошлом, хотя в действительности они лишь продолжают друг друга — эволюция литосферы, гидросферы и атмосферы; эволюция живого вещества; эволюция человеческого общества и развитие разума и психики людей. В отличие от процессов саморегулирования эволюционные ряды не имеют видимого теоретически необходимого конца. Все прочие биологические, социальные и абиотические часы с неизбежностью функционируют на фоне изменений среды, постоянно и все более интенсивно вносимых эволюцией.

Таким образом, для всех асимптотических процессов эволюция биосферы означает общее непрерывное нарушение равновесия, смещения аттракторов, к которым стремятся состояния саморегулируемых систем. Это вторая причина, почему асимптотические “часы” непрерывно подзаводятся в условиях эволюции. Особенно отчетливо это проявилось в повсеместном омоложении биоценозов, связанном с усилением техногенных процессов в наше время.

Аддитивное наложение колебаний, не объединенных резонансом, может создавать эффект “биений” — периодически или случайно повторяющихся экстремальных отклонений состояний системы от средних. Экстремумы возникают в точках, где разные ритмы совпадают по фазе и усиливают друг друга. Синтезированные таким образом ритмы как бы добавляют к часам еще одну стрелку, идущую медленнее прочих, но связанных с ними отношением кратности. Возможно, такими биениями объясняются редкие отклонения климата от нормы, приводящие к чрезвычайно сильным засухам, наводнениям и т. п.

Особый случай наложения ритмов имеет место тогда, когда одни часы имеют равномерный ход, отвечающий арифметической прогрессии, а другие — ускоренный, как ход эволюции, соответствующий прогрессии

геометрической. По представлениям А.В.Жирмунского и В.И.Кузьмина наложение таких процессов способно создавать серию ритмов с экстремумами в тех точках, где частота экспоненциального процесса устремляется к бесконечности (Жирмунский, Кузьмин, 1986). В этих критических точках с неизбежностью происходит качественная перестройка системы, возникает новая экспонента, через определенный интервал повторно приводящая к кризису. По расчетам авторов работы этот интервал, выраженный в единицах времени равномерно идущих часов T^k , составляет $x^k = 3,16T^k$. Возникает также ряд менее значительных ритмов. Этим критическим моментам А.В.Жирмунский и В.И.Кузьмин придают важное значение, обнаруживая их, например, в онтогенетическом развитии ряда живых организмов. Взяв за основу “задающий” ритм галактического года, эти исследователи вычисляют календарь моментов перестройки, сопровождающих развитие Земли. В интервале от 3 миллиардов до примерно 10 тысяч лет важнейшие геологические события демонстрируют определенное совпадение с расчетной шкалой. Взаимодействие земных, лунных и солнечных циклов дало авторам возможность рассчитать ряд циклов с интервалами между критическими точками, равными 12,8 — 17,2 суток, 200 — 246 суток, 274 суток — 1 год, 2,2 — 3 года, 6,1 — 8 лет, 16,6 — 22 лет, 45 — 60 лет.

Содержание эволюции состоит в создании нового качества, новых, ранее не существовавших систем: видов растений и животных, биоценозов, производственных предприятий, коллективов, идей. Каждая новая система — это новое характерное время, новые “часы”, иногда не одни. Прежние системы, т.е. и ранее существовавшие “часы”, в ходе конкуренции ликвидируются или оттесняются на вторые роли. Их место занимают системы, более адаптированные к существующей среде и к ее темпу изменений, например, биоценозы замещаются агроценозами. Таким образом, можно думать, среднее характерное время географической сферы — если есть смысл в таком понятии — сокращается.

Развитые представления позволяют считать, что время, фиксированное событиями эволюции, отражает, с одной стороны, собственные закономерности глобальной системы и, с другой стороны, ряд навязанных ей режимов развития. По-видимому, появление на биосферной арене новых видов бактерий, растений, животных, новых технических изобретений равной степени сложности, новых выдающихся идей происходит в собственном ритме, определенном свойствами системы, порождающей их

и усваивающей как свою собственность. Немало, например, написано об идеях, опередивших свое время или, наоборот, задержавшихся с появлением. Несомненно также, что интервалы между нововведениями зависят и от окружающей среды. Палеонтология утверждает, например, что периоды геологической истории, богатые глубокими климатическими изменениями и беспокойные в тектоническом отношении, отличаются обилием возникших в это время новых форм жизни. Не вызывает сомнения также связь эволюции органического мира с развитием общества. Достаточно вспомнить целенаправленное создание новых сортов культурных растений и пород животных и, наоборот, истребление многих видов “дикой” фауны и флоры. В контакте с человеком, очевидно, ускорилась эволюция болезнетворных микроорганизмов и вредителей сельского хозяйства. Эти многообразные взаимодействия эволюционных “часов”, однако, еще требуют углубленного изучения.

Таким образом, мы приходим к заключению, что процессы, идущие в окружающей человека среде с разными характерными временами, вовсе не независимы друг от друга. Взаимосвязь между ними приводит к созданию иерархической соподчиненности отдельных систем отсчета времени. Однако зависимость эта не абсолютна, она оставляет достаточно простора для автономии объединенных в систему “часов”. Похоже, что только такая “мягкая” зависимость делает возможной эволюцию биосферы. Обе крайности — полное подчинение низших (в иерархии) систем высшим и полное отсутствие связей — исключают осуществление самоорганизации, составляющей основное звено эволюционного процесса.

§4. Взаимозаменяемость пространства и времени в географии и геологии

Науки о Земле постоянно имеют дело с процессами, характерное время которых намного превышает возможности прямого наблюдения, даже в тех случаях, когда многие поколения наблюдателей сменяют друг друга. Обычный прием, позволяющий, тем не менее, получить представление о столь продолжительных явлениях — замена цепочек событий, развернутых во времени, пространственными рядами. В геологии потребность в такой замене привела к формулировке Ч.Лайслом принципа актуализма. У географов был разработан сравнительно-географический метод. Впервые его широко использовал А.Гумбольдт. Ось геологического времени в сознании исследователей легко отождествляется с осью, пересекающей последовательные напластования осадочных пород. По прихоти тектоники эта ось может быть направлена вертикально из глубин к по-

верхности земли или может оказаться наклоненной вплоть до обратного направления — от поверхности вглубь. С помощью комплекса денудационных процессов хронологическая шкала оказывается спроектированной на дневную поверхность, так что мы имеем возможность шагомером, рулеткой или линейкой по карте измерить расстояние от основания ордовика до конца силура, от палеоцена до эоцена и обратно. Вещественный состав, структура, текстура, остатки организмов дают представление о смене событий, ритмах и ускорении времени. Принцип актуализма дает ключ к расшифровке хронологии, хотя иногда и неточный ключ.

Метод замены временных рядов пространственными использован геоморфологом У.Девисом для того, чтобы выявить закономерности асимптотического развития рельефа Земли в разных физико-географических условиях (Девис, 1962). В этой реконструкции, правда, пространственные ряды не нанизаны на одну линию профиля, а набираются вразброс, в первую очередь, по степени расчлененности рельефа. Геологическая летопись также не укладывается в один разрез, один профиль, ее приходится собирать из обрывков, дополняя пространственный принцип другими (в основном палеонтологическим методом линеаризации событий). Это, однако, не меняет существа принципа пространственно-временных аналогий, сохраняются все трудности перехода от пространства ко времени и обратно, к ним лишь добавляются специфические палеонтологические, геоморфологические и т.п. проблемы.

Геоботаники с успехом изучают смены растительности в сукцессионных рядах, рассматривая зоны растительности на зарастающих речных косах как пространственное отражение временных рядов событий. Принципиально такой же путь рассуждений позволяет составить представление о медленно идущих процессах эвтрофирования озер, наступания и отступления ледников, климатогенных смен растительного покрова. Ландшафтные зоны и высотные почвенно-растительные пояса дают основу для суждения о последствиях глубоких изменений климата. Г.П.Калинин использовал принцип, названный им эргодическим, для изучения годового режима отдельной реки по множеству гидрографов (кривых расходов воды) рек, расположенных на обширной территории Русской равнины (Калинин, 1966). Аналогичный метод используют историки, когда на основе изучения уклада первобытных народов — наших современников — делают определенные выводы о жизни в доисторических формациях.

Аналогия пространства и времени обнаруживает себя в экономико-географических построениях тем, что мерой расстояния между пунктами часто становится время, необходимое на покрытие расстояния, а также затраты горючего, энергии, денег. В модели элементарного государства, построенной Тюененом, расслоение территории государства на зоны может описываться в терминах времени, в течение которого продукция, производимая в данной зоне, доставляется в центр, “столицу”. Одним из

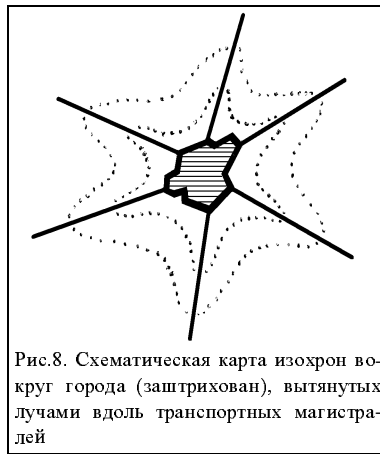


Рис.8. Схематическая карта изохрон вокруг города (заштрихован), вытянутых лучами вдоль транспортных магистралей

важнейших факторов районирования территории по особенностям рекреационных и маятниковых (на работу — с работы) миграций вокруг городов также является время, затраты на поездку. Карта такого районирования выглядит как серия вложенных друг в друга звезд, ограниченных изохронами, с лучами вдоль шоссейных и железных дорог (рис.8).

Многочисленные примеры использования рядов сосуществующих явлений или просто расстояний как замены временных последовательностей и наоборот не означает, однако, что теория такой замены хорошо разработана. Скорее наоборот, можно показать, что пространственно-временной переход никогда не получит строгого обоснования. Преобразование, подобное описанному, допускается физикой в форме эргодического принципа газовой кинетики. Этот принцип обосновывает переход от кинетических характеристик — средней скорости и средней длины пробега молекулы газа — к статическим параметрам состояния — температуре и давлению. Здесь, однако, доказательство соответствующей теоремы опирается на такие начальные условия, которые практически никогда не выполняются в реальной географической среде. Достаточно назвать требование монотонного убывания автокорреляционной функции с расстоянием, т.е. отсутствие в географическом пространстве ритмических и неритмических неоднородностей, например, требование идеально выровненного рельефа. Для замены климатогенных изменений ландшафта рядом, составленным из природных зон, необходимо предположить, что серия параметров, характеризующих климат: годовое и посезонное количество осадков, среднегодовые, зимние, летние, экстремальные температуры и другие, меняются со временем так же, как и при движении по ме-

ридиану. Очевидно, что при существенной независимости указанных параметров полного соответствия эволюции климата его изменениям в пространстве никогда не будет. Из-за отсутствия такого соответствия у палеогеографов возникли затруднения при интерпретации позднеледниковых спектров ископаемых пыльцы и спор, в которых содержались одновременно элементы степной и тундровой растительности. В современных условиях их сосуществование воспринимается как редко встречающаяся аномалия.

Значит ли все сказанное, что метод пространственно-временных аналогий должен быть признан негодным средством научного исследования и отброшен? По-видимому, должен быть сделан менее радикальный вывод. Наши рассуждения показывают, что возможности метода ограничены, но отнюдь не равны нулю. Об этом свидетельствует и вся практика развития наук геолого-географического и экологического цикла. При известном скепсисе замена временных рядов пространственными и наоборот может давать качественно верные результаты. Вводимая при этом ошибка во многих случаях не играет существенной роли, так как сами фактические данные о состояниях отдельных подсистем биосферы в силу своей статистической природы дают в большинстве случаев широкий разброс.

Адекватность выводов, полученных посредством пространственно-временной замены, может быть в принципе проверена, если удастся построить имитационные модели для зависимостей, реализующихся во времени и в пространстве, и показать их изоморфизм. Эта возможность, однако, остается чисто теоретической, так как для построения модели нужна такая степень изученности явления, при которой сама аналогия становится ненужной.

§5. Время как мера состояния

Размышления о том, какую роль играет время в исследовании явлений и процессов, происходящих на поверхности и в недрах Земли, приводят к заключению, что время — одно из средств обнаружить и зафиксировать различия между событиями или предметами. Очевидно, значительно проще назвать возраст человека, чем перечислить все его отличия от новорожденного младенца. Точно так же обозначение геологического возраста какого-либо события освобождает нас от необходимости рассказывать о сопутствующих этому событию особенностях климата, тектонических движений, магматизма и осадконакопления, о развитии

растительности, животного мира и многих других признаках, характеризующих состояние геосферы в момент времени T . Все эти сведения в сжатом виде содержатся в хронологической дате, которая играет роль метки — заместителя большого объема информации. Аналогичный смысл имеют даты или названия эпох истории человеческого общества, стадии выравнивания рельефа, сукцессии растительности или развития городской агломерации. Смысл датирования состоит в том, что состояние рассматриваемого предмета, системы становится возможным сравнить с некоторым другим, принятым за реперное. Часто это состояние той же системы в настоящее время или в момент, принятый за начало отсчета: образование земной коры, выделение человека из животного мира и т.п. Ясно и обратное: если видимых изменений не происходит, то представление о времени оказывается излишним. Впрочем, найти среди макросистем, составляющих геосферу, пример неизменной в течение значительно времени системы чрезвычайно трудно.

Из сказанного следует, что длительность промежутка времени, прошедшего между двумя событиями в истории природы, общества или отдельного человека, интересует нас не сама по себе, а лишь как мера изменений, которые происходят или могут произойти в течение этого интервала. Названия отрезков времени — миллион лет, неделя, микросекунда — не имеют содержания, пока они не связываются в сознании с каким-то поступательно идущим процессом, с накоплением новой информации или потерей старой.

Простейшим случаем использования времени как меры состояния является поступательное движение “из пункта А в пункт В”. Здесь время служит показателем изменения положения в пространстве, увеличения или уменьшения расстояния.

При заданной скорости временной показатель полностью, без потери информации, преобразуется в расстояние. Два часа ходьбы, два часа полета или, как у голландских шкиперов — две выкуренные трубки, — это информация не столько о длительности времени, сколько о взаимной удаленности двух объектов. В этом смысле в науке используется хронологическая по форме информация о движении сейсмических волн, о движении тектонических плит, о времени прохождения светового (лазерного) сигнала при прецизионных геодезических измерениях. Также, впрочем, возможно и обратное: использование расстояния как измерителя времени, если оно нас интересует больше, чем положение объекта в пространстве. Километры, оставшиеся до приближающегося тайфуна или волны цунами, до появления поднявшейся в воздух тучи саранчи или фронта эпиде-

мии, несут в себе информацию о времени, оставшемся для принятия предупредительных мер.

В экономической географии время используется как одно из средств измерения платы за расстояние, которой в большой степени определяется размещение производственных, сбытовых предприятий, пунктов обслуживания, прокладка транспортных коммуникаций. В этом случае единицы времени становятся эквивалентом не только расстояния, но и единиц энергии, использованного на перемещение горючего, затраченных денег и даже накопленного психологического напряжения. В этой функции время “работает”, когда производится исследование маятниковых миграций (Гольц, 1979) или географического распределения отдыхающих вокруг больших городов (см. рис.8).

Еще одна функция времени состоит в измерении степени разрушенности (или, наоборот, сохранности) созданных ранее структур. Другими словами, речь идет о косвенной оценке стадии, достигнутой в ходе повышения энтропии конкретного объекта. Для геохимиков возраст минералов содержит сведения о том, какое количество тяжелых радиоактивных изотопов перешло в более легкие. Петрологу возраст горной породы дает информацию о степени метаморфического преобразования первоначальной структуры породы и отсюда — о возможности исследования ее генезиса. В условиях геосферы внешний “шум” постепенно стирает “память” горных пород об условиях, в которых они возникли, и продвинутость этого процесса не вполне точно, но зато в свернутом виде характеризуется числом лет, прошедших до нашего времени от момента возникновения объекта. В таком же смысле говорят о стирании “памяти” рельефа земной поверхности, где постепенно исчезают древние поверхности выравнивания, долины древних рек, террасы, формы, созданные оледенением. Исчезновение палеонтологических свидетельств древней жизни, исчезновение “записей” в структуре почв, в генетических кодах организмов об исчезнувших ландшафтах, разрушение памятников старины — все эти процессы изучаются с использованием понятия “возраст” в качестве меры прошедших изменений.

Следствием объективно идущего процесса роста энтропии является возрастание неопределенности информации, доходящей до нас из глубины времени. Поэтому можно посмотреть на время еще под другим углом зрения — как на меру достоверности и полноты наших знаний о событиях. В этом отношении прошлая и будущая история Земли и, естественно, не только Земли обладают определенной симметрией. Настоящий момент (с некоторым допуском) — это момент максимальной ин-

формации, доступной наблюдателю. С удалением в будущее уменьшается достоверность прогнозов. В обе стороны убывает количество достоверной информации.

В тех случаях, когда процесс направлен не к равновесию, а от него, время с равным успехом используется для сжатой передачи информации о степени достигнутой системой сложности, совершенства или упорядоченности. Называя стадию, до которой продвинулась сукцессия растительности на определенном участке территории, исследователь сообщает, насколько близок фитоценоз к относительно стабильному климаксовому состоянию, в некотором смысле “совершенному”. Называя сообщество растений и животных древним или молодым, биолог вкладывает в это определение взаимную адаптированность составляющих его видов и связанные с ней свойства: замкнутость, устойчивость к внешним возмущениям. “Молодой”, “зрелый” или “дряхлый” рельеф для геоморфолога означает, насколько профили морских берегов и продольные профили рек приблизились к идеальной кривой, близкой к гиперболе, а меандры — к сопряженным дугам окружностей. Форма барханов, ледниковых цирков, склонов гор, конфигурация озер со временем стремится к некоему идеальному образу, совершенному в смысле достижения максимального равновесия с окружающей средой. Возраст биологических таксонов имеет другой смысл: чем позже по геологическим “часам” появилось семейство, род, класс, тем сложнее и совершеннее характерные для него механизмы регуляции и восприятия внешней среды, нервная система.

Все приведенные выше примеры можно обобщить следующим образом: в антиэнтропийных процессах время служит обобщенным показателем накопленной системой информации (порядка, сложности, “совершенства”). Под накопленной информацией можно, однако, понимать не только совершенство природных систем, но и наши знания о природе. В этом случае время также используется как параметр, характеризующий глубину проникновения исследователя в существо изучаемых процессов. С возрастанием длительности наблюдений, проводимых научным стационаром, заповедником, метеостанцией, ценность полученной информации непрерывно повышается. Чем больше время, потраченное на изучение, тем менее вероятна ошибка в прогнозировании будущих состояний. Время оказывается связанным отношением дополнительности с ошибкой прогноза. В пределе, при бесконечном времени наблюдений, становится теоретически достижимым, согласно мысли Л.Бриллюэна (Пригожин, 1986), лапласовский детерминизм, т.е. полная предсказуемость будущего. Здесь можно усмотреть аналогию с теоремой К.Шеннона

о кодировании: чем больше время, затраченное на передачу сообщения (по каналу связи природа—наблюдатель), тем меньше вероятность передать ошибочное сообщение, вызванное шумом.

Нетрудно заметить, что все рассмотренные выше функции, выполняемые представлением о времени в науке и быту, связаны с длительностью интервалов, со свойством времени, обозначаемым термином “дление”. Не менее кардинальным свойством хронологических рядов является другое свойство — последовательность. В отличие от пространственных рядов, отдельные точки которых в принципе могут меняться местами, порядок моментов времени произвольно изменить нельзя. С этим свойством связано еще одно “лицо” времени — его способность разграничивать причину и следствие, в каком бы смысле ни употреблялись эти понятия. Указанное свойство приобретает большое значение в тех случаях, когда непосредственная каузальная связь явлений скрыта от естествоиспытателя. Хронологическое ранжирование событий позволяет точное знание зависимости временно заменить более или менее обоснованной гипотезой, вытекающей из правила: причина не может предшествовать следствию. На этом принципе основано предсказание погоды на основе народных примет и научных наблюдений, например, по показаниям барометра. Изучение спорово-пыльцевых спектров в позднеледниковых отложениях из разных частей Русской равнины позволило установить хронологическую последовательность появления древесных пород в разных местах территории и таким образом с большой достоверностью реконструировать движение фронта лиственных и хвойных лесов вслед за отступающим ледниковым покровом. Обнаружение в разновозрастных слоях осадочных горных пород палеонтологических остатков близких форм организмов делает правдоподобным заключение о том, что более поздняя форма произошла от более ранней. Палеогеографы иногда связывают похолодание климата в ледниковое время с кайнозойским горообразованием, хотя достоверно фиксируется только хронологическая последовательность этих событий.

Переход от временного порядка явлений к причинному осложняется в тех случаях, когда проявляет себя *causa finalis* Аристотеля, т.е. когда конечное состояние некоторой системы определяет ход ее развития к этому состоянию. В современной теории эволюции продолжается дискуссия между последователями Ч.Дарвина и сторонниками взглядов Л.С.Берга и К.Бэра. Согласно последним развитие жизни на Земле имеет целенаправленный характер. Еще сложнее обстоит дело с событиями истории человеческого общества. Здесь, по крайней мере для небольших

отрезков времени, можно с уверенностью утверждать, что переселения народов, войны, реформы, преобразование окружающей среды, как правило, были следствием идеи, в которой центральное место занимал прогноз конечного состояния. Другими словами, следствие при посредстве трансформации в мысленную модель руководило предшествующим процессом. Даже поведение животных, согласно Н.А.Бернштейну, нередко определяется обратной связью через будущее, т.е. прогнозом (Бернштейн, 1962). Но, несмотря на такое обращение причинно-следственной последовательности, переменная времени и здесь необходима для распутывания цепочек каузальных связей.

§6. Условность времени

Обзор состояния проблемы времени в науках о Земле позволяет вернуться к поставленному в начале вопросу: действительно ли время, существуя объективно, задает движение воспринимаемого нами мира, или оно в большей или меньшей степени является созданием человеческого ума? Изложим точку зрения, которая в свете приведенных фактов представляется правдоподобной.

Как можно было убедиться, существует почти неограниченная возможность выделения частных “времен” в окружающей природе и в обществе, подчас слабо связанных или вообще не связанных между собой. По существу любой направленный процесс, если его расквантовать с помощью присущих ему или внешних для него колебаний, позволяет говорить о собственном времени. Изменяя природу, например, с помощью селекции культурных растений и домашних животных, создания природно-технических систем (гидроэлектростанций и пр.), мы создаем новые ритмы, собираем вместо одного два, три урожая в год, т.е. формируем искусственно новые собственные “времена”. Продолжая эту мысль, обратим внимание на то, что современная техника, особенно электроника, производит огромное множество колебательных контуров, каждый из которых, подключенный к источнику энергии, начинает отсчитывать новое, никогда раньше не существовавшее время. Но если создать время так просто, то вполне естественно прийти к заключению, что и в наблюдаемых нами природных процессах время в действительности создано, привнесено человеческим мышлением. Процесс аналогичен тому, как к любому пространству мы после Декарта не можем подходить иначе как с тремя перекрещенными осями координат. На земной шар мы для удобства ориентации накинули сеть меридианов и параллелей, которых в реальности никто никогда не видел. После создания общей теории относительности особенно естественной кажется мысль, что более продуктивно изучение дейст-

вительности не в трех, а в четырех — пространственно-временных — координатах. Физиками обсуждается вопрос о пяти-, шестимерной и т.д. модели мира. Время все больше становится параметром модели, артефактом. Подходя к природному процессу, к колебательному контуру, мы осмысливаем его с помощью понятия “время идет”, после чего не остается труда измерить, как, с какой скоростью оно “идет”. Для того чтобы не утонуть в разное собственных времен, так же естественно было создать для их сравнения единый эталон, нечто вроде мировой валюты, облегчающей переход от одной национальной валюты к другой. Такое единое время было построено на астрономических процессах, принятых *a priori* за равномерные, потом дополнено процессами распада радиоактивных элементов. Но возникает вопрос: а нельзя ли столь же разветвленную картину мира создать, основываясь не на понятии “время идет”, а на каком-то другом фундаменте? При этом время может сохраниться в обиходе, но оно уже будет производным от других категорий.

Ответ на поставленный вопрос во многом зависит от того, для каких целей нам нужно понятие времени, какие функции оно выполняет в научном и бытовом представлении о мире. Рассуждениям на эту тему посвящен предыдущий параграф. Из приведенных там примеров следует, что с помощью понятия “время” мы оцениваем различие в состояниях изменяющегося объекта, в частности, степень разрушения или накопления информации. Время также выполняет функцию заместителя расстояния, энергии, денег (плата за расстояние) и помогает различать причину и следствие в цепях событий. Если теперь взять за исходные такие понятия, как “различие состояний”, “расстояние”, “энергия”, “причина и следствие”, то на них можно построить картину мира, в которой время будет производным понятием. Трудно лишь сказать, будет ли такая модель удобнее той, что принята сейчас. Возможно, она окажется более громоздкой. Не в этом ли причина того, что в конкуренции моделей победу одержала модель с понятием “время идет” в основании, которая экономнее других описывает действительность? Не следует, однако, полностью исключать из сознания возможность “перевернуть” время, превратив его из базового неопределяемого понятия в производное, вторичное, а может быть, даже вовсе исключить его из элиты необходимых слов. Возможно, дальнейшее развитие науки приведет к необходимости именно такой революции в наших взглядах на мир.

§7. Краткие итоги

1. Представление о времени двойственно. Его можно рассматривать как первопричину всякого движения в доступной нам реальности или как создание человеческого ума, полезное для построения экономной и непротиворечивой модели Мира. Концепции и факты, используемые в науках о Земле, так же как весь ход развития научного знания, склоняют скорее ко второй точке зрения. В этом случае можно предполагать возможность создания другой модели, основанной на других неопределяемых первичных понятиях, например, таких, как причинность.
2. Формулирование представлений о времени становится содержательным лишь в том случае, если рассматривается какой-то механизм отсчета, часы. В роли часов может выступать любой процесс, обладающий двумя свойствами: направленностью и квантованностью.
3. Практически любой процесс можно охарактеризовать специфическим характерным временем или комплексом характерных времен. Таким образом, количество “часов” и соответствующих им “времен” бесконечно.
4. Как правило, анализ природных явлений макроскопического масштаба позволяет обнаружить в каждом из них набор специфических ритмов, или набор “часов”. Ход часов может быть совершенно независимым друг от друга, если их частоты достаточно далеки одна от другой. В противоположном случае может происходить резонансная подстройка колебаний.
5. При наличии длинного ряда частот колебательных процессов механизм резонансной подстройки собирает осцилляции в кластеры с модами, различающимися примерно в 3 раза по частоте.
6. Конкуренция “часов” за общий энергетический ресурс может приводить к их расхождению по фазе.
7. Соединение в одной системе ряда асимптотических процессов с разными характерными временами приводит к созданию иерархической структуры. Аргументом, определяющим положение каждого процесса в иерархии, является характерное время. Процессы, быстрее выходящие на стационарное состояние, подстраиваются к процессам с большим временем релаксации.
8. Эволюция биосферы, по-видимому, представляет собой экспоненциальный процесс. На протяжении обозримой истории Земли интервалы между событиями одного порядка сокращаются.

9. Характерным методологическим приемом в науках о Земле является замена пространственных рядов временными и обратно. Замена может давать качественно верные результаты, хотя строгого обоснования ей дать нельзя.
10. Для исследователя ход времени связан с потерей достоверности информации по мере удаления от настоящего момента как в прошлое, так и в будущее.

ЛИТЕРАТУРА

- АРМАНД А.Д. Саморегулирование и самоорганизация географических систем. М., 1988.
- АРМАНД А.Д., ТАРГУЛЬЯН В.О. Принцип дополнительности и характерное время в географии // Системные исследования. М., 1974. С.146–153.
- БЕРНШТЕЙН Н.А. Проблемы моделирования в биологии активности // Математическое моделирование жизненных процессов. М., 1968.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. Пространство и время в неживой и живой природе // Философские мысли натуралиста. М., 1988. С.210–296.
- ВИНОГРАДОВ Б.В. Частотно-пространственный подход к формированию иерархии хронологических понятий // III Всесоюзный симпозиум по теоретическим вопросам географии. Киев, 1979. С.126–127.
- ГОЛЬЦ Г.А. Моделирование передвижений населения // Географические исследования городской среды. М., 1979. С.133–161.
- ГУМИЛЕВ Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Пассионарность. Вып.2. М., 1979.
- ДЕВИС У.М. Геоморфологические очерки. М., 1962.
- ЕРМОЛАЕВ М.М. Введение в физическую географию. Л., 1975.
- ЖИРМУНСКИЙ А.В., КУЗЬМИН В. И. Критические уровни развития природных систем. Препринт №19. Владивосток, 1986.
- КАЛИНИН Г.П. Пространственно-временной анализ и эргодичность гидрологических элементов // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. 1966. №5. С.19–34.

- КАМЕНИР Ю.Г. Размерная структура циклических систем: взаимосвязь параметров // Экология моря. 1986. №24. С.42–51.
- КРУТЬ И.В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. М., 1978.
- КУКОЛ З. Скорость геологических процессов. М., 1987.
- ЛЯПУНОВ А.А. О математическом подходе к изучению жизненных явлений // Математическое моделирование жизненных процессов. М., 1968.
- МЕЙЕН С.В. Понятие времени и типология объектов (на примере геологии и биологии) // Диалектика в науке о природе и человеке. М., 1983. С.311–317.
- МЭНЕСКУ М. Экономическая кибернетика. М., 1986.
- НАЛИВКИН В.Д., КУЗЬМИН В.И., ЛУКЪЯНОВА В.Г. Дискретность в распределении и развитии природных объектов // Тектоника и нефтегазоносность складчатых поясов. Фрунзе, 1984. С.27–35.
- ПРИГОЖИН И., СТЕНГЕРС И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М., 1986.
- ПУЗАЧЕНКО Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиций теории колебаний // Моделирование геосистем. Вопр. географии. 1986. Вып.127. С.96–111.
- РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О ВРЕМЕНИ В ГЕОЛОГИИ / Под ред. В.И.Онопrienко. Киев, 1982.
- РАУНЕР Ю.Д. Приложение стохастической модели первичной продуктивности к анализу колебаний урожайности зерновых // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1976. №2. С.13–29.
- СИМАКОВ К.В. Теоретические основы подразделения геологического времени // Геология и геофизика. 1977. №4. С.49–57.
- УИЛСОН А., УИЛСОН М. Информация, вычислительные машины в проектировании систем. М., 1968.
- ХАРВЕЙ Д. Научное объяснение в географии. Общая методология науки и методология географии. М., 1974.
- ХИЛЬМИ Г.Ф. Основы физики биосферы. Л., 1966.

ЧИЖЕВСКИЙ А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976.

ЧИСЛЕНКО Л.Д. Структура фауны и флоры в связи с размерами организмов. М., 1981.

ШНИТНИКОВ А.В. Изменчивость горного оледенения Евразии в поздней и послеледниковую эпоху и абсолютная хронология // Изв. Всесоюзного географического общества. Т.85. Вып. 5. 1953.

ЯРОШЕВСКИЙ А.А. О геохимической эволюции биосферы // Природа. 1988. №2. С.59–67.