

КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

В.В. Меншуткин^{1, 2}, В.Ф. Левченко^{2*}

¹ Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН
и ² Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: lew@lew.spb.org

Статья поступила в редакцию 27.02.2019; принята к печати 12.04.2019

Разработана простая когнитивная модель антропосферы, включающая в себя характеристики природных экосистем, человеческих популяций, промышленного производства, загрязнения среды и расходования ископаемых ресурсов. Поверхность Земли представлена в виде 20 ячеек (регионов), соединенных миграционными и информационными связями. Исследовано влияние различных стратегий природопользования на динамику всей системы, а также чувствительность системы к колебаниям климата и изменению внутренних параметров. Критерием оптимального управления выбран уровень жизни населения. Сделан вывод о необходимости включения «человеческого фактора» в модели глобального развития.

Ключевые слова: антропосфера, когнитивная модель, экосистемы, производство, загрязнение среды, стратегия природопользования.

A COGNITIVE MODEL OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE AND THE HUMAN SOCIETY

V.V. Menshutkin^{1, 2}, V.F. Levchenko^{2*}

¹ I. M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences and
² Institute of Problems of Regional Economics, Russian Academy of Sciences,

Saint Petersburg, Russia

* Email: lew@lew.spb.org

A simple cognitive model of the anthroposphere has been developed. The model includes characteristics of natural ecosystems, human populations, industrial production, environmental pollution and fossil fuel consumption. The surface of the Earth is represented as 20 cells (regions) interconnected via migration and information flows. The influences of various environmental management strategies on the dynamics of the entire system, as well as the sensitivity of the system to climate fluctuations and changes in the internal parameters, were studied. Living standard of a population is chosen as a criterion of optimal control. The conclusion is that the "human factor" should be included in models of global development.

Keywords: anthroposphere, cognitive model, ecosystems, production, environmental pollution, environmental management strategy.

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме коэволюции биосферы и человеческого общества – иначе это можно сформулировать как «переход от антропосферы к ноосфере» – посвящена обширная литература (см. об этом [25]). Можно также указать на попытку Карлоса Гарсиа собрать библиографию на эту тему. На 2008 г. ему удалось найти 734 литературных ссылки про ноосферу и проблемы ее моделирования¹.

¹ Carlos Garcia. Noosphere. Reference (1928–2007), 2008. К сожалению, на настоящий момент в Интернете в открытом доступе этой публикации нет. Сведения о ней можно найти на <http://ru.scribd.com> (Noosphere-734 Bibliographic Reference (1927–2007)) или на сайте https://books.google.ru/books?id=KdEVAQBAJ&pg=PT180&lp-g=PT180&dq=Carlos+Garcia.+Noosphere&source=bl&ots=NJR8U18_Oo&sig=ACfU3U0AhyEPWhOdEseUbbdm73D-4vDig&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewi7uszAtMHgAhWNIZoKHXHAKwQ6AEwDHoE-CAIQAQ#v=onepage&q=Carlos%20Garcia.%20Noosphere&f=false (Manifiesto por la Noosfera: La siguiente etapa en la evolución de la conciencia humana).

Что касается моделирования, то здесь имеется несколько подходов. Начнем с того, что по топологическому признаку все модели развития биосферы делятся на точечные и пространственные. Первые игнорируют различие биосферных переменных по поверхности Земли, а вторые эти различия учитывают. Типичные представители первого типа – это модели Форрестера [23] и Мидоузов [29], а среди российских авторов – Ю.Н. Сергеева и В.П. Кулеша [22]. Среди моделей второго типа – это модели Н.Н. Моисеева, характерной чертой которых является строгое соблюдение законов сохранения, развитые также в работах А.М. Тарко и В.В. Александрова [19]. Достоинство моделей первого типа – в их простоте и наглядности, а второго – в использовании громадного фактического материала.

По содержательному признаку можно выделить модели, которые делают основной упор на

геохимические циклы [31] или же на развитие экономики и ее взаимодействие с природой [2, 11]. Промежуточные подходы, сочетающие оба типа процессов, можно обнаружить уже в концепции этногенеза Л.Н. Гумилева [7], а позднее у Дж. Лавлока в его концепции Гайи [9]. Примеры общеподобных подходов «с точки зрения физика» к биосферному моделированию можно найти у довольно большого круга авторов, например, в монографиях А.С. Гинзбурга [3] и Н.С. Печуркина [21], в статьях В.Г. Горшкова, К.Я. Кондратьева и К.С. Лосева [5], а также в статьях и монографии В.Ф. Левченко [13].

Что касается используемого математического аппарата в моделях биосферных процессов, то здесь доминируют системы дифференциальных уравнений, которые решаются численными методами на ЭВМ. Это относится и к биогеохимическим циклам, и к экономическим и демографическим моделям. Как исключения встречаются модели, использующие аппарат клеточных автоматов и агент-ориентированные модели [15]. В настоящей работе используется еще один новый подход – аппарат когнитивного моделирования [1, 17].

Ни в коей мере не претендуя на исчерпывающий анализ биосферных моделей, позволим себе отметить специфическую сложность самого объекта моделирования. Дело в том, что при взаимодействии человеческой популяции с биосферой одновременно действуют несколько совершенно разных типов процессов: от физических, химических и биологических до социальных и информационных. При этом пространственный масштаб различных процессов и объектов, участвующих в них, варьирует от молекулярного (например, фотосинтез у одноклеточных водорослей) до глобального. Это касается не только пространственных и территориальных, но в ряде случаев экономических и политических аспектов (например, международные соглашения об охране природы). Разброс в типах процессов и их характерных особенностях настолько велик, что это создает очень большие трудности при построении обобщающих моделей. В этом плане можно уподобить задачу моделирования эволюции биосферы задаче моделирования человеческого мозга: и здесь, и там накоплено огромное количество фактических данных, но отсутствует общая концепция. Однако стоит отметить, что попытки создания такой концепции применительно к биосфере уже имеются [24, 25]. Основные положения этой концепции изложены в книге «Очерки по биосферологии» [25].

Настоящая работа представляет собой попытку модельной интерпретации идей, обсуждаемых в этой работе. Отправной точкой моделирования послужил рис. 14 из упомянутых очерков [25, с. 94–

95]. Эта качественная иллюстрация функциональных взаимоотношений между компонентами живой планеты стала основой когнитивной карты ячейки модели антропосферы, описание которой приведено ниже. В отличие от моделей биосферы, разработанных под руководством академика Н.Н. Моисеева [19], в настоящей работе не используется математический аппарат дифференциальных уравнений. Такой, уже ставший классическим подход требует многолетнего труда целого научного коллектива, а также мощной, уникальной и при этом малодоступной вычислительной техники. Поэтому было принято решение об использовании для моделирования антропосферы нового когнитивного подхода [1, 20].

Существо когнитивного моделирования заключается в том, что вместо экспериментов, воспроизводящих в модели с максимальной точностью процессы, происходящие в объекте моделирования, делается попытка воспроизвести ход мыслей человека, изучающего данный объект [4, 6, 8, 26–28]. Такой подход не имеет практического смысла по отношению к хорошо изученным процессам (например, ламинарное течение жидкости, или движение материальной точки). Однако он хорошо зарекомендовал себя при моделировании плохо структурированных систем [6, 10, 17, 30]. Особенно эффективным когнитивный подход оказался в случае междисциплинарных исследований. Моделирование эволюции антропосферы как раз и есть тот самый случай, когда переплетаются экологические, экономические, демографические и социальные процессы.

В настоящей работе используется простейший вариант когнитивной модели, в котором концепты представлены в виде действительных чисел, определенных в диапазоне от 0 до 1. Связи между концептами задаются в виде ориентированного графа, а для их описания применен математический аппарат непрерывной логики [12].

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Модель представлена совокупностью 20 подсистем (ячеек или, иначе, регионов), соединенных путями миграций населения и передачи научно-технической информации. Каждая такая ячейка представляет собой эколого-экономическую систему, включающую в себя природную часть, характеризующуюся условной биомассой, и фрагмент человеческого общества, обитающий на территории данной ячейки. Программа модели работает пошагово, отслеживая состояние на каждом временном шаге.

Концепты описаны в табл. 1, логика их взаимосвязей представлена в табл. 2, а когнитивный граф, общий для каждой эколого-экономической системы (ячейки), представлен на рис. 2. Внешние воздействия на ячейку представлены климатическими условиями *A*,

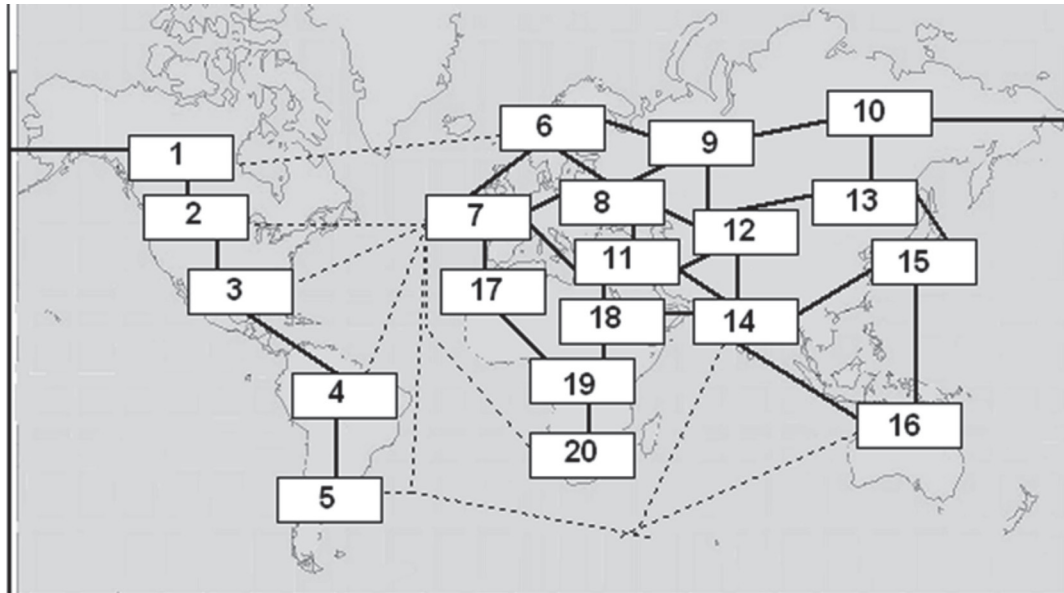


Рис. 1. Общая схема расположения ячеек (регионов) и миграционных путей между ними. Сплошные линии – сухопутные пути, пунктирные – морские

Табл. 1

Обозначения и наименования концептов модели

Индекс	Обозначение	Смысловая нагрузка	Пределы определения
1	<i>A</i>	Климат	От арктического до тропического
2	<i>B</i>	Биомасса	От минимальной до максимальной
3	<i>H</i>	Население	От отсутствия до перенаселения
4	<i>P</i>	Производство	От примитивного до развитого
5	<i>M</i>	Минеральное сырье	От отсутствия до изобилия
6	<i>S</i>	Наука и техника	От первобытного до современного
7	<i>W</i>	Загрязнение среды	От нетронутой человеком среды до катастрофического уровня загрязнения
8	<i>L</i>	Уровень жизни населения	От нищенского до полного изобилия
9	<i>U</i>	Управление	От полного игнорирования охраны природы до приоритета охраны среды

в частности, интенсивностью солнечной радиации. Биомассе всего живого за исключением человеческой популяции соответствует состояние концепта *B*. Изменение биомассы во времени ограничивается величиной солнечной радиации и эффективностью ее утилизации (см. табл. 2).

Взаимосвязи концептов в модели удобно описывать, используя математический аппарат непрерывной логики [12]. Поскольку для многих такой подход является непривычным, в качестве примера приведем только одну формулу, с помощью которой учитывается

отмирание биомассы (*k_bmort*) и ее потребление для нужд человеческого общества (*k_bh*):

$$B(i, t + 1) = B(i, t) \cdot V \neg (B(i, t), V \cdot k_{b}mort(i));$$

$$B(i, t + 1) = B(i, t) \cdot V \neg (H(i, t) \cdot V \cdot k_{b}h(i)).$$

Здесь *t* – время, *i* – номер временного шага.

На качественном уровне логику взаимосвязей концептов в модели ячейки антропосферы можно также уяснить, используя сведения из табл. 2 и рис. 2.

Табл. 2

Логика взаимосвязей концептов в модели ячейки антропосферы и используемые в модели коэффициенты связи

Индекс	Входной концепт	Выходной концепт	Логическое содержание связи концептов	Коэффициент связи	Знак связи
1	A	B	Влияние климатических условий на биомассу и продукцию экосистем	kab	+
2	B	H	Потребление продукции экосистем населением	kbh	+
3	H	B	Убыль природной биомассы за счет потребления	khb	-
4	H	P	Зависимость рабочей силы для производства от численности населения	khp	+
5	S	P	Зависимость производства от уровня научно-технического прогресса	ksp	+
6	M	P	Зависимость производства от наличия минерального сырья	kmp	+
7	P	P	Темпы роста производства за счет роста производственных фондов	kpp	+
8	P	W	Загрязнение окружающей среды за счет выброса отходов производства	kpw	+
9	P	L	Рост уровня жизни населения за счет производства	kpl	+
10	W	L	Падение уровня жизни населения в связи с загрязнением окружающей среды	kwl	-
11	W	B	Сокращение биомассы природных экосистем от загрязнения среды	kpb	-
12	U	W	Очистка среды от загрязнений	kuw	-
13	U	W	Внедрение безотходных технологий	kpw	+

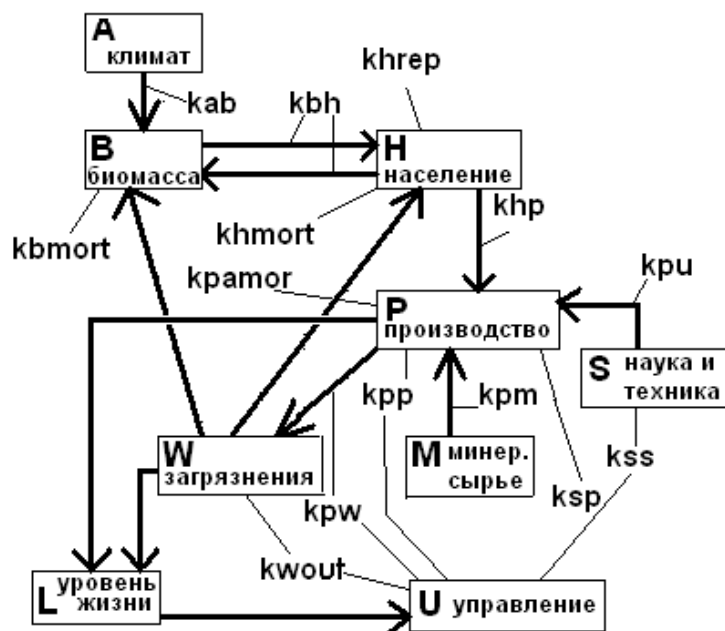


Рис. 2. Когнитивная карта ячейки модели, отражающая функциональные взаимозависимости между концептами (описание действия концепта "U управление" приведено в тексте)

Эти же сведения – основные взаимосвязи между различными концептами – в словесной форме кратко описаны ниже.

Численность человеческой популяции (H) возрастает в процессе размножения ($khrep$) и сокращается в результате смертности ($khmort$).

Развитие промышленности (P) определяется наличием рабочей силы (khp), уровня развития науки и техники (ksp), а также потреблением не возобновляемых ресурсов (kpm). Кроме этого промышленности приписывается свойство собственного развития за счет внутренних отчислений (kpp).

В модели учитывается сокращение производства в результате амортизации фондов ($kramog$) и недостаточного количества не возобновляемых ресурсов (kpm). Разумеется, что учтено также и то, что количество не возобновляемых ресурсов уменьшается в результате их потребления.

Концентрация загрязнений в окружающей среде сокращается в результате очистки ($kwout$), но увеличивается за счет новых поступлений загрязнений (kpw).

Уровень развития науки и техники может возрастать как в силу внутренних причин (kss), так и с помощью управляющих воздействий со стороны государства (kps).

Уровень жизни населения полагается прямо пропорциональным валовому продукту и обратно пропорциональным загрязнению среды.

Управляющее воздействие на систему (U) осуществляется концептом, состояние которого может изменяться от полного отказа от очистки сбросов ($U = 0$) до полного отказа от сброса загрязнений в окружающую среду ($U = 1$). В первом случае сбросы не очищаются ($kwout = 0$), а отходы производства сбрасываются в неочищенном виде ($kpw = 1$). При этом некоторое время за счет валового продукта возможны рост производства (kpp) и технический прогресс (kss). Во втором случае осуществляется полная очистка ($kwout = 1$) и переход на замкнутые технологические циклы ($kpw = 0$). Рост производства и развитие техники финансируются по остаточному принципу. При промежуточных значениях концепта U коэффициенты воздействия определяются при помощи линейной интерполяции.

В модели предусмотрены два типа взаимодействия между ячейками. Первый тип – миграции населения из одной ячейки в другую. Возможные пути миграций определяются по матрице связей графа (рис. 1). Если для элемента матрицы $MIG(n, j) = 1$, то перемещение населения из ячейки n в ячейку j возможно. Если из одной ячейки исходят несколько путей, то использование этих путей полагается равновероятным, и решение принимается с помощью генератора случайных чисел. Если миграция происходит в необитаемую ячейку, то значение всех параметров переносятся в

эту ячейку. В случае, когда миграция происходит в уже обитаемую ячейку, параметры усредняются пропорционально численностям аборигенов и мигрантов. Исключение сделано для параметров, которые характеризуют уровень научно-технического прогресса (S) и методов управления (U): они берутся по максимуму. Миграции по путям, обозначенным на рис. 1 пунктирными линиями, считаются возможными только в том случае, когда в исходной ячейке уровень научно-технического прогресса выше значения специального параметра $ksmig$.

Второй тип связей между ячейками – это распространение научно-технической информации без перемещения мигрантов. В этом случае получатель повышает свой уровень научно-технического прогресса до значений ячейки отправителя. Такая передача считается возможной только при высоких значениях S ячейки отправителя.

Нами рассматривался также вариант модели, в котором численность населения ячейки представлялась не в виде непрерывной величины, плавно изменяющейся во времени по тем или иным причинам, а иногда меняющейся скачкообразно по причине смены этноса в ячейке. При этом используется в схематическом виде теория этногенеза, предложенная Л.Н. Гумилевым [7]. Предполагается, что новый этнос (или, точнее говоря, – этнопопуляция [13]) может появиться на месте старого в течение одного временного шага модели. Индекс ячейки, в которой происходит это событие, выбирается случайным образом. Индекс активности населения этноса полагается резко возрастающим после возникновения нового этноса, а затем медленно снижающимся по мере старения этноса. От этого индекса зависят интенсивность научно-технического прогресса (S) и характер взаимодействия с окружающей средой (U). При этом предусмотрены два варианта. Первый полагает стремление к низким значениям U , то есть стремление к развитию производства без внимания к загрязнению среды. Второй, наоборот, ставит основной задачей управления сохранение чистоты окружающей среды (высокие значения U).

Стоит подчеркнуть, что в варианте модели с учетом этногенеза предполагалось, что отношение к природе – это одна из важнейших характеристик этноса, его культуры (в широком смысле), которая может измениться только при переходе к другому этническому состоянию.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ

Исследование модели начнем с рассмотрения гипотетического случая, при котором управление эколого-экономическими системами во всех ячейках одинаково при сохранении индивидуальных климатических и природных особенностей в каждой из них – см. табл. 3. При полном пренебрежении природоохран-

ными мероприятиями (первый столбец, $U = 0,1$) загрязнение среды быстро достигает катастрофических размеров в среднем по всей биосфере. Смертность населения высока, и промышленность не может развиваться из-за нехватки рабочей силы. В результате уровень жизни населения крайне низок ($L = 0,033$).

Введение даже частичной очистки промышленных отходов (второй столбец $U = 0,3$) уже существенно снижает загрязненность среды по сравнению с предыдущим вариантом. Это приводит к росту численности населения и подъему промышленного производства. Уровень жизни повышается почти вдвое.

Дальнейшее продвижение по пути совершенствования природоохранной политики (с учетом дополнительных затрат на очистку сбросов и внедрение безотходных технологий) развивает наметившуюся тенденцию к росту промышленности, народонаселе-

ния и уровня жизни. Одновременно уменьшается загрязненность среды вплоть до почти максимальных значений при $U = 0,9$, и увеличивается степень использования не возобновляемых ресурсов (M).

Изменение состояния исследуемой системы под действием внешних и внутренних возмущений рассмотрим на примерах глобальных изменений климатических условий – концепт A в табл. 4. Общее похолодание (A составляет 0,7 от базового варианта) сказывается в первую очередь на биомассе экосистем в сторону ее снижения. Тем не менее, подобное изменение влечет за собой увеличение численности населения планеты за счет снижения смертности в тропических регионах. Помимо этого, оно стимулирует рост производства, но, вместе с тем, и усиление загрязнения среды. Несмотря на негативные тенденции, уровень жизни населения растет.

Табл. 3

Устойчивые состояния системы при различных типах управления (U), постоянных климатических условиях и низком уровне научно-технического прогресса

U тип управления	$U = 0,1$	$U = 0,3$	$U = 0,5$	$U = 0,7$	$U = 0,9$
A климат	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
B биомасса	0,464	0,463	0,444	0,413	0,318
H население	0,311	0,420	0,530	0,653	0,998
P производство	0,092	0,108	0,124	0,144	0,202
W загрязнения	0,642	0,407	0,262	0,155	0,002
M минеральные ресурсы	0,080	0,071	0,057	0,043	0,020
S наука и техника	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L уровень жизни	0,033	0,064	0,091	0,121	0,202

Табл. 4

Реакция системы на глобальное изменение климатических условий A (первые два столбца после базового варианта – значения 0,7А и 1,3А), исходных запасов не возобновляемых ресурсов M (третий и четвертый столбцы – значения 0,7М и 1,3М) и уровня развития науки и техники S (последние два столбца)

Воздействие на систему	Базовый вариант	$A \times 0,7$	$A \times 1,3$	$M \times 0,7$	$M \times 1,3$	$S = 0,2$	$S = 0,5$
A климат	0,574	0,440	0,630	0,574	0,574	0,574	0,574
B биомасса	0,464	0,446	0,617	0,464	0,464	0,492	0,441
H население	0,421	0,619	0,477	0,421	0,419	0,645	0,801
P производство	0,101	0,136	0,112	0,099	0,103	0,165	0,236
W загрязнения	0,119	0,150	0,136	0,118	0,121	0,095	0,044
M минеральные ресурсы	0,080	0,037	0,052	0,065	0,146	0,032	0,009
S наука и техника	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,5
L уровень жизни	0,098	0,116	0,094	0,091	0,104	0,149	0,225

Глобальное потепление ($A \times 1,3$) резко увеличивает биомассу наземных и морских экосистем, но одновременно увеличивает и смертность в тропических регионах. В итоге численность населения планеты растет незначительно за счет снижения смертности в регионах с холодным климатом. Развитие промышленности и прирост загрязнений также не велик, а уровень жизни населения даже немного снижается по сравнению с базовым вариантом.

Изменение исходных запасов не возобновляемых ресурсов никак не влияет на биомассы экосистем, однако при повышении этих запасов интенсифицируется в небольшой степени промышленное производство и растет уровень жизни в промежутки времени, длящийся до полного исчерпания этих ресурсов.

Два последних столбца в табл. 4 касаются выяснения роли научно-технического прогресса в динамике изучаемой системы. Предыдущие столбцы этой таблицы рассчитывались в предположении низкого уровня ($S = 0,05$) научной и технической составляющей в процессе взаимодействия человеческого общества и биосферы. Увеличение этого показателя до значений $S = 0,2$ ведет к существенной интенсификации производства и повышению уровня жизни населения. Это связано со снижением уровня загрязнения окружающей среды за счет внедрения безотходных технологий. Дальнейшее возрастание уровня технического прогресса до $S = 0,5$ позволяет существенно повысить уровень жизни населения.

Для изучения динамических характеристик системы обычно применяются коэффициенты чувствительности, которые вычисляются по соотношению:

$$E(y, x) = \frac{\Delta y / y}{\Delta x / x},$$

где x – возмущающее воздействие; y – изучаемая переменная.

Результаты анализа чувствительности («эластичности») нашей модели к изменению ее параметров приведены в табл. 5.

Увеличение параметра смертности населения ($khmor$) не только приводит к снижению численности населения, но и ведет к повышению биомассы естественных экосистем. Однако из-за недостатка рабочей силы снижается производство, а вместе с этим, но с меньшей интенсивностью, снижается степень загрязнения. Разумеется, при этом остается больше неиспользованных полезных ископаемых. Уровень жизни населения снижается незначительно.

Параметр воспроизводства населения ($khrep$) положительно влияет на численность населения, интенсивность производства и уровень жизни населения, но отрицательно – на остаток неиспользованного минерального сырья.

Ускорение амортизации производственных фондов ($kramor$) не оказывает влияния на биомассу экосистем, но снижает производство и загрязнение среды при незначительном снижении уровня жизни населения.

Ускорение темпов добычи минерального сырья (kpm) ведет, естественно, к сокращению его запасов, но, помимо этого, в итоге приводит к сокращению производства и снижению уровня жизни населения. Рост эффективности научных исследований и их внедрение в производство (ksp) ведет не только к росту производства, но и некоторому снижению численности населения, хотя уровень жизни при этом повышается.

Усиление темпов использования человеческим обществом продукции экосистем (kbh) ведет к существенному сокращению биомассы этих систем. Это отрицательно сказывается на других компонентах системы, включая и уровень жизни населения.

Влияние стратегии природопользования (U) и научно-технического прогресса (S) на исследуемую систему целесообразно рассматривать совместно в форме изоплетных диаграмм (рис. 3). Поскольку эти факторы действуют на уровень жизни населения в некотором смысле разнонаправлено: развитие техники повы-

Табл. 5

Коэффициенты чувствительности средних характеристик антропосферы при различных параметрах связи между концептами

Параметры связи между концептами	khmor	khrep	kramor	kpm	ksp	kbh
<i>B</i> биомасса	+0,352	-0,318	0,0	+0,005	+0,005	-0,249
<i>H</i> население	-0,615	+0,144	+0,007	+0,004	-0,025	-0,036
<i>P</i> производство	-0,561	+0,052	-0,041	-0,023	+0,279	-0,023
<i>W</i> загрязнения	-0,072	+0,084	-0,034	-0,055	+0,080	-0,029
<i>M</i> минеральные ресурсы	+0,31	-0,076	-0,084	-0,861	-0,276	+0,068
<i>L</i> уровень жизни	-0,020	+0,061	-0,020	-0,022	+0,264	-0,025

шает его, но очистка среды требует дополнительных затрат, – рассматриваемая зависимость имеет сложный характер (рис. 3L). Высокий уровень развития безотходных технологий позволяет снизить затраты на очистку стоков.

В отношении уровня загрязнения окружающей среды (рис. 3W) рекомендации могут быть более определенными – развитие природоохранных мероприятий выгодно сочетать с технологическим прогрессом.

Ускорение развития промышленного производства (P) может быть достигнуто за счет свертывания природоохранной деятельности (рис. 3P), но такой путь вряд ли может быть рекомендован из-за снижения уровня жизни населения в этом случае.

Еще один интересный и важный вывод из исследования модели заключается в том, что на рост численности населения (рис. 3H) сильнее влияет развитие природоохранных мероприятий (U), чем научно-технический прогресс (S).

Рассмотренные выше особенности моделируемой системы касались «упрощенной» антропосферы, то есть такой системы, которая характеризуется только набором средних значений биомасс, численности населения, развития промышленности и технического прогресса. Однако очевидно, что существуют большие различия не только в природных характеристиках, но и в свойствах человеческих сообществ, находящихся в разных частях антропосферы, условно разбитой на регионы-ячейки. В этом контексте интересно проследить развитие цивилизации, начиная с гипотетического момента появления человека на Земле несколько десятков миллионов лет назад. Будем предполагать, исходя из существующих на сегодня гипотез о родине предков человека, что произошло это в Центральной Африке – ячейка 19 на рис. 1. Во всех остальных ячейках людских поселений в это время не было (население $H(i, 1) = 0$, промышленность $P(i, 1) = 0$ и, соответственно, загрязнение $W(i, 1) = 0$).

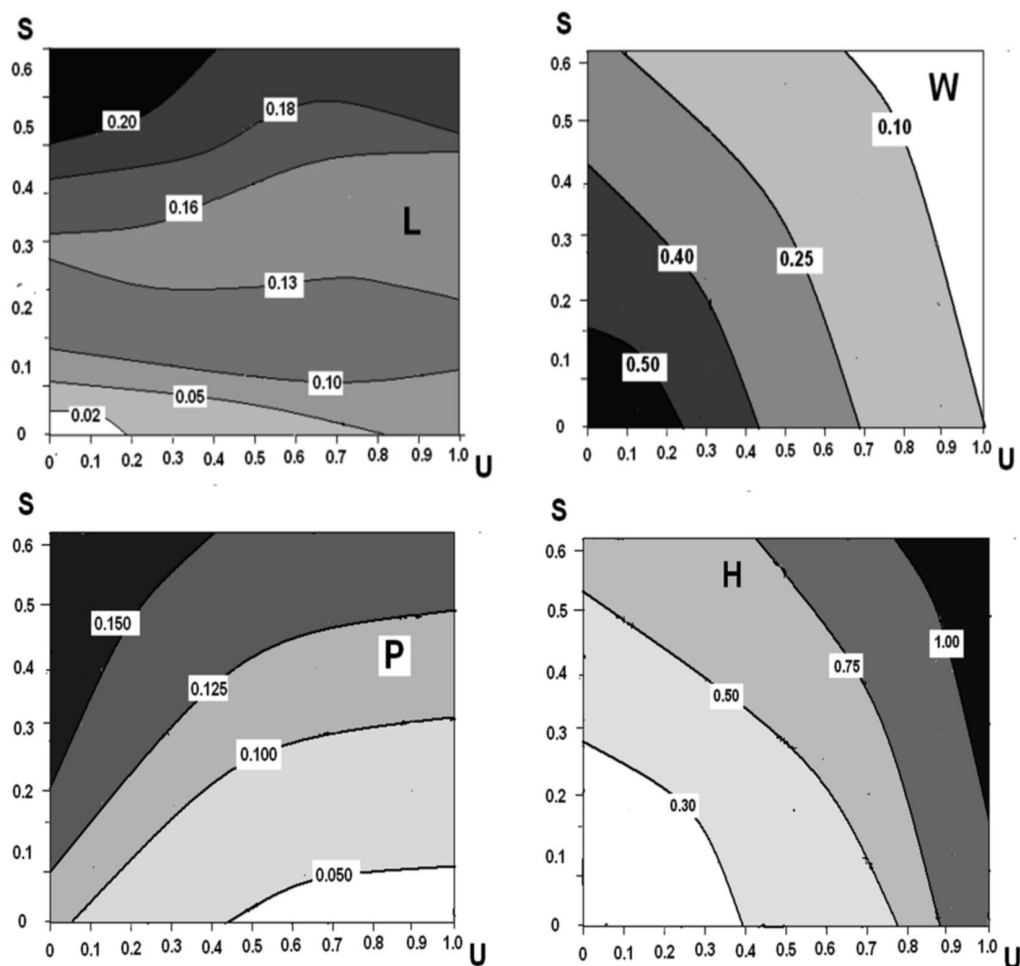


Рис. 3. Зависимость уровня жизни населения (L), загрязнения окружающей среды (W), развития промышленности (P) и численности населения (H) от стратегии природопользования (U) и научно-технического прогресса (S)

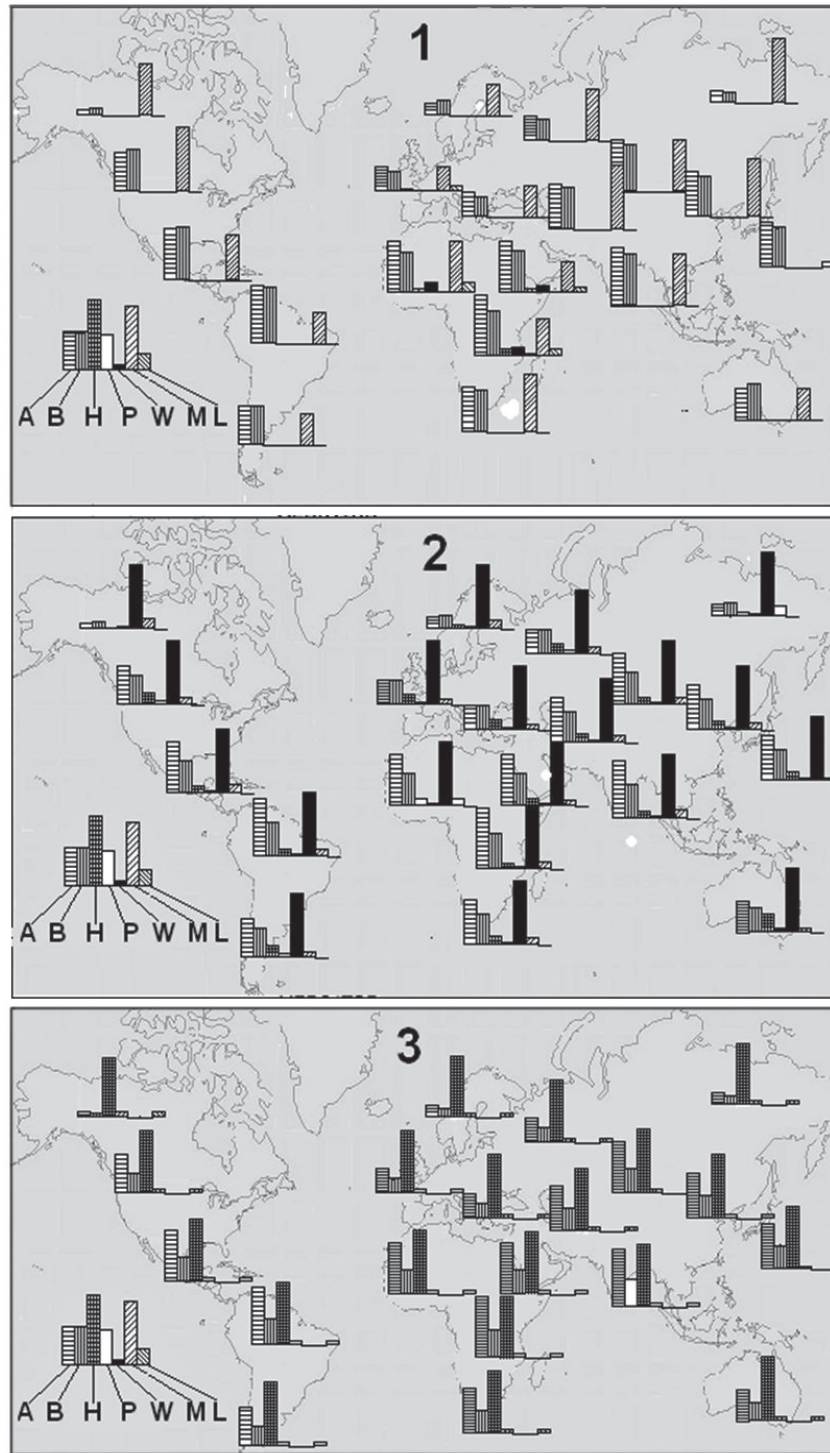


Рис. 4. Распределение характеристик системы антропосферы при различных стратегиях освоения планеты (расположение столбцов каждой из отдельных диаграмм такое же, как указано на поясняющих диаграммах с подписями слева снизу).

1 – исходное состояние; 2 – хищническое использование природных ресурсов планеты без каких-либо природоохранных действий; 3 – природоохранная идеология, очистка природной среды от антропогенных загрязнений, восстановление нарушенной естественной среды и круговоротов.

A – климат; B – биомасса; H – человеческое население; P – производство; W – загрязнение; M – запасы полезных ископаемых; L – уровень жизни населения. 1 – начальное состояние человеческой популяции; 2 – конечное установившееся состояние при стратегии $U = 0,1$ (полное отсутствие природоохранных мероприятий); 3 – то же, но при стратегии приоритета охраны природы, когда $U = 0,9$

Второй аргумент в функциях H , P , W соответствует времени. Это состояние отображено на рис. 4.1.

Не вдаваясь в интересные подробности заселения Земли человеком, которые демонстрирует модель, перейдем сразу к рассмотрению конечных состояний. Заметим, что само существование таких разных устойчивых состояний (причем не тривиальных, например, не нулевых в плане существования человечества) было не очевидным при начале работы с моделью, и это является одним из ее результатов.

На рис. 4.2 представлено конечное состояние системы, полученное в предположении, что во всех регионах Земли и во все времена люди относились к охране природы пренебрежительно ($U = 0,1$). При таком предположении во всех без исключения ячейках отмечается предельно высокое загрязнение среды ($W = 1$). Это соответствует низкому уровню жизни населения, при котором его численность хотя и не высока, но все же не нулевая. Запасы полезных ископаемых оказываются в итоге полностью исчерпанными.

Другая картина наблюдается при использовании диаметрально противоположной стратегии природопользования (рис. 4.3). Эта стратегия предусматривает максимально возможную очистку среды от загрязнений, даже иногда в ущерб развитию производства и уровню жизни населения ($U = 0,9$). В результате численность населения Земли значительно возрастает даже в регионах с неблагоприятными климатическими условиями. Однако при этом существенно снижается биомасса экологических систем, а уровень жизни

населения также остается не высоким. Развитие промышленного производства оказывается весьма низким на фоне высокой численности населения.

Возвращаясь к глобальным характеристикам исследуемой системы, предположим теперь, что во всех регионах антропосферы (ячейках) правительства начали придерживаться одинаковой стратегии природопользования (U).

В этом случае уровень научно-технического прогресса (S) не является независимым параметром для каждого региона, а определяется как единая величина для всей системы антропосферы, что является интерпретацией принципа глобализации. Результаты таких компьютерных экспериментов для этого случая приведены на рис. 5. Повсеместное пренебрежение к проблемам охраны природы ($U = 0$) приводит к сильному загрязнению среды (заливка 5 на рис. 5), следствием чего является угнетенное состояние животных и растительных сообществ, низкие численности населения и невысокий уровень его жизни (левые части графиков на рис. 5).

Переход к интенсификации природоохранных мероприятий (рис. 5, правая часть) ведет не только к сокращению загрязнения среды, но и в пределе к полной ее очистке ($W = 0$). Этот прогресс сопровождается ростом численности населения и его уровня жизни (L). Однако заметного роста промышленного производства (P) при этом не отмечается, что, в частности, связано с увеличением затрат на очистку от загрязнений и на внедрение безотходных технологий.

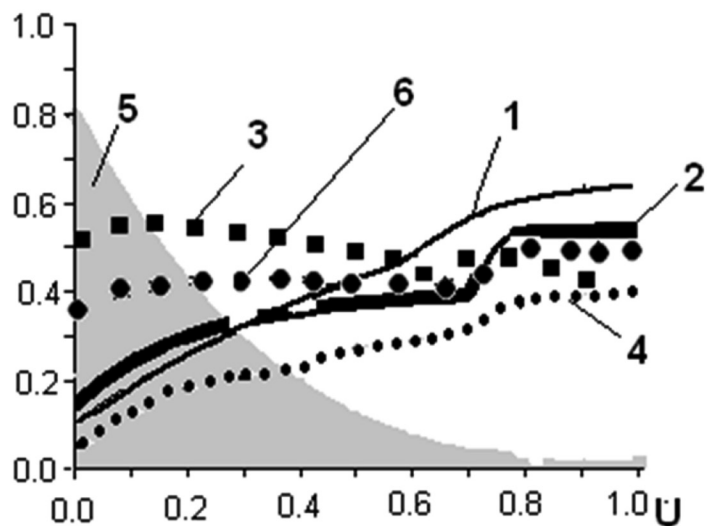


Рис. 5. Изменения глобальных характеристик всей системы при изменении стратегии природопользования (U). По вертикали – условные единицы для концептов, по горизонтали – значения U .

1 – биомасса экосистем (B); 2 – численность населения (H); 3 – уровень развития промышленности (P); 4 – уровень жизни населения (L); заливка 5 – загрязнение среды (W); 6 – уровень научно-технического прогресса (S)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При интерпретации результатов исследования разработанной модели следует принимать специфику когнитивного моделирования. Концепты далеко не тождественны переменным классических моделей, они отражают образность правополушарного типа мышления человека [18]. Результаты исследования когнитивной модели применимы при создании систем поддержки принятия решения, но не для инженерного расчета с указанием точности результатов. Фактически, при когнитивном моделировании оперируют представлениями типа «немного меньше» или «существенно выше» для некоторых выбранных исследователем (зачастую интуитивно) переменных, выраженных в условных единицах. Данный метод не предназначен для работы с числовыми именованными величинами, например, «миллиарды долларов», «миллионы тонн промышленных отходов» и т. п. По этой причине не имеет смысла использование совершенных математических методов для поиска оптимальной стратегии природопользования на базе когнитивных моделей и, в частности, на базе предложенной модели.

Несмотря на приведенные выше ограничения, когнитивный подход имеет то преимущество, что он позволяет соединить в одной модели такие, напри-

мер, разноречивые показатели, как «уровень жизни», «ментальность населения», «валовой внутренний продукт», «первичная продукция», «турбулентное перемешивание», «колебания климата» и многие другие [16]. За широту охвата проблемы приходится расплачиваться размытостью полученных результатов.

Возвращаясь к объекту моделирования – взаимодействию человеческого общества с биосферой Земли, следует отметить, что когнитивное моделирование принципиально не может заменить классического подхода, о котором уже говорилось во введении. В то же время результаты исследования когнитивных моделей могут помочь правильно расставить акценты, задать нужный контекст при планировании широко-масштабного моделирования социо-эколого-экономических процессов. Наряду с моделированием климата, динамики водных и сухопутных систем, демографии и экономики человеческого общества, на первый план выходит и моделирование самого человека, его социального поведения, этики и мировоззрения. Без понимания всего этого невозможна выработка оптимальной стратегии природопользования (концепт U), обеспечивающая будущее человечества [15]. Но это уже выходит за рамки возможностей когнитивного моделирования и относится скорее к агент-ориентированному методу построения моделей [14].

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Альбертин СВ. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества. Гуманистические научные исследования. 2016; (8). <http://human.snauka.ru/2016/08/16289>.
2. Бодрунов СД. Ноономика. М.: Культурная революция; 2018.
3. Гинзбург АС. Планета Земля в послядерную эпоху. М.: Наука; 1988.
4. Глушак НВ, Глушак ОВ. Когнитивная модель экономических взаимодействий инновационно-инвестиционного процесса высокотехнологической сферы. Вестник Брянского гос. ун-та. Экономические науки. 2018;(1):199-207.
5. Горшков ВГ, Кондратьев КЯ, Лосев КС. Два пути развития: проблема выбора. Теоретические проблемы экологии и эволюции (вторые Люблинские чтения). Тольятти; 1995. с. 192-7.
6. Гузинаров МБ, Ильясов БГ, Вакиева ЕШ, Герасимова ИБ. Когнитивная модель формирования показателя уровня жизни. Вестник УГАТУ. 2013;17(2):216-26.
7. Гумилев ЛН. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат; 1990.
8. Дрогушева АК. Возможности когнитивного моделирования в управлении региональным потенциалом. Новая наука: современное состояние и пути развития. 2016;(4-1):109-13.
9. Казанский АБ. Феномен Геи Джеймса Лавлока. Экогеософский альманах. 2000;(2):4-21.
10. Ключников ВЮ, Канаева ЕН. Когнитивная модель экологических последствий деятельности космодрома. Двойные технологии. 2014(3):14-8.
11. Курзенев ВА, Матвеев ВД. Экономический рост. СПб.: Питер; 2018.
12. Левин ВИ. Бесконечнозначная логика в задачах кибернетики. М.: Радио и Связь; 1987.
13. Левченко ВФ. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство; 2012.
14. Макаров В, Бахтизин АР. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированный подход). М.: Экономика; 2013.
15. Меншуткин ВВ, Левченко ВФ. Основанная на вероятностных клеточных автоматах модель эволюции антропосферы. Биосфера. 2017;9:275-85.

16. Меншуткин ВВ, Минина ТР. Когнитивная модель взаимодействия человеческого общества с экологической системой водоема. Региональная экономика и развитие территорий. 2017;1(11):160-7.
17. Меншуткин ВВ, Филатов НН, Дружинин ПВ. Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования. Арктика – экология и экономика. 2018;(2):4-17.
18. Миллер Дж. Когнитивная революция с исторической точки зрения. Вопросы психологии. 2005;(6):104-9.
19. Моисеев НН, Александров ВВ, Тарко АМ. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: Наука; 1985.
20. Носов КГ. Когнитивный подход к решению задач моделирования и построению САПР. Прикладная математика и вопросы управления. 2015;(1):73-84.
21. Печуркин НС. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. Новосибирск: Наука; 1982.
22. Сергеев ЮН и Кулеш ВП. Проблемы циклического и стационарного развития цивилизации в глобальных моделях. Биосфера. 2017;(9):13-47.
23. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука; 1978.
24. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Преодолимы ли трудности перехода антропосферы в ноосферу. Биосфера. 2016;8:247-57.
25. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Очерки биосферологии. СПб.: Свое издательство; 2018.
6. Guzinarov MB, Il'yasov BG, Vakieva ESh, Gerasimova IB. [Cognitive model of formation of living standards indicator]. Vestnik UGATU. 2013;17:216-26. (In Russ.)
7. Gumilev LN. Etnogenez i Biosfera Zemli. [Ethnogenesis and the Biosphere of the Earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1990. (In Russ.)
8. Drogusheva AK. [Possibilities of cognitive modeling in the management of regional potential]. Novaya Nauka Sovremennoe Sostoyanie i Puti Razvitiya. 2016;(4-1):109-13. (In Russ.)
9. Kazansky AB. [The Phenomenon of Gaia of James Lovelock]. Ekogeosofskiy Almanakh. 2000;(2):4-21. (In Russ.)
10. Klyushnikov VYu, Kanayeva EN. [Cognitive model of the environmental consequences of spaceport activity]. Dvoynye Tekhnologii. 2014(3):14-8. (In Russ.)
11. Kurzenev VA, Matveenko VD. [Economic growth]. Saint Petersburg: Piter Press; 2018. (In Russ.)
12. Levin VI. Beskonechnosviyaznaya Logika v Zadachakh Kibernetiki. [Infinite-Valued Logic in Cybernetics Problems]. Moscow: Radio i Svyaz'. 1987. (In Russ.)
13. Levchenko VF. Biosfera: Etapy Zhizni (Evolutsiya Chastey i Tselogo). [Biosphere: the Stages of Life (Evolution of the Parts and the Whole)]. Saint Petersburg: Svoye Izdatel'stvo; 2012. (In Russ.)
14. Makarov V, Bakhtizin AR. Sotsialnoye Modelirovaniye – Novyi Kompyuternyi Proryv (Agent-Oriyentirovannyi Podkhod). [Social Modeling – New Computer Breakthrough (Agent-Based Approach)]. Moscow: Ekonomika; 2013. (In Russ.)
15. Menshutkin VV, Levchenko VF. [A stochastic cellular automata-based model of evolution of the anthroposphere]. Biosfera. 2017;9(4):275-85. (In Russ.)

Общий список литературы/Reference List

1. Al'bertin SV. [Cognitive modeling as a way of scientific knowledge and creativity]. Gumanisticheskiye Nauchnye Issledovaniya. 2016; (8). <http://human.snauka.ru/2016/08/16289>. (In Russ.)
2. Bodrunov SD. [Noonomics]. Moscow: Kul'turnaya Revolyutsiya; 2018. (In Russ.)
3. Ginzburg AS. Planeta Zemlia v Posleyadernuyu Epokhu. [Planet Earth in the Post-Nuclear Era]. Moscow: Nauka; 1988. (In Russ.)
4. Glushak NV, Glushak OV. [Cognitive model of economic interactions in a high-tech innovation-investment process]. Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekonomicheskiye Nauki. 2018;(1):199-207. (In Russ.)
5. Gorshkov VG, Kondrat'ev KYa, Losev KS. [Two ways of development: the problem of choice]. In: Teoreticheskie Problemy Ekologii i Evolyutsii (Vtorye Lyubishchevskie Chteniya). Togliatti; 1995. P. 192-7. (In Russ.)
6. Guzinarov MB, Il'yasov BG, Vakieva ESh, Gerasimova IB. [Cognitive model of formation of living standards indicator]. Vestnik UGATU. 2013;17:216-26. (In Russ.)
7. Gumilev LN. Etnogenez i Biosfera Zemli. [Ethnogenesis and the Biosphere of the Earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1990. (In Russ.)
8. Drogusheva AK. [Possibilities of cognitive modeling in the management of regional potential]. Novaya Nauka Sovremennoe Sostoyanie i Puti Razvitiya. 2016;(4-1):109-13. (In Russ.)
9. Kazansky AB. [The Phenomenon of Gaia of James Lovelock]. Ekogeosofskiy Almanakh. 2000;(2):4-21. (In Russ.)
10. Klyushnikov VYu, Kanayeva EN. [Cognitive model of the environmental consequences of spaceport activity]. Dvoynye Tekhnologii. 2014(3):14-8. (In Russ.)
11. Kurzenev VA, Matveenko VD. [Economic growth]. Saint Petersburg: Piter Press; 2018. (In Russ.)
12. Levin VI. Beskonechnosviyaznaya Logika v Zadachakh Kibernetiki. [Infinite-Valued Logic in Cybernetics Problems]. Moscow: Radio i Svyaz'. 1987. (In Russ.)
13. Levchenko VF. Biosfera: Etapy Zhizni (Evolutsiya Chastey i Tselogo). [Biosphere: the Stages of Life (Evolution of the Parts and the Whole)]. Saint Petersburg: Svoye Izdatel'stvo; 2012. (In Russ.)
14. Makarov V, Bakhtizin AR. Sotsialnoye Modelirovaniye – Novyi Kompyuternyi Proryv (Agent-Oriyentirovannyi Podkhod). [Social Modeling – New Computer Breakthrough (Agent-Based Approach)]. Moscow: Ekonomika; 2013. (In Russ.)
15. Menshutkin VV, Levchenko VF. [A stochastic cellular automata-based model of evolution of the anthroposphere]. Biosfera. 2017;9(4):275-85. (In Russ.)
16. Menshutkin VV, Minina TR. [Cognitive model of the interaction of human society with the ecological system of the pond]. Regional'naya Ekonomika i Razvitie Territoriy. 2017;1(11):160-7. (In Russ.)
17. Menshutkin VV, Filatov NN, Druzhinin PV. [Status and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White Sea watershed using cognitive modeling]. Arktika Ekologiya i Ekonomika. 2018;(2):4-17. (In Russ.)
18. Miller J. [Cognitive revolution from the historical point of view]. Voprosy Psikhologii. 2005;(6): 104-9. (In Russ.)
19. Moiseev NN, Aleksandrov VV, Tarko AM. Chelovek i Biosfera Jpyt Sistemnogo Analiza

- i Eksperimenty s Modeliami. [Man and the biosphere. System analysis experience and model experiments]. Moscow: Nauka; 1985. (In Russ.)
20. Nosov KG. [Cognitive approach to solving modeling problems and building CAD systems]. *Prikladnaya Matematika i Voprosy Upravleniya*. 2015;(1):73-84. (In Russ.)
 21. Pechurkin NS. *Energeticheskiye Aspekty Razvitiya Nadorganizmennykh Sistem*. [Energy Aspects of the Development of Supraorganismal Systems]. Novosibirsk: Nauka; 1982. (In Russ.)
 22. Sergeev YuN, Kulesh VP. [Cyclic and stationary modes of the development of civilization in global models]. *Biosfera*. 2017;9:13-47. (In Russ.)
 23. Forrester J. *Mirovaya Dinamika*. [World Dynamics]. Moscow: Nauka; 1978. (In Russ.)
 24. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [Is it possible to surpass obstacles in the way from anthroposphere to noosphere]. *Biosfera*. 2016;(8)3:247-57. (In Russ.)
 25. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. *Ocherki Biosferologii*. [Essays on Biospherology]. Saint Petersburg: Svoye Izdatel'stvo; 2018. (In Russ.)
 26. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *Int J Man-Machine Studies*. 1986;(24):65-75.
 27. Kosko B. *Fuzzy Thinking*. NY: Hyperion; 1993.
 28. Lakoff G. *Women, fire and dangerous things*. Chicago Univ. Press; 1987.
 29. Meadows DL, Meadows DH. *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge: Mass. Wright Allen Press Inc.; 1974.
 30. Norman M, Baumeister J. A rule-based vs. model-based implementation of knowledge system LIMPACT and its maintenance and discovery the ecological knowledge. *Modeling in freshwater ecosystem*. Berlin; 1999.
 31. Wang YP, Law RM, Pak B. A Global model of carbon, nitrogen and phosphorus cycles for terrestrial biosphere. *Biogeoscience*. 2010;7:2261-81.

