

ДИСКУССИЯ

УДК 911.2

DOI: 10.15372/GIPR20230418

А.Т. НАПРАСНИКОВ

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, baikal1936@yandex.ru

**ЭКВИФИНАЛЬНЫЕ И СИНГУЛЯРНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ:
СОСТОЯНИЯ, РАЗЛИЧИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ**

Предложено введение в географию и биологию нового термина «сингулярность», обозначающего завершающий и преобразующий процесс состояний природных систем и по важности содержания равного понятию «эквифинальность». Осуществлен анализ взаимообусловленности эквифинального и сингулярного состояний в едином цикле природных и природно-хозяйственных процессов локального, регионального и глобального масштабов. Термин «сингулярность» широко используется в астрофизике, где обозначает формирование предельного, завершающего состояния космических систем, которое обеспечивает переход в иное, последующее состояние (вид) при масса-энергетическом всплеске. В связи с этим необходимо уточнить с географических позиций определение и соотношение понятия «сингулярность» с эквифинальностью, обосновать связь и непротиворечивость его трактовки с положениями геосистемной теории. Выявлено место сингулярности в организации геосистем, установлена значимость взаимообусловленности эквифинальных и сингулярных состояний процессов и явлений в пространственно-временных масштабах ландшафтной оболочки. Обоснована эквифинально-сингулярная модель геосистем как единой формы целостных природных систем географии и биологии, базирующаяся на концепции оптимума физико-географического процесса и универсальном законе Шелфорда–Либиха. Выявлен малый геосистемный цикл, формирующий последующие секции, блоки и большой круговорот вещества и энергии планеты в целом.

Ключевые слова: критические состояния, оптимальные состояния, энтропия, универсальный закон Шелфорда–Либиха, эквифинально-сингулярная модель геосистем, физико-географический процесс.

A.T. NAPRASNIKOV

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, baikal1936@yandex.ru

**EQUIFINAL AND SINGULAR GEOSYSTEMS:
STATES, DIFFERENCES, EVOLUTION**

It is suggested that a new term “singularity” should be introduced into geography and biology implying the final and transforming process of states of natural systems equal in importance to the concept of “equifinality”. An analysis of interdependence of the equipotential and singular states in a single cycle of natural and natural-economic processes of local, regional and global scales was carried out. The term “singularity” is widely used in astrophysics, where it denotes the formation of the limiting, final state of cosmos systems, which provides the transition to a different, subsequent state (kind) during a mass-energy burst. In this connection, it is necessary to specify from geographical positions the definition and the relation of the singularity concept with equifinality, and to substantiate the connection and consistency of its interpretation with the provisions of the geosystem theory. The place of singularity in the organization of geosystems was revealed. The significance of interdependence of equifinal and singular states of processes and phenomena in the spatial and temporal scales of the landscape geosphere was established. The equifinal-singular model of geosystems is substantiated as a single form of integral natural systems of geography and biology, based on the concept of optimum physical-geographical process and the Shelford–Liebig universal law. A minor geosystem cycle which forms the subsequent sections, blocks, and a major cycle of matter and energy of the planet as a whole are revealed.

Keywords: critical states, optimal states, entropy, universal Shelford–Liebig law, equifinal-singular model of geosystems, physical-geographical process.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие в природных структурах только одного полярного явления «эквифинальное состояние» ведет их к неуравновешенности и нестабильности. Для обеспечения уравнивания, внутренней толерантности и внешней гармонии содержания систем с окружающими силами природы необходимым фактором является сингулярность, отвечающая в астрофизике за завершённое состояние космических систем и обеспечивающая предельную центрально-симметричность их полей.

В географии и биологии такие свойства характерны для геосистем и биогеоценозов как целостных природных объектов с началом развития, достижением зрелости, завершением существования и преобразованием в последующие обновлённые состояния. Поэтому лишь эквифинально-сингулярная природная система может быть стабильной и гармоничной по отношению к окружающим структурам. Именно этот фактор определил необходимость введения в географию и биологию термина «сингулярность».

Важное в системной организации геосистем «эквифинальное состояние» — это достижение максимального эффекта в пределах природного объекта. Его следует воспринимать не как заключительную фазу развития геосистемы, а как момент достижения стабильного состояния с устойчивым гомеостазом, наибольшим эффектом и с тенденцией к равновесию со смежными геосистемами. Эти положения соответствуют климаксу состояния биогеоценозов, описываются универсальным законом толерантности Шелфорда—Либиха [1] и оптимумом физико-географического процесса.

Закон минимума Либиха, называемый в настоящее время законом лимитирующего фактора, гласит, что в комплексе экологических факторов сильнее действует тот, который наиболее близок к пределу выносимости [1]. Впервые предположение о лимитирующем (ограничивающем) влиянии максимального значения фактора наравне с минимальным значением было высказано в 1913 г. американским зоологом В. Шелфордом [1], установившим фундаментальный биологический закон толерантности: любой живой организм имеет определённые, эволюционно унаследованные верхний и нижний пределы устойчивости (толерантности) к любому экологическому фактору. Другими словами, лимитирующим фактором процветания может быть как минимум, так и максимум экологического фактора, диапазон между которыми определяет уровень толерантности, выносимости организма к данному фактору. Такими факторами являются, например, максимальная гигроскопичность почвы, при которой влага полностью недоступна растениям, и наименьшая (полевая) влагоемкость, когда почва насыщена капиллярно-подвешенной водой, наиболее доступной представителям флоры.

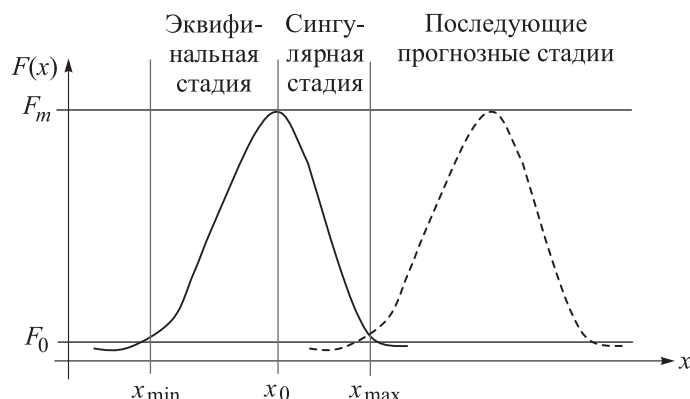
Сингулярность геосистем как географическая категория и явление определяют движение их состояния к завершению, преобразованию в новый вид.

Определилось и назначение сингулярности как дополнения эквифинальности — совместно достичь предельно критического состояния, завершить развитие геосистем, обеспечить их переход в новый стадийный вид. Поиск взаимодействий между эквифинальными и сингулярными состояниями геосистем и биогеоценозов представляют собой важнейшую задачу современной географии и биологии. Соответственно, возникли и проблемы — географическое определение сингулярности, поиск места в системе природных объектов и явлений, а также толерантности к окружающим средам и их составляющим.

После включения в арсенал географии понятия «сингулярность» выявилась его связь с эквифинальным режимом геосистем и обозначились контуры общих особых свойств как противоположных, но взаимообусловленных состояний в пределах единой геосистемы. Эти положения определили стратегию поиска факторов, связь сингулярности с составляющими природных систем, их структурами.

ЭКВИФИНАЛЬНЫЕ И СИНГУЛЯРНЫЕ СОСТОЯНИЯ ГЕОСИСТЕМ: ФАКТОРЫ РАЗЛИЧИЙ И ВЗАИМОУСЛОВЛЕННОСТИ

Первичный эквифинальный и сингулярный анализ состояний геосистем в географии. Данные термины появились в разное время, в различных научных школах. При этом они обладают неодинаковым содержанием, функционированием и неустановленным согласованием с пространством и временем. Этим объясняется, что различия между терминами не определены, а их содержание не всегда может быть достоверным. В связи с этим выполнен анализ критических состояний геосистем как ограничивающих и преобразующих процессы организации природы и общества различных рангов, тем более что сингулярность в географии определяет новый уровень организации геосистем.



Эквифинально-сингулярная модель орошения земель планеты.

Термин «эквифинальное состояние» обосновал академик В.Б. Сочава [2]. По его мнению, это эволюционная, высшая и финальная стадия состояния геосистем, отражающая наиболее полное ее единство с потенциалом климата данной местности, т. е. с потенциалом воздействующих факторов. В настоящее время это понятие приобрело более общее содержание — накопление геосистемами ресурсов массы и энергии до предельного состояния, что определяет высокое напряжение, обуславливающее эквифинальный переход геосистемы в иное сингулярное состояние, но с уже с расходом накопленного потенциала массы и энергии.

Термин «сингулярность» впервые обосновал в 1916 г. немецкий астроном К. Шварцшильд [3]. В научных географических исследованиях сингулярность приобрела особую функцию: расходование накопленного потенциала до критического состояния, создавшего предельное напряжение и всплеск (взрыв) функциональной активности, — преобразование геосистем в новое состояние.

В обоих случаях прослеживается преобразование предшествующих состояний геосистем в последующие. В целом для геосистем имеет место смена начального эквифинального формирования последующим сингулярным «затуханием», «гибельным» процессом. Их свойства графически выражены едиными траекториями, отраженных на графиках (рис. 1). На них имеются признаки уже приведенных определений эквифинальных и сингулярных состояний геосистем.

Единая взаимообусловленность эквифинальных и сингулярных состояний геосистем. Эквифинальное состояние определяет начальное формирование и развитие природных систем, достижение ими оптимального состояния. Сингулярность как логическое его продолжение не рассматривалась ранее. Для обеих стадий не было единого алгоритма. В связи с этим нами осуществлен анализ их взаимодействий, решалась проблема оценки связей между ними. Это осуществлялось в ходе поиска независимых переменных состояний (факторов) и в то же время толерантных между собой. Они, соответственно, могли бы формировать оптимальную геосистему с максимальным потенциалом, с сохранением жизненного ядра геосистемы и обеспечивающих переход в иное функционирование с убыванием накопленного потенциала массы и энергии.

Подобная редукция эквифинального состояния в сингулярное рассматривается как континуальное преобразование внутреннего состояния геосистемы из активной фазы в затухающую. Данный подход логичен тем, что эквифинальность отражает свойства серийных геосистем, эволюционирующих к их коренному состоянию. Они характеризуются тем, что при достижении максимальной напряженности в ядре геосистемы осуществляется масса-энергетический всплеск и переход геосистемы в последующее обновленное состояние. Доказательства приведенных положений и преобразований можно обосновать графиками связи площадей мелиорируемых земель с зональными площадями почв планеты и сельскохозяйственных угодий с зональными размерами используемых земель в умеренном поясе России [4]. Система подобных процессов описывается толерантными кривыми Шелфорда [1], а в географии — оптимумом физико-географического процесса. Обоим процессам свойственен оптимальный режим как необходимый для жизнедеятельности геосистем и биогеоценозов.

Оптимальный процесс включает его кульминацию, максимум, предельную эволюционную напряженность и завершенность масс-энергетического расходования накопленных потенциалов. Все эти составляющие описываются траекториями, уравнениями полинома любой степени. Если эквифинальность завершается континуальным преобразованием внутреннего состояния геосистем, то сингулярность фиксирует их переход в новую, последующую стадию развития.

Зональные и региональные состояния эквифинальных геосистем. Их анализ осуществлен по материалам учебника Г.В. Добровольского и И.С. Урусевской [4]. Определен максимальный предел формирования орошаемых земель — это граница между их ростом и сокращением, предел в условиях эквивалентного равенства массы и энергии (влаги и тепла), обеспечивающего оптимальное формирование орошаемого земледелия, завершение биологического и мелиоративного процессов. Например,

сбор урожая сельскохозяйственной продукции рассматривается как эквифинальный предел достижения максимальной мелиоративной продукции.

Мелиоративный процесс на планете начинается с минимальных орошаемых площадей суббореальных пустынных зон — 7,9; 0,3 (здесь первое значение — зональная площадь почвенного комплекса, второе — его мелиорируемая площадь, в млн км²). Далее зональное увлажнение геосистем, рост площадей зон и орошаемых земель идет до максимального предела в субтропической пустынной зоне (10,6; 1,1). В последующих зонах их общие площади увеличиваются, а орошаемых земель — сокращаются. Приведенные связи площадей природных почвенных зон и орошаемых земель отражают допустимое природой, экологией и экономикой хозяйственное использование земель. Начальный рост площади орошаемых земель с их увеличением до максимума (восходящая ветвь параболы) характеризует эквифинальное состояние, а последующее сокращение их площади (нисходящая ветвь) соответствует сингулярному процессу, завершающему формирование геосистем и их переход в новое состояние.

Динамика землепользования в России. Рост и последующее сокращение сельскохозяйственных земель России сформировались системой критических переменных состояний — факторами, обеспечившими диапазон минимума—максимума функционирования землепользования страны, геосистемами и формирующейся между ними оптимальной «нормой» развития самой геосистемы. Это граница между эквифинальными и сингулярными состояниями геосистем — предел оптимального формирования земледелия (или предел формирования наиболее оптимального земледелия?) в умеренном поясе России.

Масштабное землепользование определяется здесь зональными ресурсами влаги, тепла и почв, их нахождением в умеренном поясе северного полушария между холодной, влажной Арктикой и жаркими сухими пустынями Центральной Азии. Это крайние пределы эффективного использования земель, пространство оптимального физико-географического процесса. На данном фоне выделяются геосистемы оптимального использования земель с эквивалентным равенством влаги и тепла, т. е. атмосферных осадков планеты и водного эквивалента космического излучения:

$$X = R/L,$$

где X — осадки, R — радиационный баланс, L — удельная теплота испарения.

В арктическом поясе, вопреки неблагоприятным природным условиям, частично и локально используются полярно-тундровые (197,8; 0,06) и северо-таежные геосистемы (233,6; 0,12), что обусловлено исключительно хозяйственными потребностями. В более южных областях России прослеживаются соответствия между размерами природных зон и степенью их освоения. Ярко выражена повышенная степень освоения земель лесостепи с эквивалентным равенством влаги и тепла. Далее к югу в горных поясах резко возрастают площади освоенных земель (565,7; 43). Подобные эффекты объясняются большими территориями, занятыми горами, преобладанием множества мелких земельных участков оптимального увлажнения и потенциально возможного максимально полного их использования местным населением.

В изложенных соотношениях отражены связи площадей природных комплексов и их хозяйственное использование. Также отмечено последовательное зональное увлажнение геосистем. На их восходящей ветви с приращением геосистемы накапливается влага и тепло. При достижении эквивалентного равенства приращения оказываются нулевыми, т. е. геосистемы больше не нуждаются во влаге и энергии. Они, естественно, начинают саморегулироваться, освобождаться от избытков воды посредством испарения и стока вод, а от избытка тепла — через эффективное излучение. Если осуществляется последующий мощный приток тепла или влаги, то процесс саморегуляции прекращается, и геосистемы начинают воспринимать внешние влияния. Соответственно, формируются увлажненные или аридные комплексы.

На приведенных графиках (см. рис. 1) отражен и момент оптимума физико-географического процесса как положительная функция факторов влияния, соответствующая оптимальному режиму (норме) функционирования геосистем, достижению максимума и последующему сокращению, т. е. переход в иное — противоположное — функционирование с другим состоянием и содержанием.

Таким образом, положительная функция факторов влияния, характеризующая финальные свойства природно-хозяйственных геосистем, проявляется при достижении ими максимальной хозяйственной эффективности, максимальной биологической продуктивности, предела оптимального взаимодействия природы и хозяйства. Все эти пределы отражают эволюционные преобразования последовательных состояний серийных геосистем, их движение к завершающей кульминационной стадии развития, к коренному состоянию.

Таковыми геосистемами оптимального развития являются мелиоративные комплексы, сельскохозяйственные поля, сады. Ими создается максимальная продукция. По содержанию все они представляют собой эквифинальные геосистемы, которые выполняют свои функции, свое эволюционное назначение. Здесь очень важно осознание критических пределов, посредством которых осуществляется преобразование геосистем и их составляющих, обеспечивающих направленное развитие. Подобный подход характерен и для других видов хозяйственной деятельности.

Продовольственная (эквифинальная) безопасность на планете. В 1995 г. на планете мелиорировалось около 320 млн га пашен, что обеспечило 40 % объема производимой продукции [5]. Вклад мелиорируемых земель в общий планетарный продукт питания населения оказывается впечатляющим.

В современном мире постоянно решается проблема продовольственной безопасности, в том числе достижением равенства между мелиоративным (улучшающим) производством продуктов питания и потребностями человека. Человечество всегда стремилось обеспечить свою продовольственную безопасность путем создания эффективных мелиоративных геосистем, что подтверждается историческим переходом от природопользования к природообустройству [6].

В сложных экологических условиях мировая общественность сформулировала концепцию устойчивого развития сельского хозяйства и сельских территорий (САРД). Она направлена на решение продовольственной безопасности экологическими методами, безопасными для природы, хозяйств и человека. Здесь эквивалентность соответствует природным и антропогенным состояниям геосистем, основывается на равенстве затрат на сохранение природы и на мелиоративные преобразования [7]. Это главное условие достижения сотворчества человека и природы.

Способы установления взаимообусловленности эквифинальных и сингулярных геосистем и определяющие закономерности. Общим принципом устанавливания толерантных связей между экстремально разными свойствами геосистем и их структурами являются положения закона об эквивалентности массы и энергии или влаги и энергии. В теории относительности энергия ($E = mc^2$) определяется через размерный коэффициент скорости света, в теории геосистем она ($E = R/L$) рассчитывается посредством использования размерного коэффициента удельной теплоты испарения (L). Преобразованный в водный эквивалент радиационный баланс обеспечивает сравнение энергии с атмосферными осадками.

Взаимодействуют два противоположных природных процесса. Их особенность в том, что один обеспечивает достижение максимальной эквифинальности, а второй освобождает природную систему от чрезмерных накопленных нагрузок, чем создает условия совершенствования ее последующего сингулярного преобразования.

Два процесса возможно объединить с учетом принципа дополнительности Н. Бора [8], перенесенного в географию Б.М. Ишмуратовым [9]. Было обосновано положение, что ряд природных процессов представляют собой несовместимые и исключаяющие друг друга явления. Вместе с этим они могут совместно формировать новый завершающий вид геосистем. Фактором их единства выступают нормированные преобразования в состояниях оптимальных норм и критериев эквивалентности массы и энергии.

Данные свойства соответствуют универсальному закону толерантности Шелфорда–Либиха [1], который отражает фундаментальный принцип единства множества природных явлений. Для каждого из них существует оптимум, стрессовые зоны и пределы устойчивости. Диапазон «выносливости» геосистем и биогеоценозов ограничен минимальными и максимальными пределами оптимального существования, выражается колоколообразной кривой с оптимумом максимума на ее вершине, что соответствует оптимальному режиму (норме) функционирования геосистем.

В данном процессе познания связей между составляющими природных систем ключевая роль принадлежит оптимуму физико-географического процесса. По А.А. Григорьеву, оптимум достигается «в соответствии со степенью приближения количества атмосферных осадков к оптимальному, при котором количество осадков несколько превышает величину испарения, отвечающую местным тепловым условиям...» [10, с. 10].

Приведенные способы объединения противоположных взаимодействий состояний геосистем отражают многообразие их проявлений. Это особые толерантные и оптимальные состояния характеризуют высшую и завершающую организацию геосистем, которая еще недостаточно раскрыта. Поэтому возникла необходимость нормировать взаимодействия между природными и природно-хозяйственными системами, устанавливать их предельно допустимые нормы. Это процесс оптимизации и толерантного нормирования разных по содержанию состояний геосистем и самих геосистем в целом.

Завершающие эквифинальные и сингулярные состояния геосистем. Они являются динамическими состояниями геосистемы и системой геосистем единого функционирования как самостоятельные их функционирования. Согласно теории геосистем В.Б. Сочавы [2], эквифинальность отражает движение серийных геосистем к их максимальному потенциалу материи и энергии (влаги и тепла). Сингулярный процесс осуществляет завершающее формирования геосистемы расходом накопленного потенциала (массы и энергии) до критически предельного состояния с преобразованием ее в новый вид. В мелиорации данный принцип стал определяющим в нормировании массы и энергии (влаги и тепла), в оптимизации их соотношений, т. е. в определении норм орошения и осушения земель.

Динамика изложенных процессов полностью соответствует второму закону термодинамики — любая открытая геосистема, свойства которой изменяются во времени, стремится к высшей стадии организации — эквивалентному равенству массы и энергии (влаги и тепла), соответствующая методу максимальной энтропии (ММЭ) при анализе взаимодействий между геосистемой и переменными составляющими окружающей среды (факторами влияния) [11], за которым следует энтропия. По формулировке И.Г. Пригожина [12], система эволюционирует к состоянию с минимальным производством энтропии.

Эквифинальные и сингулярные состояния геосистем, несмотря на их противоположные функции, объединяются единой траекторией, что свидетельствует об их взаимодействии, взаимообусловленности, а в целом в природе — об общей гармонии всех ее составляющих.

Восходящая часть траектории с возрастающим приращением характеризует эквифинальный процесс накопления серийными геосистемами потенциальных материальных и энергетических ресурсов с достижением их максимума в состоянии эквивалентного равенства. Это свидетельствует о том, что в геосистемах на данный момент сформировалось устойчивое равенство массы и энергии, при котором они непрерывно преобразуются в иное — сингулярное — состояние. Это путь в наступающий этап последующего преобразования геосистем.

Процесс сингулярности с убыванием характерен для коренных геосистем, которые сокращают свой ресурсный потенциал до минимальных значений, создавая высокое напряжение в геосистемах, приводящее к всплеску (взрыву) и преобразующего их в новое — последующее — состояние.

Мера напряженности в геосистемах. В данном случае состояния геосистем следует рассматривать, например, как после засухи или обильного увлажнения земель, когда они «вынуждены» временно переносить экстремальные условия. Приемы таких естественных напряжений характеризуются положениями дискретной эволюции геосистем. Их сущность заключается в поиске «обрезания или дополнения» геосистем массой или энергией. В мелиорации это поиск отклонений массы или энергии от оптимальных состояний земель (от оптимальных норм) с помощью определения норм орошения или осушения земель с последующим их применением в целях оптимального использования земель.

Если рассматривать массу геосистем как фактор различного регионального масштаба, а энергию как космическое общепланетарное явление, то явно прослеживается глобальная соразмерность массы геосистемы Земли с энергией космического излучения. Поэтому практически все геосистемы на планете изначально формируются единой мощной космической энергией, что обеспечивает их общую взаимообусловленность и изначальное масса-энергетическое формирование геосистем планеты.

Данные положения подобны процессам Эль-Ниньо и пассатам с их двойственным и противоположным содержанием. Возможно говорить и об общей, изначальной системности толерантности природных процессов с нормой и отклонениями от нее. Именно эти оптимизирующие и толерантные дефицитные свойства заложены в самих физико-географических процессах, нашедших отражение в организации географических зон планеты и в создании совершенных мелиоративных геосистем.

Сингулярные состояния — «черные дыры» геосистем. В математике под сингулярностью понимается появление бесконечных величин; «черная дыра» рассматривается как физическая модель сингулярности предельного центрально-симметрического поля.

В научных знаниях сингулярность трактуется индивидуально, но с единым признаком. Сингулярность — точка, к которой события стремились, пока не разрешились уникальным исходом — коренным преобразованием, взрывом, слиянием, освобождением от избытка массы и энергии, достижением предельного критического состояния, преобразованием в новый вид объекта, процесса, т. е. движением к завершающей эволюционной стадии развития и, возможно, гибельной для анализируемого объекта.

Сингулярность обладает множеством видов и свойств: философская сингулярность — единичность сущности; математическая — нерегулярность поведения; космологическая сингулярность — состояние Вселенной в момент Большого взрыва, характеризующееся бесконечной плотностью и температурой вещества, технологическая сингулярность — момент, по прошествии которого технический прогресс становится настолько быстрым и сложным, что оказывается недоступным пониманию [13–15].

Приведенные определения возможно обобщить в единую логическую формулу — сингулярность, которая в каждом виде (природном или хозяйственном) индивидуальна, отражает предельное состояние — завершение, создание новых видов, типов как последующих этапов эволюции. Применительно к геосистемам сингулярность — это когда на каждый момент пространства-времени их состояния завершаются, «затухают», достигают предельных значений.

В моделях кривой толерантности Шелфорда их диапазон изменяется от оптимального до минимального значений, фиксирует пространственно-временную затухающую динамику на каждой стадии биологических и географических систем с выраженным убыванием. Биогеоценозы и геосистемы в целом эволюционно преобразуются в последующий новый вид или достигают предельного постоянного состояния и этим завершают свое существование. Например, сельскохозяйственные культуры после сбора урожая: процесс полностью завершен. Примером может служить и предельное обезвоживание пустынь при безмерном росте ресурсов тепла, достижение геосистемами нулевой термодинамики — теплого равновесия, а также заывадание растений при влажности — достижение нижнего предела доступной для них почвенной влаги.

Приведенные примеры — это внешние границы горизонта событий «черных дыр» геосистем как «мертвая точка» в процессе колебания, граница невозврата в окрестностях «черных дыр», которые являются функцией самой природной системы. Прослеживается взаимообусловленность прямых и обратных связей между природными объектами и окружающими средами.

Еще многое не известно о происхождении «черных дыр» в астрофизике, тем более — в геосистемах планеты. Здесь возможен такой вариант — из контактных геосистем Земли объект накапливает большой потенциал ресурсов природы и начинает использовать его с большей интенсивностью, создав таким образом «черную дыру» горизонта событий геосистем.

Формируют же сингулярные состояния геосистем мощные внешние воздействия — климатические, геологические и антропогенные, которые можно оценивать как парциальные. Например, изменения осадков и стока рек с высотами местности, связи этносов с географическим положением. В конечном итоге — это экзосингулярные геосистемы парциального функционирования как части общего физико-географического процесса, они многофакторные.

Экзосингулярные антропогенные преобразования природных систем. Выявил эти свойства выдающийся отечественный ученый В.И. Вернадский [16]. Он отметил, что человеческая деятельность начала сравниться с грозными геологическими явлениями. Это утверждали Н.Н. Моисеев [17], В.Б. Сочава [2] и многие другие отечественные и зарубежные ученые. Они подчеркивали наступление экологического кризиса на планете, накапливающиеся качественные и количественные преобразования природных комплексов, необходимость принятия мер, по крайней мере, предвидения, прогнозирования и готовности к сингулярным опасным проявлениям.

Так, Н.Н. Моисеев [17] осуществил моделирование глобальных катастроф применительно к разным сценариям развития мира. Он выявил, что угроза ядерной войны является не только военной, но и антропогенной глобальной экологической катастрофой планетарного масштаба, выраженной «ядерной ночью», «ядерной зимой». Сейчас это актуально как никогда.

Экзосингулярность в хозяйственной деятельности. Познание законов единства природы и хозяйства определяется множественными противоречиями, проявляется в стремлении изменить климатические и другие процессы или оптимизировать их. Еще тысячелетия назад таким было засоление почв, лишившее Вавилон продуктов питания и самостоятельности. Наблюдался исторический переход от присваивающих форм хозяйства к производящим. Французские революции и Великая Октябрьская революция коренным образом изменили нравственные и структурные состояния государств. Все это экзосингулярные проявления.

Экзосингулярные стихийные преобразования геосистем планеты. Известны «вулканические зимы», которые порождаются мощными извержениями вулканов, накоплением пыли в атмосфере, сокращением притока солнечного тепла. Они сопровождаются сильнейшими холодами и снегопадами. В качестве примера можно привести вулкан Тобо на о. Суматра в Индонезии. 73 тыс. лет назад его извержение представляло собой грозное планетарное явление. В атмосферу было выброшено 2800 км³ магмы вместе с миллиардами тонн ядовитых сернистых газов и пепла, затмивших небо. Толщина слоя пепла, выпавшего по всему северо-западу Индии, достигала местами 5,5 м. Средняя температура в Гренландии за шесть лет упала на 16 °С. Наступила «вулканическая зима», которая уничтожила на огромных территориях растительность, травоядных животных, хищников и человека. Тобо не только убил людей, но также изменил геном выживших популяций [18].

С географических позиций главные преобразующие процессы сингулярности — это внешние мощные воздействия, которые преобразовывают геосистемы до предельных состояний. К таким движущим силам относятся климат, землетрясения, вулканические извержения, хозяйственная деятельность человека и многие иные мощные явления. Они и определяют географическую сингулярность как парциальную (частную) функцию общего географического процесса. Подобные парциальные биогеоценозы анализировал В.В. Чепинога [19].

Традиционно сингулярность характеризует экологические и социальные кризисы в понятиях катастроф. Завершение сингулярных решений свидетельствует о завершении очередного эволюционного этапа и переходе в последующую эволюционную стадию. Восприятие сингулярности в понятиях катастроф дает основание для восприятия внешних влияний как главенствующих факторов, движущих сил эволюции геосистем, парциальных внешних воздействий и физико-географического процесса в целом.

Неизбежность формирования сингулярного состояния геосистем объясняется следствием спонтанного, эволюционного освобождения от лишних ресурсов массы и энергии, переходом геосистем в последующие, более жизнеспособные состояния. Этот процесс запущен эволюцией и завершается минимальным производством энтропии, неизбежностью последующего обновления в развитии геосистем.

Что стоит за сингулярностью? На этот вопрос уже найден ответ. Он изложен в предыдущих разделах статьи. Реальная проблема состоит в том, как управлять сингулярными состояниями геосистем. Также выявлено, что сингулярность представляет собой функцию эквифинальных процессов и антропогенной деятельности человека. Естественное состояние будущей природы и хозяйственная деятельность определяются ее современным состоянием. Следовательно, при планировании управления природой на перспективу прежде всего необходимо учитывать современное состояние, уже изменившее будущее природного комплекса, а на него следует наложить прогнозируемые мероприятия.

Чтобы добиться будущего эффекта, следует начинать изменять ее состояние на современном эквифинальном этапе. Лишь тогда будущий прогноз реально оправдается. Необходим анализ множественных моделей оптимальной взаимообусловленности современных и будущих состояний природных процессов, явлений, т. е. не следует пускать «искаленную природу» в ее будущее. Здесь явно необходимы фундаментальные географические и биологические исследования, которые смогут быть надежным базисом управления в будущем и станут только положительными регулирующими факторами управления природой.

Не следует считать и любую грядущую сингулярность окончательной, завершенной. Эволюционные процессы многофакторные — усиливающие, ослабляющие, линейные, в основном зависящие от типа мощных внешних влияний (природы, социума, цифровой техники и т. д.).

Сингулярность определяется эволюцией геосистем, стремлением к предельному, критическому состоянию, за чем следует формирование их последующих более совершенных состояний. Эти следы прослеживаются в глубинной истории геосистем планеты и в составляющих космосистем Вселенной.

Сингулярность — заверченный этап формирования коренного состояния геосистем и их гибельное начало, разрушение, с последовательным переходом в последующую стадию развития. Совместно эквифинальность и сингулярность — это и заверченный малый геосистемный цикл развития геосистем и модель их последовательного преобразования.

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКВИФИНАЛЬНЫХ И СИНГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ

Приведенные географические обобщения эквифинальных и сингулярных геосистем и их процессов полностью соответствуют двум законам — оптимуму физико-географического процесса [10] и универсального закона Шелфорда–Либиха [1]. Их совместная структурная модель наиболее полно представлена в работах [11, 19]. Выполнены подобные исследования и сотрудниками Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН [11, 20–22]. За основу анализа бралось понятие «ядро геосистемы». Большой вклад в обоснование модели Шелфорда–Либиха внесли сотрудники Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова [23]. Ими детально проанализированы составляющие данной модели. За рубежом адекватные модели построены М.П. Остином, который в качестве аппроксимации $F(x)$ использовал функцию кривой нормального распределения [24]. Она в полной мере соответствует оптимуму гидролого-климатического процесса [25].

В отмеченных работах решалась проблема структурного анализа экологических моделей. Нами она дополнена эквифинальным и сингулярным содержанием. При этом составляющие эквифинальности и сингулярности описываются единой траекторией, обеспечивающей их последовательные изменения, и способны осуществлять прогноз будущей экстраполяции. Общая структура модели эквифинальных и сингулярных геосистем представлена на рисунке.

Данная модель построена с учетом формулы огибающего тренда и по подобию содержания универсальных законов Шелфорда-Либиха и оптимума физико-географического процессов. Отображены кривые толерантности геосистемных функций $F(x)$ факторного влияния x_0 и их ареальных пределов, базового минимума и максимума (F_0).

Составляющие проанализированы как функции независимых переменных состояний (факторов влияния), разделяющие весь оптимальный процесс на эквифинальные и сингулярные области с возрастающими и убывающими градиентами.

Они определяются в пределах минимума и максимума с положительной функцией $F(x)$ между ними. Диапазон $[x_{\min}, x_{\max}]$ соответствует оптимуму. Ордината характеризует «норму» функционирования геосистем и биогеоценозов, относительно которой возможно определять вариации оптимальных отклонений и, соответственно, нормы орошения или осушения земель [27]. Кривые толерантности описываются геосистемной функцией $F(x)$ переменных состояний (факторов влияния) как нормальные и нормированные распределения с модальным содержанием. Их положительная функция $F(x)$ имеет максимум F_m , соответствующий оптимальному режиму (норме) функционирования геосистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эквифинальность и сингулярность — два самостоятельных эволюционных состояния одной геосистемы с начальной стадией — накоплением ресурсов и с заключительной — их расходом. Эти стадии отражают основное содержание каждого этапа развития геосистемы, ее существования, и, вместе с этим, сама геосистема обусловлена единым циклом.

Эквифинальные состояния геосистем сформированы всей совокупностью тотального воздействия. Это завершённые состояния геосистем с максимальными ресурсами, потенциал созидания географических систем. Сингулярные состояния сформированы мощными парциальными (частичными) внешними воздействиями и расходуют накопленные ресурсы. Например, избавляются от избыточного их количества испарением, стоком и эффективным излучением. Это оптимальный и естественный процесс очищения геосистем от излишков массы и энергии, обеспечивающих их последующее эволюционное развитие.

Биологическая составляющая геосистем, подвергаясь сингулярному воздействию, уже не сможет возвратиться в свое предшествующее состояние. Она погибла. Это и есть сингулярность невозврата — «черная дыра» геосистем планеты.

Реально эквифинальные и сингулярные процессы как обобщившие концепцию оптимума физико-географического процесса и универсальный закон Шелфорда-Либиха объясняют «нормы» формирования геосистем и параметры дефицитов или избытков их потенциалов, применение которых может формировать совершенные мелиоративные геосистемы с высокой биологической продукцией.

В соответствии с таким положением формируется большинство толерантных геосистем планеты с вектором к оптимуму физико-географического процесса и к минимуму энтропии геосистем и к созданию их структурно толерантными и функционально обобщенными мощным единым природным процессом. Их движущая сила выражается единой формой стадийных преобразований и эколого-экономической концепцией. Изложенные факторы обеспечивают сотворчество человека и природы.

В теории геосистем определена неизбежность формирования эквифинальных и сингулярных геосистем как парных цепей геосистемного цикла. Сами они представляют собой малый геосистемный цикл. Оба содержания фактически давно известны в географии и биологии, но в современной взаимообусловленности представлены в завершённой форме эквифинально-сингулярной концепции их развития, существования и преобразования впервые. Это одна из форм географического поппозитивизма — возможности человека управлять природными и общественными геосистемами в целях своей же целевой деятельности. Совместно они формируют новый подход к анализу пространственно-временной динамике геосистем планеты.

В этом ключе построена модель орошения земель планеты [7, 22]. Она отображает толерантные структуры геосистем и их составляющих, включает все предшествующие положения об их согласованности и взаимообусловленности. Поэтому она является завершающей формой совместно общегеографической и общебиологической идеологии природопользования и природообустройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон минимума // Экологический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.С. Монин. — М.: Издат. дом «Ноосфера», 1999. — С. 252.
2. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 320 с.
3. Шварцшильд К. О гравитационном поле точечной массы в эйнштейновской теории // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. — М.: Мир, 1979. — С. 199–207.
4. Добровольский Г.В., Урушевская И.С. География почв: Учебник. — М.: Изд-во Моск. ун-та, «КолосС», 2004. — 460 с.
5. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. — М.: КДУ, 2009. — 720 с.
6. Напрасников А.Т., Дмитриева В.Т. От природопользования к природообустройству: исторический и современный обзор // Проблемы регионал. экологии. — 2022. — № 1. — С. 142–148.
7. Напрасников А.Т. Эквивифинальность природных и антропогенных геосистем // Вестн. Бурят. ун-та. Биология, география. — 2019. — № 4. — С. 55–62.
8. Бор Н. Избранные научные труды. Т. 2. — М.: Наука, 1971. — 675 с.
9. Ишмуратов Б.М. Принцип дополнительности и современная география // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1973. — Вып. 40. — С. 74–84.
10. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды: Изб. теорет. работы. — М.: Мысль, 1966. — 382 с.
11. Солодянкина С.В., Чепинога В.В. Метод максимальной энтропии для определения ведущих факторов влияющих на геосистемы // Материалы XV совещания географов Сибири и Дальнего Востока. — Улан-Удэ; Иркутск; Владивосток: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015. — С. 150–152.
12. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 127 с.
13. Orgel L.E. The origin of life — How long did it take? // Origins Life Evol. Biosph. — 1998. — Vol. 28. — P. 91–96.
14. Назаретян А.П. Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории (синергетика–психология–прогнозирование). — М.: Мир, 2004. — 368 с.
15. Герок Р. Сингулярности в общей теории относительности // Квантовая гравитация и топология: Сб. статей / Под ред. Д. Иваненко. — М.: Мир, 1973. — 216 с.
16. Вернадский В.И. Биосфера // Избр. тр. по биохимии. — М.: Мысль, 1967. — 376 с.
17. Моисеев Н.Н. Козволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты // Природа. — 1984. — № 1. — С. 59–67.
18. Ферле Д.Р. Эректус бродит между нами. Покорение белой расы. — М.: АСТ, 2014. — 479 с.
19. Чепинога В.В. Система гидроморфных экотонных для изучения парциальных флор водных и прибрежно-водных растений на примере ландшафтов Южного Предбайкалья // Растительный покров Байкальской Сибири: Сб. статей, посвященный 100-летию со дня рождения Н.А. Еповой. — Иркутск, 2003. — С. 146–153.
20. Черкашин А.К., Солодянкина С.В. Моделирование высотной структуры геомов Прибайкалья // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 2. — С. 141–148.
21. Черкашин А.К. Геосистемы и географическая среда // География и природ. ресурсы. — 2021. — № 1. — С. 5–15.
22. Напрасников А.Т. Принцип предельности и актуальные проблемы современной географии // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 6. — С. 94–99.
23. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — 463 с.
24. Austin M.P. On non-linear species response models in ordination // Vegetatio. — 1976. — Vol. 33, N 1. — P. 33–41.
25. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях: Учеб. пособие. — Омск: Изд-во Омск. сельскохозяйств. ин-та, 1982. — 80 с.

Поступила в редакцию 27.10.2022

После доработки 01.06.2023

Принята к публикации 29.06.2023