

**ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**



УДК 910-911  
ББК 20.18+26.65+26.89

Издание подготовлено в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 31 на 2012–2014 гг. «Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал»

Научные редакторы: О.Б. Глезер, Т.Г. Рунова

*Утверждено к печати Учёным советом Института географии РАН*

Рецензенты:

В.Л. Бабурин – д-р геогр. наук, профессор, зав. кафедрой географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова  
Т.Е. Хромова – канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН

**Информатизация географических исследований и пространственное моделирование природных и социально-экономических систем.** М.: Товарищество научных изданий КМК. 2013. 330 с.

Книга подготовлена по материалам докладов, с которыми выступили участники XVI сессии Объединённого научного совета по фундаментальным географическим проблемам при МААН и Научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН, проходившей 17–19 сентября 2012 г. в г. Алуште (Украина). Представлены концепции информационного обеспечения географических исследований, обобщены результаты проводимых в России, Украине, Беларуси, Азербайджане, Армении научных работ, связанных с развитием информационных технологий в различных отраслях географии, созданием инфраструктур пространственных данных, моделированием природных и социально-экономических процессов на разных территориальных уровнях.

Книга ориентирована на географов, а также лиц, принимающих решения в сферах информатизации экономики и общества. Она будет полезна всем, кто интересуется ролью географической науки в обеспечении пространственной информацией для решения актуальных проблем современности.

**Informization of Geographical Studies and Spatial Modeling of Natural and Socio-Economic Systems.** Moscow: KMK Scientific Press. 2013. 330 p.

The book is prepared on the basis of reports presented on 16th session of the Joint Scientific Council on fundamental geographical problems of International Association of Academies of Sciences and Scientific Council on fundamental geographical problems of Russian Academies of Sciences held on September 17–19, 2012 in Alushta (Ukraine). Concepts of information support of geographic research are presented, the results of ongoing scientific work related to the development of information technology in various fields of geography, spatial data infrastructure, modeling of natural and socio-economic processes at different territorial levels in Russia, Ukraine, Belarus, Azerbaijan, and Armenia are summarized. It will be useful to anyone interested in the role of geography in providing spatial information for solving urgent contemporary problems.

ISBN 978-5-87317-924-4

© Институт географии РАН, 2013.

© Объединённый научный совет по фундаментальным географическим проблемам, 2013.

© Товарищество научных изданий КМК, издание, 2013.

## Содержание

Предисловие .....	3
<b>I. Современные концепции информационного обеспечения географических исследований</b>	
<b>Л.Г Руденко.</b> О новом этапе географических исследований, базирующемся на инфраструктуре пространственных данных .....	7
<b>П.Я. Бакланов.</b> Географические измерения: виды, шкалы, параметры .....	13
<b>Ю.Г. Пузаченко.</b> Дистанционные мультиспектральные измерения – важнейшая основа фундаментальной и прикладной географии .....	24
<b>Н.С. Касимов, М.В. Зимин, О.В. Тутубалина, Д.В. Ботавин.</b> Геопортал МГУ – инновационная база для географических исследований .....	42
<b>Н.Н. Комедчиков, А.В. Кошкарёв, А.А. Медведев.</b> Академическая инфраструктура пространственных данных и новый этап развития геоинформатики .....	57
<b>И.Н. Воронин.</b> Использование информационных технологий в практике управления территориальным развитием .....	73
<b>Л.В. Десинов, Н.С. Листошенкова, В.А. Рудаков, Д.Ю. Караваев.</b> Мониторинг земной поверхности и катастроф с российского сегмента Международной космической станции .....	82
<b>II. Применение современной информации в изучении отраслевых проблем географии</b>	
<b>В.Ф. Логинов.</b> Статистическое моделирование современных изменений климата с использованием новых индексов радиационного воздействия .....	99
<b>Н.И. Коронкевич, С.В. Долгов, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева.</b> Влияние информационного обеспечения на выявление и моделирование пространственной структуры гидрологических явлений .....	119
<b>А.В. Измайлова, Т.Ю. Ульянова.</b> Вклад ИНОЗ РАН в развитие информационных систем в лимнологии .....	128
<b>А.И. Трейвиш.</b> Пространственная мобильность населения и распространение информации .....	141
<b>А.И. Чистобаев, З.А. Семёнова.</b> Информационно-статистические ресурсы медицинской географии .....	159
<b>В.П. Палиенко, Р.А. Спица.</b> Геоинформационное обеспечение исследования устойчивости – изменчивости рельефа и оценки геодинамического риска в контексте морфодинамической парадигмы .....	172
<b>С.А. Лисовский.</b> Географические подходы к анализу информационного обеспечения решений по выбору участков под строительство АЭС (опыт Украины) .....	184

<b>А.К. Сагателян, Ш.Г. Асмарян, В.С. Мурадян.</b> Создание инфраструктуры пространственных данных для обеспечения экологически значимой информацией .....	191
<b>Н.Н. Казанцев.</b> Эффективность интеграции пространственных данных о территории для выполнения функций и услуг, а также автоматизации досудебного урегулирования конфликтов (на примере программ помощи муниципальным образованиям в мобилизации земельного налога) .....	195

### **III. Региональный и акваториальный анализ с помощью современных моделей и ГИС**

<b>А.К. Тулохонов.</b> Роль географической информации в политических решениях в новейшей истории социально-экономического развития Азиатской России .....	206
<b>А.К. Сагателян, Ш.Г. Асмарян, В.С. Мурадян.</b> Дистанционная мониторинговая система как инструмент для территориального управления .....	212
<b>В.С. Хомич, Л.Ю. Сорокина, М.И. Струк.</b> Информационное обеспечение исследования геоэкологических условий трансграничного региона (на примере Белорусского и Украинского Полесья) .....	217
<b>Е.А. Маруняк.</b> Восприятие и внедрение новых информационных технологий в региональных проектах (на примере проекта «Ландшафтное планирование в Украине») .....	237
<b>А.А. Чибилёв (мл.).</b> Геоинформационные исследования мезорегиона бассейна реки Урал .....	246
<b>Е.А. Базюра, А.Б. Полонский, В.Ф. Санников.</b> Термохалинная циркуляция Северной Атлантики и её моделирование для современного климата .....	256
<b>Р.М. Мамедов.</b> Геоинформационная 3D модель управления азербайджанской прибрежной зоной при различных уровнях Каспийского моря .....	271
<b>С.А. Добролюбов, В.С. Архипкин, К.П. Колтерманн, Г.В. Суркова.</b> Прогнозирование экстремальных природных явлений в морях России .....	287
<b>О.Е. Архипова.</b> Модельно-ориентированный подход к созданию ГИС .....	301
<b>В.М. Котляков, Л.Г. Руденко, О.Б. Глезер, Л.В. Салтыковская.</b> Юбилей Международной ассоциации академий наук (МАН) и работа в ней Объединённого научного совета по фундаментальным географическим проблемам .....	314
Об авторах .....	323

# **I. Современные концепции информационного обеспечения географических исследований**

Л.Г. Руденко

## **О НОВОМ ЭТАПЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, БАЗИРУЮЩЕМСЯ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

Пространственная организация и планирование территории всегда находились в сфере внимания географии и картографии. Задание целевой функции изучения пространства приводило к получению необходимых результатов. Потребности современного общества по укреплению негативных вызовов и проблем требуют от многих специалистов повышения качества и репрезентативности принимаемых решений. Достоверность и реальность таких решений зависят от информации и знаний, а также от методов и методик, которые используются при их принятии. Общество вырабатывает новые знания, новую информацию и новые технологии её обработки, распространения, использования и интерпретации.

Совершенствование территориального планирования и проектирования, экологические экспертизы проектов развития, а также практически все виды хозяйственной деятельности во многом зависят от специалистов, владеющих данными различного типа. Увеличение количества данных, повышение их качества стимулируют спрос на них. Мир движется в направлении от использования отдельных файлов к сервисам данных, что обусловлено известными скачками в получении геопространственной информации. Результативность географических исследований и степень их использования в практике зависят во многом от совершенствования методов, в первую очередь эмпирических (экспедиционных, камеральных, стационарных, автоматических и др.) и математико-геоинформационных (математико-статистических, моделирования, ГИС-технологий, дистанционного зондирования и др.). В мире ощущается большой прогресс в создании и функционировании различного типа автоматических датчиков. Наша пла-

нета благодаря космическим аппаратам находится под прицелом видеокамер, сенсоров разного типа, которые поставляют пространственную информацию в затребованном режиме, необходимую для исследований глобального и регионального характера. Вместе с тем в большинстве стран СНГ географические исследования лишены возможности её непосредственного использования, в том числе из-за недостаточного финансирования.

В последние годы наблюдается взрыв интереса к интеграции карт и пространственного анализа, что привело к развитию нового важного для географии направления – геопространственного анализа. В современных условиях знания о пространстве формируются в следующих видах: цифровые статистические данные; базы географических данных – материалы экспедиционных исследований, стационаров, результатов исследовательских разработок; данные дистанционного зондирования; геоизображения, модели и карты земной поверхности разного формата; онлайн-источники, базирующиеся на различного типа веб-серверах; литературные источники и др. Бурное развитие информационных технологий приводит к необходимости уточнения существующих классификаций методов географических исследований как особых правил и условий, показывающих путь для получения нового знания об объекте исследования.

В настоящее время в странах СНГ ощущается дефицит специалистов, способных синтезировать знания и информацию. Давно появилась потребность в географах, владеющих геоинформатикой и математическими методами, имеющих динамическое мышление, способных создавать такие системы данных, которые доступны в работе большинству людей. Это обязывает коренным образом пересмотреть программы вузов с целью улучшения подготовки (переподготовки) профессионалов, понимающих не только сущность объекта исследования, но и методы моделирования различных видов, а также умеющих создавать и реализовывать геопространственные решения.

Как нужно действовать, чтобы география не потеряла свои позиции? Представляется, что «уборка» и «марафет» будут нерезультативными. Понимая состояние экономики, всё же считаем необходимым выделение достойных инвестиций в подготовку разработчиков моделей данных, архитекторов баз данных и специалистов, владеющих современными технологиями. И начинать нужно с переподготовки профессорско-преподавательского состава и насыщения существующих лабораторий новым оборудованием. Очевидным является, что такой путь может быть реализован только в вузах, имеющих хорошую государственную поддержку, добившихся высокого престижа своих специалистов и выпускников и сотрудничающих с известными

мировыми компаниями, которые вкладывают большие инвестиции в свои программные продукты (Google, Microsoft и др.).

Конец XX в. ознаменовался работами по созданию и использованию разного типа инфраструктуры геопространственных данных. Её понимают как набор институциональных, технических и экономических мероприятий, обеспечивающих возможность доступа к актуальной, целевой информации, и геосерверов, поддерживающих процесс принятия решений. Пространственную информацию рассматривают в нескольких аспектах – как стратегический ресурс, который обеспечивает региональное развитие, и как товар, который можно покупать и продавать.

Практическое значение формирования и использования инфраструктуры пространственных данных уже давно осознанно специалистами и управленцами ведущих стран мира. Оценивая перспективность данного процесса, лидеры стран большой восьмёрки в июле 2000 г. приняли «Окинавскую хартию глобального информационного общества». Эта хартия имеет особое значение для географии и картографии, так как в ней изложена суть и задачи информационно-коммуникационных технологий, их потенциальные преимущества, ключевые направления и принципы развития, учреждена группа определения возможностей информационных технологий.

В глобализованном мире пространственные данные приобретают особое значение как главный ресурс стратегического развития государств и регионов. Пространственные данные классифицируются следующим образом: данные точечных образов, геостатистические данные и сеточные данные. Ведущие страны мира в основном сформировали свою инфраструктуру пространственных данных, включающую политические, правовые, нормативно-технические документы; технологические средства и соответствующие программные продукты; квалифицированные кадры, умеющие собирать, сохранять, обрабатывать, распространять и использовать пространственные данные; а также обеспечение доступности данных для различных пользователей в условиях общего информационного пространства государства.

Как же обстоят дела в странах СНГ, в частности, в географическом сообществе этих государств? Готовы ли специалисты естественного профиля к работам в новых информационных условиях? Приятно осознавать, что на национальном уровне концептуально рассматриваются эти вопросы. В Российской академии наук с 2004 г. начаты исследования по направлению «Электронная Земля: научные информационные ресурсы и информационно-коммуникационные технологии». Они проводятся в рамках программы исследований Президиума РАН «Разработка фундаментальных основ создания научной распределенной ин-

формационно-вычислительной среды на основе GRID». В институте прикладных проблем информатики РАН проводятся исследования по теме «Электронная Земля», которые направлены на создание информационной системы, базового геоинформационного обеспечения существующих и разрабатываемых систем управления, информационно-коммуникационных систем, информационно-поисковых систем разного назначения, основанных на знаниях. Предполагается, что подобные работы проводятся и в иных государствах СНГ.

В Украине ещё в 2010 г. действительными членами Национальной академии наук Украины В.П. Кухарем, Л.Г. Руденко и Я.С. Яцкивым был передан президенту страны проект Закона «О национальной инфраструктуре геопространственных данных», разработанный в Институте геодезии и картографии. Но, к сожалению, до сих пор не имеется никакой реакции. В упомянутом проекте на 16 страницах выписаны основополагающие положения о сути, организационных и финансовых аспектах создания и внедрения геопространственной информации в Украине.

Известны результаты поисков во всех направлениях развития науки, в том числе и «новой» географии, базирующихся на использовании ГИС-технологий. Географы и картографы, которые в основном занимаются формированием знаний и базы пространственных данных о странах и отдельных регионах, принимают участие в разработке фундаментальных предложений по обоснованию направлений их развития. Обратим внимание на то, что в последние годы усилился интерес к географическим знаниям и данным. Подтверждением может служить программа Евросоюза «eContent» (2000 г.) и её программы-преемники. В них акцент сделан на трёх типах информации: географические данные, образовательная и культурная составляющая.

Ряд принципиальных вопросов развития информационно-коммуникационных технологий находится в сфере деятельности правительств государств (правовое оформление основных принципов и ведущих направлений политики в информационно-коммуникационных технологиях, формирование нормативной базы и стандартов, преодоление электронно-цифрового разрыва с ведущими странами мира и др.). В то же время задача выявления, формирования, структуризации, форматирования географических объектов (природных и социальных), пространственных данных, в том числе базовых, а также метаданных всегда находилась в сфере географии и картографии.

Следует не только концептуально просматривать эти задачи, но и значительно усилить практические меры к более широкому использованию инфраструктуры пространственных данных. К этому процессу подталкивает, с одной стороны, улучшение технической оснащённости



ти современных исследований, с другой – ослабление финансирования стационарных и экспериментальных исследований вследствие появления ряда приборов и станций, данные с которых передаются системно и автоматически.

Согласно административно-территориальному устройству в большинстве стран СНГ выделяются следующие уровни инфраструктуры пространственных данных: локальный, местный, региональный и общегосударственный. Объекты общегосударственного уровня имеют общенациональное значение, информация о них на всех последующих уровнях будет составлять ядро инфраструктуры. Объекты локального уровня важны для конкретной территории, к ним относятся, например, предприятия или другие территориальные структуры, выделенные по природным, хозяйственным, планировочным или иным признакам. Объекты местного или регионального уровней имеют значение в пределах областей (региональный уровень в Украине), на территориях районных, городских или сельских советов (местный уровень в Украине).

Особо следует рассматривать отраслевые и корпоративные структуры пространственных данных. Примерами таких структур можно считать различные виды кадастров, пространственные данные о качестве вод в бассейнах рек или об особенностях развития биосферных заповедников и т.д.

Источниками геопространственных данных служат результаты геодезических, топографических, картографических, гидрографических, геологических и кадастровых работ, а также дистанционного зондирования Земли (эти данные по сути составляют ядро инфраструктуры); материалы государственных реестров и переписей, содержащиеся, в основном, в материалах государственной статистики; градостроительная и землеустроительная документация, предоставляющая информацию о геопространственных объектах; результаты различных видов географических изысканий; классификаторы и справочники геопространственных объектов.

Инфраструктура пространственных данных названных уровней определённым образом организована, имеет программные и технические средства, базовые и профильные наборы данных, метаданные, их базы и сервисы, технические регламенты и стандарты.

Для понимания особенностей нового этапа географических исследований важно участие географов в формировании базового набора геопространственных данных. Он во многом определяется техническими регламентами и стандартами. Набор включает: пространственно-координатную основу данных; географические названия объектов; результаты дистанционного зондирования, ортофотопланы и карты, снимки; цифровую модель рельефа; государственную границу и гра-

ницы территориальных, хозяйственных и природных образований; гидрографические объекты и сооружения; дороги, поселения и уличную сеть; промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты; различные строительные сооружения; инженерные коммуникации; аэропорты; морские и речные порты; почвы и растительный покров; границы природно-заповедных территорий; кадастры земель и кадастровых кварталов; кварталы внутри поселений и функциональное зонирование; объекты внутри и за пределами поселений.

Такой примерный набор базовых пространственных данных обеспечивает привязку результатов исследований к территории и позволяет детально охарактеризовать с их помощью особенности её устройства и развития. Важно, чтобы был обеспечен доступ многих потребителей к хранилищу базового набора и возможность нужного выбора данных. Метаданные такого набора должны содержать справочную информацию о функциях, условиях использования сервисов геопространственных данных, а также о составе, структуре, качестве, территориальном охвате, условиях и возможностях использования этих данных.

Географы понимают, что формирование инфраструктуры пространственных данных необходимо для принятия эффективных решений. Информационные ресурсы служат «кровенью» инновационных технологий, без них невозможно развитие современного общества. Географ, участвуя в создании информационных ресурсов, анализируя и интерпретируя их, создаёт новые знания, которые применяются для обоснования конкретных решений по развитию регионов. Очевидно, что ближайшая задача географов состоит в усилении связей с государственными и корпоративными структурами с целью формирования инфраструктуры пространственных данных разных уровней, наполнения их базового набора с опорой на профессиональные знания и накопленную в нашей науке информацию с последующим использованием их в практической деятельности.

**П.Я. Бакланов**

## **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ: ВИДЫ, ШКАЛЫ, ПАРАМЕТРЫ\***

Под географическими измерениями понимаются количественные оценки географических структур, процессов, явлений. Исторически первыми географическими измерениями, видимо, были привязки к точкам Земли различных объектов, экспедиций и т.п. в шкалах географических координат. Затем – количественные измерения природных условий и ресурсов в различных регионах, на суше и в океане.

В целом можно выделить первичные или прямые географические измерения, полученные с помощью инструментальных или иных непосредственных оценок отдельных свойств и структур геосистем. Прямые географические измерения делятся на наземные, осуществляемые непосредственно на Земле (как на суше, так и на море), а также дистанционные, производимые на расстоянии, чаще всего с летательных аппаратов, в том числе из космоса. На основе прямых географических измерений составляются различные географические карты: топографические, батиметрические, синоптические и другие, представляющие собой обобщение географических измерений на больших территориях и акваториях.

Следует подчеркнуть, что именно картографическое отражение той или иной территории можно считать полным географическим измерением, поскольку различные структуры и явления приобретают географическое содержание лишь при охвате в них пространственных аспектов, определённой территории. Чем более полно отражена территория, тем содержательнее её географическое измерение. Примером таких интегральных географических измерений может служить аэрофотоснимок местности или космический снимок территории. Они отражают ареалы территории и служат основой наиболее точных географических карт.

В последующем различные географические измерения могут производиться уже по картам, с использованием карт, их различных соче-

---

\* Доклад на сессии и статья подготовлены в рамках Программы Президиума РАН № 31 на 2012–2014 гг.

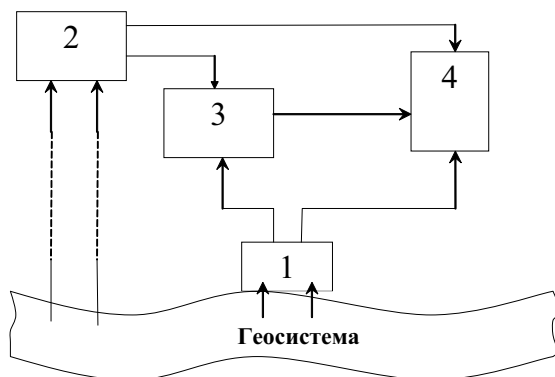


Рис. 1. Схема географических измерений:

- 1 – прямые наземные; 2 – прямые дистанционные, в том числе космические;
- 3 – составление (получение) картографических оценок (первичных карт);
- 4 – расчётные оценки, в том числе различные геоинформационные системы

таний. Это – вторичные, или косвенные, измерения. Наконец, определённые количественные оценки свойств и структур геосистем можно получить на основе расчётных процедур, математических моделей. Это будут уже расчётные географические измерения (рис. 1).

С географическими измерениями в той или иной форме сталкивается практически каждый, кто изучает природу, хозяйство, население на территории, т.е. проводит географические исследования. При этом одни географические измерения могут составлять цель исследования и его результат, другие – входить в методический инструментарий.

Непосредственно вопросы географических измерений затрагивались рядом крупных учёных-географов (В.Б. Сочава, В.С. Преображенский, П. Хаггет, В. Бунге, Ю.Г. Пузаченко, А.Ю. Ретеюм, Ю.Г. Симонов, А.Д. Арманд, Ю.Г. Саушкин, Б.Б. Родоман, Э.Г. Коломыц, А.П. Горкин, К.Н. Дьяконов, А.А. Лютый, Л.Г. Руденко, П.М. Полян, А.К. Черкашин, С.А. Тархов, В.В. Сысоев и др.). Однако специальных, обобщающих работ в русскоязычной литературе почти не было.

В основе географических измерений лежат следующие базовые принципы. Один из основных состоит в необходимости привязки количественных оценок к определённой точке или участку территории с установленными границами. Одновременно географические измерения должны соответствовать тому или иному моменту или периоду времени. В своём сочетании это – пространственно-временной принцип географических измерений. Он основывается на том, что фунда-

ментальное свойство географических структур и систем заключается в их пространственно-временном характере.

Количественными оценками могут охватываться один или несколько однородных и разнородных компонентов природной среды, населения, хозяйства. Количественными пространственно-временными оценками должны охватываться также и межкомпонентные связи и сопряжения, в том числе – с территорией и через территорию. При этом сочетания разнородных компонентов с наличием тесных, устойчивых межкомпонентных связей выделяются как географические структуры. Относительно целостные сочетания последних образуют геосистемы.

При изучении больших территорий (акваторий) важен принцип репрезентативности географических измерений, т.е. определённые количественные оценки должны отражать типичные, узловые, характерные черты, свойства и структуры геосистем. Это не всегда можно выполнить практически, но к этому следует стремиться.

Наконец, важна сопоставимость географических измерений и оценок геосистем разных иерархических уровней, например, по охвату компонентов и связей, типов структурных звеньев и структур.

Понимая под географическими измерениями отражение объективно существующих характеристик, свойств, процессов и структур разноранговых геосистем, можно выделить несколько *типов оценок*.

1. Отдельные параметры, отражающие однородные характеристики геосистем в определённой точке в фиксированное время.

2. Географические градиенты – абсолютные или относительные показатели, отражающие изменения однородного параметра на определённом единичном отрезке прямой на территории.

3. Индексы – показатели, отражающие изменение отдельного однородного параметра в одной точке за тот или иной период времени.

4. Коэффициенты – относительные показатели, отражающие количество каких-то элементов, явлений, происходящих на единицу площади, либо – в сравнении с какой-то базовой характеристикой. Подобные показатели иногда называют и индексами.

5. Векторы – упорядоченные сочетания нескольких различных параметров, достаточно полно отражающие либо определённое свойство геосистемы, либо её отдельное структурное звено.

6. Матрицы – упорядоченные сочетания нескольких векторов, достаточно полно отражающие либо совокупность основных свойств геосистемы, либо её основные структурные звенья.

Отдельные параметры, географические градиенты, коэффициенты, векторы и матрицы отражают статические характеристики свойств и структур геосистем, проявляющиеся в определённый момент вре-

мени или за определённый период. Изменения, динамику геосистем отражают индексы, их сочетания, в том числе представленные в виде векторов, а также – балансовые оценки, показывающие перемещения, потоки, трансформацию вещества и энергии в структурных звеньях геосистем за определённое время. Балансовые оценки чаще всего бывают выражены в виде векторов и матриц, в которых одна часть отражает состояние структурного звена или геосистемы в одном периоде времени, а другая – в следующем периоде. В балансовых оценках могут быть показаны и разнонаправленные изменения в сопряженных структурных звеньях: в одном – сокращение какого-либо вещества или энергии, в другом – прирост. Соответственно одна часть вектора или матрицы может отражать состояние до перемещения, до трансформации, а другая – результат этой динамики. Перестройку самих структурных звеньев, их пространственную трансформацию могут отражать матрицы или графы.

Географические измерения осуществляются как в сфере научных исследований, так и в практической деятельности. В качестве основных целей географических измерений в научных исследованиях прежде всего выступают структуризация географического пространства и выделение разноуровневых географических структур и систем, а затем – установление строгих количественных оценок территориальных структур и систем, их свойств, типов и уровней территориальной организации. Важнейшая конструктивная задача географических измерений, имеющая большое практическое значение, состоит в количественной оценке устойчивости, тенденций инерционности и динамики разноуровневых геосистем и их звеньев. Общая целевая направленность подобных географических исследований и измерений заключается в прогнозных оценках геосистем, их динамики.

В процессе структуризации пространства выделяются следующие специфические *координатные оси* географических измерений:

- пространственная: для последующих измерений в различных пространственных границах, в пределах различных территорий и акваторий;
- компонентная: с целью охвата различных компонентов географической среды, в том числе компонентов природы, населения, хозяйства;
- временная: для охвата разных временных периодов.

В качестве особой пространственно-временной координатной оси географических измерений может быть выделена координатная ось для измерений различных форм связанности сопряжений и географических границ (Бакланов, 2010).

При выявлении структуры географического пространства, как правило, проводятся разнообразные измерения. В их числе: *точечные* –

измерения географических координат, высот, глубин, превышений, описаний, относящихся к одной географической точке; *линейные* – измерения географических характеристик по определённым линиям или измерения линейных географических объектов и элементов 9изолиний, профилей, разрезов, потоков, связей0; *площадные* – измерения размеров и конфигурации ареалов, участков, территории, акватории, плотности и форм размещения элементов, компонентов, ландшафтов и др.; *объёмные* измерения и оценка биопродуктивности лесных и земельных участков, водных экосистем, характеристик водных ресурсов, полезных ископаемых, осадков, речного стока, энерго-масообмена и др.; *градиентные* оценки – измерения различий однородных свойств, характеристик на единицу расстояния, либо высоты (глубины) в географическом пространстве. Специфическими являются *компонентные и межкомпонентные* географические измерения – выделение и количественная оценка однородных и разнородных компонентов природы, населения и хозяйства (их количества, размещения, свойств, межкомпонентных связей и сопряжений и т.п.). При географических измерениях компонентов населения и хозяйства широко используются различные количественные социально-экономические показатели – плотность и численность населения, его миграционные потоки, занятость рабочей силы, валовой региональный продукт, объёмы производственных фондов, инвестиций, экспорта, импорта, транспортирующе-экономические связи и др.

В процессе структуризации географического пространства и соответствующих измерений по различным координатным осям последовательно выделяются следующие *географические образования*: 1) географическая точка – ареал – территория – геосистемы, районы; 2) отдельный однородный компонент природы, населения, хозяйства – сочетания различных компонентов – их связанные и относительно целостные сочетания – геосистемы, районы; 3) узел (как пересечение ряда компонентов и потоков) – линия (потоки вещества и энергии) – ареал (в том числе как зона влияния узлов) – их сочетания, геосистемы, районы.

Следует подчеркнуть, что в различных подходах к структуризации при движении от простого к сложному всегда можно подойти к выделению интегральных геосистем, районов.

В ходе структуризации *природно-ресурсного пространства* последовательно выделяются: природно-ресурсные компоненты – их территориальные сочетания – межресурсные связи – территориальные природно-ресурсные системы – вмещающие их геосистемы. В процессе структуризации *социально-экономического пространства* последовательно выделяются: экономические центры (как локальные со-

Таблица 1. Сочетания географических измерений различных географических объектов (образований)

Географический объект (образование)	Вид географических измерений					
	Географические координаты, высоты, глубины	Площадь, оценка поверхностей, конфигураций	Состав компонентов: однородных, разнородных	Географические градиенты, границы	Связи (потоки, перемещения), сопряжения	Индексы, балансовые оценки
Географическая точка	++	-	-	-	-	-
Ареал (компоненты)	+	++	+	+	+	-
Территория (участки)	+	++	+	+	+	+
Линейное звено	+	+	-	++	++	+
Узел (компоненты)	+	-	++	+	++	+
Природно-ресурсные компоненты и их сочетания	+	+	++	+	++	++
Экономический центр, поселение	+	-	++	+	++	++
Геосистема	+	++	++	+	++	++
Район	+	++	++	+	++	++

*Примечание:* – отсутствие подобных измерений; + наличие; ++ большое значение подобных измерений.

четания видов деятельности) – поселения (как социально-экономические центры) – линейные и узловое инфраструктурные звенья (в том числе транспортные, энергетические, инженерные коммуникации и др.) – зоны влияния (в том числе социально-инфраструктурные и ресурсно-экологические) – территориальные структуры природопользования – территориальные социально-экономические структуры и системы – социально-экономические районы. Наконец, при установлении взаимосвязей последних с природными геосистемами могут быть выделены интегральные геосистемы. В последующем при изучении и количественной оценке каждого из этих образований могут выполняться различные географические измерения (табл. 1).

Сложные, многокомпонентные географические образования (ареалы, участки территории, узлы, поселения, районы, геосистемы) требуют как относительно простых, так и более сложных интегральных географических измерений. К последним можно отнести построение профилей (разрезов) с описаниями по множеству точек компонентов природы, природно-ресурсных или социально-экономических объектов. Для отдельных ареалов и участков территорий и акваторий (как и геосистем в целом) очень важны измерения биоразнообразия и биопродук-



тивности, природно-ресурсного потенциала и их изменчивости, динамики, особенно при установлении определенных рубежей и границ ландшафтов, геосистем, районов. Для характеристики динамики геосистем важны измерения и оценки энергомассообмена между соседними, сопряженными ареалами, участками территории, геосистемами. Такие измерения и оценки обычно относят к геофизическим (Дьяконов, 2002; Арманд, 1988; Пузаченко, 2004, 2010 и др.).

Как статику, так и динамику геосистем отражают геохимические измерения и оценки. Особенно они необходимы при оценке влияния техногенных и антропогенных факторов. Переходы от геохимических измерений состояния природных компонентов и геосистем к оценкам миграции и трансформации отдельных элементов и их соотношений в геосистемах позволяет подходить к измерениям и оценкам динамики (Снытко, Семенов, 1981; Пузаченко, 2010; Геохимия ландшафтов..., 2012 и др.)

Как показывает опыт исследований, каждый вид географических измерений имеет не одну, а несколько различных размерностей, или шкал измерений. В целом можно сделать вывод о том, что основные географические шкалы определяются иерархией геосистем (районов). Для более полного и строгого отображения свойств и структурных особенностей территориальных социально-экономических систем и геосистем в целом на каждом их иерархическом уровне следует использовать свою шкалу измерений. Следовательно, в качестве основной особенности необходимо выделить многоуровневость шкал географических измерений с наличием шкал детальных и обобщенных измерений в определённом соответствии с иерархией геосистем и с многоуровневостью экономического (социально-экономического) районирования.

Шкалы географических измерений должны позволять отражать искомые географические рубежи и границы (например шкалы высот, глубин, рельефа – основные рубежи высотной поясности и морского дна, шкалы однородности ландшафтных компонентов и их состава – ландшафтные рубежи). Шкалы соответствующих географических измерений должны позволять проводить содержательные оценки статики и динамики геосистем и их структурных звеньев. При этом многие измерения статики через их пересчёты в индексные и балансовые оценки могут использоваться и в оценках динамики, изменчивости геосистем.

Научно-технический прогресс в сфере инструментальных измерений, информатизации, в том числе в широком развитии ГИС-технологий, дистанционного зондирования и космической информации, способствует развитию новых методов и видов географических измерений. Так, постоянно совершенствуются балансовые методы. Напри-

мер, с помощью космической информации можно более строго оценивать динамику продуктивности лесных экосистем, увязывать величину атмосферных осадков и речного стока и т.п. Разрабатываются балансовые методы оценки динамики природно-ресурсного потенциала территории (Бакланов, 2000; Геосистемы..., 2010 и др.).

В конце 1990-х – начале 2000-х годов резко возросло число исследований и соответствующих измерений и оценок биоразнообразия, в том числе ландшафтного (Ландшафтоведение..., 2006; Киселев и др, 2006; Бочарников, 1999 и др.). При этом следует подчеркнуть, что особенностью географического подхода к измерениям и оценкам биоразнообразия является привязка таких оценок к определенным рубежам и границам, отдельным и сопряженным ландшафтам и геосистемам.

Своё развитие получили градиентные измерения. Например, нами предложены их новые виды: трансграничные градиенты, отражающие различия однородных природных, социально-экономических или экологических характеристик по обе стороны государственной границы (Бакланов, Ганзей, 2008 и др.). К новым относится и градиент экстремальности природных процессов в виде различия (абсолютного и относительного) проявления определённого экстремального процесса (землетрясения, осадков, наводнения, штормов и т.п.) на единицу расстояния, например на 1, 10, 100 км, или в других шкалах.

Развитие дистанционных, в том числе космических, методов исследований и измерений позволяет получить спектральные характеристики природных компонентов и геосистем и более строгие количественные оценки их многих свойств, в том числе динамических (Пузаченко, 2010 и др.).

Много нового в географические измерения и оценки, особенно во вторичные, расчётные, вносит широкое использование компьютерных технологий. Сопряжение последних с ГИС-технологиями позволяет переходить от прямых космических измерений территории к электронным цифровым картам, отражающим важнейшие структурные оценки природных, природно-ресурсных и социально-экономических территориальных систем (Тикунов, Цапук, 1999; Ландшафтоведение..., 2006 и др.).

На основе подобной информации, строгих географических измерений и оценок можно подходить к разработке содержательных моделей геосистем, отражающих не только их статику, но и тенденции динамики. В этой связи нами предлагается модель интегральной геосистемы (табл. 2). В этой модели представлены показатели и оценки изменений природных ресурсов и отдельных природных компонентов техногенными отходами, оценки связей и сопряжений природных ресурсов с компонентами природной среды, а также показатели меж-

ресурсных и межкомпонентных связей в определённой геосистеме. Задавая определённые варианты изменений в населении, видах деятельности, в использовании отдельных природных ресурсов, например, можно выполнить соответствующие расчёты структурных трансформаций и получить прогнозные оценки интегральной геосистемы. Следует отметить, что в модели определённое самостоятельное значение имеют оценки по отдельным строкам и отдельным столбцам матрицы.

Несмотря на заметный прогресс в развитии географических измерений и оценок остаётся ещё достаточно много нерешённых проблем. Во-первых, следует выделить самую сложную проблему измерения и количественных оценок связей и сопряжений: межкомпонентных в природных геосистемах, межресурсных в территориальных природно-ресурсных системах, межкомпонентных в территориальных социально-экономических системах и в целом – в интегральных геосистемах. Именно отсутствие строгих количественных оценок различных

Таблица 2. Обобщённая схема матричной модели интегральной геосистемы

Компоненты	Экономические центры и т.п.	Природные ресурсы	Компоненты природной среды
	$ЭЦ_1, ЭЦ_2, \dots, ЭЦ_n$		
Население, экономические центры, (поселения, ареалы деятельности) $ЭЦ_1$ $ЭЦ_2$ . . . $ЭЦ_n$	Характеристика ЭЦ, поселений, ареалов, их территории, связи и сопряжения	Изменения природных ресурсов за счет антропогенных факторов (обратное ресурсопотребление)	Антропогенные изменения компонентов природной среды
Природные ресурсы $ПР_1$ $ПР_2$ . . . $ПР_k$	Характеристика отдельных ПР, их запасы, объёмы их использования в отдельных ЭЦ (прямое ресурсопотребление).	Межресурсные связи и сопряжения	Изменения компонентов, связанные с использованием природных ресурсов
Компоненты природной среды $K_1$ $K_2$ . . . $K_m$	Характеристика компонентов, показатели их использования в ЭЦ	Характеристика (показатели) связей: природные ресурсы – компоненты природной среды	Межкомпонентные связи в природной среде

межкомпонентных связей и сопряжений в геосистемах не позволяет переходить к количественным оценкам многих их интегральных свойств.

Например, отсутствуют строгие количественные оценки, отражающие такие интегральные свойства геосистем, как их устойчивость, эмерджентность и другие. Не только научное, но и большое практическое значение имеют строгие количественные измерения и оценки таких свойств геосистем и территориальных социально-экономических систем, как их инерционность и динамичность. Однако подобные содержательные оценки ещё не разработаны. Поэтому можно сделать вывод о том, что научные разработки в области географических измерений и оценок – одни из важнейших в современных фундаментальных географических исследованиях.

## Литература

- Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988.
- Бакланов П.Я. Динамика природно-ресурсного потенциала территории и методы ее оценки // География и природные ресурсы. 2000. № 3. С. 10–16.
- Бакланов П.Я. Структуризация географического пространства – основа теоретической географии // Теория социально-экономической географии: современное состояние и перспективы развития: Мат-лы междунар. конф. / Под ред. А.Г. Дружинина, В.Е. Шувалова. Ростов-на-Дону, Изд-во ЮФУ, 2010. С. 12–21.
- Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008.
- Бочарников В.Н. Биоразнообразие: оценка и сохранение на основе технологий геоинформационных систем. Владивосток: Дальнаука, 1999.
- Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Т. 2. Природные ресурсы и региональное природопользование / Под ред. П.Я. Бакланова. Владивосток, Дальнаука, 2010.
- Геохимия ландшафтов и география почв / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012.
- Дьяконов К.Н. Взаимодействие структурного, эволюционного и функционального направлений в ландшафтных исследованиях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. № 11. С. 13–21.
- Киселев А.Н., Урусов В.М., Игнатова Н.К. Биологическое разнообразие юга российского Дальнего Востока // Географические исследования на Дальнем Востоке. Ч. II. Итоги и перспективы. 2001–2005 гг. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 59–74.
- Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Мат-лы XI междунар. ландшафтной конф. / Отв.ред. К.Н. Дьяконов. М.: Геогр. ф-т МГУ. 2006.
- Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: ACADEMIA, 2004.

- Пузаченко Ю.Г.* Инварианты динамической геосистемы // Изв. РАН. Сер. геогр., 2010, № 5. С. 6–16.
- Снытко В.А., Семенов Ю.М.* Опыт сопряженного картографирования геомеров и геохор // География и природные ресурсы. 1981. № 2. С. 25–28.
- Тикунов В.С., Цапук Д.А.* Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение: М. – Смоленск: Изд-во СГУ, 1999.

Ю.Г. Пузаченко

## **ДИСТАНЦИОННЫЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ВАЖНЕЙШАЯ ОСНОВА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ГЕОГРАФИИ**

Цель фундаментальной науки – получение нового знания, то есть открытие ранее неизвестных явлений природы и их свойств. Если новое знание преобразуется в технологии, то это автоматически увеличивает размерность пространства. Увеличение размерности пространства приводит к увеличению используемого потока энергии, в широком её понимании, при сохранении постоянства мощности источника. Получение нового знания определяется использованием в исследовании новых сенсорных систем, способных обнаружить новые явления или их свойства. Явление дано наблюдателю через относительно правильную смену состояний во времени и/или пространстве, выявляемую через измерительные возможности сенсора. В простейшем случае таких состояний два (есть, нет). Но одного нового сенсора, потенциально способного воспроизвести новые явления природы для получения новых знаний недостаточно. Второй составляющей открытия служит методология декодирования информации, получаемой от сенсора. Она должна обеспечить совокупность взаимосвязанных методов выявления порядка в отражении реальности соответствующим сенсором. Эти методы опираются на общие существующие концепции организации материального мира. Сюда относятся, прежде всего, представления о непрерывности и дискретности, геометрии пространства-времени. Одно и то же явление может быть одновременно и непрерывным, и дискретным, причём эти разные свойства наблюдаемы только при применении разных методов преобразования исходных измерений.

Точно так же взаимно дополнительными можно рассматривать два варианта обобщения реальности: как статистический ансамбль множества элементов (термодинамика и термостатика) и как взаимодействие функционально различающих частей (динамическая система, синергетика). С каждым из этих обобщений связана своя система преобразования данных, в рамках которых могут быть получены различные формы правильностей. Открытие в первом приближении сводит-

ся к доказательству нового ранее неизвестного порядка, то есть ответа на вопрос: как состояния нового ранее неизвестного явления или состояния его наблюдаемых свойств соотносятся друг с другом во времени и пространстве. Если этот порядок в рамках одной сенсорной системы и методологии воспроизводим в независимых измерениях, то это является эмпирически фактом – важнейшим научным аргументом классических натуралистов, таких как В.И. Вернадский и Л.С. Берг. Однако может случиться, что наблюдаемое явление не укладывается в рамки существующей методологии, например, не подчиняется требованию воспроизводимости, то есть не принадлежит статистическому ансамблю или не может быть воспроизведено в рамках этой методологии.

Тривиальным примером ограниченности господствующей методологии служит проблема целостности. В рамках редукционизма воспроизведение целого невозможно; синергетика пытается решить эту задачу, но лишь несколько модифицирует редукционистскую методологию. Не обсуждая далее эту проблему, отмечу лишь неизбежную ограниченность любой методологии, на любых этапах её развития: «Научное построение, как правило, реально существующее, не есть логически стройная, во всех основах сознательно определяемая разумом система знаний. Она полна непрерывных изменений, исправлений и противоречий, подвижна чрезвычайно, как жизнь, сложна в своем содержании; она есть динамическое неустойчивое равновесие» (Вернадский, 1988, с. 52). С этих позиций можно определить мультиспектральные (гиперспектральные) дистанционные измерения отражения солнечной радиации от земной поверхности как новую сенсорную измерительную систему географии, потенциально содержащую новую информацию о пространственно-временном функционировании и организации ландшафтного покрова от уровня биосферы до уровня, соизмеримого с мезорельефом или фациями.

### **Общие основания**

Физической основой измерения служит эмпирический факт различного отражения солнечной радиации в разных полосах солнечного спектра различными состояниями земной поверхности. Для растительности отражение определяется дифференцированным поглощением энергии пигментами растения, обусловленным как видовой специфичностью, так и текущим состоянием и функционированием, а также структурой растительного полога. Функционирование растительности и соответственно спектральное поглощение радиации весьма чувствительно к условиям местообитания (свойствам почвы), вре-

мени года, содержанию влаги и погодным условиям. Спектральное отражение поверхности, лишенной растительности, чрезвычайно разнообразно и содержит информацию о химическом составе и строении горных пород, выходящих на поверхность. Спектральное отражение водной поверхности содержит информацию о содержании взвешенных частиц, массе фитопланктона и т.п. Комбинации спектральных полос в форме различных индексов позволяют отразить тонкие нюансы в функционировании подстилающей поверхности. К настоящему времени существует обширная литература по мультиспектральному отражению солнечной радиации и ее физическому смыслу, показана чувствительность измерений, например, к эманации углеводородов.

Всё это позволяет утверждать, что география действительно получила новую сенсорную систему, потенциально способную вскрыть ранее неизвестные явления, исследовать пространственно-временную организацию геосистем. Вместе с тем в подавляющем большинстве случаев эта информация используется для решения утилитарных, прикладных задач, зачастую не выходящих за рамки визуального дешифрирования изображения как цветной фотографии. Однако исходные измерения отражённой радиации в разных каналах как связанные с различными аспектами функционирования геосистем сами по себе содержат интересную информацию.

Отражение может быть выражено в энергетических единицах. Индексы обычно имеют форму производных между спектральными каналами, при этом подразумевается, что сравниваемые каналы отражают разные процессы. Так, наиболее широко используемый нормированный дифференциальный индекс растительности (NDVI) есть разность между ближним инфракрасным и красным каналами, делённым на их сумму. Отражение в ближнем инфракрасном канале определяется массой мезофилла листа, которая обуславливает интенсивность фотосинтеза, а красный канал измеряет отражение, определяемое содержанием хлорофилла. Чем больше отражение в ближнем инфракрасном канале, тем больше мезофилла, и чем меньше отражение в красном канале, тем больше хлорофилла. Соответственно, чем больше их разность, тем больше интенсивность фотосинтеза и биологическая продуктивность. Нормировка на сумму обеспечивает сравнимость измерений для разных уровней поступления солнечной энергии. Множество измерений показывает, что система фотосинтеза работает таким образом, чтобы поддерживать NDVI практически неизменными в широком диапазоне прихода солнечной радиации на уровне, определяемом составом растительности, временем года и состоянием среды.



Ёргенсен и Свирежев (Jorgensen, Svirezhev, 2004) предложили способ преобразования исходных измерений в форму, позволяющую оценивать энергетический баланс системы. В соответствии с общими положениями баланс энергии в термодинамической системе описывается как

$$R=F+U+ST \quad (1),$$

где  $R$  – поглощённая солнечная радиация,  $F$  – свободная энергия Гиббса,  $U$  – внутренняя энергия,  $S$  – энтропия,  $T$  – тепловой поток,  $ST$  – связанная энергия, отражающая диссипацию. Свободная энергия соответствует работе и в экосистемах затрачивается на испарение и фотосинтез. Внутренняя энергия применительно к биосфере может трактоваться как кинетическая энергия взаимодействия её частей или элементов. Непосредственно на основе дистанционной информации и солнечной постоянной для отдельно взятых спектральных каналов измеряется альbedo ( $a_i$ ) или поглощение радиации ( $R_i$ ) в каждом канале ( $i$ ) и соответственно их суммы ( $a$  и  $R$ ) и тепловой поток ( $T$ ) в соответствующем частотном диапазоне, измеряемый в градусах или в ваттах на кв. м.

Остальные термодинамические переменные рассчитываются на их основе. Энтропия рассчитывается как  $S = -\sum_1^n \frac{E_v^{out}}{E^{out}} \log \frac{E_v^{out}}{E^{out}}$  (2),

где  $E_v^{out}$  – отраженная энергия в  $W/m^2$  в полосе частот  $\nu$ , и  $E^{out} = \sum_1^n E_v^{out}$ .

Так как поглощающей поверхностью служит в основном растительный покров, то изменения морфологической и биохимической структуры во времени и в пространстве могут возникать только в результате извлечения информации из среды, в том числе и из структуры солнечного спектра. Количество информации, получаемое от солнечной радиации, можно измерить через информацию Кульбака

$$K = \sum_{\nu=1}^n p_{\nu}^{out} \ln(p_{\nu}^{out} / p_{\nu}^{in}) \quad (3),$$

где  $p_{\nu}^{out} = \frac{E_{\nu}^{out}}{E^{out}}$ ,  $p_{\nu}^{in} = \frac{E_{\nu}^{in}}{E^{in}}$ ,  $E^{in} = \sum_{\nu=1}^n E_{\nu}^{in}$ ,  $E_{\nu}^{in}$  – солнечная постоянная на частоте  $\nu$ . Информация Кульбака равна нулю, если распределение поступающей и отражённой радиации по полосам спектра тождественно и, соответственно, приёмник информации равновесен передатчи-