



ГЕОГРАФИЯ

УДК 911.3

Перспективы экономико-географических исследований в области искусственного интеллекта

В. И. Блануца

Блануца Виктор Иванович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии имени В. Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, Иркутск, blanutsa@list.ru

Искусственный интеллект, интенсивные работы по которому ведутся с середины 1950-х гг., подразумевает способность машины (робота) воспроизводить логическое мышление человека. Предпринята первая в мире попытка наметить перспективные направления взаимопроникновения идей и методов между разработками в области искусственного интеллекта и экономико-географическими исследованиями. Рассмотрены три формы взаимопроникновения: географические исследования для искусственного интеллекта, экономико-географическое познание с помощью такого интеллекта и общественно-географическая оценка последствий распространения искусственного интеллекта. Установлено, что наибольшие перспективы связаны с созданием экспертных систем, так как существующее экономико-географическое знание не переведено на язык, понятный машине. Приведены примеры такого перевода с помощью правил «если..., то...». Отмечены перспективы создания экономико-географических интеллектуальных программных агентов, определения пределов роста «умных» городских агломераций и использования технологии «блокчейн» для проведения районирования.

Ключевые слова: социально-экономическая география, искусственный интеллект, экспертная система, правило «если..., то...», интеллектуальный агент, «блокчейн», районирование, сеть электросвязи, задержка сигнала, «умная» городская агломерация.

Prospects of Economic-Geographical Research in the Field of Artificial Intelligence

V. I. Blanutsa

Victor I. Blanutsa, <https://orcid.org/0000-0003-3958-216X>, Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 1 Ulan-Batorskaya Str., Irkutsk 664033, Russia, blanutsa@list.ru

Artificial intelligence, intensive work on which is conducted since the mid-1950s, implies the ability of the machine (robot) to reproduce the logical thinking of man. The world's first attempt was made to outline promising areas of interpenetration of ideas and methods between developments in the field of artificial intelligence and economic-geographical research. Three forms of interpenetration are considered: geographic research for artificial intelligence, economic-geographical cognition with the help of such intelligence, and socio-geographical assessment of the consequences of the spread of artificial intelligence. It is established that the greatest prospects are associated with the creation of expert systems, since the existing economic-geographical knowledge is not translated into a language that is understandable to the machine. Examples of such a translation are given with the help of the rules «if ..., then ...». Prospects for the creation of economic-geographical intellectual software agents, determining the limits of growth of «smart» urban agglomerations and the use of «blockchain» technology for regionalization are outlined.

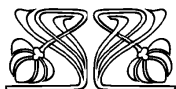
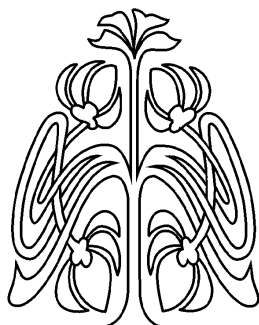
Keywords: socio-economic geography, artificial intelligence, expert system, if-then rule, intellectual agent, «blockchain», regionalization, telecommunication network, signal delay, «smart» urban agglomeration.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-4-11>

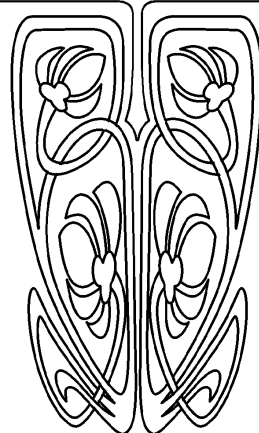
Статья печатается в порядке обсуждения. Считая, что методология новых направлений экономического районирования должна быть разработана и критически осмыслена, мы приглашаем коллег-географов высказаться по этому вопросу на страницах журнала.

В частности, приглашаю к дискуссии акад. П. Я. Бакланова, проф. А. А. Ткаченко, проф. А. Г. Дружинина, д-ра геогр. наук А. И. Трейвиша и др.

© Блануца В. И., 2019



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Введение. Термин «искусственный интеллект» («artificial intelligence») ввел в научный оборот Д. Маккарти (цит. по [1]). Летом 1956 г. он провел семинар с таким названием в Дартмутском колледже (США). С тех пор искусственный интеллект (ИИ) нашел широкое применение в различных сферах человеческой деятельности. В наиболее общем смысле под искусственным интеллектом понимается способность машины (робота) самостоятельно осуществлять действия, имитирующие логическое мышление человека. Для проверки таких возможностей предлагались различные тесты. Среди них наиболее известен «тест Тьюринга» [1], согласно которому ИИ должен говорить как человек, но при этом человек не должен понять, что разговаривает с машиной. На уровне обычного разговора данный тест уже выполнен при создании «ботов» (электронных систем имитации человеческого голоса с функцией поддержки беседы по стандартной тематике).

Первым широко известным географическим осмыслением возможностей искусственного интеллекта стала статья профессора географии из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре Т. Смит (Smith), опубликованная в 1984 г. [2] и вызвавшая дискуссию [3, 4]. В отечественной науке первое общедоступное обобщение было представлено В. С. Тикуновым в 1989 г. [5]. Что касается монографических работ по данной проблематике, то их отсчет ведется с 1997 г. [6]. В XXI в. возможности ИИ значительно расширились [1, 7–11], а их осмысление с позиции социально-экономической географии не было сделано. Это создало проблему определения перспектив экономико-географических исследований в области искусственного интеллекта. Не претендуя на уяснение всех возможных перспектив, далее приводится авторский вариант, в котором основное внимание уделено экспертным системам, интеллектуальным агентам, технологии «блокчейн» и «умным» агломерациям.

Экспертные системы. В основе искусственного интеллекта лежит система (компьютерная программа), основанная на знаниях в определенной предметной области. По аналогии с человеком-экспертом такая программа решает сложные, трудно формализуемые задачи и поэтому называется «экспертной системой». При этом для самостоятельного решения сложных задач необходимо представление нечетких человеческих знаний на языке, понятном вычислительной технике. Известны разные способы представления знаний (семантические сети, фреймы, деревья и др.), среди которых наиболее широко используются «продукции». Например, из 146 экспертных систем, разработанных во всем мире в 1969–1987 гг. и представленных в справочнике [12], 49 систем использовали продукции в чистом виде, а в 54 системах продукции применялись в сочетании с другими способами представления знаний. По-

этому для краткости и единообразия изложения экономико-географических примеров далее используются только правила логического вывода в виде системы продукций.

Вычислительный механизм (*production system*) как цепочка правил впервые был предложен Е. Постом (Post) в 1943 г. [13]. В настоящее время усовершенствованная система продукций является не только способом представления знаний, но и стилем логического программирования. Более удачным названием «системы продукций» является система правил «если..., то...», которая используется далее как эквивалент «продукций». При этом в больших экспертных системах может применяться несколько тысяч правил, а при использовании миварного подхода – 3,5 млн правил [14]. Применительно к экономико-географическим исследованиям следует отметить, что если не считать использование социально-экономических данных в работах по геоинформатике и картографии, то с помощью системы правил «если..., то...» почти не представлены знания, накопленные нашей наукой. По крайней мере, в отечественных изданиях по искусственному интеллекту таких публикаций нет, а в географических журналах имеется только два примера, связанных с развертыванием почтовых сетей Сибири [15, 16]. В зарубежных журналах экономико-географического профиля также отсутствуют статьи, посвященные представлению знаний с помощью системы правил.

Получается, что социально-экономическая география не готова к вызовам современности, формируемым четвертой промышленной революцией [11] и ее основой – искусственным интеллектом. Так, например, ранее было установлено [17], что в постсоветский период (1992–2016 гг.) из 467 монографий и журнальных статей по социально-экономическому районированию, опубликованных во всех странах, только в 48 работах использовались количественные методы выделения районов. В остальных исследованиях применялись интуитивные методы, относящиеся к индивидуальной экспертной оценке и в этом смысле допускающие формализацию с помощью системы правил. Поэтому перспективы представления экономико-географических знаний в виде экспертных систем искусственного интеллекта на данный момент времени можно оценивать как примерно соответствующие объему накопленного знания.

Следует учитывать, что для представления некоторых экономико-географических знаний потребуются небольшие экспертные системы, состоящие всего из нескольких правил. В качестве примера можно привести систему идентификации «ловушки почтового вагона» [18] с использованием правил «если..., то...» (обозначены $R_{ПСТРАП}$ с порядковым номером) и логических действий «и», «или» (будет использовано в других примерах), «иначе»:



$R_{PCTRAP1}$: ЕСЛИ исследуемую территорию (S) разделить на зону с населенными пунктами вдоль железной дороги (S_1) и зону с поселениями вне железной дороги (S_2), И $S_1 + S_2 = S$, И зафиксировать даты запуска почтового вагона (t_1) и окончания анализируемого периода времени (t_2), И в t_2 функционировал почтовый вагон, И $t_2 > t_1$, И в S_1 на t_1 и t_2 находились $N_1(t_1)$ и $N_1(t_2)$ населенных пунктов с почтовыми учреждениями, И в S_2 на t_1 и t_2 располагались $N_2(t_1)$ и $N_2(t_2)$ поселения с почтовыми учреждениями, ТО можно определить наличие или отсутствие ловушки почтового вагона.

$R_{PCTRAP2}$: ЕСЛИ $[N_1(t_2) : N_1(t_1)] < [N_2(t_2) : N_2(t_1)]$, ТО в пределах S в период времени с t_1 по t_2 существовала ловушка развития сети почтовых учреждений, связанная с функционированием почтового вагона, ИНАЧЕ (при $[N_1(t_2) : N_1(t_1)] \geq [N_2(t_2) : N_2(t_1)]$) ловушка отсутствовала.

Подобные системы правил формализуют узкоспециализированные знания. Создание таких систем можно рассматривать как первый этап представления экономико-географических знаний для искусственного интеллекта. Тогда второй этап будет связан с разработкой метасистем, обобщающих тематические группы систем первого этапа. Затем может возникнуть необходимость формирования метасистем более высокого уровня, объединяющих построения предыдущих этапов, и так до создания, что не исключено, единой экспертной системы, представляющей всё существующее экономико-географические знание.

Интеллектуальные агенты. В современной научной литературе по искусственному интеллекту встречаются два разных понимания «агента»: как некий самостоятельно действующий робот, получающий через систему сенсоров информацию об окружающей среде и воздействующий на эту среду с определенной целью, и как программа, выполняющая поставленную пользователем задачу. В первом понимании интеллектуальные агенты малоприменимы в социально-экономической географии, но могут использоваться для сбора и обработки исходных данных. Например, беспилотные летательные аппараты, оснащенные необходимыми сенсорами, могут проводить оперативное социально-экономическое картографирование города (региона, страны). В этом случае искусственный интеллект будет обрабатывать данные с датчиков и создавать карты в режиме реального времени. Прототипом преобразования сенсорной информации в экономическое знание является China Satellite Manufacturing Index [19], оперативно оценивающий объем промышленного производства Китая по космическим снимкам.

Второе понимание интеллектуального агента, скорее всего, получит широкое распространение в географических исследованиях. О перспективах можно судить по имеющимся негеографическим примерам реализации агентов в виде чат-ботов, поисковых роботов и компьютерных вирусов. Для научных исследований более подходящим,

по мнению автора, является термин «экономико-географический интеллектуальный программный агент» (ЭГИПА). Такой агент представляет собой виртуального помощника в извлечении географических знаний с помощью ИИ, работающего в диалоговом режиме с исследователем. В качестве иллюстрации некоторых возможностей ЭГИПА возьмем «теорему» об экономическом районировании П. Я. Бакланова [20].

Согласно этой «теореме» территория S разделена на два экономических района – S_1 и S_2 , между которыми проходит определенная граница, и у части этой границы в пределах S_2 находится территория ΔS , значимость нахождения которой в S_2 или ее перевод в S_1 оцениваются через некоторый потенциал развития. Тогда решение о принадлежности ΔS к S_2 или S_1 определяется по приросту потенциала в обоих районах (S_1 и S_2). Если отнесение ΔS к соседнему району приводит к снижению потенциала, то такой вариант не рассматривается, а если – к приросту, то в ΔS выделяется новая территория ΔS и в случае прироста потенциала в S_1 и S_2 происходит уточнение границы между этими районами. И так продолжается до тех пор, пока между двумя районами не будет найдена «оптимальная граница».

Поскольку «теорема» создавалась без поддержки тематического ЭГИПА по районированию (в силу отсутствия такового), то в ней имеются некоторые неточности. Главная из них связана с тем, что предложенная процедура не является районированием. Если бы был интеллектуальный агент, то он мог бы просчитать количество вариантов выделения ΔS и отнесения их к разным районам и через человеко-машинный интерфейс сообщить исследователю об отсутствии районирования. При обозначении ΔS как операционной территориальной единицы (ОТЕ) районирования и использовании еще некоторых формализмов, относящихся к выделению районов, загрузка «теоремы» в ЭГИПА привела бы к активации следующего правила:

R_{ECREG1} : ЕСЛИ территория S состоит из n непересекающихся ОТЕ И множество ОТЕ покрывает S без остатка, И все ОТЕ объединены в k непересекающихся районов, И в один район объединяются только смежные ОТЕ, И количество полученных вариантов объединения n в k стремится к единице ($q \rightarrow 1$), ТО при $1 < k < n$ имеет место районирование, ИНАЧЕ (при $k = 1$ ИЛИ $k = n$, ИЛИ $q \rightarrow Q$, где Q – предельное количество вариантов объединения n в k при комбинаторном переборе) районирование отсутствует.

Дальнейшие разъяснения ЭГИПА показали бы, что реализация «теоремы» приводит к $q \rightarrow Q$. Например, если попытаться в соответствии с «теоремой» провести экономическое районирование Российской Федерации и в качестве ОТЕ взять субъект Федерации (регион), то минимальное (при выстраивании всех ОТЕ в один пространственный ряд по [21]) количество вариантов объединения



85 регионов в 2–84 экономических района составит 19342813113834066795298814. Понятно, что перебор такого количества вариантов для определения «оптимальных границ» нельзя считать районированием. В этом случае ЭГИПА выдало бы следующую подсказку:

R_{ECREG}^2 : ЕСЛИ имеет место районирование (R_{ECREG}^1) И происходит проверка целесообразности отнесения каждой ОТЕ к k районам по некоторому критерию p , ТО производимое действие является верификацией схемы районирования относительно p .

Таким образом, «теорема» превращается в способ проверки существующих схем районирования, что значительно сокращает количество анализируемых вариантов за счет учета только одного значения k . Приведенный пример пилотных разработок автора указывает на необходимость создания ЭГИПА не только по экономическому районированию, но и по всем остальным исследовательским операциям, что приведет к повышению качества познания общественно-географических процессов.

Технология «блокчейн». Создание распределенных защищенных реестров или «блокчейн» (*цепочка блоков*) с 2009 г. происходит в различных сферах человеческой деятельности и претерпело три генерации [22]: появление криптовалют («биткойн» и др.), формирование «умных контрактов» и внедрение в иные сферы. Суть технологии заключается в создании учетной записи (в широком смысле, вплоть до сложных географических карт) и ее распределении по сети пользователей, каждый из которых может просмотреть запись через открытый ключ, но не может внести в нее изменения, так как закрытый ключ находится у автора записи; к этой записи (блоку) можно добавить новую запись, что приведет к построению цепочки блоков, защищенных криптографическими ключами (подробнее см. [22, 23]). Взаимодействие этой технологии с социально-экономической географией может привести к появлению как минимум четырех перспективных направлений: географическому расширению защищенности «блокчейн», экономико-географическому обоснованию размещения центров обработки данных, проведению исследований и защите полученных результатов, использованию «умных контрактов» для организации научной деятельности (в силу финансово-организационного характера это направление далее не рассматривается).

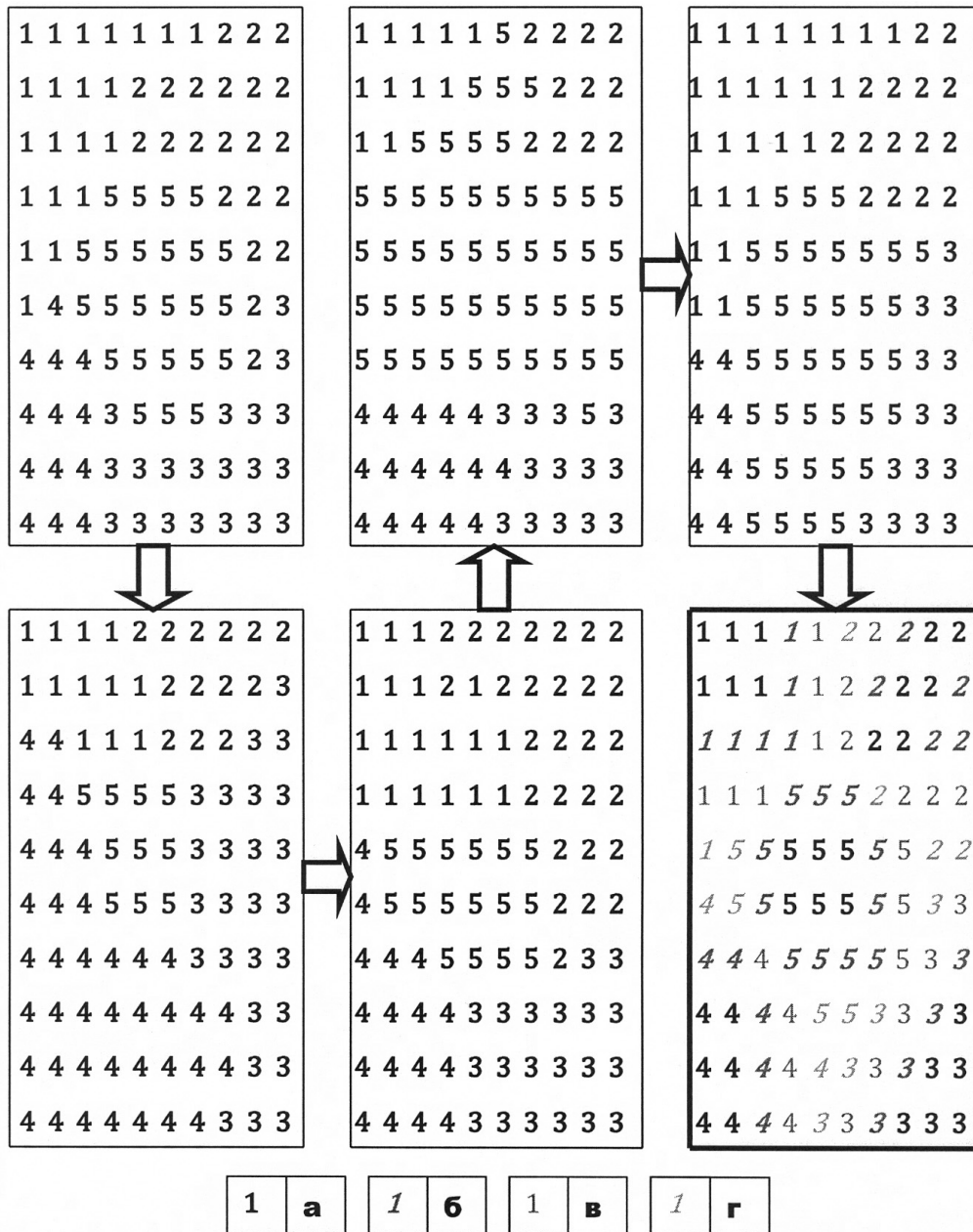
Принято считать [22, 23], что взломать (подобрать) закрытый ключ практически невозможно. Например, при длине ключа в 256 бит потребуется осуществить перебор 2^{256} вариантов. Однако технологии совершенствуются, скорости увеличиваются и разрабатываются новые подходы (например, «атака 51%», когда за счет создания новых блоков устанавливается контроль над всей цепочкой). Поэтому существующая крипто-хронологическая основа «блокчейн» со временем

перестанет гарантировать безопасность транзакций. Не исключено, что возникнет необходимость перехода к крипто-хроно-хорологической основе. Тогда в блоки и процесс хэширования надо будет ввести пространственные коды. Разработка таких кодов, которые должны быть уникальными, очень короткими и максимально локализованными, – прикладная задача социально-экономического районирования мира.

Для осуществления майнинга (процесса записи транзакций для их подтверждения в сети; от англ. *mining*) с каждым годом требуется все больше вычислительных мощностей и, соответственно, энергии на их охлаждение. Поэтому у России, имеющей дешевую электроэнергию и обширные северные территории, появляется шанс стать мировым лидером (вместо Китая; см. [24]) по объему майнинга за счет создания мощных центров обработки данных. Определение местоположения таких центров с учетом их удаленности от ареалов генерации транзакций и источников дешевой электроэнергии (или более холодной территории, на которой потребуются меньше энергии для охлаждения компьютеров) – сугубо экономико-географическая задача.

В рамках третьего направления рассмотрим только один пример – экспертное районирование территории [17]. Остановимся на том варианте, когда экспертам предлагается конечное множество ОТЕ и эти единицы необходимо сгруппировать в k непересекающихся индивидуальных районов. Допустим, имеется 100 ОТЕ, которые пять экспертов объединяют в 5 районов (рисунок). Тогда схема районирования, представленная первым экспертом, оформляется и кодируется в виде первого блока. Затем к сформированному блоку последовательно добавляются схемы остальных экспертов, в результате формируется цепочка из пяти блоков (на рисунке для указания порядка перехода от одного блока к другому используется стрелка). При этом каждый последующий эксперт не может внести изменения в схемы предыдущих экспертов. После дополнения к цепочке нового блока происходит автоматическое создание обобщающей схемы экспертного районирования (на рисунке это шестой блок) с помощью системы искусственного интеллекта.

При большом количестве экспертов и/или совпадении их мнений (схем районирования) искусственный интеллект не нужен. Однако в случае нескольких экспертов и/или расхождении их мнений необходима система генерации обобщающей схемы районирования. Тогда с помощью правил «если..., то...» производится формализация интуитивных представлений о качестве районирования. В нашем примере (см. рисунок) оптимальным считался тот вариант (подробнее о критериях оптимальности см. [17]), при котором получались компактные районы. Это означало, что любая «спорная» ОТЕ, имеющая одинаковую вероятность отнесения сразу к нескольким районам,



Условный пример цепочки из пяти экспертных схем районирования (распределение ста операционных территориальных единиц между пятью районами) и обобщающей схемы.

Каждая цифра соответствует одной операционной территориальной единице, а порядковый номер от 1 до 5 указывает на отнесение операционной единицы к одному из пяти районов. Частота отнесения операционной единицы к району на обобщающей схеме (выделена полужирным контуром):

$$a - 5/5, б - 4/5, в - 3/5, г - 2/5$$

в итоге включалась в тот район, который благодаря новой ОТЕ становился более компактным, чем без нее. С учетом заданных ограничений получилась следующая система правил (для отличия от других правил введено обозначение «EXREG» – экспертное районирование):

R_{EXREG}1: ЕСЛИ территория *S* состоит из *n* непересекающихся ОТЕ И множество ОТЕ покрывает *S* без остатка, И все ОТЕ объединены в *k* районов, И в одном районе находятся

только соседние ОТЕ, И имеется *m* исходных схем районирования от *m* экспертов, И на всех схемах представлены только четкие (не размытые, без переходных зон) районы, ТО с учетом вероятности отнесения каждой ОТЕ к каждому району и требования компактности итоговых районов можно построить обобщающую схему районирования, отражающую преобладающее мнение экспертов об оптимальном разделении *S* на *k* районов.



R_{EXREG2} : ЕСЛИ под вероятностью отнесения ОТЕ к району считать частоту встречаемости i -й ОТЕ в j -м районе на всех m исходных схемах (p_{ij}) И $p_{ij} = f_{ij} : m$ (f_{ij} – количество схем, на которых i -я единица включена в j -й район; $0 \leq f_{ij} \leq m$), ТО можно создать матрицу $\{p_{ij}\}$, необходимую для построения обобщающей схемы районирования.

R_{EXREG3} : ЕСЛИ на основе $\{p_{ij}\}$ выделить ОТЕ с $p_{ij} = 1$ И ОТЕ с $0,5 < p_{ij} < 1$, И в полученные группы входят только соседние ОТЕ, ТО оконтуривание ОТЕ с более 0,5 позволит идентифицировать основу итоговых районов, а с 1,0 – ядра этих районов, И при отсутствии $p_{ij} \leq 0,5$ эта основа объявляется обобщающей схемой районирования, ИНАЧЕ происходит переход к следующему правилу (R_{EXREG4}).

R_{EXREG4} : ЕСЛИ ввести меру удаленности i -й операционной единицы от j -го ядра (d_{ij}) как наименьшее количество ОТЕ между i -й единицей и ближайшей ОТЕ ядра, выделенного при реализации R_{EXREG3} , И рассматриваемая i -я единица граничит с ядром или его окружением ($p_{ij} > 0,5$ в R_{EXREG3}), И $d_{ij} < d_{iv}$ (d_{iv} – удаленность i -й ОТЕ от v -го ядра), И $p_{ij} \geq p_{iv}$, ТО i -я единица относится к j -му району И при распределении n ОТЕ между k районами получается обобщающая схема районирования, ИНАЧЕ переход к R_{EXREG5} .

R_{EXREG5} : ЕСЛИ имеются одно или несколько ОТЕ с $d_{ij} = d_{iv}$ и $p_{ij} = p_{iv} < 0,5$ И под компактностью района подразумевается степень приближения его формы к правильной геометрической фигуре (при прямоугольной сетке ОТЕ такой фигурой является квадрат), И мерой компактности района z , является количество ОТЕ, недостающих до превращения j -го района в правильную геометрическую фигуру относительно крайних ОТЕ (например, при пяти ОТЕ, расположенных в одну линию, $z_j = 20$, т. е. равно количеству ОТЕ, недостающих до квадрата 5X5), И через z_{ij} обозначена новая мера, получаемая в результате присоединения рассматриваемой i -й ОТЕ к j -му району, И производится сравнение относительных величин $(\Delta z_{ij} = (z_j - z_{ij}) : z_j)$, ТО i -я единица входит в состав соседнего j -го района при $\Delta z_{ij} > \Delta z_{iv}$. И при распределении n ОТЕ между k районами получается обобщающая схема районирования, ИНАЧЕ (при $\Delta z_{ij} = \Delta z_{iv}$) i -я ОТЕ объявляется лакуной в обобщающей схеме.

Результат реализации приведенных правил относительно пяти исходных экспертных схем представлен в шестом блоке (см. рисунок). Целесообразно подчеркнуть, что при использовании других ограничений (в том числе априори не заданного количества ОТЕ и районов [17]) могут быть сформулированы иные правила. В целом «блокчейн» позволяет не только организовать исследование и закрепить его результаты (исключив апостериори манипуляции исходными схемами), но и перераспределить интеллектуальную собственность. В настоящее время авторское право на обобщающую схему районирования (например, экономического районирования Иркутской

области [17]) принадлежит тому, кто проводил обработку экспертных мнений, а при переходе на использование «блокчейн» обладателем права станет каждый из экспертов, что повысит заинтересованность последних в получении более объективного результата.

Идентификация «умных» агломераций.

Рассмотрев некоторые перспективы экономико-географических исследований для искусственного интеллекта и с его помощью, нельзя обойти вниманием оценку общественно-географических последствий реализации прорывных технологий. Не исключено, что в ближайшие годы повышенную актуальность приобретут исследования по определению нового цифрового разрыва между территориями (городами, регионами, странами), обусловленного неравномерностью внедрения интеллектуальных систем, уяснению пространственно-временной специфики перехода к цифровой экономике на основе четвертой промышленной революции [11], выявлению «умных» агломераций и регионов [25], установлению территориальных пределов распространения «Тактильного Интернета» [26], калибровке сетевой модели пространственной диффузии инноваций [18], измерению экономико-географического положения поселений и магистралей относительно «умных» объектов (функционалируют на основе ИИ) в рамках сетевого и потокового подходов [18]. Из перечисленных перспективных направлений далее будет рассмотрено только выявление «умных» агломераций.

Для городских агломераций характерны определенная людность ядра (не менее 250 тыс. человек), временная доступность ядра (не более 1,5 часа от ядра и 0,5 часа от крупных периферийных городов-спутников) и развитость системы городских поселений (коэффициент развитости более единицы) [27]. При переходе к анализу «умных» заводов [28], городов [9, 29, 30] и регионов [10] необходимо учитывать другие критерии, связанные с обеспечением управляемости (в режиме реального времени) большого количества систем искусственного интеллекта (беспилотный транспорт, «интеллектуальные» дороги, здания, рекреационные территории и др.), безопасности взаимодействия таких систем между собой и с жителями, а также кибербезопасности. Поэтому, сохраняя порог запуска процесса агломерирования городов с наличия ядра (города-центра агломерации), в котором проживает не менее четверти миллиона человек, целесообразно оперировать критериями электросвязи, характеризующими возможность оперативного управления территориально распределенными «умными» объектами из одного центра (ядра).

Основными характеристиками электросвязи являются скорость передачи информации, удельный вес потерянных пакетов, задержка сигнала и джиттер (колебания задержки во времени; от англ. *jitter* – дрожание). Развитие средств электросвязи ведет к тому, что в будущих сетях 5G скорость



может достигнуть 20 Гбит/с, а потери и джиттер будут стремиться к нулю. Отсюда следует, что наиболее критичным параметром связи между территориально удаленными системами искусственного интеллекта является задержка сигнала. При этом реализация ряда прорывных информационно-коммуникационных технологий возможна только при сверхмалых задержках – менее 1 мс (1 миллисекунда = 0,001 с) [26]. Получается, что для контроля ИИ из удаленного центра необходимо, чтобы сигнал из центра не задерживался более 1 мс [25]. Опираясь на расстояния между городами по кратчайшим линиям электросвязи и формулу расчета задержки сигнала [26], можно относительно каждого ядра провести изохрону 1 мс, которая будет некоторым пространственным пределом роста «умной» агломерации.

К настоящему времени известна всего одна попытка идентификации «умных» городских агломераций России с учетом изохроны 1 мс [25]. Используя авторскую базу данных о линиях электросвязи Российской Федерации, созданную на основе отчетов операторов связи, и рассчитав величину задержки сигнала между 1112 населенными пунктами, имевшими статус города на 1 января 2017 г., были выделены 43 агломерации [25]. При этом надо понимать, что «умные» агломерации еще только предстоит создать, а уяснение возможного распределения по ним городов связано с необходимостью предвидения «пределов роста» скоплений городов вокруг ядер с мощным искусственным интеллектом. Эти пределы связаны с максимально допустимой задержкой информационного потока между ядром и городами-спутниками. В волоконно-оптических линиях связи такая задержка составляет 5 мкс/км [26] (1 микросекунда = 0,000001 с), что позволяет рассчитать максимально допустимое удаление городов-спутников от ядра ($1 \text{ мс} : 5 \text{ мкс/км} = 200 \text{ км}$ по кратчайшим линиям электросвязи).

Сравнение «обычных» (выделенных по методике П. М. Поляна [27]) и «умных» [25] городских агломераций России позволяет прийти к выводу, что первые меньше вторых по количеству городов и численности городского населения, и замыкаются в пределах одного региона, тогда как среди «умных» скоплений довольно распространены межрегиональные структуры (33 из 43). Не исключено, что в связи с развитием высокоскоростного транспорта в будущем изохрона 1,5-часовой транспортной доступности ядра (на сегодня это примерно 90 км) приблизится к изохроне 1 мс по задержке сигнала из ядра (200 км). Тогда в «обычные» агломерации будут входить те же города, что и в их «умный» аналог. Что касается межрегиональных структур, то уже сейчас приходит понимание того, что «обычные» агломерации не должны ограничиваться территориальными рубежами субъектов Федерации.

Дальнейшие перспективы идентификации «умных» агломераций России связаны с учетом

задержки сигнала до всех отечественных сельских поселений и поселков городского типа, что позволит проводить более точные границы агломераций и в итоге перейти от анализа городских скоплений к изучению всех селитебных территорий в пределах изохроны 1 мс, исследованием возможности размещения центров обработки данных и ситуационно-управленческих центров в городах с людностью менее 250 тыс. человек, что существенно увеличит количество «умных» агломераций и их удельный вес в численности населения страны, определением новых кратчайших маршрутов для прокладки волоконно-оптических линий связи между поселениями, что расширит агломерации за счет населенных пунктов, находящихся в настоящее время вне рассматриваемой изохроны, переходом от расчетных значений задержки сигнала между поселениями, определяемых по формуле из [26], к измерению задержки с использованием «больших данных» [17], а также установлением других (относительно сверхмалой задержки) критических параметров управляемости территориально распределенного искусственного интеллекта из ядра агломерации.

Заключение. Бурное развитие искусственного интеллекта в последние годы заострило проблему отсутствия экономико-географического осмысления данного процесса. Не претендуя на всеобъемлющий охват, была предпринята попытка уяснить три момента: перспективные пути проникновения общественно-географического знания в сферу ИИ (представление эвристического знания с помощью правил «если..., то...»), создание систем географических правил, обоснование хронологической основы распределенных реестров и размещение центров обработки данных), использование ИИ для проведения экономико-географических исследований (построение экономико-географических интеллектуальных программных агентов как виртуальных помощников географов-исследователей и применение технологии «блокчейн» для обобщения экспертных схем районирования) и определение географических последствий распространения ИИ (формирование «умных» городских агломераций).

Вне экономико-географического осмысления остались многие подбласти искусственного интеллекта, среди которых в связи с особой перспективностью целесообразно отметить три: машинное обучение (применительно к нашей проблематике это выражается в формировании способности робота создавать метаправила на основе обобщения множества географических правил), компьютерное видение (в отличие от машинного «понимания» физико-географического изображения вообще отсутствуют работы по преобразованию визуализированной общественно-географической ситуации в описание, понятное искусственному интеллекту) и использование нейронных сетей для экономико-географического прогнозирования.



Благодарности и финансирование: *Статья подготовлена при финансовой поддержке Отделения гуманитарных и общественных наук РФФИ (проект № 17-03-00307-ОГН).*

Библиографический список

1. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence : A Modern Approach. Third Edition. Boston : Prentice Hall, 2010. 1132 p.
2. *Smith T. R.* Artificial intelligence and its applicability to geographical problem solving // *Professional Geographer*. 1984. Vol. 36, № 2. P. 147–158.
3. *Couclelis H.* Artificial intelligence in geography : Conjectures on the shape of things to come // *Professional Geographer*. 1986. Vol. 38, № 1. P. 1–11.
4. *Nystuen J. D.* Comment on “Artificial intelligence and its applicability to geographical problem solving” // *Professional Geographer*. 1984. Vol. 36, № 3. P. 358–359.
5. *Тикунов В. С.* Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии // *Вестник Московского университета. Сер. 5, Геогр.* 1989. № 6. С. 3–9.
6. *Openshaw S., Openshaw C.* Artificial Intelligence in Geography. Chichester, UK : John Wiley, 1997. 336 p.
7. *Головицына М. В., Гудко Н. И.* Методы искусственного интеллекта в современных информационных технологиях. М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2017. 383 с.
8. *Опенков М. Ю., Варакин В. С.* Искусственный интеллект как экономическая категория // *Вестник Северного (Арктич.) федерального университета. Сер. Гуманит. и соц. науки.* 2018. № 1. С. 73–83.
9. *Batty M.* Artificial intelligence and smart cities // *Environmental and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2018. Vol. 45, № 1. P. 3–6.
10. *Morandi C., Rolando A., Di Vita S.* From Smart City to Smart Region : Digital Services for an Internet of Places. Milan : Springer, 2016. 120 p.
11. *Schwab K.* The Fourth Industrial Revolution. N. Y. : Crown Business, 2017. 192 p.
12. *Курсанов Б. С., Попов Э. В.* Состояние разработки инструментальных средств и экспертных систем // *Искусственный интеллект : в 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы : справочник / под ред. Э. В. Попова.* М. : Радио и связь, 1990. С. 290–342.
13. *Post E.* Formal reduction of the general combinatorial // *American J. Math.* 1943. Vol. 65, № 2. P. 197–215.
14. *Варламов О. О.* Практическая реализация линейной вычислительной сложности логического вывода на правилах «если – то» в миварных сетях и обработка более
15. *Блануца В. И.* Диффузия почтовых нововведений в досоветской Сибири // *География и природные ресурсы*. 2012. № 4. С. 30–39.
16. *Блануца В. И.* Почтовое освоение Сибири в досоветский период // *География и природные ресурсы*. 2014. № 3. С. 171–180.
17. *Блануца В. И.* Социально-экономическое районирование в эпоху больших данных. М. : ИНФРА-М, 2017. 194 с.
18. *Блануца В. И.* Развертывание информационно-коммуникационной сети как географический процесс (на примере становления сетевой структуры сибирской почты). М. : ИНФРА-М, 2016. 246 с.
19. *China Satellite Manufacturing Index.* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spaceknow.com/china/> (дата обращения: 15.06.2018).
20. *Бакланов П. Я.* К теории экономического районирования («теорема» об экономическом районировании) // *Региональные исследования*. 2016. № 4. С. 4–9.
21. *Keane M.* The size of the region-building problem // *Environment and Planning A*. 1975. Vol. 7, № 5. P. 575–577.
22. *Свон М.* Блокчейн : Схема новой экономики. М. : Олимп-бизнес, 2017. 240 с.
23. *Генкин А., Михеев А.* Блокчейн : как это работает и что ждет нас завтра. М. : Альпина Паблишер, 2018. 592 с.
24. *Цветкова Л. А.* Перспективы развития технологии блокчейн в России : конкурентные преимущества и барьеры // *Экономика науки*. 2017. Т. 3, № 4. С. 275–296.
25. *Блануца В. И.* Территориальная структура цифровой экономики России : предварительная делимитация «умных» городских агломераций и регионов // *Пространственная экономика*. 2018. № 2. С. 17–35.
26. *Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В.* Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // *Электросвязь*. 2016. № 1. С. 44–46.
27. *Полян П. М.* Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. М. : Изд-во Института географии АН СССР, 1988. 283 с.
28. *Zuehlke D.* SmartFactory – towards a factory-of-things // *Annual Reviews in Control*. 2010. Vol. 34, № 1. P. 129–138.
29. *Albino V., Berardi U., Dangelico R. M.* Smart cities : definitions, dimensions, performance, and initiatives // *Journal of Urban Technology*. 2015. Vol. 22, № 1. P. 3–21.
30. *Hall R. E.* The vision of a smart city // *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop (Paris, France, September 28, 2000)*. P., 2000. P. 1–6.

Образец для цитирования:

Блануца В. И. Перспективы экономико-географических исследований в области искусственного интеллекта // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле*. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-4-11>

Cite this article as:

Blanutsa V. I. Prospects of Economic-Geographical Research in the Field of Artificial Intelligence. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2019, vol. 19, iss. 1, pp. 4–11 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-1-4-11>