



Источник изображения: <https://stock.adobe.com>

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОЛОГИИ: КРАТКИЙ ОБЗОР

Принята к публикации 9.11.2025

Опубликована 25.11.2025

ЧЭНЬ Л.

Научно-исследовательский центр
Геологической службы Китая
(Национальные геологические архивы
Китая), г. Пекин, Китай

ВАН Л.

Научно-исследовательский центр
Геологической службы Китая
(Национальные геологические архивы
Китая), г. Пекин, Китай

МЯО Цз.

Научно-исследовательский центр
Геологической службы Китая
(Национальные геологические архивы
Китая), г. Пекин, Китай
mjinli@mail.cgs.gov.cn

ГАО Х.

Факультет географии и
информационной инженерии
Китайского университета наук о Земле
(Ухань), г. Ухань, Китай

ЧЖАН Ю

Факультет информационной
инженерии Китайского университета
наук о Земле (Пекин), г. Пекин, Китай

ЯО Я.

Факультет географии и
информационной инженерии
Китайского университета наук о Земле
(Ухань), г. Ухань, Китай

БАЙ М.

Научно-исследовательский центр
Геологической службы Китая
(Национальные геологические архивы
Китая), г. Пекин, Китай

МЭЙ Л.

Научно-исследовательский центр
Геологической службы Китая
(Национальные геологические архивы
Китая), г. Пекин, Китай

ХЭ Цз.

Четвертый институт океанографии
Министерства природных ресурсов,
г. Бэйхай, Китай

АННОТАЦИЯ

Представляем немного сокращенный адаптированный перевод статьи китайских ученых «Применение больших данных и искусственного интеллекта в геологии: краткий обзор» (Chen et al., 2020). Она была опубликована в журнале *Journal of Physics: Conference Series* («Физический журнал: Серия «Конференции»») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей фактически международной. Эта статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник с указанием DOI. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Chen et al., 2020) приводится в конце.

Технологии больших данных и искусственного интеллекта (ИИ) обеспечили появление новых методов и возможностей для многих применений в геологии. Тем не менее приложения для работы с большими данными в сферах наук о Земле, основанные на ИИ, все еще находятся в зачаточном состоянии, а методы и цели по-прежнему разрозненны, отсутствует единая теоретическая и прикладная основа. В данной статье рассматриваются: применение технологий больших данных и ИИ, их текущее состояние, имеющиеся проблемы и тенденции развития для использования в геологии. Данная публикация может послужить ориентиром для будущих исследований и разработок в этой сфере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

геология; науки о Земле; большие данные; геологические большие данные; искусственный интеллект; машинное обучение; глубокое обучение; глубокие нейронные сети; высокопроизводительные вычисления; исторические данные; пространственно-временная база данных; междисциплинарные исследования.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Чэнь Л., Ван Л., Мяо Цз., Гао Х., Чжан Ю., Яо Я., Бай М., Мэй Л., Хэ Цз. Применение больших данных и искусственного интеллекта в геологии: краткий обзор (пер. с англ.) // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 3. С. 36–42. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-3-36-42.

REVIEW OF THE APPLICATION OF BIG DATA AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GEOLOGY

Accepted for publication 9.11.2025

Published 25.11.2025

CHEN L.

Development and Research Center of China Geological Survey (National Geological Archives of China), Beijing, China

WANG L.

Development and Research Center of China Geological Survey (National Geological Archives of China), Beijing, China

MIAO J.

Development and Research Center of China Geological Survey (National Geological Archives of China), Beijing, China
mjlinli@mail.cgs.gov.cn

GAO H.

Faculty of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, China

ZHANG Y.

Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, China

YAO Y.

Faculty of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, China

BAI M.

Development and Research Center of China Geological Survey (National Geological Archives of China), Beijing, China

MEI L.

Development and Research Center of China Geological Survey (National Geological Archives of China), Beijing, China

HE J.

Fourth Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Beihai, China

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the paper “Review of the application of big data and artificial intelligence in geology” by Chinese scientists (Chen et al., 2020). It was published in the journal “Journal of Physics: Conference Series” by the publishing company of the British scientific society “Institute of Physics” (IOP) that is now virtually international. It is an open access paper under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source and DOI are referred to. In our case, the full reference to the original paper (Chen et al., 2020), which was used for the presented translation, is given in the end.

Big data and artificial intelligence (AI) have provided new methods and opportunities for many applications in geology. Nevertheless, big data and AI-based geoscience applications are still in their infancy, and the methods and objectives are still scattered, lacking a unified theoretical and application framework. This study reviews the application of big data and AI in geology and analyzes and summarizes the current status, development trends and existing problems of ongoing studies from the perspectives of geology. This study can provide a reference for the future research and development of the application of big data and AI in the field of geology.

KEYWORDS:

geology; Earth sciences; big data; geological big data; artificial intelligence; machine learning; deep learning; deep neural networks; high-performance computing; historical data; spatiotemporal database; interdisciplinary research.

FOR CITATION:

Chen L., Wang L., Miao J., Gao H., Zhang Y., Yao Y., Bai M., Mei L., He J. Primenenie bol'shikh dannykh i iskusstvennogo intellekta v geologii: kratkii obzor (per. s angl.) [Review of the application of big data and artificial intelligence in geology (translated from English into Russian)] // *Geoinfo*. 2025. T. 7. № 3. S. 36–42. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-3-36-42 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

В геологии в основном изучается литосфера, в том числе состав, внутренняя структура и развитие Земли [1]. Из-за масштабности и сложности объектов геологических исследований часто приходится сталкиваться с проблемами, связанными со сложными источниками данных и низкой точностью [2]. Благодаря быстрому развитию наук и технологий появилось огромное количество новых технических методов, в том числе для геофизических, геохимических исследований [3–5], изотопной геологии [6], дистанционного зондирования Земли [7] и т.д. Эти технологии увеличивают точность и объем геологических данных.

Искусственный интеллект (ИИ) относится к компьютерным наукам. Это интеллект, проявляемый системой, созданной людьми [8]. ИИ можно разделить на две категории – слабый (узкий) и сильный (общий) [8]. В области слабого ИИ нельзя создать интеллектуальные машины, способные рассуждать и решать проблемы, как человек [9]. Сильный ИИ предполагает возможность создания действительно интеллектуальных машин, способных к рассуждению и решению задач и, может быть, даже считающихся разумными и обладающими самосознанием [9]. Направления исследований в сфере ИИ включают экспертные системы, машинное обучение, распознавание речи, компьютерное зрение и рекомендательные системы (системы рекомендаций) [10]. Среди них наиболее быстро развивающимся и наилучшим образом отражающим интеллект направлением является машинное обучение [11].

В сфере машинного обучения исследуется то, как компьютеры имитируют или реализуют поведение человека в процессе обучения, характеризующееся способностью автоматически совершенствоваться на основе опыта. Через алгоритмы машинного обучения возможно приобретение новых знаний или навыков. Для преодоления узких мест в развитии машинного обучения (таких

как обилие типов моделей, обширность обучения, сложность определения весов параметров и широкий диапазон параметров) появилась технология глубокого обучения, которая получила широкое распространение и стала ключевым направлением развития ИИ [12].

Глубокое обучение – это разновидность технологии машинного обучения, в которой используются глубокие нейронные сети для решения задачи обучения представлению признаков (на основе применения многослойных нейронных сетей для автоматического извлечения высокоуровневых признаков из сложных данных. – *Ред.*). Основные цели работы нейронной сети глубокого обучения – имитация процесса обучения человеческого мозга с помощью алгоритма глубокой нейронной сети и объединение низкоуровневых признаков в абстрактное представление более высокого уровня с использованием нелинейной взаимосвязи между вводом и выводом, чтобы в конечном итоге достичь совершенного уровня и возможности применения [13].

Очень важную роль в результатах обучения модели ИИ играет богатство данных [14]. В связи с взрывным ростом объемов данных и быстрым развитием сетевых вычислительных технологий, обеспечивающих базовое информационное обеспечение для ИИ, появилась концепция больших данных [15]. Большие данные – это крупномасштабный набор данных, которые трудно собирать, хранить, анализировать и которыми трудно управлять с помощью традиционных программных средств для баз данных [16]. Это относится не только к значительному количеству данных, но и к большому разнообразию их типов и низкой плотности распределения значений [15]. Технология больших данных может помочь самым разным компаниям извлекать необходимую информацию из больших массивов данных с низкой плотностью распределения значений. В результате данные могут быть преобразованы из количественных в каче-

ственные, что действительно будет представлять ценность [15].

В последние годы благодаря своему быстрому развитию технологии больших данных и искусственного интеллекта нашли определенное применение в геологии [17]. С повышением производительности вычислительных систем (особенно благодаря быстрому развитию технологии высокопроизводительных вычислений с использованием графических процессоров) проблемы ограничения вычислительных мощностей при использовании технологий больших данных и ИИ были в значительной степени решены [18]. Это снижает нагрузку рассматриваемых технологий на вычислительном уровне и расширяет возможности их применения и перспективы их развития при геологических исследованиях [19]. Искусственный интеллект обычно используется для изыскательских работ, поисков и разведки полезных ископаемых, обнаружения геохимических аномалий [20].

В этой статье как раз и рассматривается применение технологий больших данных и ИИ в геологии.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОЛОГИИ ►

Геологические большие данные – это новое понятие, возникшее в результате внедрения теории больших данных в геологию [17]. Данные при геологических исследованиях поступают из широкого спектра источников. С внедрением новых технологий, снижением стоимости хранения и накоплением исторических данных геологическая информация стала приобретать характеристики больших данных – по объему, ценности, разнообразию и временному охвату [2]. Традиционные методы обработки данных постепенно перестают соответствовать требованиям к методам и скорости обработки геологических данных [17]. Технологии больших данных и ИИ дали геологической отрасли эффективные методы работы с информа-

цией, а развитие высокопроизводительных вычислений значительно расширило возможности применения моделей ИИ в геологии.

Геологические науки являются наблюдательными дисциплинами и основываются на обобщенном анализе собранной информации с использованием интегрирующих рассуждений [18]. Из-за сложностей с получением исчерпывающих данных и ограниченности собственного опыта и знаний исследователей трудно выполнять анализ, делать заключения, которые полностью соответствовали бы реальным ситуациям. А технологии больших данных и ИИ по сравнению с традиционными методами позволяют использовать огромные объемы геологических данных для обобщения характеристик, выявления закономерностей геологических процессов, объективного, беспристрастного и быстрого анализа явлений и получения более научно обоснованных результатов [19]. Поэтому исследования в области технологий обработки геологических больших данных дадут новый толчок развитию геологии.

Геологические большие данные характеризуются наличием многих источников, разнообразием типов и большими объемами, что делает возможным применение теории больших данных и связанных с ней технологий в геологической отрасли, но вместе с тем вызывает ряд проблем [2]. Например, наличие множества источников затрудняет интеллектуальный анализ данных. Поскольку существуют разные источники, типы и объемы данных, методы их обработки и модели анализа также различны, поэтому трудно определить степень влияния каждого типа данных на конечные результаты. Плотность распределения значений в случае больших геологических данных относительно низка, поэтому итоговые результаты анализа могут быть недостоверными, что оказывает огромное влияние на поиски и разведку полезных ископаемых, мониторинг опасных геологических явлений и процессов и на другие аспекты. В Китае пока (на момент написания статьи. – *Ред.*) не так много исследований по технологии больших геологических данных, поэтому трудно гарантировать качество геологических данных с низкой плотностью распределения значений, а обеспечение точности и сохранности данных также сталкивается со многими проблемами [19].

До настоящего времени многие ученые предпринимали попытки примене-

ния технологических методов, связанных с большими данными и ИИ, в геологии. В сфере научных геологических исследований благодаря все более широкому использованию новых технологий больше экономических преимуществ, источников и объемов данных имеет направление поисков и разведки полезных ископаемых. Поэтому именно данное направление лучше подходит для применения искусственного интеллекта и теоретических методов работы с большими данными. Одни из наиболее широко используемых моделей ИИ в этой области – искусственные нейронные сети (модели глубокого обучения), которые зарекомендовали себя как мощные инструменты для классификации и идентификации полезных ископаемых [20, 23]. Крэкнелл и Ридинг [24] сравнили пять алгоритмов машинного обучения для геологического картирования и показали, что предпочтительной моделью для литологической классификации является алгоритм «случайный лес» (Random Forest, RF). В последние годы широкое внимание привлекли исследования ключевых технологий машинного обучения, применяемых в области разведки полезных ископаемых и соответствующего картирования. При картировании перспективных месторождений полезных ископаемых было использовано несколько методов контролируемой классификации (supervised classification). Родригес-Гальяно и др. [25] использовали искусственную нейронную сеть, дерево решений, алгоритм «случайный лес» и метод опорных векторов по отдельности для картирования месторождений полезных ископаемых. Сравнив результаты использования этих четырех методов, они обнаружили, что метод «случайный лес» превосходит остальные три метода машинного обучения [25].

Кроме того, из-за сложности геологической среды и неизвестного распределения геохимических данных традиционные математические и статистические методы неэффективны для выявления геохимических аномалий. Поэтому для определения геохимических аномалий некоторые методы машинного обучения были использованы в экспериментальном порядке [4–5]. Преимущество этих методов заключается в том, что они не делают предположений/допущений по распределению данных и хорошо справляются с нелинейными связями между геохимическими данными. Например, Тваракави и др. [4] использовали метод опорных

векторов и его надежную модификацию с использованием метода наименьших квадратов для картирования концентраций триоксида мышьяка, используя распределение концентраций золота, присутствующего в отложениях Аляски. Бёшэр и др. [26] применили искусственные нейронные сети для картирования почв в нижнем течении реки Сирппуйоки (Sirppujoki) на юго-западе Финляндии. Чэнь и др. [27] провели исследования на юге провинции Цзилинь в Китае и успешно выявили там геохимические аномалии с помощью метода (модели) ограниченной машины Больцмана. Гонбади и др. [5] использовали контролируемое машинное обучение для выявления медно-порфировых геохимических аномалий в провинции Керман в Иране. Чэнь и др. [28] предложили пространственно ограниченную модель нейронной сети, основанную на использовании множества автоэнкодеров (автокодировщиков), для эффективного улучшения способности нейронной сети (глубокого обучения) идентифицировать многомерные аномалии в разведочной геохимии. Чэнь и др. [29] представили также подход с применением многосверточных автокодировщиков с неинтерактивной структурой сети для точного распознавания геохимических аномалий. Вышеуказанные исследования показали, что модели машинного обучения являются эффективными инструментами для распознавания многомерных геохимических аномалий.

Кроме того, технологии ИИ и больших данных обладают большим потенциалом в таких направлениях геологических исследований, как идентификация геологических образцов, минералогические исследования руд и сейсмический мониторинг.

Теоретические методы больших данных могут быть успешно применены в области идентификации геологических образцов. Стандарты классификации данных для идентификации геологических образцов известны, а источники данных весьма разнообразны. Высокую справочную ценность для текущего определения образцов имеют исторические данные по идентификации [19]. Модель ИИ может быть обучена на исторических геологических больших данных. И тогда она может применяться для распознавания типов образцов, что может не только значительно увеличить эффективность, но и повысить точность и избежать ошибок, вызванных искусственным распознаванием [24]. В настоящее время в области иден-

тификации образцов полезных ископаемых используются модели глубокого обучения, которые дают хорошие результаты [30]. Надо полагать, что в будущем в этой области очень перспективным также будет использование методов больших данных и ИИ.

Теория геологических больших данных имеет широкие перспективы применения и в минералогических исследованиях. Использование технологий больших данных и моделей ИИ для анализа и извлечения знаний из геологических больших данных может помочь геологам в понимании моделей месторождений, анализе процессов их формирования, выявлении металлогенических закономерностей и в содействии поискам и разведке полезных ископаемых и освоению их месторождений [24].

Сейсмический мониторинг связан с экономикой и жизнью населения страны, а сейсморазведка также является важным технологическим методом в геологической отрасли. Развитие науки и техники, применение новых технологий в сферах мониторинга землетрясений и сейсморазведки привели к появлению огромного объема данных. Поэтому эффективность и точность анализа сейсмической информации существенно повысится с применением технологий больших данных и ИИ и высокопроизводительных вычислительных технологий. И это окажет большую помощь для сейсмического мониторинга и полевых геологоразведочных работ.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ►

Технологии ИИ и больших данных широко применяются в информатике и науке о данных, однако в геологии их использование все еще находится на начальной стадии. Нет необходимого полного набора теорий и систем, объединяющего теоретические проблемы геологии с машинным обучением.

Соответствующие достижения в геологии включают выявление геохимических аномалий [4–5], идентификацию полезных ископаемых [20, 23] и многие другие направления. Это говорит о том, что технологии больших данных и ИИ имеют широкие перспективы для исследований и высокую прикладную ценность в геологии.

Преимущество больших пространственных данных заключается в том, что они отражают тонкую структуру связей «Земля – время» [30], а подход «снизу вверх» может быть использован для моделирования традиционных геологических задач. Если ИИ использовать как

средство, большие данные – как входные данные, а решение задач – как цель, то можно эффективно получать результаты с более высокой точностью по сравнению с традиционными статистическими методами. Однако неопределенность ИИ, особенно глубокого обучения, делает неопределенным развитие использования этих технологий в разных направлениях геологии [22].

Важными особенностями геологии являются многомасштабные эффекты, пространственно-временная неоднородность и пространственно-временные корреляции [31]. Исследования в геологических науках стремительно развиваются от одномасштабных к многомасштабным и от статических к динамическим [31]. В ходе этого развития становятся крайне необходимыми новые модели и новые данные. И возможности для этого обеспечивают технологии ИИ и больших данных. Поэтому фокусами будущих исследований становятся достоверность данных, их погрешности и надежность моделей.

С учетом четырех характеристик больших данных (их огромного объема, разнообразия типов, низкой плотности распределения и быстрой генерации [15]), технические средства их анализа и исследований отличаются от традиционных. Требуются более высокие вычислительные мощности и более эффективные методы обработки данных. Технологии высокопроизводительных вычислений значительно улучшили вычислительные возможности [107], которые играют очень важную роль при анализе и обработке больших данных и реализации сложных моделей ИИ. Мощные вычислительные ресурсы будут основой для эффективного построения пространственно-временных баз данных в геологии и решения задач, связанных с разнородными пространственными данными, полученными из многих источников и в разные периоды времени.

Кроме того, в будущем предстоит решить научно-технический вопрос о том, как эффективно построить платформу искусственного интеллекта на основе пространственно-временной базы данных для поддержки среды больших данных и, таким образом, провести анализ и исследование пространственных данных из множества источников.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ►

В этой статье кратко описано текущее состояние исследований в области применения технологий больших дан-

ных и искусственного интеллекта в геологии. Авторами сделаны следующие выводы.


Благодаря разнообразию методов сбора, снижению затрат на хранение и накопление геологических данных последние постепенно приобретают характеристики больших данных. Внедрение технологий больших данных и искусственного интеллекта дало геологической отрасли более разнообразные методы обработки данных и возможность извлекать геологические закономерности, скрытые в массивах геологических данных. Наиболее развитое научное направление применения технологий больших данных и ИИ в геологии в настоящее время – это поиски и разведка полезных ископаемых. В качестве надежных инструментов классификации и идентификации полезных ископаемых зарекомендовали себя такие наиболее широко используемые модели ИИ, как искусственные нейронные сети. В сфере геохимии были применены на практике и дали хорошие результаты некоторые методы обнаружения аномалий, основанные на машинном обучении. В таких направлениях, как идентификация геологических образцов, минералогические исследования и мониторинг землетрясений, модели ИИ могут быть обучены на основе исторических данных и опыта для повышения эффективности, уменьшения ошибок и повышения точности.

Использование технологий ИИ и больших данных в геологии находится в зачаточном состоянии. Для их развития в этой отрасли еще не разработан полный набор теорий и систем. Но их применение уже продемонстрировало такие преимущества, как обеспечение точности и эффективности моделирования. Однако неопределенность в ответах ИИ, особенно на основе глубокого обучения, пока делает развитие соответствующих технологий в геологии неопределенным.

Непрерывное развитие технологий больших данных и искусственного интеллекта дает множество новых средств и методов, которые открывают большие возможности для инноваций в геологии. В рамках тенденции развития «от одномасштабного к многомасштабному, от статического к динамическому» важной задачей, которую необходимо решить в будущем, является создание пространственно-временной базы данных и платформы ИИ в геологии в соответствии с особенностями геологиче-

ских исследований. Чтобы решить эту задачу, ученым-геологам необходимо выйти за рамки традиционного мышления и начать знакомиться с соответствующими теориями больших данных и искусственного интеллекта и активно участвовать в междисциплинарном сотрудничестве.

Применение технологий больших данных и ИИ в геологии становится все более популярным и позволяет получать интересные результаты. При этом приходится сталкиваться с возникновением многих новых возможностей и соответствующих вызовов. В научных исследованиях нет легких путей, а меж-

дисциплинарные исследования еще более сложны. Однако есть основания полагать, что благодаря постоянным углубленным исследованиям и анализу геологические науки с помощью технологий больших данных и искусственного интеллекта обязательно добьются значительного прогресса. 

Источник для перевода ► (Source for the translation) ►

Chen L., Wang L., Miao J., Gao H., Zhang Y., Yao Y., Bai M., Mei L., He J. Review of the application of big data and artificial intelligence in geology // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 1684. Article 012007. DOI:10.1088/1742-6596/1684/1/012007.

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ► (References used by the authors of the translated paper) ►

1. Muehlberger W.R. Earth Science // Science. 1966. Vol. 152. № 3724. P. 950–951.
2. Huang S.F., Liu X.H. Thinking about the application of geological big data and geological information development // China Mining Magazine. 2016. Vol. 25. № 08. P. 166–170.
3. Wang X.S., Zhao B.L., Dong S.T., Zhang Y., Yi W.Q., Xu G.C. Challenges and strategies for large seismic exploration data of oil and gas industry // China Petroleum Exploration. 2014. Vol. 19. № 04. P. 43–47.
4. Twarakavi N.K.C., Misra D., Bandopadhyay S. Prediction of arsenic in bedrock derived stream sediments at a gold mine site under conditions of sparse data // Natural Resources Research. 2006. Vol. 15. № 1. P. 15–26.
5. Gonbadi A.M., Tabatabaei S.H., Carranza E.J.M. Supervised geochemical anomaly detection by pattern recognition // Journal of Geochemical Exploration. 2015. Vol. 157. P. 81–91.
6. Hamilton E.I. Principles of isotope geology // Earth Science Reviews. 1978. Vol. 14. № 2. P. 190–191.
7. Siegal B.S., Gillespie A.R. Remote Sensing in Geology. Wiley, 1980.
8. Russell S.J., Norvig P. Artificial Intelligence: a Modern Approach. Prentice Hall, 1995. P. 2829–2833.
9. Mccorduck P., Selfridge O., et al. History of artificial intelligence // International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1977.
10. Zhu W., Chen H.H., Tian S.Y., Wang H.W. Artificial intelligence: new blue ocean from a scientific dream – analysis and countermeasures of the development situation of AI industry // Science & Technology Progress and Policy. 2016. Vol. 33. № 21. P. 66–70.
11. Jordan M.I., Mitchell T.M. Machine learning: trends, perspectives, and prospects // Science. 2015. Vol. 349. № 6245. P. 255–260.
12. Mitchell T.M., Carbonell G.J., Michalski R.S. Machine Learning. McGraw-Hill, 2003.
13. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. 2015. Vol. 521. № 7553. P. 436–444. DOI:10.1038/nature14539.
14. Braga A., Logan R. The emperor of strong AI has no clothes: limits to artificial intelligence // Information. 2017. Vol. 8. № 4. Article 156. DOI:10.3390/info8040156.
15. Hilbert M. Big Data for development: a review of promises and challenges // Development Policy Review. 2016. Vol. 34. № 1. P. 135–174.
16. Manyika J., Chui M., Brown B., et al. Big Data: the Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. Analytics, 2011.
17. Yan G., Xue Q., Xiao K., et al. An analysis of major problems in geological survey big data // Geological Bulletin of China. 2015. Vol. 34. № 7. P. 1273–1279.
18. Huynh L.N., Lee Y., Balan R.K. DeepMon: Mobile GPU-based deep learning framework for continuous vision applications // The International Conference, 2017.
19. Zhang Q., Jia X.Y., Wu Z., Wang J.R., Jiao S.T., Chen W.F. Big data will lead to a great change in geological science research // China Geoscience union annual meeting, Beijing, China, 2015.
20. Thompson S., Fueten F., Bockus D. Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer stage // Computers & Geosciences. 2001. Vol. 27. № 9. P. 1081–1089.
21. Yao Y.P., Chai Y.C., Ma F.C. New opportunities for the development of Geological Science: reflections on the development trend of Geology // Chinese Science Bulletin. 2004. Vol. 18. P. 1919–1924.

22. Yao Y, Zhang J, Hong Y, et al. Mapping fine-scale urban housing prices by fusing remotely sensed imagery and social media data // Transactions in GIS, 2018. Vol. 22. № 1. DOI:10.1111/tgis.12330.
23. Baykan N.A., Yilmaz N. Mineral identification using color spaces and artificial neural networks // Computers & Geosciences. 2010. Vol. 36. № 1. P. 91–97.
24. Cracknell M.J., Reading A.M. Geological mapping using remote sensing data: a comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information // Computers & Geosciences. 2014. Vol. 63. № 1. P. 22–33.
25. Rodriguez V.G., Sanchez M.C., Chica M.O., et al. Machine learning predictive models for mineral prospectivity: an evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines // Ore Geology Reviews. 2015. Vol. 71. P. 804–818.
26. Beucher A., Osterholm P., Martinkauppi A., et al. Artificial neural network for acid sulfate soil mapping: application to the Sirppujoki River catchment area, south-western Finland // Journal of Geochemical Exploration. 2013. Vol. 125. № 1. P. 46–55.
27. Chen Y., Lu L., Li X. Application of continuous restricted Boltzmann machine to identify multivariate geochemical anomaly // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 140. № 4. P. 56–63.
28. Chen L., Guan Q., Xiong Y., Liang J., Wang Y., Xu Y. A spatially constrained multi-autoencoder approach for multivariate geochemical anomaly recognition // Computers and Geosciences. 2019. Vol. 125. P. 43–54. DOI:10.1016/j.cageo.2019.01.016.
29. Chen L., Guan Q., Feng B., Yue H., Wang J., Zhang F. A multi-convolutional auto-encoder approach for multivariate geochemical anomaly recognition // Minerals. 2019. Vol. 9. № 5. Article 270. DOI:10.3390/min9050270.
30. Park Y.M., Kwan M.P. Multi-contextual segregation and environmental justice research: toward fine-scale spatiotemporal approaches // International Journal of Environmental Research & Public Health. 2017. Vol. 14. № 10. Article 1205. DOI:10.3390/ijerph14101205.
31. Regenauerlied K., Veveakis M., Poulet T., et al. Multiscale coupling and multiphysics approaches in earth sciences: applications // Journal of Coupled Systems & Multiscale Dynamics. 2013. Vol. 1. № 3. P. 281–323.
32. Kindratenko V.V., Enos J.J., Shi G., et al. GPU clusters for high-performance computing // IEEE International Conference on CLUSTER Computing and Workshops, 2009.



Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>