

НАУКА И РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ SCIENCE AND REGIONAL DEVELOPMENT

УДК 911.3+004.738.5

DOI: 10.37490/S221979310032649-6

В. И. Блануца

Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения

Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

E-mail: blanutsa@list.ru

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ: ТРИ ПАРАДИГМЫ

В эпоху больших данных и искусственного интеллекта необходимы новые инструменты общественно-географического анализа, позволяющие извлекать информацию и генерировать знание из непрерывного потока разнообразных пространственных данных. Один из таких инструментов — система геопространственного искусственного интеллекта. Однако для географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития подобные системы ещё не создавались. Первым шагом к созданию этих систем является уяснение парадигм проведения географической экспертизы проектов с помощью искусственного интеллекта. Поставив такую цель, впервые для мировой науки была предпринята попытка наметить ключевые особенности географической экспертизы в соответствии с парадигмами слабого, сильного и сверхсильного искусственного интеллекта, определить архитектуру трёх систем, создать систему географической экспертизы в рамках первой парадигмы и начать её апробацию на примере четырёх проектов социально-экономического развития России. Для создания систем использовались наборы правил «если ..., то ...», искусственные нейронные сети и графы знаний. Тестирование первой системы проводилось на данных из отечественных проектов, которые ранее анализировались автором без применения геопространственного искусственного интеллекта. Машинное обучение на этих данных позволило получить первые географические результаты, указывающие на невозможность достижения декларируемых целей проектов. Практическая значимость проведённого исследования связана с проверкой государственных документов социально-экономического развития, встраиванием предлагаемых систем в процесс формирования проектов и проведении мониторинга реализации проектов.

Ключевые слова: общественная география, экспертиза, региональное развитие, машинное обучение, граф знаний.

Благодарности. Исследование выполнено за счёт средств государственного задания (№ регистрации темы АААА-А21-121012190018-2).

Для цитирования: Блануца В. И. Геопространственный искусственный интеллект для географической экспертизы проектов регионального развития: три парадигмы // Псковский регионологический журнал. 2025. Т. 21. № 1. С. 3–21. DOI: <https://doi.org/10.37490/S221979310032649-6>

V. I. Blanutsa

Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia

E-mail: blanutsa@list.ru

GEOSPATIAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR GEOGRAPHICAL EXPERTISE OF REGIONAL DEVELOPMENT PROJECTS: THREE PARADIGMS

In the era of big data and artificial intelligence, new tools of human-geographical analysis are needed to extract information and generate knowledge from a continuous flow of diverse spatial data. One of such tools is a geospatial artificial intelligence system. However, such systems have not yet been created for the geographical expertise of regional socio-economic development projects. The first step towards creating these systems is to understand the paradigms for conducting geographical expertise of projects using artificial intelligence. Having set such a goal, for the first time for world science, an attempt was made to outline the key features of geographical expertise in accordance with the paradigms of narrow, general and super artificial intelligence, to determine the architecture of three systems, to create a system of geographical expertise within the framework of the first paradigm and to begin its approbation using the example of four projects for Russia's socio-economic development. To create the systems, sets "if ... then" rules, artificial neural networks and knowledge graphs were used. Testing of the first system was carried out on data from domestic projects, which were previously analyzed by the author without the use of geospatial artificial intelligence. Machine learning on this data allowed us to obtain the first geographical results indicating the impossibility of achieving the declared goals of the projects. The practical significance of the conducted research is related to the verification of state documents on socio-economic development, the integration of the proposed systems into the process of project formation and the monitoring of project implementation.

Keywords: human geography, expertise, regional development, machine learning, knowledge graph.

Acknowledgments. The research was carried out at the expense of the state task (registration number of the topic ААААА-А21-121012190018-2).

For citation: Blanutsa V. I. (2025), Geospatial artificial intelligence for geographical expertise of regional development projects: three paradigms, *Pskov Journal of Regional Studies*, vol. 21, no. 1, pp. 3–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37490/S221979310032649-6>

Введение. Общественная география (Human Geography), нацеленная на познание территориальной организации общества, обладает большим объёмом знаний, которые могут использоваться при экспертизе национальных проектов (программ, стратегий) социально-экономического развития регионов. Однако существуют, по крайней мере, две проблемы, препятствующие использованию общественно-географического знания для проверки проектов регионального развития. Одна из них связана с ограниченностью привлекаемых географических данных, не позволяющих оценить влияние на анализируемое развитие всех сопутствующих процессов [1] и провести «контекстуальную экспертизу» [19], а другая — с отсутствием способов встраивания имеющегося знания в систему принятия решений [10]. Наступившая эпоха «больших данных» и искусственного интеллекта (ИИ) [11; 13; 15] обострила эти проблемы. Теперь необходимо с помощью систем ИИ обрабатывать непрерывный поток разнокачественных данных в режиме реального времени. Это обуславливает необходимость создания новых алгоритмов географической экспертизы на платформе ИИ. К сожалению, географы ещё не построили такие алгоритмы. Причин тому много, но одна из первопричин — отсутствие концептуальных рамок (парадигм) проведения ИИ-обусловленной географической экспертизы.

Цель статьи заключается в уяснении парадигм проведения географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития с помощью искусственного интеллекта. При этом парадигмы понимаются в трактовке Т. Куна [25], а географическая экспертиза — в трактовке К. П. Космачёва [4] и с учётом последующих дополнений [1; 2].

Исходные предпосылки. Разработка искусственного интеллекта, имитирующего когнитивные способности человека, началась в середине прошлого века [46]. Считается [41], что термин «искусственный интеллект» («Artificial Intelligence») ввёл в научный оборот Д. Маккарти, который летом 1956 г. провёл семинар с таким названием в Дартмутском колледже (США). С того времени разработка технологий ИИ ведётся с периодическими подъёмами и спадами научного и коммерческого интереса к ним [14], а также с изменением представлений о том, какие именно технологии следует относить к ИИ [20]. Современное представление об искусственном интеллекте связано с технологиями машинного обучения [12], когда на известных примерах машина учится извлекать эмпирические закономерности для прогнозирования ситуации в ранее ей не известных примерах. Термин «машинное обучение» («Machine Learning») введён в научный оборот в 1959 г. [42], а дальнейшее развитие этих идей привело к «глубокому обучению» («Deep Learning») [27].

Первым географическим осмыслением возможностей ИИ стала статья профессора географии из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре Т. Смит, опубликованная в 1984 г. [43]. В следующем десятилетии вышла первая географическая монография по ИИ [36]. Резкое увеличение публикационной активности стало наблюдаться с 2017 г. [11]. Одна из причин — появление в открытом доступе «больших данных» [11; 29], состоящих примерно на 80 % из данных с указанием географического местоположения

[21]. Необходимость их углублённого анализа привела к появлению геопространственного искусственного интеллекта (ГеоИИ). Такое название связано с использованием пространственно-явных географических моделей [24] (соответственно, ГеоИИ не распространяется на пространственно-неявные модели, ориентированные на географический анализ отдельно взятой территории без её внутренней дифференциации и взаимодействия с внешними территориями). Отдельно следует отметить создание современных приложений ГеоИИ для бизнеса¹, которое в «Forbes» озаглавлено как «Расцвет искусственного интеллекта соответствует золотому веку географии»².

Представление о новом виде ИИ с 2017 г. формировалось на ежегодных семинарах по ГеоИИ в рамках международных конференций Ассоциации вычислительной техники [22], а с 2018 г. — на ежегодных симпозиумах Американской ассоциации географов [23]. Первая обобщающая статья по ГеоИИ была опубликована в 2018 г. [47]. Более объёмных публикаций именно по ГеоИИ выпущено только две (по состоянию на 1 сентября 2024 г.) — коллективная монография [38] и справочник [17]. Новое направление создавалось на стыке аналитики геопространственных данных и технологий ИИ, особенно пространственно-явных методов глубокого обучения и графов знаний [18]. ГеоИИ применялось в различных географических науках, в т. ч. в общественной географии. В последнем общественно-географическом обзоре по ГеоИИ [48] рассмотрено 1516 опубликованных исследований (2010–2023 гг.). Однако в этой и других обзорных статьях [16; 31; 32; 35; 49] не упоминаются какие-либо публикации по применению ГеоИИ для географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития.

Переходя к географической экспертизе, следует отметить, что она нацелена на оценку «качества информации, используемой для отражения хода природных и социально-экономических процессов в пределах конкретных территорий» [4, с. 3], а также призвана идентифицировать дефекты пространственной информации и погрешности против местности. К. П. Космачёвым [4] были установлены десять групп причин снижения качества информационных ресурсов и отмечена необходимость анализа взаимосвязей (взаимопереходов) понятий, экспертизы географических сравнений, регионализации понятийной базы, экспертизы однотипных источников информации, выявления районов-аналогов, определения причин зарождения и возможностей устранения нежелательных последствий локальных конфликтных ситуаций и экспертно-географического районирования. Развивая эти идеи, нами было предложено пять дополнительных направлений экспертно-географических исследований [1].

В 2024 г. в зарубежных публикациях по географической экспертизе проектов регионального развития уделялось повышенное внимание социальной справедливости [9], воздействию наднациональных проектов на регионы страны [39] и проверке национальной политики декарбонизации промышленных кластеров [26]. Анализ миро-

¹ Например, ГеоИИ встроено в программную среду ArcGIS. См.: [Электронный ресурс]: URL: <https://www.esri.com/ru-ru/capabilities/geoai/overview> (дата обращения: 01.09.2024).

² Kantor M. The rise of AI meets the golden age of geography / Forbes, March 22, 2024. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.forbes.com/sites/esri/2024/03/22/the-rise-of-ai-meets-the-golden-age-of-geography/> (дата обращения: 01.09.2024).

вого опыта географической экспертизы проектов регионального цифрового развития показал [6], что начали формироваться сравнительно-географический, кластерный, конвергентный, геополитический и лимнологический подходы. Все выше перечисленные особенности учитывались при построении системы геопространственного искусственного интеллекта для географической экспертизы проектов регионального развития (ГеоИИ-ГЭ-ППР), отдельные элементы которой используются далее (без технических подробностей) для иллюстрации парадигм. Апробация этой системы проводилась на основе данных из «Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года» (далее — Единый план) [3], «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» (далее — Стратегия) [1], государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (далее — Программа) [1] и «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» (далее — Национальная стратегия) [1].

Результаты исследования. Философско-этическая дискуссия об искусственном сверхразуме, начатая Н. Бостромом [7] и продолжающаяся до сих пор [5], закрепила предыдущие размышления о машинном интеллекте человеческого уровня и сформировала устойчивое представление о трёх состояниях (типах, стадиях) ИИ. Переход от одного к другому состоянию настолько революционен в научном плане, что позволяет говорить о трёх парадигмах ИИ. Согласно парадигме слабого (узкого) ИИ, машина способна решать отдельные задачи человеческого уровня (например, распознавание изображений), делая это при поддержке человека (контролируемое машинное обучение или обучение с учителем). Парадигма сильного (общего) ИИ обосновывает автономное (не контролируемое человеком) машинное решение всех задач человеческого уровня, а парадигма сверхсильного (суперинтеллект) ИИ — решение задач за пределами когнитивных способностей человека.

Существующие системы ИИ разработаны в рамках первой парадигмы. При этом некоторые исследователи [8] утверждают, что генеративный искусственный интеллект ChatGPT на основе большой языковой модели GPT-4 является «ранней версией» общего ИИ. Подобные системы уже применяются в географических исследованиях [49], но они ещё не являются универсальными, решающими все задачи. Отмеченные парадигмы распространяются на все виды ИИ, включая ГеоИИ. Это даёт основание начать разработку конкретных систем в рамках трёх парадигм, обозначенных, соответственно, ГеоИИ_1.0, ГеоИИ_2.0 и ГеоИИ_3.0. В качестве иллюстраций будут использоваться первые результаты создания ГеоИИ-ГЭ-ППР по парадигме ГеоИИ_1.0 и предварительные решения по системам ИИ-обусловленной географической экспертизы в соответствии с ГеоИИ_2.0 и ГеоИИ_3.0.

Парадигма слабого ИИ (ГеоИИ_1.0). Обобщая существующие системы ГеоИИ, были определены следующие основные особенности решения общественно-географических задач в соответствии с этой парадигмой: быстрое действие (скорость машинного решения значительно превышает скорость человеческого решения), безошибочность (человек может допускать случайные и систематические ошибки, а машина

делает ошибки только по вине человека, неправильно вводящего данные или разработавшего код с дефектами), узкая специализация (системы, созданные для решения одних задач, не могут использоваться для решения иных задач), непрозрачность (алгоритмы глубокого обучения работают по принципу «чёрного ящика», не разъясняя механизм преобразования исходных данных в итоговое решение), зависимость от данных (неправильные исходные данные приводят к неправильному машинному решению), центр-периферийное несоответствие (машина, обученная на примере сильно урбанизированной территории, не может правильно решить ту же задачу для удалённой сельской местности), непонимание географического контекста (машинные решения принимаются без учёта внешних географических ситуаций), зависимость от масштаба (система, созданная для решения определённой задачи на локальном уровне, не может решить эту же задачу на региональном, национальном и глобальном уровнях) и невозможность генерации геопространственного метазнания (машина не способна выйти за рамки поставленных задач и провести обобщение в виде географического закона). Акцентирование внимания на негативных особенностях (все, кроме первых двух) сделано специально для уяснения ограничений ГеоИИ_1.0 и последующего их устранения при ГеоИИ_2.0 и ГеоИИ_3.0.

С учётом ограничений парадигмы ГеоИИ_1.0 и мирового опыта разработки систем ГеоИИ, в июне 2024 г. автор этой статьи приступил к созданию ГеоИИ-ГЭ-ПРР. При этом следует отметить, что в мировой науке нет примеров разработки каких-либо систем ГеоИИ-ГЭ, что существенно усложнило работу на начальном этапе. Однако опыт проведения географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития [1–3] и использования алгоритмов ИИ [2] способствовали созданию новой системы. К настоящему времени её формирование ещё не завершено, но архитектура и первые результаты тестирования позволяют надеяться на дальнейший прогресс в этом деле. Создаваемую систему можно представить в виде нескольких взаимодействующих блоков (рис. 1).

Не вдаваясь в технические подробности, уточним, что преобразование входящей информации заключается в переводе текста, статистических данных и изображений в машиночитаемую форму. В качестве нейросетей будут использоваться разные искусственные нейронные сети, а на начальном этапе апробируется глубокое обучение на основе графов [50; 51]. Для формализации логических действий применяются правила «если ..., то ...» (примеры приведены в [2]), а сущность географической экспертизы заключается в выявлении в проекте противоречий и проведении альтернативного исследования (привлечение для анализа проекта других данных и/или способов их обработки) [1]. Все исходные данные и аналитические оценки сводятся в граф знаний [37], в котором вершинами являются регионы, а рёбрами — отношения между регионами. Через блок «Запросы» можно как задавать системе уточняющие вопросы по результатам экспертизы, так и получать от системы требования о вводе дополнительной информации, недостающей для экспертизы проекта.

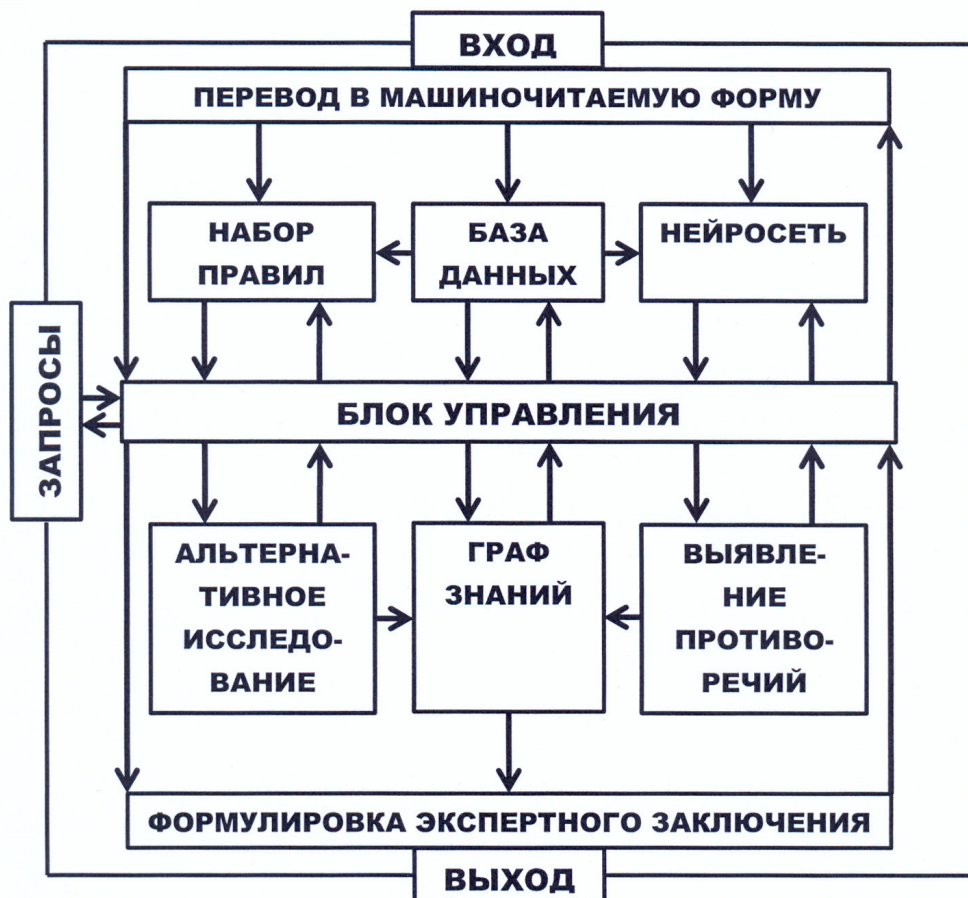


Рис. 1. Система геопространственного искусственного интеллекта для географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития (версия ГеоИИ-ГЭ-ППР_1.0)

Fig. 1. Geospatial artificial intelligence system for geographical expertise of regional socio-economic development projects (version GeoAI-GE-RDP_1.0)

Контролируемое обучение искусственной нейронной сети проводилось на известных примерах географической экспертизы проектов развития российских регионов — Единого плана, Стратегии и Программы. Для этого с помощью генератора случайных чисел отбиралось 60 регионов в качестве обучающей выборки, а затем на основе установленных корреляционных связей проводился анализ оставшихся 24 (без столицы) или 25 регионов. Далее генерировался новый набор обучающей выборки и так продолжалось до тех пор, пока не получались стабильные результаты (последующие итерации не приводили к изменению результата). В итоге были получены те же экспертные оценки, что и без применения ГеоИИ-ГЭ-ППР, т. к. обучение контролиро-

валось, но важно не это, а постепенное обучение системы проведению экспертизы. При этом процесс обучения позволил получить новое географическое знание, которое невозможно было обнаружить вне среды ИИ. Например, при экспертизе Стратегии подтвердилось противоречие между её нацеленностью на «сокращение межрегиональных различий» и предлагаемым распределением перспективных экономических специализаций по регионам (Приложение 1 к Стратегии). Как и ранее [1], были выделены 6 кластеров регионов (клубов экономической конвергенции), но итерационный процесс обучения позволил дополнительно идентифицировать группы регионов, которые образовывались при любом случайном наборе данных и в силу этого являются географическими инвариантами для Стратегии. Обнаружено три такие группы — (Республика Татарстан, Ставропольский край, Волгоградская, Нижегородская и Ростовская области), (Ненецкий и Ямало-Ненецкий автономные округа), (Забайкальский край и Еврейская автономная область). Получается, что при любых ошибках (случайных или систематических искажениях в Приложении 1) Стратегия преследует цель будущей широкой специализации первой группы и узкой специализации второй и третьей групп. Такого вывода по Стратегии никто ранее не делал. Особенно удручает в правительственном проекте отказ от расширения специализации экономически слабо развитых регионов третьей группы (в окончательном — без возможных искажений — варианте узкоспециализированными оказались 5 из 6 кластеров).

Тестирование предлагаемой системы на материалах Программы подтвердило ранее сделанный вывод [1] о латентном смысле программы развития цифровой экономики России — формировании доминирующих цифровых платформенных компаний в столице без федеральной поддержки создания региональных цифровых платформ, а апробация на материалах Единого плана позволила констатировать (как и в [3]) разнонаправленность региональных траекторий достижения национальных целей развития. При этом в ходе машинного обучения впервые установлено, что при разных вариантах неправильного указания целевых значений шесть субъектов Российской Федерации — Чукотский автономный округ, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Еврейская автономная область, Чеченская Республика и Карачаево-Черкесская Республика — не смогут к 2030 г. достигнуть всех национальных целей развития. Следует также отметить, что особой проблемой является мониторинг реализации проектов. Для этого с помощью разработанной системы в ближайшем будущем будет проведена проверка выполнения целевых установок Национальной стратегии в городах Сибирского федерального округа.

Парадигма сильного ИИ (ГеоИИ_2.0). Контуры революционного перехода к новой парадигме ИИ уже определены [44; 45], а применительно к геопространственному искусственному интеллекту они заключаются в устранении негативных особенностей ГеоИИ_1.0. Для разрабатываемой системы географической экспертизы (версия ГеоИИ-ГЭ-ППР_2.0) это означает появление следующих новых возможностей: автономность (неконтролируемое обучение или обучение без учителя), универсальность (включая независимость от масштаба; возможность проведения географической экспертизы любых проектов — от локальных до глобальных — по любой социально-

экономической тематике; ГеоИИ-ГЭ-ПРР_2.0 становится одним из частных вариантов ГеоИИ-ГЭ), прозрачность (система работает по принципу «белого ящика», разъясняя пользователям все особенности получения экспертного заключения), независимость от данных (для проверки проекта привлекаются не только данные самого проекта, но и все другие данные, способные прояснить ситуацию с проектом), центр-периферийное соответствие (при переходе от центра к периферии система автоматически перестраивается на новую географическую специфику) и учёт географического контекста (система самостоятельно встраивает проект в общественно-географическую ситуацию вокруг него и оценивает все риски реализации проекта).

Инструментарий реализации второй парадигмы ещё полностью не разработан. Основной акцент делается на переходе от алгоритмов субсимвольного (коннекционно-го) ГеоИИ к методам символьного (символического) ГеоИИ [34]. Речь идёт об использовании нейросетей в глубоком обучении для первого случая и применении человеко-подобных логических рассуждений во втором случае. Дополнительные возможности откроются после развёртывания искусственного интеллекта вещей как новой стадии развития Интернета вещей [33; 40]. Субсимвольный ГеоИИ уже реализован в рамках первой парадигмы, а по будущему символьному ГеоИИ ведётся дискуссия, в рамках которой предлагается переходная стадия в виде создания алгоритмов нейро-символьного ГеоИИ [28]. Один из вариантов таких промежуточных алгоритмов — интеграция глубокого обучения с графами знаний [34]. На этом пути формируется предлагаемая система географической экспертизы региональных проектов в соответствии с первой парадигмой (см. рис. 1). Для более продвинутой версии такой системы в рамках второй парадигмы разработана другая архитектура (рис. 2).

В отличие от системы, опирающейся на установки первой парадигмы (см. рис. 1), новая система (см. рис. 2) не контролируется человеком-исследователем. Это проявляется в самостоятельном функционировании блока управления и неподконтрольным взаимодействием с внешней средой в виде ГеоИИ-ГЭ, Интернетом и искусственным интеллектом вещей. Новая система без помощи человека отыскивает данные, необходимые для экспертизы определённого проекта (загружается в систему человеком или через сервис «Запросы» указывается название проекта, а машина сама находит материалы проекта в сети Интернет), а также выявляет все «погрешности против местности» (по К. П. Космачёву [4]) между оцениваемым проектом и всеми реализуемыми проектами социально-экономического развития на локальном, региональном, национальном и глобальном уровнях, а также с учётом географического контекста для каждого региона, обнаруживаемого с помощью сенсорных устройств искусственного интеллекта вещей. Все зафиксированные данные пропускаются через нейросеть и блок самоорганизующихся машинных рассуждений (наиболее креативный блок системы), чтобы далее пройти упорядочивание в графе знаний и оформиться в виде экспертного заключения. Поскольку многие технические задачи ещё не решены, то в настоящее время не представляется возможным провести апробацию предлагаемой системы на примерах конкретных проектов.

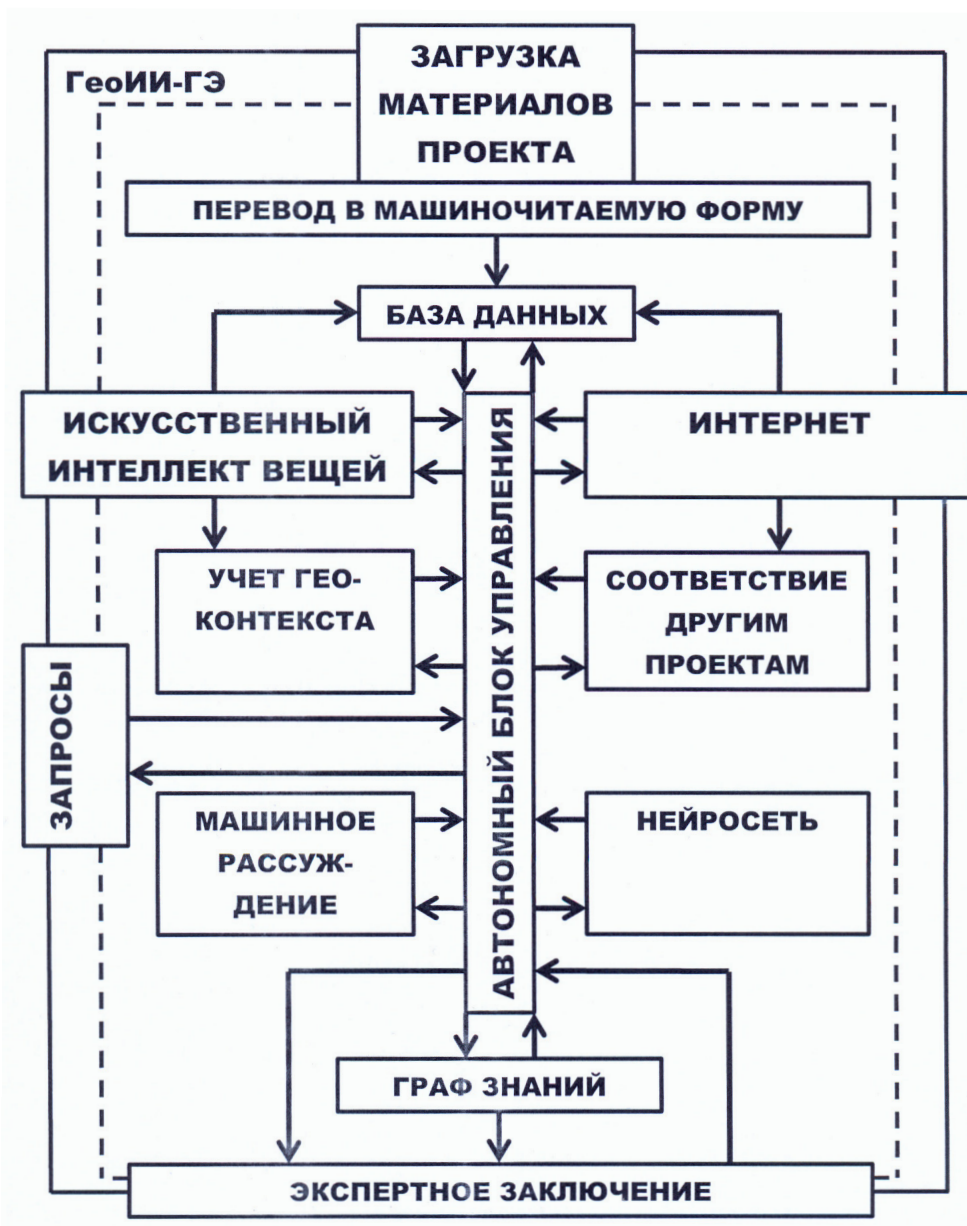


Рис. 2. Система геопространственного искусственного интеллекта для географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития (версия ГеоИИ-ГЭ-ПРР_2.0) как часть более общей конструкции ГеоИИ-ГЭ

Fig. 2. Geospatial artificial intelligence system for geographical expertise of regional socio-economic development projects (version GeoAI-GE-RDP_2.0) as part of a more general GeoAI-GE design

Особый интерес представляет блок выявления соответствий или несоответствий между оцениваемым проектом и всеми остальными проектами. Он является своего рода переходом к ГеоИИ_3.0. В рамках первой парадигмы можно сопоставить два проекта для одной и той же территории. Это будет отрабатываться на примере сравнения Стратегии с документом «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [2]. Однако сопоставление анализируемого проекта со всеми остальными проектами, включая программы развития всех городских округов, муниципальных районов и муниципальных округов России, для человека-исследователя является слишком трудоёмкой и, соответственно, долго решаемой задачей. Что касается машины (системы), то это решение должно быть быстрым и постоянно обновляемым (в режиме реального времени) с учётом потока новых утверждённых проектов социально-экономического развития различных территорий.

Парадигма сверхсильного ИИ (ГеоИИ_3.0). Если для реализации первой парадигмы имеются все технические решения, а для выполнения второй парадигмы — только несколько разрабатываемых решений, то об инструментарии воплощения третьей парадигмы в настоящее время ничего не известно. Поэтому речь идёт о некоторых ожиданиях в проведении географической экспертизы за пределами когнитивных способностей человека-исследователя. Разумеется, сверх уже достигнутого превосходства машины над человеком в соответствии с первыми двумя парадигмами (быстродействие, безошибочность, огромная память, одновременное проведение многочисленных параллельных и распределённых вычислений, обучение на «больших данных» и др.). В этом смысле основная задача, которую не могут решить географы-обществоведы в силу ограниченности способностей и чрезмерной сложности территориальной организации общества как объекта исследования, заключается в проведении глобального мета-анализа (обобщения всех общественно-географических исследований в мире по всем темам) для получения наивысшего уровня метазнания (географических законов). Решив эту сверхзадачу, процесс географической экспертизы сведётся к проверке проекта на соответствие выявленным законам и разработке рекомендаций по корректировке проекта для достижения этого соответствия. К сожалению, в общественной географии редко встречаются глобальные обобщения в виде географических законов. На данный момент времени известны только первый закон Тоблера и дополняющие его два закона (их анализ приведён в [3]). Что касается использования этих законов в ГеоИИ, то известен только один такой пример [30].

Не дожидаясь формирования системы общественно-географических законов, можно в первом приближении определить архитектуру системы проверки проектов на основе искусственного суперинтеллекта. Такая система должна быть встроена в более общие конструкции — ГеоИИ_3.0 и сверхсильный ИИ — с возможностью привлечения их ресурсов для двух глобальных мета-анализов, связанных с мировым массивом проектов социально-экономического развития территорий и всех существующих и потенциально возможных географических контекстов реализации этих проектов (рис. 3). Опираясь на эту аналитику, система должна идентифицировать скрытый смысл проекта (как правило, отличается от декларируемых целей; см. разъяснения в [1]), чтобы

затем перейти к выявлению «погрешности против местности» с последующей оценкой возможности реализации рассматриваемого проекта. Результатом работы системы должны стать рекомендации по совершенствованию проекта и общее экспертное заключение. Уяснение представленной архитектуры позволит в ближайшем будущем приступить к разработке алгоритмов ИИ в рамках третьей парадигмы.

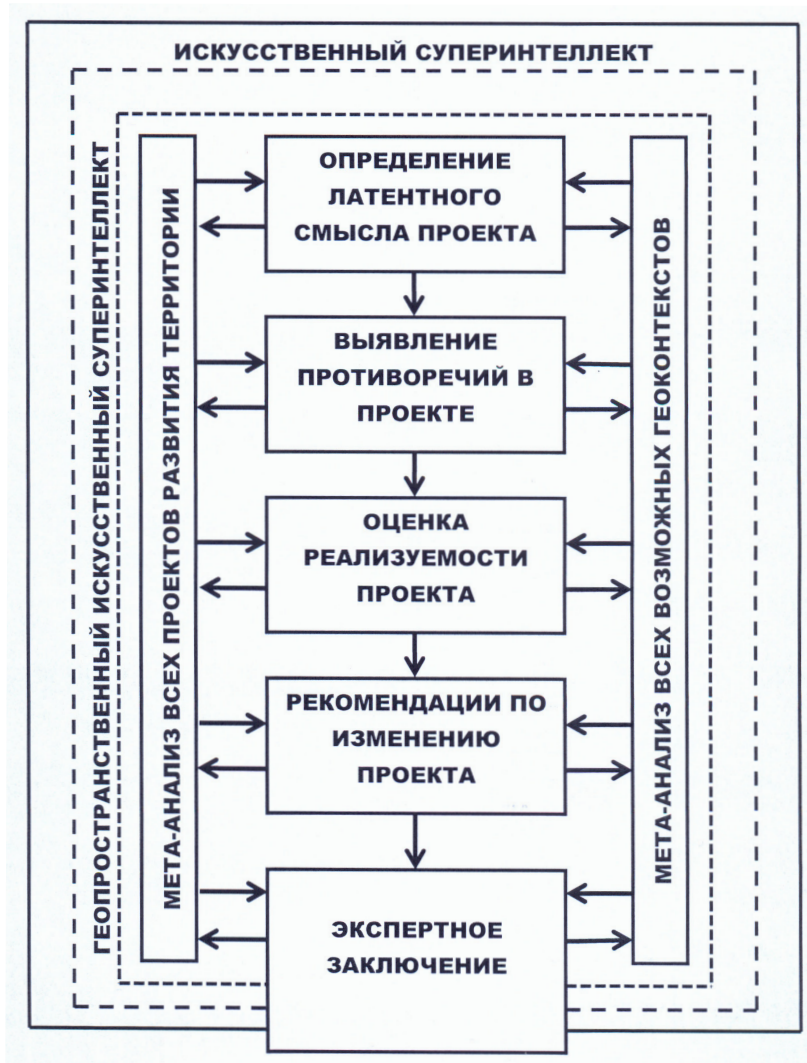


Рис. 3. Система геопространственного искусственного интеллекта для географической экспертизы проектов регионального социально-экономического развития (версия ГеоИИ-ГЭ-ПРР_3.0) как часть искусственного суперинтеллекта

Fig. 3. Geospatial artificial intelligence system for geographical expertise of regional socio-economic development projects (version GeoAI-GE-RDP_3.0) as part of an artificial superintelligence

Заключение. Уяснение специфики трёх парадигм ГеоИИ позволило в первом приближении подойти к пониманию задач, стоящих перед географической экспертизой на платформе искусственного интеллекта. Рассматривались не все виды географической экспертизы, а только общественно-географическая проверка проектов регионального социально-экономического развития. Вместе с тем, анализ на уровне парадигм открывает возможность экстраполяции полученных выводов на другие виды географической экспертизы, что будет сделано в дальнейшем. На данном этапе исследования удалось определиться с архитектурой трёх систем ИИ-обусловленной географической экспертизы, каждая из которых соответствует конкретной парадигме. В рамках первой парадигмы в связи с наличием необходимого инструментария (наборы правил «если ..., то ...», искусственные нейросети и графы знаний) была создана работающая система, которая использовалась и продолжает применяться для географической экспертизы четырёх общероссийских проектов (стратегий, программ). Первоначальные результаты тестирования этой системы позволяют надеяться на её эффективность. Что касается систем, создаваемых в соответствии со второй и третьей парадигмой, то они находятся на стадии концептуального осмысления и поиска (попыток разработки) необходимых алгоритмов.

Создание искусственно-интеллектуальных систем географической экспертизы является исключительно научно-исследовательской деятельностью, но при этом такие системы призваны решать практические задачи по проверке государственных документов социально-экономического развития территорий. Более того, системы ГеоИИ-ГЭ имеют функцию проведения самостоятельного — альтернативного — исследования относительно оцениваемого проекта, что позволяет встраивать их в процесс формирования проектов регионального развития. Подобная практика пока отсутствует по причине начальной стадии разработки ИИ-обусловленных систем географической экспертизы, но после проведения всех видов тестирования ГеоИИ-ГЭ-ППР_1.0 можно начинать внедрение первой версии в структуры регионального планирования. Дополнительная практическая значимость может возникнуть при использовании создаваемых систем для мониторинга реализации проектов регионального развития, когда ход выполнения проекта получает независимую (от разработчиков проекта и региональной власти) общественно-географическую оценку.

Литература

1. *Блануца В. И.* Географическая экспертиза стратегий экономического развития России. М.: ИНФРА-М, 2021. 198 с.
2. *Блануца В. И.* Общественная география: цифровые приоритеты XXI века. М.: ИНФРА-М, 2022. 252 с.
3. *Блануца В. И.* Общественная география после 2030 года: контуры новых направлений. М.: ИНФРА-М, 2024. 251 с.
4. *Космачёв К. П.* Географическая экспертиза (методологические аспекты). Новосибирск: Наука, 1981. 109 с.
5. *Bales A., D'Alessandro W., Kirk-Giannini C. D.* Artificial intelligence: Arguments for catastrophic risk // *Philosophy Compass*. 2024. Vol. 19. No. 2. Article 12964. DOI: 10.1111/phc3.12964.
6. *Blanutsa V. I.* Geographical expertise of regional digital development strategies: Outlines of emerging approaches // *Geography and Natural Research*. 2022. Vol. 44. No. 4. P. 303–308. DOI: 10.1134/S1875372822040059.

7. *Bostrom N.* Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. Oxford: Oxford University Press, 2014. 328 p.
8. *Bubeck S., Chandrasekaran V., Eldan R., Gehrke J., Horvitz E., Kamar E., Le P., Lee Y., Li Y.-F., Lundberg S. M., Nori H., Palangi H., Ribeiro M. T., Zhang Y.* Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with GPT-4. ArXiv Preprint, 2023. ArXiv abs/2303.12712.
9. *Cabello M., Hyland M., Marantz N.* From state of the practice to state of the art: Improving equity analysis in regional transportation plans // *Transportation*. 2024. Vol. 51. P. 1–36. DOI: 10.1007/s11116-023-10439-4.
10. *Calignano G., Nilsen T.* Regional development is not a dinner party: A research agenda on power relations and the use language in regional development studies // *GeoJournal*. 2024. Vol. 89. Article 74. DOI: 10.1007/s10708-024-11075-w.
11. *Cao K., Zhou C., Church R., Li X., Li W.* Revisiting spatial optimization in the era of geospatial big data and GeoAI // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 129. Article 103832. DOI: 10.1016/j.jag.2024.103832.
12. *Cristianini N.* On the current paradigm in artificial intelligence // *AI Communications*. 2014. Vol. 27. No. 1. P. 37–43. DOI: 10.3233/AIC-130582.
13. *Das R., Mitra M., Singh C.* (Eds.). Era of Artificial Intelligence. The 21st Century Practitioners' Approach. New York: Chapman & Hall/CRC, 2023. 166 p.
14. *Farrow E.* To augment human capacity — artificial intelligence evolution through causal layered analysis // *Futures*. 2019. Vol. 108. P. 61–71. DOI: 10.1016/j.futures.2019.02.022.
15. *Ferreira D., Vale M.* Geography in the big data age: An overview of the historical resonance of current debates // *Geographical Review*. 2022. Vol. 112. No. 2. P. 250–266. DOI: 10.1080/00167428.2020.1832424.
16. *Gao S.* A review of recent researches and reflections on geospatial artificial intelligence // *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. 2020. Vol. 45. No. 12. P. 1865–1874. DOI: 10.13203/j.whugis.20200597.
17. *Gao S., Hu Y., Li W.* (Eds.). Handbook of Geospatial Artificial Intelligence. Boca Raton: CRC Press, 2023. 468 p.
18. *Gao S., Hu Y., Li W., Zou L.* Special issue on geospatial artificial intelligence // *Geoinformatica*. 2023. Vol. 27. P. 133–136. DOI: 10.1007/s10707-023-00493-6.
19. *Gumusay A. A., Amis J. M.* Contextual expertise and the development of organization and management theory // *European Management Review*. 2021. Vol. 18. No. 1. P. 9–24. DOI: 10.1111/emre.12434.
20. *Haenlein M., Kaplan A.* A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence // *California Management Review*. 2019. Vol. 61. No. 4. P. 5–14. DOI: 10.1177/0008125619864925.
21. *Hahmann S., Burghard D.* How much information is geospatially referenced? Networks and cognition // *International Journal of Geographical Information Science*. 2013. Vol. 27. No. 6. P. 1171–1189. DOI: 10.1080/13658816.2012.743664.
22. *Hu Y., Gao S., Lunga D., Li W., Newsam S., Bhaduri L. S.* GeoAI at ACM SIGSPATIAL: Progress, challenges, and future direction // *SIGSPATIAL Special*. 2019. Vol. 11. No. 2. P. 5–15. DOI: 10.1145/3377000.3377002.
23. *Hu Y., Goodchild M., Zhu A.-X., Yuan M., Aydin O., Bhaduri B., Gao S., Li W., Lunga D., Newsam S.* A five-year milestone: Reflections on advances and limitations in GeoAI research // *Annals of GIS*. 2024. Vol. 30. No. 1. P. 1–14. DOI: 10.1080/19475683.2024.2309866.
24. *Janowicz K., Gao S., McKenzie G., Hu Y., Bhaduri B. S.* GeoAI: Spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond // *International Journal of Geographical Information Science*. 2020. Vol. 34. No. 4. P. 625–636. DOI: 10.1080/13658816.2019.1684500.
25. *Kuhn T. S.* The Structure of Scientific Revolutions. 2nd Ed. Chicago; London: University of Chicago Press, 1970. 210 p.
26. *Lai H.-L., Devine-Wright P.* Imagining and emplacing net zero industrial clusters: A critical analysis of stakeholder discourses // *Geo*. 2024. Vol. 11. No. 1. Article 139. DOI: 10.1002/geo2.139.
27. *LeCun Y., Bengio Y., Hinton G.* Deep learning // *Nature*. 2015. Vol. 521. No. 7553. P. 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
28. *Lee J. H., Sioutis M., Ahrens K., Alirezaie M., Kerzel M., Wermter S.* Neuro-symbolic spatio-temporal reasoning // *Hitzler P., Sarker K., Eberhart A.* (Eds.). Compendium of Neurosymbolic Artificial Intelligence. Amsterdam; Berlin; Washington: IOS Press, 2023. P. 410–429.

29. *Li W.* GeoAI: Where machine learning and big data converge in GIScience // *Journal of Spatial Information Science*. 2020. Vol. 20. P. 71–77. DOI: 10.5311/JOSIS.2020.20.658.
30. *Li W., Hsu C.-Y., Hu M.* Tobler's first law in GeoAI: A spatially explicit deep learning model for terrain feature detection under weak supervision // *Annals of the American Association of Geographers*. 2021. Vol. 111. No. 7. P. 1887–1905. DOI: 10.1080/24694452.2021.1877527.
31. *Liu P., Biljecki F.* A review of spatially-explicit GeoAI applications in urban geography // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2022. Vol. 112. Article 02936. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102936.
32. *Liu P., Zhang Y., Biljecki F.* Explainable spatially explicit geospatial artificial intelligence in urban analytics // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2024. Vol. 51. No. 5. P. 1104–1123. DOI: 10.1177/23998083231204689.
33. *Lu Z., Afridi I., Kang H. J., Ruchkin I., Zheng X.* Surveying neuro-symbolic approaches for reliable artificial intelligence of things // *Journal of Reliable Intelligent Environments*. 2024. Vol. 10. P. 257–279. DOI: 10.1007/s40860-024-00231-1.
34. *Mai G., Hu Y., Gao S., Cai L., Martins B., Scholz J., Gao J., Janowicz K.* Symbolic and subsymbolic GeoAI: Geospatial knowledge graphs and spatially explicit machine learning // *Transactions in GIS*. 2022. Vol. 26. P. 3118–3124. DOI: 10.1111/tgis.13012.
35. *Marasinghe R., Yigitcanlar T., Mayere S., Washington T., Limb M.* Towards responsible urban geospatial AI: Insights from white and grey literatures // *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. 2024. Vol. 8. Article 24. DOI: 10.1007/s41651-024-00184-2.
36. *Openshaw S., Openshaw C.* *Artificial Intelligence in Geography*. Chichester: John Wiley, 1997. 336 p.
37. *Park S., Lee Y., Yu K.* Integrated knowledge graph construction framework for places-of-interest retrieval using a property graph database // *GIScience and Remote Sensing*. 2024. Vol. 61. Article 1. DOI: 10.1080/15481603.2024.2331861.
38. *Prasad S., Chanussot J., Li J. (Eds.)*. *Advances in Machine Learning and Image Analytics for GeoAI*. Amsterdam; London; Cambridge: Elsevier, 2024. 364 p.
39. *Psyharis Y., Tselios V., Pantazis P.* Cohesion policy and household income inequality: Evidence from Greek regions // *The Annals of Regional Science*. 2024. Vol. 73. P. 1–29. DOI: 10.1007/s00168-024-01304-y.
40. *Qureshi K.N., Neue T. (Eds.)*. *Artificial Intelligence of Things (AIoT): New Standards, Technologies and Communication Systems*. Boca Raton: CRC Press, 2024. 230 p.
41. *Russell S., Norvig P.* *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Third Edition. Boston: Prentice Hall, 2010. 1132 p.
42. *Samuel A.* Some studies in machine learning using the game of checkers // *IBM Journal of Research and Development*. 1959. Vol. 3. No. 3. P. 210–229.
43. *Smith T. R.* Artificial intelligence and its applicability to geographical problem solving // *Professional Geographer*. 1984. Vol. 36. No. 2. P. 147–158.
44. *Thórisson K. R., Isaev P., Sheikhlar A. (Eds.)*. *Artificial General Intelligence*. 17th International Conference, AGI 2024. Seattle: Springer, 2024. 239 p.
45. *Togelius J.* *Artificial General Intelligence*. Cambridge: MIT Press, 2024. 240 p.
46. *Turing A.* Computing machinery and intelligence // *Mind*. 1950. Vol. LIX, No. 236. P. 433–460.
47. *VoPhan T., Hart J. E., Laden F., Chiang Y. Y.* Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): Potential applications for environmental epidemiology // *Environmental Health*. 2018. Vol. 17. No. 1. Article 40. DOI: 10.1186/s12940-018-0386-x.
48. *Wang S., Huang X., Liu P., Zhang M., Biljecki F., Hu T., Fu X., Liu L., Liu X., Wang R., Huang Y., Yan J., Jiang J., Chukwu M., Naghedi S. R., Hemmati M., Shao Y., Jia N., Xiao Z., Tian T., Hu Y., Yu L., Yap W., Macatulad E., Chen Z., Cui Y., Ito K., Ye M., Fan Z., Lei B., Bao S.* Mapping the landscape and roadmap of geospatial artificial intelligence (GeoAI) in quantitative human geography: An extensive systematic review // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 128. Article 103734. DOI: 10.1016/j.jag.2024.103734.
49. *Wang S., Hu T., Xiao H., Li Y., Zhang C., Ning H., Zhu R., Li Z., Ye X.* GPT, large language models (LLMs) and generative artificial intelligence (GAI) models in geospatial science: A systematic review // *International Journal of Digital Earth*. 2024. Vol. 17. No. 1. Article 2353122. DOI: 10.1080/17538947.2024.2353122.

50. Wang Y., Zhu D. A hypergraph-based hybrid graph convolutional network for intracity human activity intensity prediction and geographic relationship interpretation // *Information Fusion*. 2024. Vol. 104. Article 102149. DOI: 10.1016/j.inffus.2023.102149.
51. Zhu D., Liu Y., Yao X., Fischer M. M. Spatial regression graph convolutional neural networks: A deep learning paradigm for spatial multivariate distributions // *Geoinformatica*. 2022. Vol. 26. P. 645–676. DOI: 10.1007/s10707-021-00454-x.

References

1. Blanutsa V. I. (2021), *Geographical expertise of Russia's economic development strategies*, Moscow, INFRA-M, 198 p. (In Russ.).
2. Blanutsa V. I. (2022), *Human geography: digital priorities of the XXI century*, Moscow, INFRA-M, 252 p. (In Russ.).
3. Blanutsa V. I. (2024), *Human geography after 2030: outlines of new directions*, Moscow, INFRA-M, 251 p. (In Russ.).
4. Kosmachev K. P. (1981), *Geographical expertise (methodological aspects)*, Novosibirsk, Nauka, 109 p. (In Russ.).
5. Bales A., D'Alessandro W., Kirk-Giannini C. D. (2024), Artificial intelligence: Arguments for catastrophic risk, *Philosophy Compass*, vol. 19, no. 2, e12964. DOI: 10.1111/phc3.12964.
6. Blanutsa V. I. (2022), Geographical expertise of regional digital development strategies: Outlines of emerging approaches, *Geography and Natural Research*, vol. 44, no. 4, pp. 303–308. DOI: 10.1134/S1875372822040059.
7. Bostrom N. (2014), *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford, Oxford University Press, 328 p.
8. Bubeck S., Chandrasekaran V., Eldan R., Gehrke J., Horvitz E., Kamar E., Le P., Lee Y., Li Y.-F., Lundberg S. M., Nori H., Palangi H., Ribeiro M. T., Zhang Y. (2023), *Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with GPT-4*, ArXiv Preprint, ArXiv abs/2303.12712.
9. Cabello M., Hyland M., Marantz N. (2024), From state of the practice to state of the art: Improving equity analysis in regional transportation plans, *Transportation*, vol. 51, pp. 1–36. DOI: 10.1007/s11116-023-10439-4.
10. Calignano G., Nilsen T. (2024), Regional development is not a dinner party: A research agenda on power relations and the use language in regional development studies, *GeoJournal*, vol. 89, e74. DOI: 10.1007/s10708-024-11075-w.
11. Cao K., Zhou C., Church R., Li X., Li W. (2024), Revisiting spatial optimization in the era of geospatial big data and GeoAI, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 129, e103832. DOI: 10.1016/j.jag.2024.103832.
12. Cristianini N. (2014), On the current paradigm in artificial intelligence, *AI Communications*, vol. 27, no. 1, pp. 37–43. DOI: 10.3233/AIC-130582.
13. Das R., Mitra M., Singh C. (Eds.) (2023), *Era of Artificial Intelligence. The 21st Century Practitioners' Approach*, New York, Chapman & Hall/CRC, 166 p.
14. Farrow E. (2019), To augment human capacity — artificial intelligence evolution through causal layered analysis, *Futures*, vol. 108, pp. 61–71. DOI: 10.1016/j.futures.2019.02.022.
15. Ferreira D., Vale M. (2022), Geography in the big data age: An overview of the historical resonance of current debates, *Geographical Review*, vol. 112, no. 2, pp. 250–266. DOI: 10.1080/00167428.2020.1832424.
16. Gao S. (2020), A review of recent researches and reflections on geospatial artificial intelligence, *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, vol. 45, no. 12, pp. 1865–1874. DOI: 10.13203/j.whugis.20200597.
17. Gao S., Hu Y., Li W. (Eds.) (2023), *Handbook of Geospatial Artificial Intelligence*, Boca Raton, CRC Press, 468 p.
18. Gao S., Hu Y., Li W., Zou L. (2023), Special issue on geospatial artificial intelligence, *Geoinformatica*, vol. 27, pp. 133–136. DOI: 10.1007/s10707-023-00493-6.
19. Gumusay A. A., Amis J. M. (2021), Contextual expertise and the development of organization and management theory, *European Management Review*, vol. 18, no. 1, pp. 9–24. DOI: 10.1111/emre.12434.

20. Haenlein M., Kaplan A. (2019), A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence, *California Management Review*, vol. 61, no. 4, pp. 5–14. DOI: 10.1177/0008125619864925.
21. Hahmann S., Burghard D. (2013), How much information is geospatially referenced? Networks and cognition, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, no. 6, pp. 1171–1189. DOI: 10.1080/13658816.2012.743664.
22. Hu Y., Gao S., Lunga D., Li W., Newsam S., Bhaduri L. S. (2019), GeoAI at ACM SIGSPATIAL: Progress, challenges, and future direction, *SIGSPATIAL Special*, vol. 11, no. 2, pp. 5–15. DOI: 10.1145/3377000.3377002.
23. Hu Y., Goodchild M., Zhu A.-X., Yuan M., Aydin O., Bhaduri B., Gao S., Li W., Lunga D., Newsam S. (2024), A five-year milestone: Reflections on advances and limitations in GeoAI research, *Annals of GIS*, vol. 30, no. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1080/19475683.2024.2309866.
24. Janowicz K., Gao S., McKenzie G., Hu Y., Bhaduri B. S. (2020), GeoAI: Spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 34, no. 4, pp. 625–636. DOI: 10.1080/13658816.2019.1684500.
25. Kuhn T. S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd Ed., Chicago, London, University of Chicago Press, 210 p.
26. Lai H.-L., Devine-Wright P. (2024), Imagining and emplacing net zero industrial clusters: A critical analysis of stakeholder discourses, *Geo*, vol. 11, no. 1, e139. DOI: 10.1002/geo2.139.
27. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015), Deep learning, *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444. DOI: 10.1038/nature14539.
28. Lee J. H., Sioutis M., Ahrens K., Alirezaie M., Kerzel M., Wermter S. (2023), Neuro-symbolic spatio-temporal reasoning, *Compendium of Neurosymbolic Artificial Intelligence*, eds. Hitzler P., Sarker K., Eberhart A., IOS Press, pp. 410–429.
29. Li W. (2020), GeoAI: Where machine learning and big data converge in GIScience, *Journal of Spatial Information Science*, vol. 20, pp. 71–77. DOI: 10.5311/JOSIS.2020.20.658.
30. Li W., Hsu C.-Y., Hu M. (2021), Tobler’s first law in GeoAI: A spatially explicit deep learning model for terrain feature detection under weak supervision, *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 111, no. 7, pp. 1887–1905. DOI: 10.1080/24694452.2021.1877527.
31. Liu P., Biljecki F. (2022), A review of spatially-explicit GeoAI applications in urban geography, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 112, e02936. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102936.
32. Liu P., Zhang Y., Biljecki F. (2024), Explainable spatially explicit geospatial artificial intelligence in urban analytics, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 51, no. 5, pp. 1104–1123. DOI: 10.1177/23998083231204689.
33. Lu Z., Afridi I., Kang H. J., Ruchkin I., Zheng X. (2024), Surveying neuro-symbolic approaches for reliable artificial intelligence of things, *Journal of Reliable Intelligent Environments*, vol. 10, pp. 257–279. DOI: 10.1007/s40860-024-00231-1.
34. Mai G., Hu Y., Gao S., Cai L., Martins B., Scholz J., Gao J., Janowicz K. (2022), Symbolic and subsymbolic GeoAI: Geospatial knowledge graphs and spatially explicit machine learning, *Transactions in GIS*, vol. 26, pp. 3118–3124. DOI: 10.1111/tgis.13012.
35. Marasinghe R., Yigitcanlar T., Mayere S., Washington T., Limb M. (2024), Towards responsible urban geospatial AI: Insights from white and grey literatures, *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, vol. 8, e24. DOI: 10.1007/s41651-024-00184-2.
36. Openshaw S., Openshaw C. (1997), *Artificial Intelligence in Geography*, Chichester, John Wiley, 336 p.
37. Park S., Lee Y., Yu K. (2024), Integrated knowledge graph construction framework for places-of-interest retrieval using a property graph database, *GIScience and Remote Sensing*, vol. 61, e1. DOI: 10.1080/15481603.2024.2331861.
38. Prasad S., Chanussot J., Li J. (Eds.) (2024), *Advances in Machine Learning and Image Analytics for GeoAI*, Amsterdam, London, Cambridge, Elsevier, 364 p.
39. Psyharis Y., Tselios V., Pantazis P. (2024), Cohesion policy and household income inequality: Evidence from Greek regions, *The Annals of Regional Science*, vol. 73, pp. 1–29. DOI: 10.1007/s00168-024-01304-y.

40. Qureshi K.N., Neue T. (Eds.). (2024), *Artificial Intelligence of Things (AIoT): New Standards, Technologies and Communication Systems*, Boca Raton, CRC Press, 230 p.
41. Russell S., Norvig P. (2010), *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Third Edition, Boston, Prentice Hall, 1132 p.
42. Samuel A. (1959), Some studies in machine learning using the game of checkers, *IBM Journal of Research and Development*, vol. 3, no. 3, pp. 210–229.
43. Smith T. R. (1984), Artificial intelligence and its applicability to geographical problem solving, *Professional Geographer*, vol. 36, no. 2, pp. 147–158.
44. Thórisson K. R., Isaev P., Sheikhlar A. (Eds.) (2024), *Artificial General Intelligence* (17th International Conference, AGI 2024), Seattle, Springer, 239 p.
45. Togelius J. (2024), *Artificial General Intelligence*, Cambridge, MIT Press, 240 p.
46. Turing A. (1950), Computing machinery and intelligence, *Mind*, vol. LIX, no. 236, pp. 433–460.
47. VoPhan T., Hart J. E., Laden F., Chiang Y. Y. (2018), Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): Potential applications for environmental epidemiology, *Environmental Health*, vol. 17, no. 1, e40. DOI: 10.1186/s12940-018-0386-x.
48. Wang S., Huang X., Liu P., Zhang M., Biljecki F., Hu T., Fu X., Liu L., Liu X., Wang R., Huang Y., Yan J., Jiang J., Chukwu M., Naghedhi S. R., Hemmati M., Shao Y., Jia N., Xiao Z., Tian T., Hu Y., Yu L., Yap W., Macatulad E., Chen Z., Cui Y., Ito K., Ye M., Fan Z., Lei B., Bao S. (2024), Mapping the landscape and roadmap of geospatial artificial intelligence (GeoAI) in quantitative human geography: An extensive systematic review, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 128, e103734. DOI: 10.1016/j.jag.2024.103734.
49. Wang S., Hu T., Xiao H., Li Y., Zhang C., Ning H., Zhu R., Li Z., Ye X. (2024), GPT, large language models (LLMs) and generative artificial intelligence (GAI) models in geospatial science: A systematic review, *International Journal of Digital Earth*, vol. 17, no. 1, e2353122. DOI: 10.1080/17538947.2024.2353122.
50. Wang Y., Zhu D. (2024), A hypergraph-based hybrid graph convolutional network for intracity human activity intensity prediction and geographic relationship interpretation, *Information Fusion*, vol. 104, e102149. DOI: 10.1016/j.inffus.2023.102149.
51. Zhu D., Liu Y., Yao X., Fischer M. M. (2022), Spatial regression graph convolutional neural networks: A deep learning paradigm for spatial multivariate distributions, *Geoinformatica*, vol. 26, pp. 645–676. DOI: 10.1007/s10707-021-00454-x.

Сведения об авторе

Блануца Виктор Иванович — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории георесурсоведения и политической географии, Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия.

E-mail: blanutsa@list.ru

ORCID: 0000-0003-3958-216X

Scopus: 6507822004

About the author

Prof. **Viktor Blanutsa**, Leading Researcher, Laboratories of Geo-Resource Studies and Political Geography, Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia.

E-mail: blanutsa@list.ru

ORCID: 0000-0003-3958-216X

Scopus: 6507822004

Поступила в редакцию 17.10.2024 г.

Поступила после доработки 25.01.2025 г.

Статья принята к публикации 11.02.2025 г.

Received 17.10.2024.

Received in revised form 25.01.2025.

Accepted 11.02.2025.