



УДК 911.2:550.4

Самоорганизация геосистем: теоретические аспекты

М. А. Ноговицына

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН

Аннотация. Проанализированы публикации российских и зарубежных авторов по самоорганизации. Истоки идей о самоорганизации были связаны с вопросами о происхождении мира. В XX в. концепция самоорганизации развивалась параллельно с кибернетикой. Позднее самоорганизующиеся системы стали изучаться в рамках синергетики. Результаты исследований, полученные в рамках синергетики в конце XX в., использовались практически во всех научных дисциплинах, вследствие чего понятие самоорганизации получило различное толкование. На основе представлений о самоорганизации А. Д. Армандом (1988, 1992) была разработана теория географических процессов, сформулированы общие принципы развития географических систем. В настоящее время в географии развито несколько теорий самоорганизации географического пространства: геоморфологических циклов В. Девиса; сукцессий Ф. Клементса; зонирования территории И. Г. Тюнена; центральных мест А. Кристаллера и поляризованной биосферы Б. Б. Родомана; саморазвития транспортных сетей П. Хаггета – С. А. Тархова; каскадная теория организации водно-геохимических потоков в ландшафтах Б. Б. Польшова, теория геохимических арен М. А. Глазовской.

В географии самоорганизация понимается как сложный процесс формирования, сохранения и упорядоченного преобразования целостности за счет внутренних факторов, таких как вещественно-энергетический обмен, внутренние взаимосвязи, резонанс процессов, взаимосвязь со средой, развитие, устойчивость. Вещественно-энергетический обмен между геосистемами и их компонентами является фактором, который определяет их внутреннее единство.

Ключевые слова: самоорганизация, геосистема, географическое пространство, процесс, фактор.

Введение

Исследование изменения геосистем как целостных образований является современной научной задачей, стоящей перед географией. Для ее решения необходимо синтезировать знания о различных географических процессах и взаимосвязях компонентов геосистем. Сложность геосистем, определяемая наличием памяти о предыдущих состояниях, их развитием в гармонии с геосистемами более высокого иерархического уровня, разнообразием протекающих в них процессов, обуславливает потребность изучения их самоорганизации с синергетических позиций. Знание особенностей самоорганизации позволят всесторонне оценить возможные ответные реакции геосистем на те или иные воздействия. Эта задача относится к числу важнейших условий, необходимых для планирования и осуществления рационального природопользования [4].

Развитие представлений о самоорганизации геосистем

Истоки идеи о самоорганизации относятся к древнегреческой философии и связаны с вопросами о происхождении мира. Так, Демокрит утверждал, что мировой порядок возник из хаоса в результате столкновения частиц, которые впоследствии определенным образом упорядочились.

Немецкие философы И. Кант и Ф. Шеллинг также писали о самоорганизации, рассуждая в своих работах о формировании планетарной системы. В XX в. концепция самоорганизации развивалась параллельно с кибернетикой и была связана с трудами таких ученых, как У. Р. Эшби и Х. Ферстер [4].

В 1950–60-е гг. XX в. возникло научное направление – синергетика, в рамках которого изучались самоорганизующиеся системы, рассматривались общие закономерности развития систем любой природы. Предметом синергетических исследований являлось изучение общих принципов функционирования систем, в которых из хаотических состояний самопроизвольно возникают упорядоченные пространственные, временные и пространственно-временные структуры. Г. Хакен в рамках синергетики отмечал, что процесс упорядочения за счет согласованного взаимодействия множества элементов в открытой системе и есть *самоорганизация*. При специфическом внешнем воздействии система приобретает определенную структуру и характер функционирования, что обуславливает строго регулируемое поведение всех элементов системы, объединенных общими действиями; данный процесс именуется *организация*. Самоорганизующиеся же системы испытывают извне только неспецифическое воздействие [4; 5].

Результаты исследований, полученные в рамках синергетики в конце XX в., использовались практически во всех научных дисциплинах (физика, химия, социология, политика и др.), вследствие чего понятие самоорганизации получило различное толкование.

К примеру, считается, что самоорганизация является сложным явлением, выраженным множеством различных фаз на различных уровнях – от атома до Вселенной [10].

Самоорганизация — это процесс, при котором возникает глобальная модель системы благодаря взаимодействию компонентов ее нижнего уровня [9].

Самоорганизация — это набор динамических факторов, влияние которых приводит к образованию структуры системы глобального уровня организации на основе взаимодействия компонентов на более низком уровне. Она основывается на четырех основных составляющих: положительных связях компонентов, способствующих созданию структур; отрицательных обратных связях, которые уравнивают положительные; усилении колебаний (случайные блуждания, ошибки); множественных взаимодействиях индивидуумов или элементов в биологических системах, которые могут изменяться ими [8].

Сущность самоорганизации состоит в том, что структура системы часто возникает без явного внешнего воздействия. Другими словами, система формируется в результате взаимодействия между компонентами и обычно зависит от физической природы этих компонентов. Организации могут раз-

виваться во времени или пространстве, поддерживать стабильную форму или форму переходных явлений. Общим ресурсом в рамках самоорганизации систем является диссипация [7].

Самоорганизация – это в основном процесс эволюции, где эффект воздействия окружающей среды является минимальным, т. е. она возникает там, где происходит развитие новых, сложных структур в самой системе. Эффекты самоорганизации могут быть поняты на основе анализа процессов изменения и естественного отбора, наряду с другими, экологически управляемыми процессами эволюции. Их познание имеет важное значение для понимания возникновения и развития жизни на Земле. Самоорганизация обычно вызвана внутренними вариациями процессов, которые обычно называют «колебания» или «шум». Она обычно ассоциируется с более сложными, нелинейными явлениями, а не с относительно простыми процессами поддержания структуры [10].

Вместе с тем смысл самоорганизации сводился, прежде всего, к тому, что это природный процесс, который переводит открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния, в новое, устойчивое, с более высоким уровнем упорядоченности составных частей и взаимосвязей системы. Согласно теории самоорганизации систем, порядок во взаимосвязанной системе элементов может возникать вокруг так называемых аттракторов, которые помогают создавать и удерживать стабильные тенденции в системе. Сила аттрактора описывается в терминах глубины и ширины его бассейна. С ландшафтной точки зрения процессы изменений рассматриваются в одном из двух способов – на поверхностном и на глубоком уровне [4].

Изменения на первом уровне будут включать модификации в определенных частях ландшафта, оставляя при этом сам ландшафт неизменным. Изменения глубокого уровня затрагивают модификацию самого ландшафта, т. е. фактически трансформацию бассейна аттрактора. Она будет охватывать факторы, «дестабилизирующие» существующий аттрактор, который поддерживает систему в ее нынешнем состоянии, и дальнейшую активизацию нового аттрактора, который изменит природную систему (рис. 1).

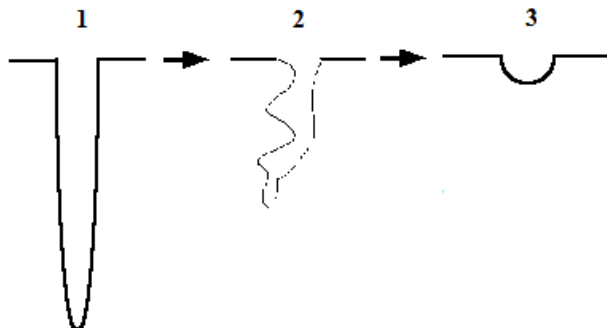


Рис. 1. Преобразование геосистемы (1 – стабильное состояние, 2 – нестабильное, 3 – новое стабильное состояние)

На основе представлений о самоорганизации А. Д. Армандом (1988, 1992) была разработана теория географических процессов, сформулированы общие принципы развития географических систем. С именем В. Б. Соचाва связано учение о геосистемах, где были даны основы, заложенные впоследствии в понимание факторов самоорганизации геосистем, такие как целостность, инвариант, иерархичность, размерность, возраст, эволюция и динамика [5].

Были предложены идеи, которые способствовали развитию представления о самоорганизации географических систем. А. А. Григорьев (1965) ввел понятие и развил учение о географической оболочке Земли, положив в основу изучения ее структуры метод баланса поступления и расхода вещества и энергии. Совместно с М. И. Будыко (1949) им было разработано обоснование закона периодической географической зональности как природной организации массоэнергообмена. В концепции о существовании специфических геологических времен, разработанной И. В. Крутем (1978), предложено выделять несколько уровней организации Земли. Ф. Я. Шипунов (1980) также выделяет уровни организованности биосферы: термодинамический, физический, биологический и др. А. В. Поздняков и И. Г. Черванец в монографии «Самоорганизация в развитии форм рельефа» (1990) предложили общую концепцию самоорганизации рельефа как целостной системы и методы ее изучения. Работы А. Г. Исаченко (1991, 1997, 2004) посвящены исследованию общих закономерностей физико-географической дифференциации. Согласно А. В. Позднякову (1990, 2003), устойчивость является условием для процесса самоорганизации элементов системы как целого [4].

Исследованию взаимодействия колебаний с близкой частотой и их воздействию на формирование ландшафтной структуры посвящены работы Н. А. Гвоздецкого (1977); А. Д. Арманда (1996), Ю. Г. Пузаченко (1986), Б. В. Виноградова (1979). Считалось, что самоорганизация колебательных процессов находит выражение в пространственном устройстве ландшафтной оболочки Земли. А. Д. Арманд (1996) полагал, что этот ритм генетически связан с прогрессией размеров отдельностей горных пород, разбитых трещиноватостью, а также габаритов тектонических блоков кристаллического фундамента платформ, ограниченных линиями разломов. По мнению Д. И. Назимовой и других (2008), функционирование биогеоклиматической зоны в значительной мере связано с колебательными процессами – циклами климатическими, гидрологическими, геоморфологическими разной амплитуды и продолжительности. Кроме того, биота развивается еще необратимо [4].

Взаимосвязь между компонентами можно понять, если представить их образование на Земле. Влияние любого «вышестоящего» на «нижестоящий» всегда будет более мощным и определяющим – от литогенной основы через воды и атмосферу к биоте. Любое нарушение динамического равновесия приводит к тому, что отдельные процессы перестают компенсировать друг друга.

Считается, что сложность геосистем определяется наличием в них элементов «памяти» в процессах как живой, так и неживой природы. Накопленные элементы памяти приводят к «старению» и распаду геосистем. Они иг-

рают роль катализатора, существенно ускоряют эволюцию, не повторяя исторический путь случайного отбора. Строительство по образцу является некой формой резонансного возбуждения – быстрого перехода к сложным структурам, своеобразным «сжатием процессов» во времени. Согласно этому в географии возникло представление о почве-памяти и почве-моменте, т. е. о двуединости почвы как естественно-исторического тела и как функционирующего в настоящий момент [4].

В географии развито несколько теорий самоорганизации географического пространства: геоморфологических циклов В. Девиса и связанная с ней модель пенеplanation рельефа; сукцессий Ф. Клементса, которую рассматривают как процесс самоорганизации экосистем, имеющий прямое отношение к направленности развития биогеоценозов и к глобальному тренду, зонирования территории И. Г. Тюнена; теория центральных мест А. Кристаллера и поляризованной биосферы Б. Б. Родомана, саморазвития транспортных сетей П. Хаггета – С. А. Тархова; каскадная теория организации водно-геохимических потоков в ландшафтах Б. Б. Польнова, теория геохимических арен М. А. Глазовской; в трудах Н. Ф. Глазовского получила развитие концепция бассейновой организации массоэнергопереноса на поверхности суши.

Приводятся также частные феномены самоорганизации: образование полигональных почв в тундре, трещин в горных породах, кристаллизация, формирование структуры гидрологической сети, рост из семени большого дерева, образование водоворотов в области сужения русла реки и т. п.

Анализ этих и других публикаций показал, что самоорганизация, ее феномены и факторы являются объектом исследования множества отечественных и зарубежных ученых в различных областях наук. Однако значительная их часть концентрируется на изучении проявлений отдельных факторов и дальнейшем развитии теории систем.

Факторы самоорганизации геосистем

Основными факторами, определяющими самоорганизацию геосистем, являются вещественно-энергетический обмен, развитие, резонанс процессов, устойчивость, внешние и внутренние взаимосвязи.

Вещественно-энергетический обмен. Функционирование геосистемы, приход вещества и энергии определяются уровнем системной иерархии геосистемы. С понижением иерархического уровня происходит уменьшение площади, занимаемой геосистемой, а в совокупности – общей суммы эффективной радиации и объема воды. В геосистеме это вызывает модификацию внутренних связей и изменяет характер взаимодействия с внешней средой. Как результат, между геосистемами одного уровня иерархии усиливаются взаимосвязи и перераспределение вещества и энергии, вследствие чего смежные геосистемы одного ранга зависят друг от друга намного сильнее, чем сопредельные региональные единицы воздействуют друг на друга [4].

Развитие. Пространственно-временная самоорганизация геосистем в значительной мере обусловлена воздействием фактора развития. Смена одних геосистем новыми происходит благодаря трансформации нескольких

или всех компонентов геосистем под воздействием факторов внешней среды. Однако не все компоненты геосистемы одинаково быстро реагируют на воздействие этих факторов. Часть из них относительно быстро отзываются на изменения и являются мобильными компонентами (воздушные массы, биота). Другие же компоненты являются инертными, консервативными (почва, литогенная основа). В современных геосистемах сохраняются реликтовые черты прошлых эпох. Поэтому всякая новая геосистема обладает «памятью», наследуя черты исходной.

Геосистема как историческое образование состоит из разновозрастных компонентов. Чем древнее геосистема, тем больше в ней сосредоточено остаточных реликтовых образований, которые отличаются пониженной устойчивостью, так как находятся в дисгармонии с окружающей средой.

Резонанс процессов. От согласованности протекания процессов, собственных геосистемам, зависит изменение их самоорганизации. Определенный интервал, в пределах которого могут совершаться количественные вариации протекающих процессов в геосистеме, именуется степенью свободы [6]. Степень свободы показывает отсутствие жесткой взаимообусловленности между отдельными компонентами геосистем и позволяет ей изменяться в этих пределах, не нарушая самоорганизации. Этот интервал для соподчиненных таксономических подразделений определяется физико-географическими условиями, характерными для узловых геосистем. Переработка потоков вещества и энергии геосистемой в неравновесных условиях адаптации к воздействиям внешних и внутренних источников возмущения имеет динамический характер. Взаимодействие колебаний может проявляться в различных вариантах [3]. Если близкие процессы пребывают в конкурентных отношениях за веществоно-энергетический источник, то происходит подавляющее воздействие этих процессов друг на друга. В том случае, если к текущему процессу присоединяются другие, обостряя его, происходит «усиление» процесса; колебания могут достигать критических значений параметров [4].

Устойчивость геосистем – способность сохранять свою структуру и характер функционирования во времени и пространстве при внешних воздействиях. Изменение структуры геосистемы и характера функционирования может происходить под влиянием природных и антропогенных факторов [1].

Факторы, обеспечивавшие относительно устойчивое состояние геосистемы на прежнем этапе, дестабилизируют ее на новом. В этой связи в свойстве устойчивости заложена информация о возникновении условий качественного преобразования геосистем, которая определяет их способность восстанавливать прежнее состояние после внешнего возмущения либо адаптироваться к изменившимся условиям среды, переходить в новое состояние [2].

Устойчивость геосистем к действию естественных (природных) и антропогенных возмущений обеспечивается механизмами, выработанными в процессе естественной эволюции. Устойчивость нельзя непосредственно измерить, поэтому при ее оценке используются косвенные признаки.

Внешние и внутренние взаимосвязи. *Межкомпонентные взаимосвязи* – это отношение взаимной зависимости между компонентами геосисте-

мы. Межкомпонентные взаимосвязи классифицируются по направленности (прямые и обратные) и характеру (положительные и отрицательные) воздействия, по характеру согласованности компонентов (гармоничные, жесткие, дискретные).

Условия соподчинения геомор и геохор определяются физико-географическими характеристиками, свойственными узловым геосистемам, являющимся высшими таксонами планетарного, регионального и топологического уровня. Модификация, т. е. каждое изменение функционирования таких геосистем, оказывает значительное влияние на подчиненные, в результате чего они видоизменяют направление своего развития либо приходят к состоянию хаоса. В случае частых модификаций параметров узловых систем подчиненные геосистемы теряют возможность формировать новый порядок и приходят в критическое состояние. Это способствует изменению уровня самоорганизации геосистемы и сопровождается качественными изменениями в структуре и функционировании. Естественный ход процессов самоорганизации ускоряет антропогенная деятельность. Наиболее заметно это выражается в геосистемах с крайними проявлениями согласованности компонентов (жесткие взаимосвязи) и несоответствием показателей вещественно-энергетического обмена (прежде всего поступления тепла и влаги) региональному физико-географическому фону. Воздействие на отдельные компоненты вызывает в геосистеме цепную реакцию, со временем преобразующую и другие ее компоненты.

Жестко взаимодействующие компоненты создают условия для необратимых изменений геосистем. Эти геосистемы – с недостаточным разнообразием компонентов и находящиеся в жестких взаимосвязях между собой и окружающей средой – быстро достигают состояния хаоса. В том случае, если воздействие нехарактерно самоорганизации геосистемы и ее генезису, происходит модификация геосистемы.

Геосистема является открытой системой и, как всякая открытая система, взаимодействует с окружающей ее средой. *Взаимодействие среды и геосистемы* отражается в различных комбинациях согласования геомор и геохор, путем чего воссоздаются различные варианты самоорганизации – временные, иерархические и территориальные.

Геосистема неизбежно подвергается внешним воздействиям, которые преобразовываются ее внутренними взаимосвязанными частями, впоследствии становясь ее внутренней средой. Тем не менее не каждое воздействие внешней среды может вызвать трансформацию геосистемы. Влияние среды в естественных условиях определяет специфика функционирования геосистемы. Прежде всего это потоки влаги, тепла и минеральных веществ. Воздействия, которые способны перевести систему из одного состояния в другое, именуется возмущениями. Если влияние среды не выходит за рамки степени свободы, то, как правило, видимой реакции не происходит [4].

Внешнее воздействие одиночного сигнала на геосистему приводит к деформации, которая может быть мягкой и упругой, а может привести к необратимым изменениям. Периодическое поступление сигналов внешней

среды в геосистему сохраняет в ней свой отпечаток, который со временем фиксируется в памяти. Со временем накапливаясь, эти изменения модифицируют геосистему в направлении большего соответствия условиям окружающей среды. Повторяющиеся импульсы вызывают долговременную реакцию геосистемы, которая зависит от характера самоорганизации. Если самоорганизация геосистем обладает недостаточным разнообразием компонентов или жесткими взаимосвязями, то происходит блокирование импульсов, и усиливается роль перестройки внутренних связей с повышением уровня самоорганизации.

Выводы

В настоящее время исследованию самоорганизации геосистем и других систем посвящено значительное количество публикаций. В них отмечается, что самоорганизация – это процесс упорядочения процессов в открытой системе за счет согласованного взаимодействия множества ее элементов.

В географии самоорганизация понимается как возникновение новых структур, эволюционно более совершенных, чем предыдущие, либо как сложный процесс формирования, сохранения и упорядоченного преобразования целостности за счет внутренних факторов. Основными факторами, определяющими самоорганизацию геосистем, являются вещественно-энергетический обмен, внутренние взаимосвязи, резонанс процессов, взаимосвязь со средой, развитие, устойчивость. Вещественно-энергетический обмен между геосистемами и их компонентами является фактором, который обуславливает их внутреннее единство.

Анализ научных публикаций, особенно зарубежных, показал, что при исследовании самоорганизации геосистем по-прежнему преобладает изучение свойств отдельных компонентов либо их взаимосвязей (процессы), а также различных факторов самоорганизации. Геосистемы рассматриваются в статике, без учета закономерностей развития.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00902.

Список литературы

1. Белов А. В. Естественная устойчивость растительности геосистем юга Средней Сибири / А. В. Белов, Л. П. Соколова // География и природные ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 12–23.
2. Коновалова Т. И. Уникальность геосистем и функциональное зонирование центральной экологической зоны оз. Байкал / Т. И. Коновалова // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2011. – Т. 4, № 2. – С. 107–120.
3. Коновалова Т. И. Самоорганизация геосистем юга Средней Сибири / Т. И. Коновалова. – Новосибирск : Гео, 2012. – 148 с.
4. Ноговицына М. А. Самоорганизация геосистем Южного Прибайкалья : дис. ... канд. геогр. наук / М. А. Ноговицына. – Иркутск, 2016 – 121 с.
5. Ноговицына М. А. Самоорганизация геосистем Южного Прибайкалья / М. А. Ноговицына // Изв. ИГУ. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 18 – С. 91–104.
6. Саушкин Ю. Г. Геосистемы и геоструктуры / Ю. Г. Саушкин, А. М. Смирнов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. – 1968. – № 5. – С. 7–12.

7. Bionic Assembly System: Queuing, Technology Matrix And Life File / F. Berger; C. Laengauer, J. Hornung, P. Hamilton, C. Dolezal, R. Zeitlinger, P. Cesarec // *Annals of DAAAM for 2009*. – Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, 2009. – N 20. – P. 21–28.

8. *Bonabeau E. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems* / E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz. – N. Y. : Oxford University Press, 1999. – 120 p.

9. *Selforganization in Biological Systems* / S. Camazin, J.-L. Deneubourg, N. R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, E. Bnobeau. – Princeton University Press, 2001. – 54 p.

10. *Self-organizing systems in Nature and Technology* / B Katalinic; P. Cesarec, M. Stopper, R. Kettler // 7th International DAAAM Baltic Conference «Industrial Engineering», Tallinn, Estonia, 2010. – P. 74–79.

Self-Organization of Geosystems: Theoretical Aspects

M. A. Nogovitsyna

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS

Abstract. The article analyzes the publications of Russian and foreign authors on self-organization. The origins of ideas about the self were related to questions about the origin of the world. In the twentieth century, the concept of self-organization developed in parallel with Cybernetics. Later, self-organizing systems began to be studied in the framework of synergetics. The results obtained in the framework of synergetics in the late XX century, is used in virtually all scientific disciplines, with the consequence that the concept of self-organization has received different interpretations. On the basis of self-organization A. D. Armand [1988, 1992] developed a theory of geographical processes, and formulate General principles for the development of geographical systems. Currently in geography developed several theories of self-organization of geographical space: geomorphological cycles B. Davis; F. Clements successions; zoning Thünen I. G.; theory of Central places A. Christaller and polarized biosphere B. B. Rodoman; self-development of transport networks Hagget P. – S. A. Tarkhov; cascade theory of water-geochemical flows in landscapes B. B. Polynov, the theory of geochemical arenas M. A. Glazovskaya.

In the geography of self-organization is understood as a complex process of formation, preservation and orderly conversion of integrity due to internal factors such as material and energy exchange, internal relationships, resonance processes, the relationship with the environment, development, sustainability. Material-energy exchange between geosystems and their components is a factor that determines their internal unity.

Keywords: self-organization, geosystems, geographic space, process, factor.

References

1. Belov A.V., Sokolova L.P. Natural resistance of vegetation in geosystems of the southern Middle Siberia. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2011, no 2, pp. 12-23 (in Russian).

2. Konovalova T.I. Uniqueness of geosystems and functional zoning of the Central ecological zone of the lake. Baikal. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Series "Earth Sciences"* [News of Irkutsk state University], 2011, vol. 4, no 2, pp. 107-120 (in Russian).

3. Konovalova T.I. *Samoorganizacija geosistem juga Srednej Sibiri* [The self-organization of geosystems of the southern Middle Siberia]. Novosibirsk, 2012. 148 p.

4. Nogovitsyna M.A. Self-Organization of Geosystems of the Southern Baikal Region. Extended abstract of Doktor's thesis. Irkutsk, 2016. 121 p. (in Russian).

5. Nogovitsyna M.A. Self-Organization of Geosystems of the Southern Baikal Region. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Series "Earth Sciences"* News of Irkutsk state University, 2016, vol.18, pp. 91-104 (in Russian).

6. Saushkin Yu.G., Smirnov A.M. Geosystems and geostructure. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 1968, no 5, pp. 7-12 (in Russian).

7. Berger F., Laengauer C., Hornung J., Hamilton P., Dolezal C., Zeitlinger R., Cesarec P. Bionic Assembly System: Queuing, Technology Matrix And Life File. *Annals of DAAAM* for 2009. Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, 2009, no 20, pp. 21-28.

8. Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. N. Y., Oxford University Press, 1999. 120 p.

9. Camazin S., Deneubourg J.-L., Franks N.R., Sneyd J., Theraulaz G., Bnobeau E. *Selforganization in Biological Systems*. Princeton University Press, 2001. 54 p.

10. Katalinic B., Cesarec P., Stopper M., Kettler R. Self-organizing systems in Nature and Technology. 7th International DAAAM Baltic Conference «Industrial Engineering», Tallinn, Estonia, 2010, pp. 74-79.

Ноговицына Мария Александровна
младший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
тел.: (3952) 42-69-95
e-mail: 25051204@mail.ru

Nogovitsyna Maria Alexandrovna
Junior Researcher
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42-69-95
e-mail: 25051204@mail.ru