

## МЕТАЗНАНИЯ ГЕОЭКОЛОГИИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ

С.К. Полумиенко<sup>1</sup>, С.З. Савин<sup>2</sup>, С.Л. Турков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины,  
Чоколивский бул. 13, г. Киев, Украина, 03186

E-mail: [serge\\_pol@ukr.net](mailto:serge_pol@ukr.net)

<sup>2</sup>Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН,  
ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, Россия, 680000

E-mail: [savin.sergei@mail.ru](mailto:savin.sergei@mail.ru), [slturkov@gmail.com](mailto:slturkov@gmail.com)

## META-KNOWLEDGE OF GEOECOLOGY AND GIS-TECHNOLOGIES FOR MAKING DECISION SYSTEMS

S.K. Polumienko<sup>1</sup>, S.Z. Savin<sup>2</sup>, S.L. Turkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for TV-communications and global information space of Ukraine NAS,  
Chokolivskiy bul. 13, Kiiv, Ukraine, 03186

E-mail: [serge\\_pol@ukr.net](mailto:serge_pol@ukr.net)

<sup>2</sup>Computer center of Far-Eastern Branch of RAS,  
st. Kim Yu Chen 65, Khabarovsk, Russia, 680000

E-mail: [savin.sergei@mail.ru](mailto:savin.sergei@mail.ru), [slturkov@gmail.com](mailto:slturkov@gmail.com)

**Abstract.** Theoretical and methodical questions of meta-knowledge of geoecology and GIS-technologies for making decision systems considered with position of new paradigm presentation of the World and geosystem approach. In the work used mathematical apparatus of game-theory modeling (Operation's Research, Game against nature). The practical directions use of the results – geoecology aspects of the Sustainable Development theory, GIS-systems and technology of making of control for complexity decisions.

**Введение.** Тематика настоящей и всех проходивших ранее Международных конференций «ИнтерКарто/ИнтерГИС» посвящена обсуждению и поиску решения главной для нашей цивилизации (по определению экспертов ООН – «Повестки дня XXI века» [The United..., 2013]) научной проблемы: «Устойчивое развитие регионов». Известная еще со времени работы комиссии Г.Х. Брундтланд (1967), сформулированная позднее и принятая мировым сообществом как Концепция устойчивого развития (Sustainable Development, КУР в аббревиатуре ООН, 1993), утвержденная правительствами многих стран в качестве официальных доктрин государственного развития (например, в США в 1993 г., в России – три года позднее [О концепции... Указ Президента РФ... №440, 1996]), она до сих пор воспринимается в виде хотя и логически обоснованной, но научной гипотезы. Несмотря на значительные усилия науки, сегодня не совсем понятно, как ее реализовать в текущей практике управления развитием территорий разного (локального, регионального, глобального) уровней организации планеты, как достичь сформулированной в ней цели или, хотя бы, объективно оценить степень приближения к ней?

С позиций фундаментальной науки сложившаяся ситуация вполне объяснима; как часто бывает, проблема научной разработки и практической реализации КУР оказалось намного более сложной, чем изначально предполагалось. Системный анализ и наш многолетний опыт показывают, что главным сдерживающим ее решение фактором является неправильный выбор основного направления научного поиска в данной области знаний, в т.ч. исходной парадигмы, отражающей смысл этой Концепции как таковой [Философский..., 1987], [Советский..., 1989]. Подтверждением данного тезиса являются следующие факты. Так, в области методологии – это попытки исследователей использовать в процессе ее решения старую парадигму системного представления мира (она известна с конца XVIII века). Но сегодня, при всей ее исторической ценности и практических результатах, такое – «механистическое» – мышление, уже серьезно блокирует развитие фундаментальной науки, поскольку инерционность мировосприятия всегда было и будет одним из типичных человеческих качеств. По этому поводу можно привести весьма продуктивную мысль Амита Госвами, профессора факультета теоретической физики университета штата Орегон (США): «Сегодня альтернативная наука (в нашем понимании, современные достижения квантовой физики, новая теория энтропии и соответствующая им теория ноосферы) предлагает настолько обоснованную версию новой научной парадигмы, что официальная наука встает на дыбы» (цит. по [Арнтц и др., 2013]). Итоги (вот уже почти полувековых!) исследований показывают, что сама логика развития естественнонаучных знаний требует перехода к новой парадигме, поскольку в рамках старого мышления решение всех проблем КУР по определению не существует. За ее рамками остаются и исходные технологии научного поиска: «междисциплинарный» и «системный» подходы, современные НБИК (нано-, био-, инфо- и конвергентные) – технологии, а также математический аппарат, информационные и оптимизационные модели и методы исследования, в т.ч. методики разработки и принятия управляющих решений.

В настоящем докладе рассматриваются три области знаний, которые могут стать новыми конструктивными направлениями научных исследований КУР: метазнания геоэкология, информационное моделирование стратегий устойчивого развития, ГИС-технологии в процессе принятия управляющих решений. Этот список не является полным, но он позволяет обозначить исходные – методологические, теоретические и технологические – позиции концептуального аппарата современного и принципиально иного теоретического решения проблемы устойчивого развития.

**Метазнания геоэкологии.** «Метазнания» представляют собой логически (теоретически, методически и технологически) связанные знания высшего уровня об объектной, предметной, проблемной (задачной) подобластях и методах исследования каждой из комплекса наук о Земле и естествознания в целом, общая целевая функция которых направлена на принятие эффективных управляющих решений в процессе «коэволюции» (Н.В. Тимофеев-Ресовский, 1968) природы и общества [Турков, 2009]. Под «коэволюцией» здесь и далее понимается «совместность» и «согласованность» всех процессов функционирования и развития сложно организованных систем класса «природа-общество» в пределах известных нам геосфер планеты (по Н.Н. Моисееву, 1982 – «ноосферогенез»). В аналогичном смысле в докладе употребляется термин «Sustainable Development» и сформулированная на его основе КУР<sup>1</sup>, которая представляет собой концентрированное выражение общей целевой функции всех теоретически допустимых процессов ноосферогенеза.

Согласно гносеологии метазнания относятся к классу фундаментальных знаний; их инновационная сила станет тем значительней, чем оно будет более полно увязано в систему знаний, аккуратно собрано в модели, теории и метатеории, выражено в формализованных терминах и развито логически и математически [Черкашин, 2008]. В приложении к КУР метазнания в практическом плане представляют интеллектуальную основу современных ГРИД-технологий, или распределенных (но методологически и теоретически связанных!) из всех известных на сегодня общечеловеческих знаний. Технологически метазнания представляют собой интеллектуальное «ядро», посредством которого – путем использования специализированных библиотек (объектов, стратегий, структур, ситуаций и процедур), – и будет обеспечиваться работа подсистемы логического вывода современных по технологии и архитектуре автоматизированных систем планирования (поддержки) принятия управляющих решений (СПР) в сфере природопользования всех (локальный, региональный, глобальный) уровней организации планеты. Конструктивно этим определяется их классификация как систем искусственного интеллекта высшего уровня организации, а сами метазнания, согласно принятой в информатике и исследовании операций (Operation's Research) классификации, относятся к области инженерии знаний (Knowledge Engineering).

Методика выделения и последующей организации метазнаний предполагает реализацию следующей простой технологической схемы: разработка алгоритмов метазнаний по отдельным наукам и направлениям → переход к комплексам знаний (физическая, экономическая и социальная география, природопользование и т.п.) → география в целом (и, далее, возможен выход на все другие естественные науки). Затем потребуется разработка общего алгоритма метазнаний (одна из возможных его схем приведена в работе [Турков, 2009]) и решение комплекса методических проблем, которые могут быть объединены в виде следующих этапов научного поиска. 1) Выделение, в т.ч. теоретическое и методическое (по методам решения и возможным результатам) ограничение, уже сложившихся систем знаний в каждой отдельно взятой области естествознания. 2) Их системная инвентаризация (переоценка) и проверка на адекватность современным достижениям комплекса наук о Земле, природе и обществе (в направлении возможной реализации общей целевой функции КУР). 3) Группировка положений каждой отдельно взятой системы знаний по принципу их соответствия (или несоответствия) предыдущему пункту, а также современной физической и естественно-научной парадигме и достижениям математики, информатики и общим принципам разработки ГИС-технологий и организации СПР. 4) Разработка теории управления региональным природопользованием (РП) в рамках КУР для глобального, регионального и локального уровней управления. 5) Технологическая и информационная «увязка» пункта 4 на соответствие и в направлении принятия оптимальных управляющих решений посредством ГИС и ГРИД-технологий в СПР. Очевидно, что в целом предлагаемая нами для обсуждения в данном докладе общая процедура исследований должна носить итерационный, т.е. последовательно выполняемый, логически проверяемый и методически дополняемый, характер. Например, теоретическая проверка метазнаний должна проводиться исходя из логики и смысла двух известных еще с 1913 г. философских «постулатов» Н. Бора. А именно: 1) Принципа «соответствия» («...смена одной естественнонаучной теории другой обнаруживает не только различие, но и связь, преемственность между ними, которая может быть выражена с математической точностью»); и 2) Принципа «дополнительности» («...для воспроизведения целостности явления... необходимо применять взаимоисключающие и взаимоограничивающие друг друга, «дополнительные» классы понятий, которые... только взятые вместе исчерпывают всю поддающуюся определению и передаче информацию») [Философский..., 1987].

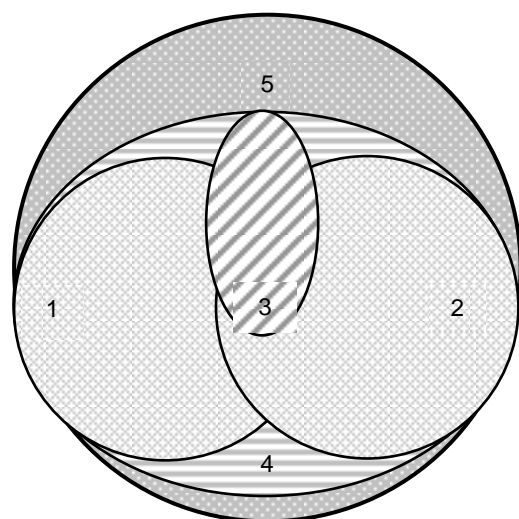
<sup>1</sup> По мнению экспертов ООН эта концепция должна обеспечивать взаимную увязку следующих компонентов устойчивого экономического и социального развития регионов: производственной деятельности, потребления природных ресурсов, состояния экологических систем, качества окружающей среды и благосостояния человека [Environmental..., 1985].

Процедуру выделения и ограничения «Области знаний», рамки которой позволяют теоретически и методически в полной мере (от исходной постановки проблемы КУР как таковой до ее какого-либо логически доказательного объяснения и будущих методик практического применения) следует начать с физического и информационного представления исходного объекта исследования, основных, подлежащих изучению, процессов, а также совокупности методологических и теоретических представлений о них. При этом «отправной» точкой является исследование *ratio* (исходного начала, принципа, смысла [Хёйзинга, 2007]) сложно организованных (природных и социальных) систем класса «природа-общество», а также общей целевой функции КУР; «конечной» – функция управления процессами ноосферогенеза. В качестве основных методов такого исследования следует использовать широко известные в науке «междисциплинарный» и «системный» подходы, и, в частности, современные представления, формулировки и определения теории «ноосферы» Э. Ле Руа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского<sup>2</sup>.

Методически и технологически разработка метазаданий должна заканчиваться, во-первых, разработкой общего алгоритма, и, во-вторых, методологией, теорией, методами и методиками принятия адекватных объекту исследования и эффективных управляющих решений. При этом, непосредственно к задачам управления (по группам методов принятия решений) должны относиться задачи: интерпретации, диагностики и мониторинга, планирования и реконструкции, прогноза, ситуационного управления (последнее объединяет и синтезирует все предыдущие задачи). Кроме того, из физики и кибернетики известно, что само «управление» всегда разделяется на два уровня: «внешнее» и «внутреннее»; и только такой подход в будущем позволит реализовать широко известное и важное для теории КУР «Правило «мягкого» управления природой», которое «...социально-экономически предпочтительнее «жесткого», техногенного» [Реймерс, 1994].

В современной философии под термином «управление» понимается «...функция организованных систем (биологических, технических, социальных), обеспечивающая сохранение их структуры, поддержание режима деятельности, реализацию ее программы, цели» [Философский..., 1987], [Современная..., 1995]. Системный анализ показывает, что это определение, во-первых, включает в себя в качестве объекта управления все многообразие существующих в природе систем, в т.ч. и человека, как существа биосоциального, и, во-вторых, оно состоит из двух взаимосвязанных и определяющих друг друга частей. При этом первая его часть имеет временную направленность на настоящее (структура, режим деятельности), или теоретически определяет некоторое (возможное) состояние «равновесия» системы. Вторая направлена на будущее (программа, цель развития), т.е. теоретически позволяет реализовать какие-либо условия ее «устойчивого развития». Несложно заметить, что это определение полностью соответствует основным исходным посылкам и общей целевой функции КУР<sup>3</sup>.

Функционально область знаний, которой характеризуется *ratio* исходного (физического, т.е. природного и социального) объекта, подлежащего исследованию в рамках КУР, определяется процессом природопользования<sup>4</sup>. Ее фазовое (информационное) пространство, под которым здесь понимается определенная часть материального мира, чем ограничивается область существования связанных с ней конкретных классов динамических систем, можно интерпретировать в виде представленной ниже схемы (Рис. 1).



- 1 – фазовое пространство природных процессов; область знаний географии
- 2 – фазовое пространство общественных (социально-экономических) процессов; область знаний экономики
- 3 – природопользование, как взаимосвязанные и пересекающиеся процессы взаимодействия природы и общества; область знаний экономической географии и региональной экономики
- 4 – физические, химические и биологические процессы взаимодействия природы и общества; область знаний экологии
- 5 – ноосферные (биосферные) процессы взаимодействия и развития геосфер планеты; область знаний геоэкологии

<sup>2</sup> «... В основании «ноосферной науки» о природопользовании должна быть, следовательно, заложена противоположная методология, исходящая из родового отношения природы к обществу, – те закономерности, общие для обеих, посредством которых сама природа когда-то создала общество и человека» [Мезенцев и др., 1988].

<sup>3</sup> По А.А. Ляпунову: «Управление, основанное на передаче информации, является составной частью всякой жизнедеятельности, более того, управление можно объявить характеристическим свойством жизни в широком смысле» (60-е гг. XX века).

<sup>4</sup> «Природопользование – это всегда взаимодействие, взаимопересечение двух систем, с одной стороны, природной, а с другой – общественной, или социально-экономической» [Региональное..., 2002].

Рис. 1. Системное представление фазового (информационного) пространства сферы природопользования

Из Рис. 1 следует, что наиболее полной (по исходной информации) и адекватной (по реализуемым функциям) определению термина «природопользование» областью знаний является геоэкология, которая сегодня в науках о Земле определяется как новое «междисциплинарное научное направление» [Осипов, 1997], [Паспорта..., 2001]. В данной схеме – в противовес ее определению, предложенного Э. Геккелем («наука об отношениях организмов к окружающей среде», 1866) – экология (по А. Тенсли, 1935) рассматривается как наука о физических, химических и биологических формах существования живой и неживой материи (включая ближний космос; Н.Ф. Реймерс, В.И. Булатов и другие называют ее «большой экологией» или «мегаэкологией»; у нее нет сегодня фундаментальных теоретических основ). А геоэкология – как область знаний о формах существования и пределах взаимодействия геосферных оболочек, или (по А.Д. Арманду, 1988) геосистем высшего уровня организации планеты: космо-, лито-, педо-, гидро-, атмо-, био- и антропо-сферы. При этом «Ближний космос» следует рассматривать в границах точки Лагранжа, где гравитационные силы планеты уравниваются действием сил притяжения Солнца.

В представленном ниже списке приведена хронология научных теорий, терминов и понятий, без которых в принципе невозможно теоретическое обоснование не только КУР, но и исследование любых иных физических процессов функционирования и развития сложно организованных систем класса «природа-общество»<sup>5</sup> в пространстве-времени, или управление процессами ноосферогенеза (главные из них подчеркнуты).

- Термин и понятие «Энтропия» (по Р. Клаузиусу, 1865);
- Экология (по Э. Геккелю, 1866 и А. Тенсли, 1935);
- Философские принципы (постулаты): «соответствия», «дополнительности», «неопределенности», «зависимости» (Н. Бор, В. Гейзенберг, 1913, 1927);
- Теория игр (Дж. Нейман, О. Моргенштерн, 20-е гг. XX века);
- Биосфера (1926) и теория «ноосферы» (1927) Э. Ле Руа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского;
- Геоэкология (термин введен К. Троллом, 1939);
- Общая теория систем (Л. Бергаланфи, 1950);
- Кибернетика (теория «телеологических» систем Н. Винера, 1950);
- Функциональное определение термина «управление» (по А.А. Ляпунову, 60-е гг. XX века);
- «Геосистемы» В.Б. Сочавы и понятие «инварианта» системы (1963, 1978);
- Термин и понятие «Устойчивое развитие» (комиссия Г.Х. Брундтланд, 1967);
- Термин и понятие «Природопользование» (Ю.Н. Куражковский, 1969);
- «Гея-гипотеза» (Дж. Лавлока и Л. Маргулис, 70-е гг. XX века);
- Единая Теория Поля (ЕТП, конец XX века);
- Синергетика и концепция «моды» (по Г. Хакену, 1980), схема бифуркаций (по И.Р. Пригожину, 1990);
- Термин и понятие «Экологический каркас территории» (В.В. Владимиров, 1982);
- Термин и понятие «структуры-аттрактора» (С.П. Курдюмов и другие, 1992);
- Концепция «Устойчивого развития» (КУР в аббревиатуре ООН, 1993);
- Понятие «Равновесие» (по Л. Брауну, 1995);
- Новая теория энтропии (по А.Н. Панченкову, 1999);
- Концепция «неогеографии» (по Э. Тёрнеру, 2006).

Сегодня разработка современной методологии и теории природопользования сдерживается тем фактом, что широко известная теория «ноосферы» Э. Ле Руа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского («...единство законов природы, мышления и социально-экономических законов развития общества», 1927) многими (и с позиций гносеологии – совершенно справедливо!) воспринимается как научная гипотеза, поскольку до начала нашего века она не имела своего полного теоретического и экспериментального подтверждения. Все исследования в данной области знаний исходят из известной в естествознании с конца XVIII века и активно используемой до сих пор «термодинамической» парадигме<sup>6</sup> системного представления мира, которая, в общеупотребительном варианте, обычно упоминается как «механистическое» мышление (при этом используется т.н. «объектно-ориентированный» подход). Но в конце XX века на основе научных достижений квантовой физики (Единая Теория Поля, ЕТП [Тихоплав и др., 2002]) была сформулирована и

<sup>5</sup> Согласно теории такие системы относятся к классу «активных сложных систем»; физически они представляют собой взаимно интегрированные целостности систем и объектов, свойства которых не могут быть сведены к свойствам составляющих подсистем и рассматриваются как живые системы, где основным движущим механизмом функционирования и развития является конфликт (в условиях неопределенности) [Турков, 2007].

<sup>6</sup> Термин «парадигма» здесь рассматривается в определении Т. Куна, т.е. как «...совокупность теоретических и методологических предпосылок, определяющих конкретное научное исследование, которая воплощается в научной практике на данном этапе» [Философский..., 1987].

далее теоретически и экспериментально подтверждена новая – «ноосферная» – парадигма, или (по Дж. Рифкину, 1995) «терапевтическое» мышление (здесь используется «геосистемный», или «нормативный» подход). Методически ЕТП вводит в естествознание, – помимо известных ранее четырех фундаментальных взаимодействий: гравитационное (XVIII век), электромагнитное (XIX век), ядерные (сильное и слабое, начало XX века), – информационное взаимодействие (конец XX века), т.е. сводит все существующее в природе к модели: масса {M}, энергия {E}, информация {I} + 5 элементарных взаимодействий их полей. Эта фундаментальная теория объединяет и по сути «сводит» к единому системному представлению весь окружающий нас мир, т.е. все органические и неорганические формы жизни, в т.ч. и разумные способы его восприятия<sup>7</sup>. Таким образом она завершает процесс теоретического обоснования и доказательства теории «ноосферы» В.И. Вернадского и позволяет совершенно по-иному интерпретировать физический смысл (или ratio) возникновения, функционирования и развития сложно организованных систем. Основные физические и информационные характеристики рассматриваемых здесь двух парадигм представлены в Таблице 1<sup>8</sup>.

Таблица 1

Основные физические и информационные характеристики современных парадигм системного представления мира

Термодинамическая парадигма (объектно-ориентированный подход)	Ноосферная парадигма (нормативный подход)
Представление природы в виде частей или отдельных ресурсов, а не взаимодействующих процессов	Связь и взаимозависимость всех явлений и объектов живой и неживой природы, а также происходящих в ней процессов
<b>Простое линейное пространство:</b>	<b>Многомерное нелинейное «пространство-время»:</b>
- его инвариантность, при которой сохраняется мера (координаты и импульс) при повороте и переносе материальной точки;	- его не инвариантность, при которой не сохраняется мера (координаты и импульс) при повороте и переносе материальной точки;
- негативный смысл энтропии, воспринимаемой как мера беспорядка и хаоса;	- позитивный смысл энтропии, когда она рассматривается как мера совершенства структуры, как сформулированная в символическом виде архитектура системы;
- типичный макро- подход; при управлении объектами используется принцип «черного ящика», когда используются только внешние – по отношению к системе – процессы;	- геосистемный (макро- + микро-) подход, когда исследуются как внешние, так и внутренние процессы функционирования и развития сложно организованных систем;
- подход полностью адекватен для известных из синергетики «консервативных» систем;	- подход адекватен для преобладающих в природе и обществе «диссипативных» (т.е. далеких от состояния равновесия, самоорганизующихся и саморазвивающихся) систем;
- обеспечивает в известной мере полное решение задач «жесткого» (техногенного) управления;	- обеспечивает решение задач «жесткого» и «мягкого» (восстанавливающего экологический баланс) управления природой;
- возможна только детерминированная и вероятностная (стохастическая) постановка задач управления;	- теоретически возможны детерминированная, вероятностная, неопределенная и теоретико-игровая постановки задач управления;
- осуществление вычислительных операций ситуационного управления невозможно.	- возможно полное осуществление вычислительных операций ситуационного управления.

Другой, не менее важной причиной необходимости перехода к новой парадигме системного представления мира стал тот факт, что «...существующая энтропийная парадигма естествознания XX века, основанная на термодинамической энтропии, оказалась несостоятельной» [Панченков, 1999]<sup>9</sup>. В этой фундаментальной работе, – в противоположность старой теории, – сформулировано важнейшее для КУР свойство «диссипативных» (т.е. далеких от состояния «равновесия», преобладающих в окружающем нас мире природных и антропогенных) систем: в ней энтропия имеет позитивный смысл; она рассматривается

<sup>7</sup> Этой теорией подтверждается известная мысль Н. Бора о том, что «...новая физика должна включать в себя сознание, как объект, подобный всем остальным объектам физики» (цит. по [Тихоплав и др., 2002]).

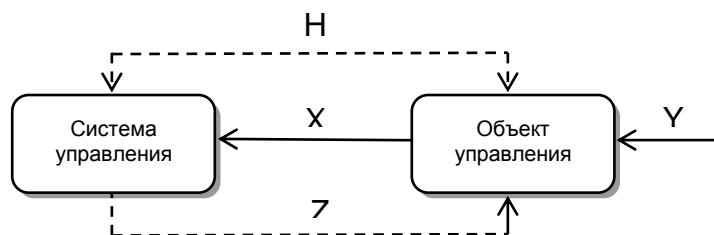
<sup>8</sup> В приложении к методологии и теории КУР здесь также следует напомнить известное положение Д.Л. Арманда (1975): «В конечном счете, все физико-географические процессы имеют в основе физические явления. Сведение географических закономерностей к геофизическим, а по мере возможности и к физическим законам представляется крайне желательным. Только физический анализ убеждает, что явление понято» (цит. по [Сысыев, 2003]).

<sup>9</sup> Разработка «Новой теории энтропии» А.Н. Панченкова (1999) проверена и подтверждена на основе действия известного философского Принципа «соответствия» (1913). Так, им доказано, что теория «термодинамической» энтропии представляет собой не более чем частный случай в предложенной им теории; последняя не отрицает действие Второго закона термодинамики для закрытых систем, а значительно развивает исходную (материально-вещественную) теорию и новую парадигму системной организации окружающего нас мира (открытые, в т.ч. «консервативные» и «диссипативные», природные и социальные) системы.

как «...мера совершенства структуры, как сформулированная в символьном виде архитектура системы» [Там же].

Системный анализ и синтез Табл. 1 позволяют сделать следующий конструктивный вывод: физическое и экспериментальное доказательство ЕТП и «Новая теория энтропии» в своем единстве полностью «закрывают» все основные (фундаментальные и исходные) методологические и теоретические проблемы КУР. Другими словами, все выделенные подчеркиванием в представленной выше хронологии термины, понятия и теории в них получили не только строго определенный смысл и завершенность, но и не менее четкое физическое и математическое объяснение и доказательство<sup>10</sup>. Здесь можно привести следующие примеры. Так, из этих теорий следует, что в качестве основного – подлежащего управлению – свойства сложной организованной системы класса «природа-общество» нужно принять конфликт (в условиях неопределенности), под которым следует понимать «...стремление природы сохранить свое физическое (материально-вещественное), энергетическое и информационное состояние в противовес человека его нарушить» [Турков, 2003, 2007], [Полумиенко и др., 2008], [Кочуров и др., 2011]. Такой подход в целом определяет выбор основного метода исследования проблем КУР, – математический аппарат теории игр (ТИ) и, в частности, широко известных «Игр с Природой» (Game against nature [Полумиенко и др., 2008]), а также кооперативных игр [Полумиенко и др., 2013]. При этом в рамках КУР основному исследованию методами теоретико-игрового моделирования должны, главным образом, подлежать два возможных («равновесное» и «устойчивое») качественных состояний (или «структур-аттракторов»<sup>11</sup>; флуктуационные и бифуркационные процессы в условиях неопределенности; см. известный философский Принцип В. Гейзенберга, 1927<sup>12</sup>, а также схему бифуркаций И.Р. Пригожина [Николис и др., 1990]), которые являются определяющими функциональными процессами развития сложно организованных природных и социальных систем.

Применительно к системам класса «природа-общество» общая схема принятия управляющих решений должна иметь следующий вид (использование известного Принципа «зависимости» («система» + «прибор») Н. Бора, В. Гейзенберга, 1927<sup>13</sup>; развитие схемы управления «телеологическими» системами по Н. Винеру, 1950 [Винер, 1968] в направлении реализации теории «ноосферы» Э. Ле Руа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского).



Здесь новая связь «Н» физически отражает одновременное вхождение человека в объект управления («объект природы») и систему управления («субъект природы», – разумное существо и лицо, имеющее возможность принимать решения). Это положение раскрывает «двойственную» (биосоциальную) сущность человека (общества) и подчеркивает его исключительную роль среди всех других организмов биосферы. Отсюда можно ввести следующую общую модель управления системами класса «природа-общество»:

$$\langle \{M_x\}, \{M_y\}, \{M_z\}, F(f), \varphi, \Psi \rangle, \quad (1)$$

т.е. управление следует рассматривать как процесс разумного и целенаправленного принятия решений, который определяется множествами состояний объекта управления и внешней среды ( $\{M_x\}$ ,  $\{M_y\}$ ), множеством функций лица, принимающего решения ( $\{M_z\}$ ), действующего в направлении реализации функции управления ( $\Psi$ ), для достижения глобального и локального критериев оптимизации управления ( $F(f)$ ), с учетом реакции объекта управления на управляющее воздействие и на реакцию внешней среды ( $\varphi$ ).

Если на основании мнения экспертов определена и формально описана некоторая будущая относительно устойчивая структура-аттрактор, которая на данный момент времени рассматривается в виде

<sup>10</sup> А. Эйнштейн утверждал: «Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов». Также известно, что «В основе любой системы лежит некоторый проект; проект существует до реализации системы и на его основе система создается. В частности, для человека проект – это его генетический код. Заметим, что с формально-математической точки зрения проект – это исходные, включая начальные, данные задачи мониторинга» [Панченков, 1999].

<sup>11</sup> Под «структурами-аттракторами» в синергетике понимаются «...такие реальные структуры в открытых нелинейных средах, на которые выходят процессы эволюции в этих средах в результате затухания в них переходных процессов» [Князева и др., 1992].

<sup>12</sup> Согласно Принципу неопределенности «...характеризующие физическую систему т.н. дополнительные физические величины (например, координаты и импульс) не могут одновременно принимать точные значения» [Садбери, 1989].

<sup>13</sup> «...невозможно указать ни одной физической системы, имеющей независимое существование отдельно от наблюдателя», «...возникновение неустранимой неопределенности из-за влияния наблюдателя на наблюдаемый объект» [Философский..., 1987], [Садбери, 1989].

преследуемого человеком «идеала», то любые частные решения и промежуточные шаги, ведущие к ее достижению, можно рассматривать в виде следующей процедуры (оценка любого возможного состояния систем класса «природа-общество», или решение задачи управления на высшем – «глобальном» – уровне):

$$R_t(S) = (\{H_n(S, \Omega, t = 0)\} \xrightarrow{opt} \{H_{sa}(S, \Omega_0, \Gamma, T)\}), \quad (2)$$

где:  $R_t(S)$  – управляющее решение в ситуации  $S$ , или оценка качества состояния системы «природа-общество» на каждом шаге возможного перехода от исходной ( $t = 0$ ) структуры к планируемой структуре-аттрактору;  $t$  – время,  $t \in T$ ;  $n$  – варианты решения (перехода; его схема и полное описание представлены в [Турков, 2003] и др. работах);

$\{H_n(S, \Omega, t = 0)\}$  – функция выигрыша по вариантам перехода;  $\Omega$  – фазовое пространство среды;

$\{H_{sa}(S, \Omega_0, \Gamma, T)\}$  – планируемая структура-аттрактор ( $F$  в (1)) для глобального критерия оптимизации управления;  $\Omega_0 \in \Omega$ ;  $\Gamma$  – новое фазовое пространство среды.

Для практики локального и регионального уровней управления природопользованием особый интерес представляет исследование функции выигрыша ( $f$  в модели 1 и  $H$  в модели 2). Исходя из основного механизма функционирования и развития сложно организованных природных и социальных систем – конфликт в условиях неопределенности, – эти функции могут быть определены путем использования теоретико-игровых методов моделирования. Например, они могут быть рассчитаны на основе исследования специальных теоретико-игровых (антагонистических) моделей управления РП (или процедуры поиска сложного оптимума возможных и теоретически допустимых вариантов развития (динамики) «пятна» процесса природопользования всех – локальный, региональный, глобальный – уровней управления) [Косых и др., 2008].

С позиций методологии и теории управления сложно организованными системами класса «природа-общество» важное значение имеет процесс разработки специальных схем перехода любой реальной системы к будущей (прогнозируемой) структуре-аттрактору. Их суть заключается в возможности методического представления и визуальной (в рамках ГИС-технологий) оценки вероятности достижения такими системами «области притяжения» будущей структуры-аттрактора, или, что также возможно, ее способности реализации процесса «скачивания» в «область притяжения» предыдущей структуры-аттрактора. Одна из используемых нами теоретических схем подобного перехода представлена на Рис. 2. [Турков, 2003], [Полумиенко и др., 2008].

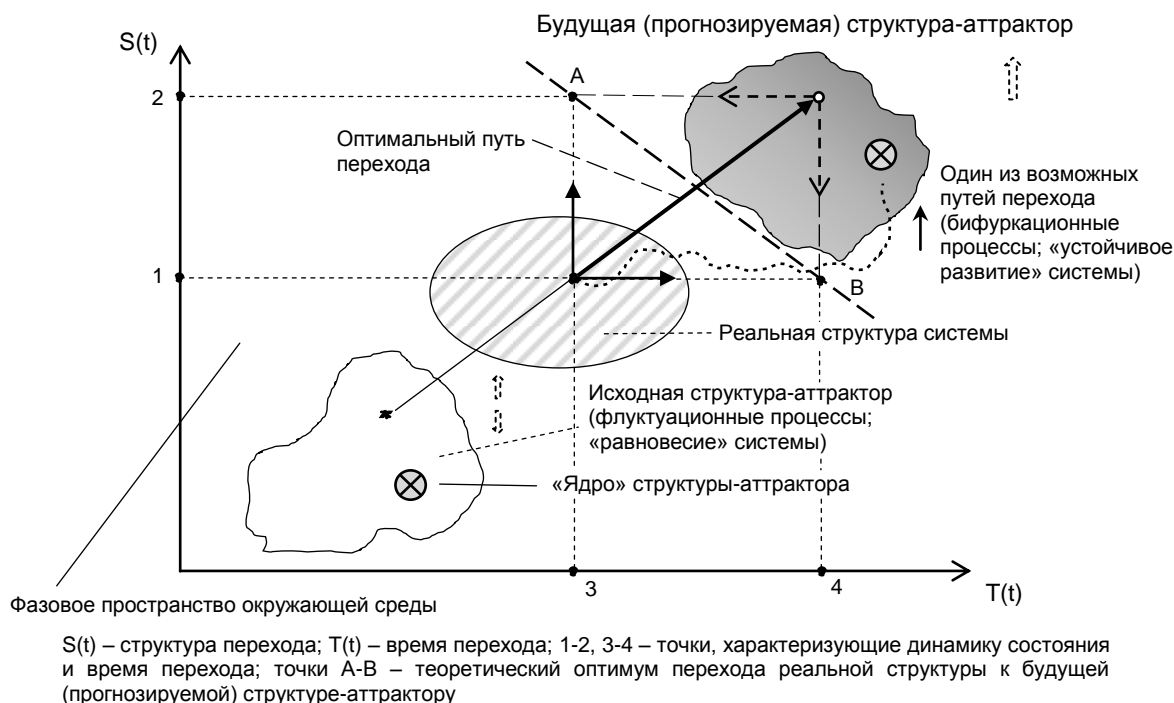


Рис. 2. Схема возможного перехода реальной системы класса «природа-общество» к прогнозируемой структуре-аттрактору

В процессе разработки этой схемы, ее системного анализа и синтеза, а также при проведении оптимизационных расчетов по вариантам развития систем класса «природа-общество», их проверки и оценки результатов полученных оптимизационных решений, нами были использованы следующие теоретические дополнения (они относятся к основным принципам и критериям системного мышления, важнейшим

свойствам активных систем (по [Капра, 1991], которым ранее было введено 14 таких свойств); о них подробнее, см. Приложение 1 в работе [Турков, 2003]).

15. «Информационная сложность». Изучение активных систем исходя из общности ее информационного состояния, определяемого единством ее структуры и динамикой происходящих в ней процессов. В активных системах каждая новая структура характеризуется новыми процессами и информационным потоком, который не сводится к простому его изменению за счет вновь приобретаемых или теряемых функций системы. 16. «Фактор времени». Системное управление предусматривает достижение структур-аттракторов; при этом время не является исходным входным параметром, – оно определяется в процессе оптимизации структуры перехода активной системы от одного состояния к другому. Время вторично по отношению к структуре перехода.

Их практический смысл сводится к следующим теоретическим выводам и положениям. Во-первых, системному исследованию в рамках КУР должны подлежать только два реальных состояния таких систем: «равновесие»  $\Leftrightarrow$  «устойчивое развитие» (далее это цикл повторяется); причем разница этих состояний заключается, прежде всего, в принципиальных изменениях материальных (организационных) структур между прошлыми и будущими системами (они определяются состояниями «ядер» структур-аттракторов). Во-вторых, при любых внешних условиях возможного развития при управлении ими достаточно правильно определить предпочтительные направления их движения в «область притяжения» прошлых или будущих структур-аттракторов. То есть, вполне разумно применить давно известные методы «индикативного планирования», которые сводятся не к расчету точных показателей развития таких систем, а к выявлению предпочтительных, – с позиций лица, принимающего решение (ЛПР), – стратегий их будущего развития. При этом эффективность таких действий в первом случае будет заключаться в возможно более полном использовании потенциальных ресурсов исходной системы, а во втором – в новых ресурсах и материальных возможностях уже будущей (прогнозируемой) системы. В-третьих, все действия ЛПР ограничиваются временем и материальными затратами на поиск им оптимальных управляющих решений (они определяются и характеризуются информационной сложностью самого процесса управления подобными системами).

**Информационное моделирование стратегий устойчивого развития.** Сегодня под термином «Устойчивое развитие» (УР) понимается процесс изменений, в котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений [The United..., 2013]. Существуют и другие формулировки (всего их более десятка). Например, Всемирный банк определяет УР как управление совокупным капиталом общества в интересах сохранения и приумножения человеческих возможностей, а в законодательстве Российской Федерации оно определяется как гармоничное развитие производства, социальной сферы, населения и природной среды [О концепции... Указ Президента РФ... №440, 1996], [Полумиенко и др., 2008].

Хотя УР в качестве концепции мирового развития признана научным сообществом, но до сих пор не совсем понятно, как достичь этой цели или оценить степень приближения в ней. Кроме того, теоретически далеко не ясно, как дифференцировать и, далее, интегрировать исходные объекты исследования при выделении ее четко выраженных практических целей. Известно, что международные принципы УР содержат только целевые установки на выполнение определенных действий и не предлагают конкретных моделей для ее обеспечения; поэтому выбор стратегии такого развития является сложной фундаментальной задачей, решение которой требует нетривиальных подходов на государственном и региональном уровнях. Не случайно в развитых странах появились собственные концепции УР; в большинстве своем они направлены на реализацию экономических, социальных и экологических целей. Иначе говоря, УР представляет собой некоторый процесс достижения этих трех сбалансированных целей<sup>14</sup>. Эта ее триединая основа создает трудности при выделении четких экономических, экологических и социальных составляющих процесса развития территорий разных уровней организации [Virtual..., 2013]. Например, проблема справедливого распределения ресурсов лежит на пересечении социальных и экологических факторов УР, проблема создания экологически чистых производств – на пересечении экономической и экологической составляющих и т.п. (Рис. 3).

Данная схема представляет собой хотя и не совсем системную, но классическую интерпретацию процедуры анализа (в рамках старой парадигмы!) состояния и структуры методологических проблем УР; однако она лишена каких-либо теоретических (информационных) и системных объяснений сути и динамики этих процессов. Например, с позиций новой парадигмы (см. предыдущий раздел доклада) она должна быть дополнена следующими, методически важными, теоретическими пояснениями.

Во-первых, в ней четко выделяются три исходных блока, определяющих теоретическую основу исходного объекта исследования, которыми ограничивается информационная область (в рамках метазнаний геоэкологии) подлежащих будущему изучению научных проблем УР: сложно организованная система

<sup>14</sup> В качестве примера, представляющего собой методологическую основу данного положения, здесь следует напомнить единственное из известных сегодня функциональное определение термина «ноосфера», предложенное П.Т. де Шарденом: «*Ноосфера стремится стать единой замкнутой системой, где каждый элемент в отдельности видит, чувствует, желает, страдает так же, как и все другие, и одновременно с ним*» [Шарден, 1987].

«экономика – население – природа» (ЭНП). Во-вторых, если графически выделить центры этих блоков (условно, это точки 2-3-4), то в общем виде сам процесс УР в целом может быть сведен к процедуре их движения в направлении возможно большего смещения к центру рисунка, т.е. к его незаштрихованной области (на Рис. 3 он нами обозначен стрелками, указывающими (с позиций ЛПР) динамику «желательного движения» его теоретической мысли, или, как это было определено ранее (см. формулы: (1), (2)), технологию поиска сложного оптимума). В-третьих, если ЛПР на этой схеме обозначить как точку 1, а точки 2-3 и расположенную между ними дугу, а также всю темную область одного из направлений развития УР («Пригодный для жилья мир») принять в виде информационного пространства всех теоретически возможных (в условиях неопределенности) его действий, то все они могут рассматриваться как сложные вероятностные события<sup>15</sup>. Тогда весь процесс оптимального управления такой системой, а также возможные его результаты, теоретически должны находиться внутри замкнутой области, ограниченной тремя дугами и точками 2-3-4. Подобным образом сегодня можно технологически и в динамике представить весь процесс оптимизационных расчетов, связанных с научными и практическими проблемами КУР. Более того, эта процедура в целом определяет и выбор основных методов и методик ситуационного управления системами класса ЭНП (теоретико-игровое моделирование, известные еще с конца 60-х гг. прошлого века (Франция) методы «индикативного планирования», предпочтительное исследование в качестве результатов допустимого решения некоторого множества (или, по С.П. Курдюмову, «пятна» процесса природопользования [Князева и др., 1992]), или возможных вариантов развития исходных объектов управления, использовать концепцию неогеографии (растровое представление данных и знаний) и методы виртуального информационного моделирования [Turner, 2006], [Косых и др., 2008] и т.д.

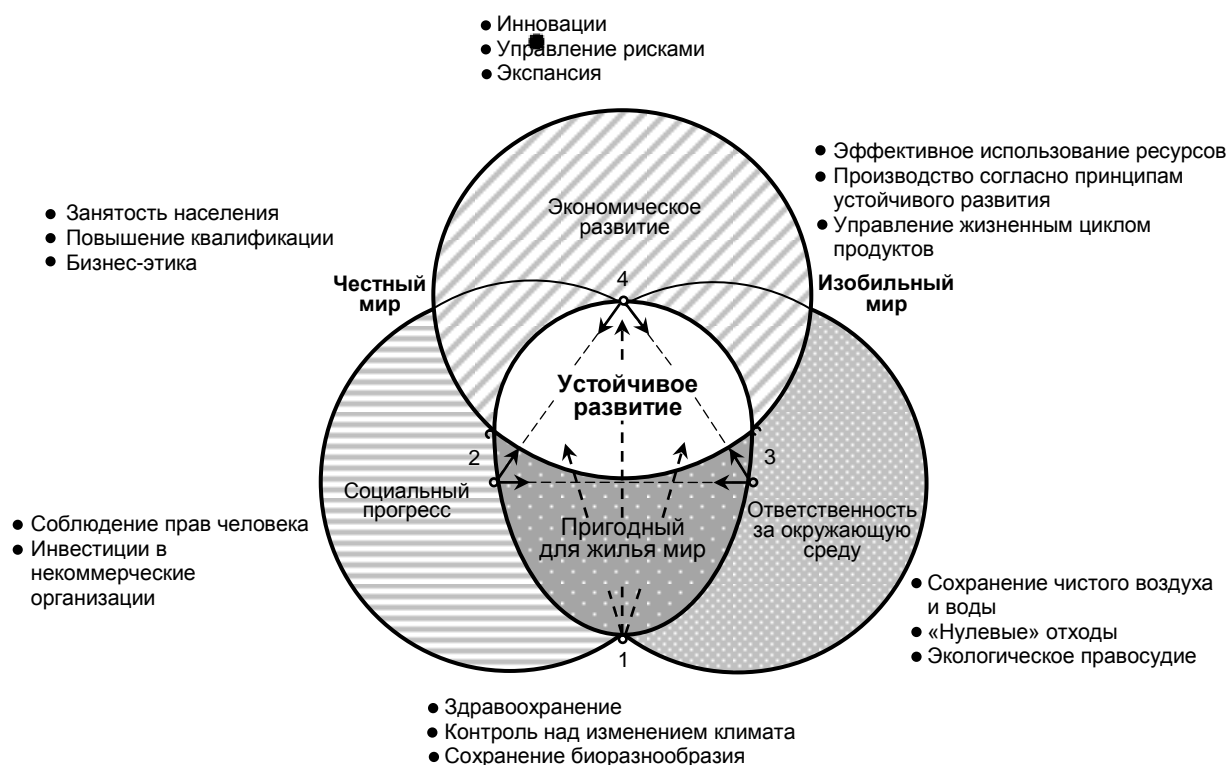


Рис. 3. Структура составляющих устойчивого развития (по материалам [Virtual..., 2013])

Сложность нахождения оптимального баланса совместной эволюции всех элементов системы ЭНП на математическом уровне привела к тому, что в большинстве исследований практически отсутствуют эффективные модели поиска и расчета стратегий сбалансированного развития; обычно в них превалирует экологическая составляющая. В подтверждение этого достаточно вспомнить количество появившихся за последние годы «зеленых» товаров, технологий и т.п.; подобные «зеленые» средства зачастую не имеют ничего общего со сбалансированным развитием, не отражают эволюцию определенного региона и, тем более, целой страны. Они, как правило, направлены на достижение более узких производственно-коммерческих целей. Также отметим, что это не является их недостатком, а лишь подчеркивает необходимость создания средств нахождения направлений сбалансированного развития на региональном и национальном уровнях.

<sup>15</sup> На Рис. 3 «двойственность» положений точек 2-3 методически означает теоретически допустимое отклонение импульса возможных действий ЛПР в условиях неопределенности.

Хотя, с одной стороны, доминирование экологической составляющей позволяет найти частичное решение задачи нахождения устойчивости – сохраняя окружающую среду, мы тем самым обеспечиваем будущим поколениям ее текущее состояние, – но, с другой, оно не решает проблемы сбалансированного развития. Всем нам хорошо известно, что нынешнее поколение нуждается в рабочих местах, надлежащем уровне благосостояния, которые раньше или позже перестанут быть достижимыми за счет замораживания ресурсов, переноса производств в отдаленные от некоторого социума регионы и т.д. Кроме того, возможные последующие экологические, институциональные и экономические изменения в любом случае потребуют решения исходной проблемы сбалансированного развития. Все это и послужило причиной для нашего исследования в определенном смысле новых средств нахождения стратегий сбалансированного развития систем класса ЭНП. Заметим, что подобная задача и ранее решалась в теории и практике функционирования и развития сложных систем, имитационного и теоретико-игрового (информационного) моделирования, в исследованиях моделей и методов разработки отдельных аспектов УР. Новизна непосредственно предлагаемого в настоящем докладе подхода заключается в *дополнении теоретико-игровых моделей информационными расширениями в описании поведения системы за счет использования принципиально более развитых методов индикативного анализа*, получившего в последнее время широкое распространение.

Развитие информационных технологий позволяет отчасти снизить уровень угнетения природы, создав технологии, позволяющие добиться в экономическом секторе необходимой производительности в сочетании с меньшим отрицательным воздействием на природу. Но, с другой стороны, рост населения, энергопотребления и другие факторы все же не позволяют говорить об оптимальной взаимной эволюции производства, потребностей населения и состояния природы, которое далее предлагается формулировать как сбалансированное оптимальное развитие. В настоящее время, в результате развития информационного общества, в теории и практике исследования сложных экономических и социальных процессов получили распространение системы индикативного анализа, широко используемые ООН, Организацией экономического сотрудничества и развития, Всемирным банком, Международным союзом электросвязи и т.д. [Словари..., 2013], [The United..., 2013]. Их общим достоинством является тот факт, что системы индексов, построенные на совокупностях агрегируемых элементарных индикаторов, позволяют оценивать, как отдельные компоненты информационно-технологической инфраструктуры стран и отдельных регионов, так и общий уровень развития информационного общества [Згуровский, 2006], [Полумиенко и др., 2011], [Hardi, 1995], [Kragne & oth., 2005].

В математическом смысле далее под оптимальностью будем понимать оптимальность по Парето [Полумиенко и др., 2008], [Словари..., 2013], заключающуюся не в ухудшении состояния одного из игроков стратегиями других игроков, участвующих в некоторой общей игре, посредством чего станем описывать систему ЭНП. Тогда, если в качестве (фиктивных) игроков рассматривать элементы этой системы, то оптимальная ситуация, описываемая набором выполняемых ими стратегий [Полумиенко, 1991], [Полумиенко и др. 2011], будет заключаться в том, что все игроки не разрушают своим поведением возможные состояния других игроков. Следует полагать, что первый игрок – «экономика» – преследует свои интересы в получении стабильных максимальных доходов, которые зависят от внутреннего и внешнего рынков, включая рынки необходимых ресурсов, в т.ч. трудовых и природных. Стратегии первого игрока, направленные на достижение его интересов, заключаются тогда в производственно-коммерческой деятельности. Население, или второй в принятой модели игрок, также стремится к реализации своих интересов, которые, помимо получаемых доходов или уровня благосостояния, характеризуются безопасностью, комфортом проживания, наличием продуктов питания, охраны здоровья и т.д. Стратегиями населения будем считать воспитание, обучение, работу, досуг и т.д. Природе, как третьему игроку, в качестве интересов можно противопоставить улучшение или сохранение состояния биогеоценоза под воздействием стратегий остальных двух игроков, т.е. реакцию на их поведение, состоящую в разрушении или восстановлении элементов биогеоценоза. С целью упрощения исходной модели и методов расчета можно полагать, что без воздействия внешних игроков окружающая среда имеет только восстановительные стратегии [Полумиенко и др., 2008].

Совокупность стратегий, выполненная игроками в определенный момент времени, образует ситуацию, которая и является характеристикой состояния всей системы. Тогда сбалансированное оптимальное развитие как раз и есть последовательность оптимальных ситуаций, образующихся за определенный период игры. Оптимальной будет ситуация, в которой игроки удовлетворены реализацией своих исходных интересов – полученными выигрышами. Для их оценки можно использовать различные функции, отношения, предпочтения игроков и т.д. Поскольку (в условиях ограничений по времени и ресурсам) в подавляющем большинстве случаев увеличение выигрыша одного из игроков ведет к уменьшению выигрыша какого-либо другого, оптимальная ситуация реализуется как компромиссное сочетание получаемых игроками выигрышей – это размер доходов, уровень благосостояния, состояние окружающей среды. Специально отметим, что реализация именно такого компромисса как раз и выполняется государством; отсюда его оптимальная стратегия, таким образом, и будет стратегией сбалансированного оптимального развития.

Построению и анализу подобных игр (точнее, теоретико-игровых моделей) посвящены целые разделы теории игр, прежде всего, кооперативная теория, лежащая в основе рыночной экономики. Описанная модель в виде многоуровневой коалиционной игры рассматривалась, в частности, в работах [Полумиенко, 1991], [Полумиенко и др., 2008], [Полумиенко и др., 2011]. Сложность этой и многих иных моделей упирается в проблемы алгоритмической разрешимости задач нахождения оптимальных стратегий, построения и

интерпретации функции выигрыша [Там же]. Также значительную сложность создает объем данных, необходимых для описания и анализа информационной модели системы, значительно увеличиваемый условиями неопределенности и противоречивости образующихся ситуаций. В совокупности это практически сводит на «нет» возможность непосредственного полноценного анализа и выбора оптимальной стратегии. Кризис в построении моделей устойчивого развития отмечается многими экспертами [Згуровский, 2006], [Hardi, 1995].

В целом отличие предлагаемого нами подхода состоит в том, что оценка процессов УР выполняется не в результате каких-либо операций с индексами, а как *нахождение значения функций выигрыша, сопоставленных им игрокам*. Тем самым, интересы игрока заключаются в увеличении соответствующего ему индекса, а оптимальная ситуация реализуется как некоторый набор их значений. В действительности, с учетом многообразия индикаторов, обобщаемых одним индексом, а также динамики их взаимосвязей, предполагается исследование стратегий коалиций игроков нижнего уровня (индикаторов), подчиненных каждому из игроков верхнего уровня (индексов). В результате вместо игры трех лиц «экономика – население – природа», курируемой игроком высшего уровня – государством, переходим к иерархической коалиционной игре многих лиц, в которой помимо внутренней коалиционной структуры, имеется и выделенная структура трех игроков верхнего уровня. Выигрыш этих игроков может рассматриваться как сумма выигрышей входящих в коалицию игроков, получаемых в результате розыгрыша (партии) игры нижнего уровня и нахождения соответствующей ей оптимальной ситуации. Такой подход позволяет перейти от обработки значительных объемов данных, характеризующих с помощью элементарных индикаторов текущее состояние и возможное поведение всей эколого-экономической системы, к агрегированным оценкам, что существенно снижает выборки, а также облегчает интерпретацию получаемых результатов.

**ГИС-технологии и СПР.** Одним из основных направлений развития современных ГИС-технологий в сфере природопользования глобального, регионального (РП) и локального уровней является разработка высокоинтеллектуальных систем планирования (поддержки) принятия управляющих решений (СПР). Исходя из экономических соображений, технологически они должны создаваться в виде резидентных (независимых) надстроек над уже имеющимися ГИСами. При этом главным конструктивным элементом (или интеллектуальным «ядром») их архитектуры, которым будет определяться качество их работы в связке с ГИСами, должны стать метазнания наук о Земле, включающие в себя геоинформационное знание (данные, знания, модели, теории и метатеории естественно-научного, географического, экологического и социально-экономического содержания). Другое важное направление использования метазнаний – интеллектуальная и технологическая поддержка реализации в РФ ранее заявленной [О концепции... Указ Президента РФ... №440, 1996] Концепции устойчивого развития (Sustainable Development), а также в образовательном процессе в высшей школе при подготовке и переподготовке кадров.

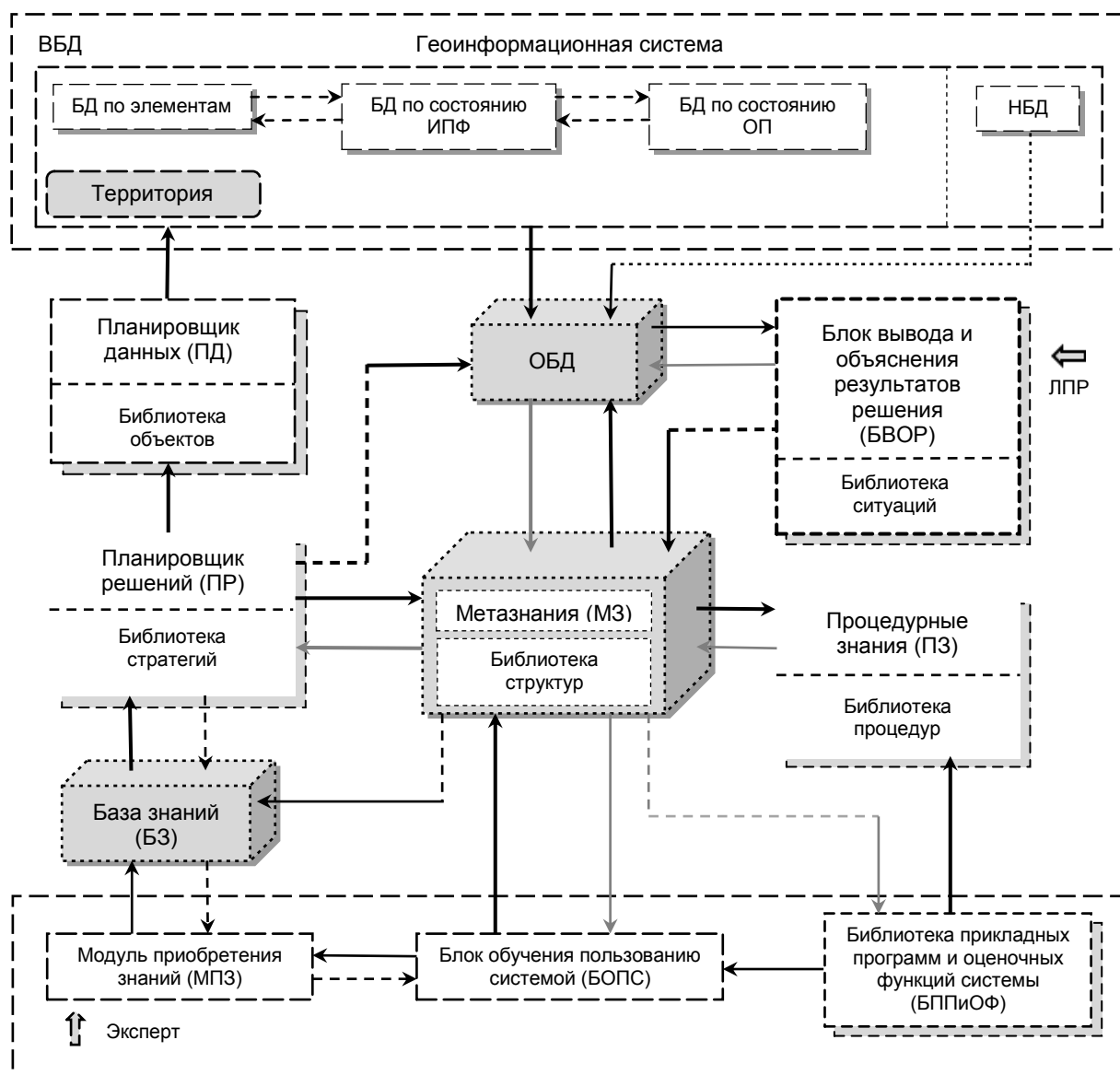
В комплексе научных проблем, связанных с организацией управления РП, особое место занимает процесс разработки архитектуры СПР. Хотя многие основные идеи интеллектуального решения задач управления могут быть реализованы самыми разными способами, в последнее время все большее внимание уделяется научно обоснованному и логически строгому построению архитектуры СПР, принципам и способам ее разработки. Это связано с естественными попытками увеличить интеллектуальную мощность будущих систем управления, в т.ч. ГИС и ГРИД-технологий, а также с повышением эффективности их работы.

Термин «архитектура» относится к научным основам и методам проектирования, которые определяют всю основную структуру будущих СПР. Основная цель разработки архитектуры – обеспечение наилучшего качества интеллектуального решения будущих задач. Поскольку для достижения высокого качества архитектуры системы в принципе необходимо экспериментирование, ее разработка и развитие обычно проводятся постепенно. Поэтому этап разработки архитектуры чаще всего четко не выделяется как отдельная технологическая операция и начинает реализовываться уже на этапах идентификации и концептуализации системы. До настоящего времени при разработке архитектур экспертных систем (ЭС) в качестве основного использовался метод анализа предметной и задачной подобластей (ППО и ЗПО). При этом в качестве основы принималась типичная архитектура динамической ЭС, которая затем нагружалась структурой и параметрами этих подобластей. Аналогичный подход используется и при инициализации пустых ЭС («оболочек», Shell). В дальнейшем возможны некоторые непринципиальные уточнения архитектуры ЭС.

Как показывает проведенный (по материалам «Инфоэксис» [Информационная..., 1988]) анализ, такой подход не может быть в полной мере использован при разработке СПР, поскольку последние являются, по существу, новым классом интеллектуальных систем принятия управляющих решений. Поэтому при разработке их архитектуры нами предлагается следующая технология. 1). Четкое определение цели и задач будущей СПР, которые характеризуются единством методологии и теории принятия решений, объектной, предметной и задачной подобластей (алгоритм метазнаний в последовательной схеме представления объекта, предмета и методов исследования). 2). Функциональное выделение независимых (резидентных) и основных частей системы, чем будет обеспечиваться возможность последующего логического и информационного ее расширения. 3). Определение информационной концепции разработки СПР и ее архитектуры (каким способом, где и как именно будет происходить окончательная обработка данных и знаний для получения логически непротиворечивых решений). 4). Определение совокупности (набора) необходимых прикладных программ и оценочных функций, которые покрывают всю проблемную и задачную подобласть СПР. Исходя

из этих основных положений, в исследовании была разработана общая (типовая) архитектура такой системы, которая представлена на Рис. 4. Также отметим, что аналогичная архитектура в принципе может быть использована и для других предметных областей, например, для создания СПР в сфере управления экономическими и социальными программами развития регионов.

Архитектура СПР во многом зависит от ППО, для которой создается система, и от принятой методологии решения задач. Однако в любом случае, если мы хотим иметь достаточно мощную и интеллектуальную систему, необходимо включить в архитектуру как минимум те основные блоки, которые определяют состав ЭС и СПР. В целом в ее архитектуре можно выделить две части: резидентные и основная часть системы (на Рис. 4 первые из них выделены пунктиром). Резидентная часть представляет собой набор отдельных блоков, которые являются внешними по отношению к системе в целом и предназначены для выполнения специальных, обеспечивающих и поддерживающих функций. Для нашей ППО сюда могут быть включены следующие блоки: внешний банк данных (ВБД), определяющий функции геоинформационной системы, с собственной СУБД; блок (или модуль) приобретения знаний; блок прикладных программ и оценочных функций; блок обучения пользованию системой с примерами работы с БЗ. В целом данные и знания представляют собой общее информационное обеспечение системы. Здесь следует отметить лишь два принципиальных момента: 1) наличие в структуре ВБД нормативного банка данных (НБД); 2) связь данных в ВБД в разрезе территориальных таксономических единиц.



Обозначения: ВБД – внешний банк данных; НБД – нормативный банк данных; ОБД – оперативный банк данных; ИПФ – БД интерпретации физических полей (гравитационных, электромагнитных, ядерных, сильные и слабые взаимодействия; информационных); ОП – БД обеспечивающих подсистем (земля, вода, атмосфера, солнечная радиация); ЛПР – лицо, принимающее управленческие решения.

Рис. 4. Архитектура системы планирования принятия решений в сфере управления региональным природопользованием

Модуль приобретения знаний (МПЗ) представляет собой резидентную программу, основной функцией которой является процесс генерации знаний эксперта в систему логически непротиворечивых правил для какой-либо определенной ППО; их редактирование, тестирование и проверка на достоверность. Работа с этим модулем осуществляется, как правило, тогда, когда СПР существует в виде некоторой пустой оболочки, в которой представлены описание ППО и метазнания системы, но отсутствуют сгенерированная БЗ, подсистема логического вывода и модуль отображения объяснений решений. Другой случай – это редактирование и расширение уже имеющейся БЗ. В принципе могут быть предложены различные конструктивные и технологические решения в области функционирования МПЗ, однако в самом общем виде они сводятся к следующим процедурам. Прежде всего, МПЗ осуществляется фиксация эксперта или экспертов как источника знаний. Данные здесь могут быть самые разнообразные: дата работы, фамилия и инициалы, специальность, звание, стаж работы, конкретная область деятельности и т. п. Естественно, что несанкционированный доступ к операциям создания и редактирования БЗ должен быть специальным образом защищен. Система также определяет, нужно или нет подключение блока обучения для данного эксперта с тем, чтобы познакомить его с общей структурой СПР, ППО и метазнаниями, прикладными программами и оценочными функциями, имеющимися в системе. Здесь же на контрольном примере в виде специального тезауруса может быть проведено обучение эксперта основным принципам формулирования и записи знаний в БЗ; особое внимание должно быть обращено на возможные способы организации знаний в БЗ (фреймовые структуры и продукционные правила), поскольку именно степень их соответствия данной ППО и знаниям, а также их организации будет в дальнейшем существенно влиять на эффективность (скорость) работы системы.

Блок (или библиотека) прикладных программ и оценочных функций (БППиОФ) является независимой по отношению к СПР частью системы. В него могут быть включены все прикладные пакеты и программы, необходимые для реализации специализированных методов решения задач, например, задач линейного программирования, статистических функций, методов оптимизации и т. п. Оценочные функции предназначены для оценки достоверности результатов решения, тестирования БЗ, оценки эффективности работы системы и др. Блок обучения пользованию системой (БОПС), помимо указанной ранее функции обучения эксперта, предназначен также для знакомства и обучения пользователя с системой. Общее знакомство обычно осуществляется путем прогона некоторого обучающего ролика на экране монитора с разбором какой-либо типовой задачи, по которой принимается решение. Более подробно обучение пользователя проводится путем объяснения действия отдельных модулей системы, метазнаний и структур, методов представления знаний, ППО и других важнейших технологических аспектов работы СПР.

Ядром СПР и основной ее части является подсистема логического вывода, куда входят БЗ, метазнания, планировщики решений и данных, процедурные знания и соответствующие библиотеки – структур, стратегий, объектов и процедур. Следует отметить, что такая структура подсистемы логического вывода и построение модуля отображения и объяснения решений (блок вывода результатов и библиотека ситуаций) приняты потому, что в основу методологии принятия решений по управлению природопользованием положены теоретико-игровые методы. Также необходимо отметить, что четко отделить функции каждого блока подсистемы логического вывода достаточно сложно, поскольку они могут в известной степени повторяться.

Центральным блоком подсистемы логического вывода, организующим всю работу системы, является комплекс модулей метазнаний (МЗ). Технологически все модули МЗ можно разделить на две группы: 1) обеспечивающие знакомство и обучение пользованию системой; 2) обеспечивающие выполнение основных функций системы. Первая группа модулей позволяет пользователю получить все необходимые сведения: о назначении системы и ее структуре с подробным описанием каждого блока системы; о ППО и ЗПО системы; о своей работе, схеме и логике рассуждения и принятия решений; о структуре построения БЗ, способах их приобретения и представления; о библиотеке прикладных программ и оценочных функций. Основные функции СПР реализуются группой модулей МЗ через подключение библиотеки структур. Библиотека структур представляет собой программный комплекс высшего уровня, в котором все структурные представления системы о предметной и задачной областях, БЗ и выполняемых процедурах изложены и объяснены в виде логически связанных языковых элементов. Наилучшая форма представления знаний в библиотеке структур – фреймы, поскольку здесь требуется большая степень их вложенности. Например, знания о ПО должны включать представления обо всех элементах ВБД, причем логически правильно организованных. При формировании или пополнении БЗ посредством модуля их приобретения (МПЗ) МЗ контролируют правильность и непротиворечивость представления знаний, позволяют вычеркивать лишние правила и устанавливать очередность их выполнения и другие необходимые операции. Для облегчения ввода в систему новых знаний возможно использование метода демонстрации основных конструкций знаний аналогичного типа.

Планировщик данных (ПД) представляет собой специальную программу, которая обеспечивает соответствие конкретного территориального объекта с принятой логической структурой ОБД. Все возможные состояния объектов представлены в библиотеке объектов. Однако ПД имеет и специализированную функцию: он обеспечивает таксономический пересчет данных ВБД в соответствии с постановкой задачи и дальнейшее заполнение ОБД необходимыми данными. В модуле ПЗ конфликтный

набор знаний анализируется с точки зрения различных процедур их выполнения, на основании чего осуществляется пересчет данных в ОБД. Результаты решения задачи попадают в блок вывода и объяснения результатов решения (БВОР). Здесь они анализируются с точки зрения их принадлежности или близости к определенным ситуациям, представленным в специальной библиотеке. Этим же блоком осуществляется взаимодействие пользователя с системой посредством специализированного интерфейса «ввода-вывода»; кроме того, существенной функцией данного блока является объяснение результатов решений.

В заключение этого раздела доклада уместно перечислить некоторые конкретные практические результаты исследований, которые методологически и теоретически непосредственно связаны с его темой (некоторые из них в разные годы докладывались на Международных конференциях «ИнтерКарто/ИнтерГИС»). Так, в здесь не представленном разделе темы «Методы и модели управления» разработаны перспективные направления развития методов принятия решений в геоэкологии и в приложении к процессам УР эколого-экономических систем, а также решены ряд практических задач управления системами класса «природа-общество» [Полумиенко и др., 2008], [Турков, 2009а], [Турков, 2010]. Выявлен и сформулирован конфликт в данных системах, разработаны дескриптивный (описательный), конструктивный (модель управления) и нормативный (оптимальность управления) аспекты постановки и решения задач управления РП (математический аппарат теории игр), в общем виде сформулированы и описаны глобальный и локальный критерии оптимизации природопользования. В терминах синергетики определены и сформулированы пять классов задач управления (интерпретации, диагностики и мониторинга, планирования и реконструкции, прогноза, ситуационного управления). Методами теоретико-игрового моделирования доказана сформулированная акад. Баклановым П.Я. в 2011 г. «Теорема об экономическом районировании» [Бакланов, 2011], которая предполагает нахождение оптимальной границы между двумя смежными экономическими районами [Турков, 2012]. Разработаны концепция неогеографии (в приложении к ГИС-технологиям и медико-экологическим исследованиям, ВЦ ДВО РАН, 2008 г.) и на ее основе некоторые виртуальные информационные модели растрового представления данных и знаний в геоэкологии [Косых и др., 2008; 2009]. В качестве методического и практического итога всех исследований по проблеме УР территорий логически обоснована и доказана необходимость перехода на новый – геосистемный – уровень в текущей практике управления государственным и РП.

**Заключение.** Сегодня КУР по факту не отражена в общественных, социальных, культурных и других нормах. Даже такие простые вещи, как создание условий комфортной жизни не только для себя, а и для окружающих, что является научной основой ноосферогенеза, удалось реализовать лишь отдельным сообществам и нациям. Существующий дисбаланс распределения доходов тоже не отвечает основам УР, но, тем не менее, отвечает интересам владельцев сверхприбылей. Во многих случаях принятые нормы не реализуют распределение доходов, которое соответствовало бы объему работы, квалификации и достигнутой общественной пользе. КУР, предусматривая переход от максимальной к «устойчивой» прибыли, противоречит интересам развитых стран и транснациональных корпораций, которые находятся вне границ национального контроля. В целом, концепция постоянного развития противоречит истории цивилизации, традиционной экономике, основным мотивом которой является постоянное обогащение. Сегодня общество живет и руководствуется другими нормами.

Реализация цели устойчивого социального развития, которая является ключевой составляющей общей проблемы постоянного развития, не имеет исторических примеров и требует коренных изменений в жизнедеятельности всех стран и народов. Развитие информационного общества только усиливает эту проблему, предоставляя новые факты и способы отхода от принципов устойчивости. Отдельные критерии устойчивости социального развития напоминают социалистические нормы, но вместе с социальными выделяются факторы экологического и экономического плана. Устойчивое социальное развитие не предусматривает ограничений свободы человека, а направление его интересов на общие цели, определенные ООН. Таким образом, *главное отличие предлагаемой и обсуждаемой здесь целевой функции КУР – создание общих цивилизационных норм и правил сбалансированного развития с целью сохранения цивилизации*, а не реализации во многом меркантильных целей различных социальных и экономических групп, партий или отдельных лиц.

Медленные движения в направлении устойчивого развития является отображением интересов верхушки общества и обычных интересов населения, поскольку оно, само по себе, противоречит идее неограниченного обогащения. Устойчивое развитие едва ли будет возможно без отказа главных мировых игроков от традиционных целей неограниченного увеличения богатства в пользу общих целей развития цивилизации. Реализация соответствующих стратегий требует кардинальных изменений во взаимоотношениях между государствами, обществами, социальными группами и сообществами. Без согласования таких интересов реализация сбалансированного постоянного развития выглядит не более, чем научная фантастика. Согласование национальных, групповых и индивидуальных интересов ведет к отсутствию конфликтов, направление технологического потенциала не на конфронтации, а на реализацию общего сбалансированного развития. Результат, который сам по себе, может стать главной целью КУР, рассматриваемой цивилизацией в качестве новой парадигмы и системы обустройства нашего будущего мира.

## Литература

- Артц У. Кроличья нора, или Что мы знаем о себе и Вселенной / У. Артц, Б. Чейс, М. Висенте; [пер. с англ. А.Н. Степановой]. – М.: Эксмо, 2013. – 384 с.
- Бакланов П.Я. Теорема об экономическом районировании // Материалы XIX Сессии географов Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2011. С. 10-11.
- Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине: пер. с англ. / под ред. Г.Н. Поварова. М.: Сов. радио, 1968. 328 с.
- Згуровский М. Украина в глобальных измерениях устойчивого развития // «Зеркало недели», №19, 2006.
- Информационная система исследователя по экспертным системам и базам знаний / Стогний А.А., Брона И.И., Пасичник В.В., Проданюк Н.М., Ремже Т., Ухрин Б., Урбански Ф. РГ-26 КНВВТ. Автоматизация информационного обеспечения систем принятия решений. АН ВНР (МТА SZTAKI). Будапешт: 1988. 382 с.
- Капра Ф. Системное управление в 90-е годы / Проблемы теории и практики управления. 1991. №4. С. 5-9.
- Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным. / Вопр. философии. 1992. № 12. С. 3-20.
- Косых Н.Э., Лопатин А.С., Новикова О.Ю., Савин С.З. Геоинформационные системы в задачах медицинской экологии. Владивосток: Дальнаука, 2008. 152 с. + цв. вкл.
- Косых Н.Э., Савин С.З., Турков С.Л. Виртуальные информационные модели в неогеографии // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-14». Саратов, Урумчи (КНР), 24 июня – 1 июля 2008 г. Саратов: СГУ, 2008. Т. I. С. 28-32.
- Косых Н.Э., Савин С.З., Турков С.Л. Концепция неогеографии и ГИС-технологии // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-15». Пермь, Гент (Бельгия), 29 июня – 5 июля 2009 г. Пермь: ПГУ, 2009. Т. I. С. 253-266.
- Кочуров Б.И., Турков С.Л. Методологические аспекты концепции устойчивого развития // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-17». Барнаул, Денпасар (Индонезия), 14-19 декабря 2011 г. Барнаул: ИВЭП СО РАН. С. 141-152.
- Мезенцев С.А., Милашевич В.В., Иванова Т.П. К методологии природопользования. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 48 с.
- Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
- О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Указ Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. №440. Электронный фонд нормативных документов «Кодекс». [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.kodeks.ru/document/9017665>.
- Осипов В.И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты / Геоэкология. 1997, №1. С. 3-11.
- Панченков А.Н. Энтропия. Н. Новгород: Изд-во об-ва «Интелсервис», 1999. 592 с.
- Паспорта номенклатуры специальностей научных работников (науки о Земле). Минпромнауки и технологий РФ, ВАК РФ. М.: 2001. 82 с.
- Полуменко С.К. Deskриптивное моделирование эколого-экономических систем // Проблемы информатики города. К.: Наукова думка, 1991. С. 179-194.
- Полуменко С.К., Савин С.З., Турков С.Л. Информационные модели и методы принятия решений в региональных эколого-экономических системах. Владивосток: Дальнаука, 2008. 356 с.
- Полуменко С.К., Рыбаков Л.А., Гринченко Т.О. Под редакцией Долгого С.О. IT-проекция технологического развития Украины (на укр. языке). К.: Азимут-Украина, 2011. 184 с.
- Полуменко С.К., Рыбаков Л.А., Савин С.З., Турков С.Л. Информационное моделирование стратегий развития региона // Региональные проблемы. 2013. Том 16, №2. С. 99-101.
- Региональное природопользование: методы изучения, оценки, управления / П.Я. Бакланов, П.Ф. Бровко, Т.Ф. Воробьева и др.: Под ред. П.Я. Бакланова, В.П. Каракина: Учебн. пособ. М.: Логос, 2002. 160 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Россия молодая, 1994. 376 с.
- Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 488 с.
- Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. URL: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ\\_dict/21710](http://dic.academic.ru/dic.nsf/econ_dict/21710) (дата обращения: 12.07.2013).
- Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. Прохоров А.М. 4-е изд. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 1632 с.
- Современная философия. Словарь и хрестоматия. Ростов н/Д: Феникс, 1995. 511 с.
- Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. Географ. факультет МГУ, 2003. – 175 с.
- Тихоплав Т.С., Тихоплав В.Ю. Физика веры. – СПб.: ИД «Весь», 2002. 256 с.
- Турков С.Л. Основы теории управления региональным природопользованием. Владивосток: Дальнаука, 2003. 367 с.
- Турков С.Л. Теоретические проблемы концепции устойчивого развития территорий // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-13». Ханты-Мансийск, Йеллоунаф (Канада), 12 – 24 августа 2007 г. Ханты-Мансийск: НИЦП «Мониторинг», Т. I. С. 61-72.
- Турков С.Л. Алгоритм метазнаний геоэкологии // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-15». Пермь, Гент (Бельгия), 29 июня – 5 июля 2009 г. Пермь: ПГУ, Т. II. С. 468-479.
- Турков С.Л. Игры с природой: Препр. №136. Хабаровск: ВЦ ДВО РАН, 2009а. 19 с.
- Турков С.Л. Перспективные направления развития методов принятия решений в геоэкологии // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-16». Ростов-на Дону, Зальцбург (Австрия), 3 – 5 июля 2010 г. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН. С. 347-353.
- Турков С.Л. Теоретико-игровая интерпретация теоремы об экономическом районировании // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Матер. междунар. конф. «Интеркарто/ИнтерГИС-18». Смоленск, Сен-Дье-де-Вож (Франция), 24 июня – 4 июля 2012 г. Смоленск: СГУ. С. 448-461.
- Философский словарь. Под ред. И.Т. Фролова. 5-е изд. М.: Политиздат, 1987. 590 с.
- Хакен Г. Синергетика. Пер. с англ. / под ред. Ю.Л. Климонтовича, С.М. Осовца. М.: Мир, 1980. 404 с.

- Хейзинга Й. Homo ludens / Человек играющий / Пер. с нидерланд. Д. Сильвестрова. СПб: Изд. Дом «Азбука-классика», 2007. 384 с.
- Шарден П.Т. Феномен человека. М.: Наука, 1987. 378 с.
- Черкашин А.К. Закономерности формирования систем географических знаний как предмет исследования теоретической географии // Системы географических знаний. Матер. IV всеросс. научно-метод. конф. 17-19 ноября 2008 г., г. Иркутск. Иркутск: Изд-во ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2008. С. 8-11.
- Environmental aspects of the activities of transnational corporations: A survey. – N.Y.: United Nations, 1985. – 144 p.
- Hardi P., Pinter L. Models and methods of measuring sustainable development performance // International Institute for Sustainable Development, Canada, 1995.
- Kragne D., Glavic P. A model for integrated assessment of sustainable development // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 43, 2005. P. 189-208.
- The United Nations Website [Электронный ресурс]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/agenda21.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml) (дата обращения: 12.07.2013).
- Turner A. Introduction to Neogeography. 2006. <http://www.oreilly.com/catalog/neogeography>
- Virtual Laboratory Wiki [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wikia.com/finam.fm/archive-view/3026/> (дата обращения: 12.07.2013).

## СИСТЕМА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

*Г.С. Цытрон, Д.В. Матыченков, О.В. Матыченкова*  
*Институт почвоведения и агрохимии*  
*Минск, Республика Беларусь, 220108 Казинца 90, [soil@tut.by](mailto:soil@tut.by)*

## THE EXPERT SYSTEM OF RATIONAL SOILS USE OF BELARUS

*G.S. Tsytron, D.V. Matychenkov, O.V. Matychenkova*  
*Institute of Soil Science and Agrochemistry*  
*Minsk, Republic of Belarus, 220108 Kazintsa 90, [soil@tut.by](mailto:soil@tut.by)*

**Abstract.** The article considers the expert system of rational soils use of Belarus, created on the basis of software and information complexes for soil resources optimizing at the levels of separate enterprises and administrative areas. The developed informational components of this complex was present. The algorithms of their interaction to determine the soil suitability for growing agricultural specific crops and possible output forms for practical use of the results are developed.

**Введение.** Современные технологии сбора и обработки информации, требуемой для решения производственных и управленческих задач по оптимизации использования почвенных ресурсов Республики Беларусь, необходимы для динамического развития ее аграрного сектора. Система землепользования в стране должна соответствовать почвенно-ресурсному потенциалу ее земель с минимальным количеством различного рода затрат. Технология географических информационных систем (ГИС), инструментальные средства и подходы к получению, обработке, анализу и отображению данных, позволяют решать многие из этих задач. Создаваемая в республике система экспертной оценки рационального использования почв предполагает концентрирование в систематизированном виде накопленной информации о почвенном покрове и его компонентах, знаний и опыта по рациональному использованию почвенных ресурсов в сельскохозяйственном производстве [Матыченков, 2006, Цытрон, 2011].

Основным потребителем данной информации у нас в республике является сельское хозяйство, так как именно почвы представляют собой главное и пока единственное средство производства растениеводческой продукции. А поскольку в условиях интенсивного антропогенного воздействия на почвы происходит ускоренная трансформация их составов и свойств и, как следствие, уровня производительной способности, то при применении современных интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, возрастает необходимость в знании и умении использования информации о современном агроэкологическом состоянии почвенного покрова на разных уровнях землепользования.

Одной из возможностей применения накопленной информации о почвенных ресурсах страны является создание экспертных информационных систем для целей оптимизации их использования.

В настоящее время использование информационных технологий и, в частности, ГИС-технологий для поддержки принятия решений по управлению сельскохозяйственным производством в целях повышения его эффективности является приоритетным для органов государственного управления и выступает в качестве