

УДК: 528.91:004.82 :332.1

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-128-140

А.П. Карпик<sup>1</sup>, Д.В. Лисицкий<sup>2</sup>, А.Г. Осипов<sup>3</sup>, В.Н. Савиных<sup>4</sup>

## ГЕОКОГНИТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы использования геопространственных данных, информации и знаний в процессах анализа и прогнозирования социально-экономического развития территорий. Предлагается расширение состава единого комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого планирования за счет более полного учета геопространственных особенностей изучаемой территории и перехода к новой модели пространственно-экономической политики на основе широкого использования цифровых геоплатформ. Приводится информация о значимости геопространственного обеспечения планирования и управления территориями в целях устойчивого развития их экономики и социальной сферы и сведения о поддержке этой индустрии на международном (ООН) и национальном уровнях наиболее развитых стран мира. Указывается цель выполненных исследований – обоснование методологии продуктивного и эффективного геопространственного обеспечения решений аналитических и прогнозных задач, повышающего уровень учета территориальных особенностей регионов. Предлагается новый термин «геокогнитивное моделирование территории» и теоретико-методологические подходы к оценке этого процесса для обеспечения стратегического регионального планирования. Сформулирован ряд исходных концептуальных положений, в том числе: на микроуровне экономики больше востребованы геоданные и геоинформация, на макроуровне экономики – геознания. Геознания относятся к определенным предметно-пространственным неоднородностям и их можно представить как особый вид пространственных объектов и обрабатывать средствами ГИС. Приводится перечень показателей отдельного геофрагмента территории для использования в стратегическом планировании. Описан предлагаемый метод решения геопространственной задачи оценки синергетического эффекта при взаимодействии объектов природных ресурсов с транспортной системой путем увеличения связанности территорий. В качестве примера предложена модель когнитивной индексации геофрагментов и дано ее теоретико-множественное представление. Сделан вывод о необходимости более полного использования геопространственных средств в планировании развития регионов, что позволит снизить риски принятия необоснованных управленческих решений и учесть влияние человеческого фактора.

---

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: [rector@ssga.ru](mailto:rector@ssga.ru)

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: [dllis@ssga.ru](mailto:dllis@ssga.ru)

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия, *e-mail*: [a.g.osipov@ssga.ru](mailto:a.g.osipov@ssga.ru)

<sup>4</sup> Новосибирский государственный технический университет, Россия, проспект К. Маркса, д. 20, 630073, Новосибирск, Россия, *e-mail*: [savinslav@inbox.ru](mailto:savinslav@inbox.ru)

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геопространственное обеспечение планирования, геоданные, геоинформация, геознания, геокогнитивный метод, геофрагмент, модель когнитивной индексации геофрагментов.

Alexander P. Karpik<sup>1</sup>, Dmitry V. Lisitsky<sup>2</sup>, Aleksey G. Osipov<sup>3</sup>, Vyacheslav N. Savinykh<sup>4</sup>

## GEO-COGNITIVE METHODS OF PROVIDING ANALYSIS AND FORECASTING OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF TERRITORIES

### ABSTRACT

The issues of using geospatial data, information and knowledge in the processes of analysis and forecasting of socio-economic development of territories are considered. It is proposed to expand the composition of a single complex of means for macroeconomic interregional intersectoral planning due to a more complete consideration of the geospatial features of the studied territory and the transition to a new model of spatial and economic policy based on the widespread use of digital geoplatforms. The article provides information on the importance of geospatial support for planning and management of territories for the sustainable development of their economy and social sphere and information on the support of this industry at the international (UN) and national levels of the most developed countries of the world. The purpose of the research is indicated – the substantiation of the methodology for productive and effective geospatial support for the solutions of analytical and forecasting tasks, which increases the level of taking into account the territorial features of the regions. A new term "geocognitive modeling of the territory" and theoretical and methodological approaches to assessing this process to ensure strategic regional planning are proposed. A number of initial conceptual provisions have been formulated, including: geodata and geoinformation are more in demand at the microlevel of the economy, and geoscience at the macrolevel of the economy. Geosciences refer to certain subject-spatial heterogeneities and they can be represented as a special type of spatial objects and processed by means of GIS. A list of indicators of a separate geofragment of the territory for use in strategic planning is given. The proposed method for solving the geospatial problem of assessing the synergetic effect in the interaction of natural resources with the transport system by increasing the connectivity of territories is described. As an example, a model of cognitive indexing of geofragments is proposed and its set-theoretic representation is given. The conclusion is made about the need for a more complete use of geospatial tools in planning the development of regions, which will reduce the risks of making unreasonable managerial decisions and take into account the influence of the human factor.

**KEYWORDS:** geospatial planning support, geodata, geoinformation, geoscience, geocognitive method, geofragment, model of cognitive indexing of geofragments.

### ВВЕДЕНИЕ

- 
- <sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo St., 10, 630108, Novosibirsk, Russia, *e-mail:* [rector@ssga.ru](mailto:rector@ssga.ru)
- <sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo St., 10, 630108, Novosibirsk, Russia, *e-mail:* [dllis@ssga.ru](mailto:dllis@ssga.ru)
- <sup>3</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo St., 10, 630108, Novosibirsk, Russia, *e-mail:* [a.g.osipov@ssga.ru](mailto:a.g.osipov@ssga.ru)
- <sup>4</sup> Novosibirsk State Technical University, K. Marx Prospect, 20, 630073, Novosibirsk, Russia, *e-mail:* [savinslav@inbox.ru](mailto:savinslav@inbox.ru)

Представленное исследование выполнено в рамках крупного научного проекта по приоритетному направлению научно-технологического развития России «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий». Головной разработчик темы – Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск). Проект направлен на разработку современной методологии анализа и оценки направлений пространственного развития Азиатской России (территории Российской Федерации, расположенной в пределах Азии).

Целью проекта является создание научных, методологических и технико-информационных основ разработки и обоснования направлений социально-экономического развития регионов Азиатской России в едином народнохозяйственном комплексе национальной экономики России. В состав решаемых задач проекта включены, наряду с другими, такие задачи, как развитие комплекса средств анализа и прогнозирования экономики регионов, разработка базы знаний о природно-ресурсном потенциале регионов и Азиатской России, разработка инструментария для анализа, оценки и выбора направлений развития транспортной сети, взаимодействия научно-индустриальных агломераций и территорий для реализации проектов, связанных с освоением природно-ресурсного потенциала.

Главной особенностью разрабатываемого проекта является его глобальный характер, требующий формирования, развития и применения единого комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого анализа и прогнозирования [Крюков и др., 2020]. Одним из направлений развития этого комплекса, на наш взгляд, является более полный учет геопространственных особенностей изучаемой территории и осуществление перехода к новой модели пространственно-экономической политики на основе широкого использования цифровых геоплатформ. Такой подход обеспечивает удовлетворение значительного роста потребностей в пространственных данных, а также услугах, сервисах и продуктах, созданных на их базе, расширение спектра сфер применения технологий сбора, обработки и анализа пространственных и пространственно-временных данных, которые следует отнести к сквозным технологиям цифровой экономики, то есть технологиям, оказывающим наиболее существенное влияние на модернизацию существующих и развитие новых рынков<sup>1</sup>.

Актуальность и значимость такого подхода подтверждается тем, что в современных геоэкономических реалиях для экономического пространства каждой страны критически важным является четкое определение пространственно-экономической политики. Иначе в скором времени это государство может столкнуться с тем, что окажется в списке неконкурентоспособных субъектов международных отношений с зависимой экономикой и ограниченным суверенитетом. Уже сейчас, как показывают расчеты Всемирного банка лишь из-за малоэффективной пространственной организации только развивающиеся страны теряют около 2–3% ВВП ежегодно [Colombo, 2020]. Значимость геопространственной поддержки планирования и управления территориями в целях устойчивого развития их экономики и социальной сферы в последние годы неоднократно подтверждается на международном и национальном уровнях наиболее развитых стран мира.

Так, по линии ООН, в последние годы созданы Комитет экспертов ООН по глобальному управлению геопространственной информацией (UN-GGIM) и Группа

---

<sup>1</sup> Росреестр предложил сформировать экспертную группу по развитию геоинформационных технологий и пространственных данных. Электронный ресурс: [https://www.cnews.ru/news/line/2020-02-05\\_rosreestr\\_predlozhit\\_sformirovat](https://www.cnews.ru/news/line/2020-02-05_rosreestr_predlozhit_sformirovat) (дата обращения 15.03.2021).

экспертов ООН по интеграции статистической и геопространственной информации (UN EG-ISGI), принята Глобальная статистическая геопространственная рамочная программа (GSGF), создана Интегрированная система геопространственной информации (IGIF), организуются геопространственные мировые форумы (GWF)<sup>1</sup>. Например, Интегрированная система геопространственной информации используется уже более чем в 100 странах мира в качестве комплексной платформы геопространственной информации, предназначенной для широкого круга заинтересованных сторон, в первую очередь, высокопоставленных политиков и лиц, принимающих решения в правительстве, учреждениях и организациях. Указанная система обеспечивает реализацию стратегических целей стратегические идеи и «является важнейшим элементом национального социального, экономического и экологического развития»<sup>2</sup>. По заданию ООН составлен официальный документ по интеграции геопространственных и BIM-технологий, в которой отмечается, что «содействие геопространственным технологиям является одним из основных элементов реализации повестки дня в достижении целей устойчивого развития на период до 2030 года»<sup>3</sup>.

На сайте Всемирного банка утверждается, что «в цифровую эпоху геопространственные технологии революционизируют экономику»<sup>4</sup>, а в совместном документе «Повышение роли инфраструктуры геопространственных знаний в Мировой экономике, обществе и окружающей среде», подготовленном международной аккредитованной организацией Geospatial Media and Communications и статистическим отделом Департамента экономических и социальных вопросов ООН (UNSD) отмечается, что «Геопространство» широко распространено в новой экономике, поскольку «местоположение» становится мощным интегратором» и «Инфраструктура геопространственных знаний обеспечивает надежное понимание, знания, решения и автоматизацию путем интеграции геопространственной информации, аналитики и визуализации в среду знаний и автоматизации нашего совместного цифрового будущего»<sup>5</sup>.

В развитие этого направления широкого использования геопространственных данных и информации в планировании и управлении территориями в самое последнее время проявился новый тренд использования в этой сфере геопространственных знаний, который открывает самые широкие перспективы для обеспечения растущих потребностей экономики и общества. Например, на сайте уже упомянутой компании «Geospatial Media» сообщается, что под эгидой ООН развернута международная кампания под названием «Продвижение вперед. Роль инфраструктуры геопространственных знаний в мировой

<sup>1</sup> The Integrated Geospatial Information Framework Part 1: The Overarching Strategic Framework. First International Workshop on Operationalizing the Integrated Geospatial Information Framework 9–11 September 2019, Celso Furtado Conference Room, ECLAC, Santiago, Chile. Electronic resource: <https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/igif-part-1-overarching-strategic-framework-greg-scott-ungim.ppt> (дата обращения: 20.03.2021).

<sup>2</sup> Экономический и Социальный Совет. Официальные отчеты, 2017. Электронный ресурс: [https://ggim.un.org/ggim\\_20171012/docs/meetings/GGIM7/GGIM-Report\\_r.pdf](https://ggim.un.org/ggim_20171012/docs/meetings/GGIM7/GGIM-Report_r.pdf) (дата обращения: 20.03.2021).

<sup>3</sup> The value of Integrated Geospatial and Building Information Modelling (BIM) solutions to advance the United Nations Sustainable Development Goals (Agenda 2030) with specific focus on resilient infrastructure. Electronic resource: [http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/members/Webinars/Webinar\\_HLPF/WGIC-WFEO-UNSD\\_White-Paper/20200709-WGIC-WFEO-UNSD-White-Paper-Resilient-Infrastructure.pdf](http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/members/Webinars/Webinar_HLPF/WGIC-WFEO-UNSD_White-Paper/20200709-WGIC-WFEO-UNSD-White-Paper-Resilient-Infrastructure.pdf) (дата обращения: 20.03.2021).

<sup>4</sup> Geospatial Technology and Information for Development. Electronic resource: <https://www.worldbank.org/en/topic/land/brief/geospatial-technology-and-information-for-development> (дата обращения: 15.09.2020).

<sup>5</sup> Advancing Role of Geospatial Knowledge Infrastructure in World Economy, Society and Environment. Version 1.0 | 01/07/2020. Discussion Document. <https://geospatialmedia.net/pdf/GKI-Discussion-Documents-Ver1.0.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).

экономике, обществе и окружающей среде», целью которой является «проецирование ценностного предложения геопространственных знаний, прогнозирование их актуальности и связанности с основами экономики и общества следующего поколения и пересмотр роли заинтересованных сторон: правительства, промышленности и гражданского общества»<sup>1</sup>. При этом в целом ряде публикаций обращается внимание на необходимость пересмотра основных представлений, направлений и тенденций в использовании геопространственных данных, информации и знаний для планирования развития и управления территориями, адекватных новой парадигме геопространственной деятельности [Карпик и др., 2020]. В этой связи интенсификация исследований и разработок, поиск новых подходов, методов и технологий геопространственного обеспечения регионов становится своего рода императивом.

При этом, анализ современных публикаций по данной тематике показывает, что на фоне неуклонного расширения объемов и сфер применения геопространственных данных и информации в решении различных пространственных задач, использование геопространственных знаний при планировании развития территорий все еще находится на самом начальном этапе. Например, в публикации<sup>2</sup> приведены многочисленные (1000!) ГИС-проекты самого широкого спектра и только несколько узконаправленных проектов для целей пространственного планирования территорий, например:

- распределение производства в пространстве с учетом затрат на транспорт и фактор мобильности (модель Тюнена);
- исследование взаимосвязи между географической близостью к инновационным ресурсам и доходностью акций (индекс географических инноваций);
- определение экономических показателей для бизнеса, промышленности и демографии на основе радиуса, движения и близости (индикатор экономической базы).

Это обстоятельство диктует необходимость более глубокого рассмотрения вопросов геокогнитивного моделирования, основанного на формировании и использовании геопространственных знаний, в решении задач анализа и прогнозирования в процессе планирования пространственного развития регионов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью выполненного нами исследования является обоснование методологии продуктивного и эффективного геопространственного обеспечения решений аналитических и прогнозных задач, повышающего уровень учета территориальных особенностей регионов. Для этого решалась задача определения основных особенностей кардинально новых представлений и результатов геопространственной деятельности в связи с формированием и использованием геопространственных знаний о территориях. Основу исследования составил анализ современной технической литературы ведущих стран мира по вопросам концепций, парадигм и стратегических направлений использования геоинформации в процессах стратегического планирования пространственного развития территорий с учетом глобальной цифровизации экономики и социальной сферы и достижений надвигающейся 4-й промышленной революции. Методика исследований включала поиск соответствующих публикаций с контент-анализом в режиме онлайн, отбор информативных и полезных для исследования источников, их анализ, осуществление фор-

---

<sup>1</sup> Towards a Spatial Knowledge Infrastructure. White Paper. Electronic resource: <https://www.crcsi.com.au/assets/Program-3/CRCSTowardsSpatialKnowledgeWhitepaperwebMay2017.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).

<sup>2</sup> 1000 GIS Applications & Uses – How GIS Is Changing the World. [Electronic resource]. – URL: <https://gisgeography.com/gis-applications-uses/> (дата обращения: 10.07.2021).

мально-логического анализа и теоретико-множественного описания выявленных аспектов получения и использования геопространственных знаний, создание геокогнитивных моделей, отражающих геознания о территории, формулирования основных концептов и формирования методологических и технологических решений по непосредственному использованию предлагаемых моделей в процессах пространственного анализа и прогнозирования социально-экономического развития регионов Азиатской России.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основе геопространственной деятельности по обеспечению решений задач планирования и управления территориями лежит базовое представление о территории как о некоторой неоднородной среде, элементы которой подлежат выявлению и затем геопространственному моделированию.

С позиций хозяйственного использования территорию можно представить как пространственно-временной и инфраструктурный комплекс природных, производственных и трудовых ресурсов, находящихся во взаимодействии, регулируемом законодательными и нормативными актами. То есть здесь имеет место предметная неоднородность экономического пространства. В геопространственном аспекте территория – это комплекс взаимосвязанных между собой в едином географическом пространстве объектов, процессов и явлений, отражающих неоднородность этого пространства и характеризующихся своим местоположением и границами. То есть здесь имеет место и регистрируется пространственная неоднородность. Пересечение этих двух комплексов образует производный комплекс, элементы которого наследуют предметные и пространственные свойства и могут быть обозначены как предметно-пространственные неоднородности.

В процессе геопространственной деятельности свойства каждой выделенной предметно-пространственной неоднородности фиксируются с помощью предметных и пространственных данных – геоданных. Совокупность этих данных образует геоинформационную модель этой неоднородности, которая в технической литературе получила название пространственного или геопространственного объекта. В результате геоинформационной обработки геоданных формируется совокупность геопространственных объектов, заданных своими границами в единой инфраструктуре пространственных данных, в том числе единой координатной системе (например, X, Y, H), и во взаимосвязи, которая и является искомой геоинформационной моделью территории (ГИМТ).

И геоданные, и полученная на их основе геоинформация создают образ территории как объективной реальности. Однако для анализа состояния, планирования пространственного развития и управления территорией необходимы еще определенные знания, представляющие собой оценку, понятия и суждения о сущности, значимости, полезности, ценности и других субъективных качеств территории в целом, находящихся на ней объектов и происходящих на ней процессов и явлений. Такие знания получили название геознаний, а созданный на их основе в результате умозаключений субъективный образ территории, предлагается нами обозначить новым термином «геокогнитивная модель территории» (ГКМТ). При этом сам процесс создания ГКМТ целесообразно обозначить термином «геокогнитивное моделирование территории».

Таким образом, современная концепция геопространственного обеспечения стратегического планирования развития и управления регионами должна основываться на использовании в едином комплексе базовых понятий геопространственного объекта, геоинформационной и геокогнитивной моделей территории, соответствующих фундаментальным понятиям данные, информация и знания. При этом, методы и технологии работы с геоданными и геоинформацией в настоящее время достаточно отработаны, однако

методология получения и использования геознаний еще не сформирована и требует глубокой проработки. Рассмотрим теоретико-методологические подходы и вопросы оценки геокогнитивного моделирования территории для обеспечения стратегического планирования социально-экономического развития регионов.

Предварительно сформулируем следующие исходные концептуальные положения.

1. Степень и характер использования геоданных, геоинформации и геознаний в процессах анализа и прогнозирования развития территории зависят от уровня решаемых экономических задач – на микроуровне в большей степени востребованы геопространственные данные и геоинформация, на макроуровне – приоритет получают геознания.
2. Поскольку геознания могут рассматриваться относительно к определенным предметно-пространственным неоднородностям их также можно выделить и зафиксировать с помощью геоданных, и, следовательно, представить как особый вид пространственных объектов.
3. На множестве этих пространственных объектов можно выполнить стандартную геоинформационную обработку средствами ГИС и получить в результате геокогнитивную модель территории, в том числе и в виде специальной тематической карты (геокогнитивной карты).
4. Каждый пространственный объект геокогнитивной модели содержит геознания о том или ином природном и/или отраслевом объекте, процессе и явлении, которые находятся, пересекаются, взаимосвязаны и взаимодействуют в каждой точке общего геопространства, формируя интегральные свойства территории, для отображения которых можно использовать ранее введенное нами понятие «геофрагмента» как элементарной единицы геопространства [Karpik, et al., 2020].
5. Для каждого геофрагмента можно установить различные функциональные показатели (индикаторы), отражающие знания и соответствующие требованиям решаемой геопространственной задачи, например в виде индексов. Этот подход широко используется в процессах планирования и управления [Лавриненко и др., 2019; Рубанов, 2019; Федянин и др., 2020; Bobylev, et al., 2018].

Например, при стратегическом планировании развития территорий можно для каждого геофрагмента определить следующие показатели:

- интегральный показатель территориальной ценности, полезности, значимости – ресурсный капитал геофрагмента;
- интегральный показатель инженерной сложности с точки зрения освоения и обустройства территории;
- интегральный показатель инфраструктурной обеспеченности территории;
- показатель синергетического эффекта при взаимодействии пространственных объектов;
- показатель наличия, запасов, объемов и стоимости природных ресурсов;
- показатель уровня развитости транспортной сети
- показатель пригодности для осуществления той или иной производственной деятельности.

Рассмотрим решение геопространственной задачи оценки синергетического эффекта при взаимодействии объектов природных ресурсов с транспортной системой путем увеличения связанности территорий за счет создания качественно новых интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем.

Сущность предлагаемого метода заключается в выполнении следующей последовательности действий:

1. Создание (или использование готовой) геоинформационной модели территории в масштабе, соответствующем пространственному уровню (размеру) анализируемого региона
2. Составление тематической модели региона методом исключения объектов, процессов и явлений, не влияющих на результат решаемой задачи.
3. Разбиение тематической модели на геофрагменты.
4. Анализ каждого геофрагмента по заданным показателям и определение их значений (отдельно по видам природных ресурсов и по транспорту).
5. Распределение геофрагментов по группам с заданными диапазонами значений показателей (отдельно группы по видам природных ресурсов и группы по транспорту).
6. Поочередное комплексирование геофрагментов из групп видов природных ресурсов и групп транспорта в пространственно-связные кластеры с вычислением интегрального показателя эффекта, в том числе синергетического, для каждого создаваемого кластера.
7. Ранжирование пространственно-связных кластеров по значениям интегрального показателя или индекса эффекта.
8. Составление геокогнитивных моделей и карт с отображением промежуточных и окончательных результатов анализа территории региона.

В зависимости от вида экономического эффекта от взаимодействия объектов природных ресурсов с объектами транспортной сети могут быть использованы и разные показатели оценки геофрагментов и формируемых кластеров:

- увеличение объемов добычи природных ресурсов – натуральные показатели (тонны, кубометры);
- снижение транспортных расходов – в денежном выражении или в процентах (общий оборот, прибыль);
- увеличение финансовых показателей – в денежном выражении или в процентах (общий оборот, прибыль).

Кроме того, следует учесть, что вся описанная процедура анализа территории региона может быть выполнена как для существующей так и для прогнозируемой ситуации.

Рассмотрим более детально представление предлагаемого подхода на примере проблемы транспортировки природных ресурсов, которая занимает особое место в обеспечении пространственной связанности России, особенно ее Азиатской части. Транспортный полиморфизм состоит в том, что постиндустриальное освоение, в отличие от индустриального, как правило, не останавливается на выборе одного, оптимального варианта доставки грузов и пассажиров. Всегда есть стремление использовать различные дополнительные варианты, а не только основной. Поэтому, например, хоть транссибирская инфраструктурная ось и обречена на жесткую конкуренцию с маршрутом из Китая в Европу, проходящим через Казахстан, какая-то часть грузов достанется Транссибу и из тех районов, для которых этот маршрут не является кратчайшим. Разумеется, эта ситуация симметрична — какая-то часть грузов пойдет через Казахстан и от тех грузоотправителей, для которых кратчайший путь проходит по Транссибу.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Шупер В. Будущее России в Большой Евразии. Электронный ресурс: <http://mirperemen.net/2018/07/budush-hee-rossii-v-bolshoj-evrazii/> (дата обращения: 15.03.2021).



Разработки более совершенных цифровых моделей обеспечения транспортной связанности регионов страны ведется различными коллективами ученых и специалистов. Исследовательская группа сотрудников Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ) предлагает свою «Модель когнитивной индексации геофрагментов», которая позволяет оценивать геофрагменты территории в различных аспектах и может найти применение в формировании цифровых геопространственных платформ. Рассмотрим эту модель в аспекте перемещения природных ресурсов.

Модель представлена так: Предположим, что даны координаты действующего или предполагаемого к освоению объекта производства ресурса  $R=(R_1, R_2)$ . Пусть по какому-либо правилу, с учетом агломераций потребителей этого ресурса, проведена фрагментация географической карты России. Способы фрагментации и ее масштабы нуждаются в отдельном подробном обсуждении и здесь пока рассматриваться не будут.

Обозначим  $O_i=(O_{i1}, O_{i2})$  – координаты условных «центров» построенных геофрагментов, причем  $i=1, \dots, N$ , где  $N$  – общее количество геофрагментов.

Точка  $R$  и точка  $O_i$  как противоположные угловые точки позволяют выделить на географической карте прямоугольную область  $D$ , которая имеет координаты левого нижнего угла  $[\min(O_{i1}, R_1); \min(O_{i2}, R_2)]$ , а координаты правого верхнего угла  $[\max(O_{i1}, R_1); \max(O_{i2}, R_2)]$ .

Область  $D$ , в свою очередь, содержит некоторый фрагмент функционирующей сети железных дорог (магистральных трубопроводов), к которому нужно виртуально подключиться как со стороны потребителя  $O_i$ , так и со стороны объекта производства ресурса  $R$ . Предположим, что при минимуме затрат на строительство виртуальной «дуги»  $(w, O_i)$  в размере  $Z_i$  д.е., можно подключить потребителя  $O_i$  к транспортной сети в вершине  $w$ .

С другой стороны предположим, что при построении виртуальной «дуги»  $(R, s)$  с минимумом затрат в размере  $Z$  д.е. можно подключить объекта производства ресурса  $R$  к той же самой транспортной сети в вершине  $s$ . В частных случаях либо объект производства ресурса  $R$ , либо потребитель  $O_i$ , либо оба вместе могут быть уже подключенными к данному фрагменту сети. В общем случае эти необходимые виртуально добавленные подключения позволяют возможную доставку единицы ресурса от объекта производства ресурса  $R$  потребителю  $O_i$  рассматривать в три этапа:

- 1 этап. Транспортировка единицы ресурса по «дуге»  $(R, s)$ ,
- 2 этап. Прохождение единицы ресурса через соответствующий фрагмент сети из вершины  $s$  до вершины  $w$ ,
- 3 этап. Транспортировка единицы ресурса по «дуге»  $(w, O_i)$ .

Из перечисленных этапов наиболее доступен для оптимального управления в реальном времени 2 этап. Остановимся на нем поподробнее.

Сеть железнодорожных сообщений или магистральных трубопроводов, расположенных в географической области  $D$  обычно рассматривается в виде связанного ориентированного графа  $G_D(V, U)$ , где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  – множество вершин, точек разветвления входящих и выходящих дуг,  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  – множество дуг вида  $u_{ij} = (v_i, v_j)$ ,  $v_i, v_j \in V$ . Обозначим  $B(v_i)$  – множество вершин, соединенных дугами, выходящими из вершины  $v_i$ , а  $\underline{B}(v_i)$  – множество вершин, соединенных дугами, входящими в вершину  $v_i$ .

Связанная вершинами последовательность дуг в ориентированном графе  $G_D$  образует путь, который также может рассматриваться как соединенная дугами последовательность вершин  $d = (v_0, v_1, v_2, \dots, v_p)$ .

Пусть длину или вес дуги  $u = (v_i, v_j)$  представляет число  $l(v_i, v_j)$ , которое в нашем случае определяется по формуле  $l(v_i, v_j) = c_{ij} \times l_{ij}$ , где  $c_{ij}$  – тариф на доставку единицы ресурса из пункта  $v_i$  в пункт  $v_j$ , измеряемый как д.е./км, а  $l_{ij}$  – длина дуги  $(v_i, v_j)$ , измеряемая в километрах. Тогда вес пути  $d = (v_0, v_1, v_2, \dots, v_p)$ , выражающий затраты на перемещение единицы ресурса по этому пути, будет вычисляться по формуле:

$$L(d) = \sum_{v_i, v_j \in d} l(v_i, v_j).$$

Наиболее востребованной для практики задачей является нахождение кратчайшего пути  $d^*[s, w]$  на заданном графе  $G_D(V, U)$  из предварительно выбранной вершины  $s$  (источника) в другую выбранную вершину  $w$  (сток), где  $s, w \in V$  [6]. Значения булевых переменных  $x_{ij} \in \{0, 1\}$ , которые соответствуют дугам  $(v_i, v_j) \in U$  и показывают необходимость отбора той или иной дуги для кратчайшего пути, вычисляются как решение следующей задачи дискретного линейного программирования (1) – (4):

$$L = \sum_{(v_i, v_j) \in U} l(v_i, v_j) x_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{v_j \in B(s)} x_{sj} = 1; \quad (2)$$

$$\sum_{v_j \in B(v_i)} x_{ij} - \sum_{v_k \in \overline{B(v_i)}} x_{ki} = 0; \quad (i = \overline{2, n-1}), \quad v_i \neq s, t; \quad (3)$$

$$\sum_{v_j \in \overline{B(t)}} x_{jt} = 1; \quad (4)$$

Нужно отметить, что задача поиска кратчайшего пути  $d^*[s, w]$  в приведенной формулировке (1) – (4) может быть решена разными алгоритмами, практическая значимость которых для реально существующих транспортных сетей давно и активно обсуждается в специальной литературе [Смирнов, 2020].

В настоящий момент увеличивается поток публикаций по автоматизации поиска оптимальных маршрутов в транспортных сетях с применением ГИС и искусственного интеллекта, что способствует реализации предлагаемой когнитивной индексации выбранных фрагментов географической карты [Сахаров и др., 2018; Sakharov, et al., 2021].

Под индексом транспортной доступности объекта производства ресурса  $R$  для  $i$ -го геофрагмента будем понимать величину  $IND_{it}(R, O_i)$ , выражающую оценку суммарных затрат на доставку одной единицы ресурса от объекта производства ресурса  $R$  до «центра»  $i$ -того геофрагмента  $O_i$  в году  $t$  и вычисляемую по формуле:

$$IND_{it}(R, O_i) = T_1 + T_{2t} + T_3,$$

где  $T_1 = Z$  д.е. – оценка доставки ед. ресурса по дуге  $(R, s)$ ;

$T_{2t} = L'_{MIN}$  д.е. – затраты на доставку ед. ресурса по пути  $d^*[s, w]$  в году  $t$ ,

$T_3 = Z_t$  д.е. – оценка доставки ед. ресурса по дуге  $(w, O_i)$ .

Данная модель строится в русле интегративного подход к рассмотрению пространственной экономики и перспектив ее развития. Такой подход позволяет определять пространственное экономическое развитие как структурно-параметрическое и пространственно-временное упорядочение субъектов хозяйствования, базирующееся на

согласовании элементов и связей, что обеспечивает эффективность использования их потенциала [Rietveld, et al., 2019].

## **ВЫВОДЫ**

Представленный интегративный подход позволяет в качестве базы экономического развития рассматривать планирование сочетания ресурсов, предприятий и учреждений, для которых территориальная общность их компонентов является синергетическим фактором повышения экономической эффективности за счет значительной стабильности взаимных связей и ритмичности производственного процесса, сокращения транспортных издержек, рационального использования всех видов ресурсов и благоприятных условий маневрирования ними. А для эффективного планирования необходимо использование геоданных, геоинформации и геознаний, привлечение современных инструментов ГИС-обработки и анализа данных, технологий получения и использования геознаний, создание баз геознаний о территории, освоения на этой основе в перспективе технологий искусственного интеллекта и автоматизированных экспертных систем, моделирования процессов и явлений позволит снизить риски принятия необоснованных управленческих решений и влияния человеческого фактора. При этом, в состав комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого анализа и прогнозирования должны быть включены геокогнитивные средства представления геознаний о территориях.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта, предоставленного в форме субсидии на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития в рамках подпрограммы «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», проект «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий», номер соглашения с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2020-804 (внутренний номер гранта № 13.1902.21.0016).

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The article was prepared within the grant for carrying out major scientific projects in priority areas of scientific and technological development under the subprogram "Fundamental scientific research for the long-term development and ensuring the competitiveness of society and the state" of the state program of the Russian Federation "Scientific and technological development of the Russian Federation," project "Social and economic development of Asian Russia on the basis of synergy of transport accessibility, system knowledge of natural resource potential, and expanding area of interregional interactions", agreement with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2020-804 (internal number 13.1902.21.0016).

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Карник А.П., Лисицкий Д.В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопространственной деятельности. Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25. № 2. С. 19–29.
2. Крюков В.А., Баранов А.О., Павлов В.Н., Суслов В.И., Суслов Н.И. Проблемы развития единого комплекса средств макроэкономического межрегионального

- межотраслевого анализа и прогнозирования. Экономика региона. 2020. Т. 16. Вып. 4. С. 1072–1086. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-5>.
3. *Лавриненко П.А., Ромашина А.А., Степанов П.С., Чистяков П.А.* Транспортная доступность как индикатор развития региона. Проблемы прогнозирования. 2019. № 6. С. 136–146.
  4. *Рубанов И.Н.* Описание методики разработки интегральных индикаторов для оценки свойств пространственных объектов и анализ типовых ошибок исследований (на примере индикаторов устойчивого развития и регионов России). Материалы Международной конференции «ИнтерКарто.ИнтерГИС». 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 5–17. <http://intercarto.msu.ru/jour/articles/article655.pdf>.
  5. *Сахаров В.В., Сикарев И. А., Чертков А.А.* Автоматизация поиска оптимальных маршрутов и грузовых потоков в транспортных сетях средствами целочисленного линейного программирования. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. 2018. Т. 10. № 3. С. 647-657. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-647-657.
  6. *Смирнов С.В.* Исследование возможностей применения алгоритмов определения кратчайшего пути в ГИС. Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика. 2020. С. 56–61.
  7. *Федянин А.А., Грунин А.А., Карасев О.И., Кривоцова А.О., Михайленко Д.А., Петрова Т.А.* Индекс развития транспортного комплекса. Аналитический доклад. М.: МГУ, 2020. 116 с.
  8. *Bobylev S.N., Chereshnya Olga Yu., Kulmala M., Lappalainen H.K., Petäjä T., Solov'eva S.V., Tikunov V.S., Tynkkynen V.P.* Indicators for digitalization of sustainable development goals in peex program. Geography, Environment, Sustainability. 2018. V. 11. No 1. С. 145–156.
  9. *Colombo S.* Spatial Economics Volume I. Springer, 2020. 365 p.
  10. *Karpik A., Lisitsky D., Osipov A., Savinykh V.* New paradigm of geoinformation space in territorial aspect. Revista TURISMO: Estudos e Práticas. 2020. No 1. Mode of access: <http://natal.uern.br/periodicos/index.php/RTEP/article/view/544>.
  11. *Rietveld P., Shefer D.* Regional development in an age of structural economic change. Routledge, 2019. 267 p.
  12. *Sakharov V., Chernyi S., Saburov S., Chertkov A.* Automatization Search for the Shortest Routes in the Transport Network Using the Floyd-Warshell Algorithm. Transportation Research Procedia. 2021. V. 54. С. 1–11.

#### REFERENCES

1. *Bobylev S.N., Chereshnya Olga Yu., Kulmala M., Lappalainen H.K., Petäjä T., Solov'eva S.V., Tikunov V.S., Tynkkynen V.P.* Indicators for digitalization of sustainable development goals in peex program. Geography, Environment, Sustainability. 2018. V. 11. No 1. P. 145–156.
2. *Colombo S.* Spatial Economics Volume I. Springer, 2020. 365 p.
3. *Fedyanin A.A., Grunin A.A., Karasev O.I., Krivtsova A.O., Mikhailenko D.A., Petrova T.A.* Transport complex development index. Analytical report. Moscow State University. Moscow, 2020. 116 p. (in Russian).
4. *Karpik A.P., Lisitsky D.V.* Prospects for the development of geodetic and cartographic production and a new paradigm of geospatial activity. Bulletin of SGUGiT. 2020. V. 25. No 2. P. 19–29 (in Russian).

5. *Karpik A., Lisitsky D., Osipov A., Savinykh V.* New paradigm of geoinformation space in territorial aspect. *Revista TURISMO: Estudos e Práticas*. 2020. No 1. Mode of access: [http:// natal.uern.br/periodicos/index.php/RTEP/article/view/544](http://natal.uern.br/periodicos/index.php/RTEP/article/view/544).
  6. *Kryukov V.A., Baranov A.O., Pavlov V.N., Suslov V.I., Suslov N.I.* Problems of development of a single complex of means of macroeconomic interregional intersectoral analysis and forecasting. *Economy of the region*. 2020. V. 16. No 4. P. 1072–1086. [https://doi.org/ 10.17059/ ekon.reg.2020-4-5](https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-5) (in Russian).
  7. *Lavrinenko P.A., Romashina A.A., Stepanov P.S., Chistyakov P.A.* Transport accessibility as an indicator of the development of the region. *Forecasting problems*. 2019. No 6. P. 136–146 (in Russian).
  8. *Rietveld P., Shefer D.* *Regional development in an age of structural economic change*. Routledge, 2019. 267 p.
  9. *Rubanov I.N.* Description of the methodology for the development of integral indicators for assessing the properties of spatial objects and analysis of typical research errors (on the example of indicators of sustainable development and regions of Russia). *Materials of the International Conference "InterCarto.InterGIS"*. 2019. V. 25. Part 1. P. 5–17. [http:// intercarto.msu.ru/ jour/articles/article655.pdf](http://intercarto.msu.ru/jour/articles/article655.pdf) (in Russian).
  10. *Sakharov V., Chernyi S., Saburov S., Chertkov A.* Automatization Search for the Shortest Routes in the Transport Network Using the Floyd-Warshell Algorithm. *Transportation Research Procedia*. 2021. V. 54. P. 1–11.
  11. *Sakharov V.V., Sikarev I.A., Chertkov A.A.* Automation of the search for optimal routes and cargo flows in transport networks by means of integer linear programming. *Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral SO Makarov*. 2018. V. 10. No 3. P. 647–657. DOI: 10.21821 / 2309-5180-2018-10-3-647-657 (in Russian).
  12. *Smirnov S.V.* Investigation of the possibilities of using algorithms for determining the shortest path in GIS. *Topical issues of modern science: theory, methodology, practice, innovation*, 2020. P. 56–61 (in Russian).
-