

Использование методов обработки естественного языка для анализа использования Google Earth Engine в научных публикациях 2015–2023 гг. в области дистанционного зондирования

А. Б. Джаксылыкова¹, А. М. Мираш², А. А. Пак¹, А. А. Зияден¹

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий
Алматы, 050000, Казахстан
E-mail: aa.pak83@gmail.com*

² *БЛ-груп, Алматы, 050000, Казахстан
E-mail: aitugan.mirash@gmail.com*

Дистанционное зондирование имеет ключевое значение для обеспечения устойчивого развития человеческой деятельности. Ранее в области обработки спутниковых данных доминировало специализированное профессиональное программное обеспечение, имеющее высокую стоимость. С расширением возможностей информационных технологий ландшафт этой области претерпел существенную трансформацию, в частности благодаря появлению и развитию облачных технологий, сочетающих встроенный доступ к базам спутниковых данных с инструментами для их обработки. Наиболее известным в этой области является продукт GEE (*англ.* Google Earth Engine), впервые появившийся в 2010 г. В настоящее время этот продукт от Google стал серьёзным конкурентом для дорогостоящих профессиональных пакетов обработки спутниковой информации, которые часто обладают менее интуитивным интерфейсом из-за ограниченной аудитории и финансовых барьеров. GEE предоставляет пользователям бесплатный (с определёнными лимитами на объём передаваемых данных) доступ к большинству баз спутниковых данных, а также облачные инструменты для их обработки. Кроме того, следует отметить, что GEE открыл новые перспективы для детального мониторинга окружающей среды и климатических изменений. Его инструменты для обработки больших объёмов глобальных данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и автоматизации анализа спутниковых изображений открывают пользователям революционные возможности работы в направлении анализа спектральных свойств подстилающей поверхности Земли. Частота использования GEE и её временная динамика могут служить индикатором потенциальных возможностей развития обработки ДДЗ в разных странах и в различных научных направлениях. Цель настоящей работы заключается в анализе тенденций частоты использования GEE в научных и технических публикациях в период 2015–2023 гг. на основе методов обработки естественного языка. Полученные данные показывают степенной рост частоты упоминаний GEE в аннотациях научных статей в период 2015–2022 гг. При этом доминирующее использование GEE регистрируется в работах авторов, аффилированных с академией наук Китайской народной республики (КНР). Авторы из университетов США проигрывают более чем в два раза. Такая ситуация диагностирует опережающий рост научных исследований КНР и вытеснение научных институтов США с лидирующих позиций в мире в области дистанционного зондирования.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, базы спутниковых данных, облачные технологии обработки, Google Earth Engine, контент-анализ, продольный анализ

Одобрена к печати: 10.10.2023
DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-319-326

Экспоненциальный рост и диверсификация мировой индустрии платформ анализа и обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) делают её интересным объектом научного исследования. В контексте интеграции технологий геоинформационных систем дистанционного зондирования и глобальных систем позиционирования в комплексную инфраструктуру геопространственных услуг актуализируется потребность в глубоком научном анализе рыночной динамики. Недавние исследования, например (Балдина, Лабутина, 2021; Гаврилова, Лимонов, 2020; Елизаров и др., 2023; Сутырина, 2013; Чандра, Гош, 2008; Шинкаренко, Барталев, 2023а, б; Pradhan et al., 2021), свидетельствуют о расширении сферы применения и повышении важности этих систем в таких областях, как городское и сельское

планирование, ликвидация последствий стихийных бедствий, мониторинг водных ресурсов. В то же время появление больших данных и машинного обучения добавило новое измерение к потенциалу ДДЗ, позволив по-новому и более эффективно интерпретировать геопространственные данные (Wu et al., 2022). Новаторские идеи авторов работы (Khvatish et al., 2020), выступающих за интеграцию когнитивной графики и искусственного интеллекта, ещё раз подтверждают стремительное развитие этой области. Аналогичным образом в исследовании подчёркивается преобразующий потенциал этих систем в государственных сферах, в частности в аудите.

Поверхностный анализ научных текстов выявил растущие тренды использования GEE (*англ.* Google Earth Engine) для масштабных исследований и мониторинга экосистемы, интеграции с методами машинного обучения и доступа к обширным коллекциям спутниковых изображений (Biau, Scornet, 2016; Gorelick et al., 2017; Perilla, Mas, 2020; Reis et al., 2020; Tamiminia et al., 2020; Uzhinskiy, 2022). Однако для реального понимания масштабов и траектории развития этой научной области необходимо опираться на частотный анализ публикаций в научной литературе.

Одним из ключевых направлений исследования выступает анализ роли и влияния специализированных платформ, таких как GEE, в обширной экосистеме ДДЗ (Mutanga, Kumar, 2019). При оценке глобального значения GEE акцентируется внимание на значимости региональных ДДЗ-платформ, способных учитывать специфику конкретного региона или страны. В России, например, активно развивается информационная система «Вега». Это проект, разработанный в рамках Института космических исследований РАН, который представляет собой высокоэффективный инструмент для дистанционного мониторинга разнообразных экосистем (Барталев и др., 2012; Денисов и др., 2021; Лупян и др., 2021). Он нацелен на оперативную диагностику состояния лесных массивов, наблюдение за сельскохозяйственными угодьями и на другие задачи. С учётом роста технологического потенциала «Вега» и новых подходов к обработке спутниковой информации (Балашов и др., 2020; Константинова и др., 2021; Лупян и др., 2018, 2020; Прошин и др., 2020) сравнение этой платформы с GEE становится особенно актуальным.

В настоящей работе проведено комплексное исследование публикаций, в которых осуществлялся анализ упоминаний платформы GEE в контексте стран, институтов, совместно употребляемых ключевых слов, характеризующих внутренние научные направления. Отметим, что в свете глобального влияния GEE сохранение и развитие региональных платформ, таких как «Вега», становится критически важным для учёта местных особенностей и требований, а также сохранения устойчивости этого направления обработки спутниковых данных на национальном уровне путём противодействия его монополизации.

Первичным источником данных для анализа GEE послужила международная база данных Scopus на английском языке. По ключевым словам “Google Earth Engine” было получено в общей сложности 3858 документов за период с 2005 по 2023 г. Наиболее значимые области исследований выглядят следующим образом: 1) науки о Земле и планетах — 2101 документ; 2) науки об окружающей среде — 1301; 3) компьютерные науки — 895; 4) сельскохозяйственные и биологические науки — 693; 5) социальные науки — 647; 6) инженерные науки — 572 документа. Большую часть документов составляют статьи — 2931, далее следуют тезисы конференций — 693, главы книг — 69 и другие виды публикаций. Структура документа из Scopus предполагает наличие следующих полей: название, авторы, тезисы, ключевые слова, год публикации, название журнала или конференции, том и выпуск (если применимо), номера страниц, DOI (*англ.* Digital Object Identifier), аффилиация авторов, цитируемые ссылки, количество цитирований, тип документа (например, статья, обзор, доклад на конференции), предметная область, сведения о финансировании и контактная информация соответствующего автора. Кроме того, база Scopus может предоставлять ссылку на полнотекстовый документ, метрики, связанные с просмотрами статей, и альтернативные метрики, отражающие более широкое влияние, например упоминания в новостях или социальных сетях.

Для детального понимания научных работ, связанных с применением GEE в области геоинформатики, был проведён библиометрический анализ. Целью данного анализа было вы-

явление ключевых журналов, организаций и стран, активно работающих с GEE. В качестве основного источника данных была выбрана база Scopus с фокусом на возможности и применения GEE. В ходе исследования были применены методы контент-анализа и продольного анализа для определения основных трендов и актуальных тематик, связанных с GEE. Предложенная методология позволила систематически оценить и интерпретировать данные по различным аспектам использования GEE: от общей популярности до конкретных областей применения и тенденций развития. В результате были выявлены ключевые направления и трансформации в области обработки спутниковых данных, вызванные использованием GEE.

На *рис. 1а* представлена диаграмма, демонстрирующая динамику частоты упоминания Google Earth Engine в научно-технических публикациях по данным индекса Scopus в интервале 2015–2023 гг. Для периода до 2015 г. анализ динамики публикаций не представлен, поскольку частота упоминаний приближена к нулю и не проявляет значимых изменений. На диаграмме наблюдается монотонный квадратичный возрастающий тренд, указывающий на стабильное увеличение применения GEE в научной литературе. Такая тенденция может свидетельствовать о значимых конкурентных преимуществах в секторе обработки спутниковой информации. Стоит подчеркнуть, что, вероятно, подобная динамика сохранится и в обозримом будущем.

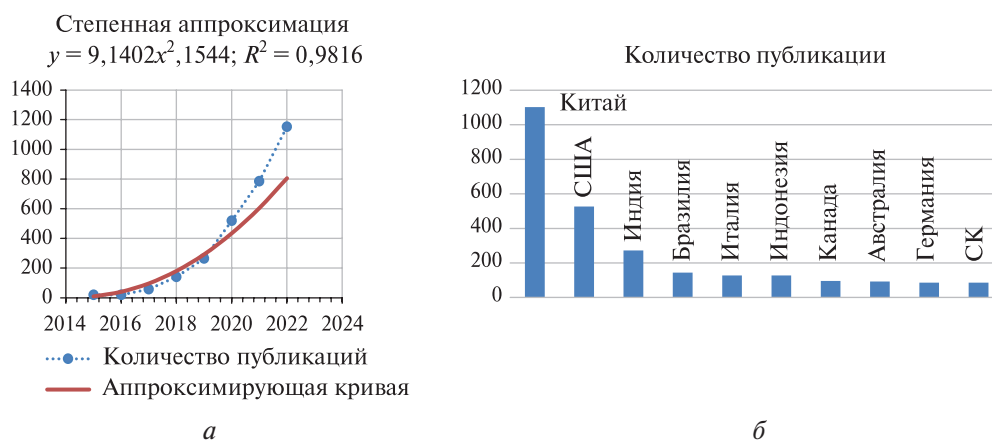


Рис. 1. Динамика и географическое распределение публикаций с упоминанием Google Earth Engine в базе данных Scopus: *а* — по годам; *б* — по странам

Другим исследовательским вопросом стала оценка распространённости, т.е. географии использования. На *рис. 1б* представлена гистограмма по странам. Из данной гистограммы видно, что на первом месте находятся научно-исследовательские и академические институты Китая, второе место занимают США, третье — Индия, четвёртое — Бразилия, пятое — Италия. Следует отметить, что традиционно на рынке ДДЗ-продуктов и услуг эти страны были конкурентами.

Тематическое моделирование научно-технической литературы выделило следующие группы ключевых направлений: источники данных и технологии; аналитические методы и инструменты; проблемы и явления, связанные с окружающей средой; типы местности и объекты исследования.

В *табл. 1, 2* отображены определённые ключевые слова и их доли, которые демонстрируют актуальные направления исследований в области дистанционного зондирования на платформе GEE. Последние активно применяются в научной среде для анализа различных параметров, включая покров Земли, растительность, лесные экосистемы, водные ресурсы и пр. Этот акцент подчёркивает глубокий интерес научного сообщества к использованию GEE для широкого круга задач ДДЗ. В качестве ключевых слов в анализе были использованы следующие термины и сокращения: TSA (*англ.* Time Series Analysis), NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index), RSD (*англ.* Remote Sensing Data), SVM (*англ.* Support Vector

Machine), SAR (*англ.* Synthetic Aperture Radar), MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Кроме того, активное внедрение методик машинного обучения, таких как Random Forest и Support Vector Machine, подчёркивает эффективное взаимодействие GEE с передовыми вычислительными методами, что обеспечивает более детальный и точный анализ данных дистанционного зондирования. В заключение следует сказать, что GEE представляет собой мощный инструмент, который обеспечивает многоаспектный подход к изучению различных климатических, экологических, географических и антропогенных вопросов в академическом сообществе.

Таблица 1. Ключевые слова в группах «Источники данных и технологии», «Аналитические методы и инструменты», «Проблемы и явления, связанные с окружающей средой» в контексте Google Earth Engine

| Аналитические методы и инструменты | | Источники данных и технологии | | Проблемы и явления, связанные с окружающей средой | |
|------------------------------------|---------|-------------------------------|---------|---|---------|
| Ключевые слова | Доля, % | Ключевые слова | Доля, % | Ключевые слова | Доля, % |
| Random Forest | 18 | Remote Sensing | 8 | Mapping | 58 |
| TSA | 17 | Landsat | 2 | Floods | 12 |
| NDVI | 13 | Satellite Imagery | 3 | Drought | 9 |
| Cloud Computing | 11 | Satellite Data | 9 | Wildfire | 7 |
| Spatio-temporal | 10 | RSD | 7 | Evapotranspiration | 6 |
| Vegetation Index | 9 | Satellite Image | 7 | Vegetation Mapping | 5 |
| Spatiotemporal Analysis | 6 | MODIS | 4 | Landslide | 3 |
| SVM | 5 | SAR | 6 | | |
| Change Detection | 5 | Earth Observations | 3 | | |
| Cloud Platform | 5 | | | | |
| Mapping Engine | 1 | | | | |

Таблица 2. Ключевые слова в группе «Типы местности и объекты исследования» в контексте Google Earth Engine

| Номер | Ключевые слова | Доля, % | Номер | Ключевые слова | Доля, % |
|-------|-----------------|---------|-------|--------------------------|---------|
| 1 | Land Cover | 18 | 11 | Surface Water | 4 |
| 2 | Vegetation | 13 | 12 | River Basin | 4 |
| 3 | Forest | 10 | 13 | Land Surface Temperature | 3 |
| 4 | Ecological | 6 | 14 | Phenology | 3 |
| 5 | Crops | 6 | 15 | Farmland | 4 |
| 6 | Rivers | 5 | 16 | Rhizophoraceae | 2 |
| 7 | Wetlands | 5 | 17 | Forest Cover | 2 |
| 8 | Urbanization | 4 | 18 | Heat Island | 1 |
| 9 | Lakes | 4 | 19 | Yellow River | 1 |
| 10 | Land Use Change | 4 | | | |

На основании проведённого анализа можно сделать вывод, что системы, базирующиеся на облачных вычислениях и предоставляющие доступ к глобальным спутниковым базам данных, в частности GEE, находят растущее применение в области обработки ДДЗ и геоинформационном моделировании. Этот вывод подкрепляется квадратичной динамикой роста с коэффициентом детерминации 0,9816 (см. *рис. 1а*), что свидетельствует о высоком качестве аппроксимации и статистической значимости вывода.

Дополнительно необходимо отметить, что в глобальном контексте региональные платформы ДДЗ, такие как «Вега», способны предоставить странам и организациям автономию от потенциальных внешних рисков, таких как эмбарго или международные санкции, связанные с доступом к облачным технологиям, сочетающим встроенный доступ к базам спутниковых данных с инструментами для их обработки. К тому же при работе с региональными системами пользователи могут полагаться на строгое соблюдение местных норм и стандартов в области защиты и обработки данных.

Также исследование показало активное использование ГЕЕ в Китае, что проявляется в росте публикаций статей с китайским участием. Несмотря на то, что ГЕЕ был создан в США, американские учёные проявили меньший интерес к этому инструменту по сравнению с китайскими учёными. Также ГЕЕ набирает популярность и в других странах, что видно по количеству глобальных публикаций на эту тему.

В целом страновое распределение активности в сфере дистанционного зондирования и использования ГЕЕ показывает динамические изменения в геополитическом научном ландшафте. Это может служить важным индикатором стратегического планирования и приоритетов национальной науки в области дистанционного зондирования геоинформационных систем и изучения окружающей среды.

В заключение следует подчеркнуть растущую востребованность специалистов в данной области, что актуализирует необходимость интеграции изучения ГЕЕ и других аналогичных продуктов, таких как «Вега», в учебные программы высшего и профессионального уровня.

Работа выполнена с помощью проекта грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP09260670.

Литература

1. *Балашов И. В., Кашицкий А. В., Барталев С. А. и др.* Информационная система комплексного мониторинга лесов и охотничьих угодий России ВЕГА-Лес // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 73–88. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88.
2. *Балдина Е. А., Лабутина И. А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: КДУ, Добросвет, 2021. 269 с. DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1163-4-2021-269.
3. *Барталев С. А., Ершов Д. В., Лупян Е. А., Толпин В. А.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
4. *Гаврилова Л. А., Лимонов А. Н.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: Акад. проект, 2020. 296 с.
5. *Денисов П. В., Середа И. И., Трошко К. А. и др.* Возможности и опыт оперативного дистанционного мониторинга состояния озимых культур на территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 171–185. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-171-185.
6. *Елизаров Д. А., Князев Н. А., Лаврова О. Ю., Уваров И. А.* Интеграция в спутниковую информационную систему See the Sea данных акустического доплеровского измерителя течений, полученных в ходе подспутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 244–253. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-244-253.
7. *Константинова А. М., Балашов И. В., Кашицкий А. В. и др.* Унифицированная технология дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 41–52. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52.
8. *Лупян Е. А., Бурцев М. А., Прошин А. А., Кобец Д. А.* Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 53–66. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66.
9. *Лупян Е. А., Константинова А. М., Балашов И. В. и др.* Разработка системы анализа состояния окружающей среды в зонах расположения крупных промышленных объектов, хвостохранилищ и отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 243–261. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-243-261.

10. *Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др.* Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
11. *Прошин А. А., Лупян Е. А., Балашов И. В. и др.* Технология динамического блочного представления спутниковых данных системам распределённой обработки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 79–93. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-79–93.
12. *Сутырина Е. Н.* Дистанционное зондирование Земли. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 165 с.
13. *Чандра А. М., Гош С. К.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы: пер. с англ. А. В. Кирюшина. М.: Техносфера, 2008. 312 с.
14. *Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* (2023а) Последствия повреждения плотины Каховской ГЭС на реке Днепр // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 314–322. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322.
15. *Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* (2023б) Анализ влияния видового состава, проективного покрытия и фитомассы растительности аридных пастбищных ландшафтов на их спектрально-отражательные свойства по данным наземных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 176–192. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.
16. *Biau G., Scornet E.* A random forest guided tour // Test. 2016. V. 25. P. 197–227. DOI: 10.1007/s11749-016-0481-7.
17. *Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. V. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
18. *Khvatish N. V., Sokolova T. A., Moskvitin G. I., Taraskin M. M.* Use of geoinformation systems based on intellectual technologies in favour of a company // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. IOP Publ., 2020. V. 579. No. 1. Article 012150. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012150.
19. *Mutanga O., Kumar L.* Google earth engine applications // Remote Sensing. 2019. V. 11. No. 5. Article 591. DOI: 10.3390/rs11050591.
20. *Perilla G. A., Mas J. F.* Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube // Investigaciones Geográficas. 2020. No. 101. DOI: 10.14350/rig.59929.
21. *Pradhan S., Bajracharya B., Shakya K., Shakya B.* Geospatial information technology for information management and dissemination // Earth Observation Science and Applications for Risk Reduction and Enhanced Resilience in Hindu Kush Himalaya Region: A Decade of Experience from SERVIR. 2021. P. 251–267.
22. *Reis R. S., Datia N., Pós-de-Mina Pato M.* A primer on understanding Google Earth Engine APIs // i-ETC: ISEL IAJETC. 2020. V. 6. No. 1. P. 1–11. DOI: 10400.21/12353.
23. *Tamiminia H., Salehi B., Mahdianpari M. et al.* Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2020. V. 164. P. 152–170. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001.
24. *Uzhinskiy A.* Google Earth Engine and machine learning for Earth monitoring // The 6th Intern. Workshop on Deep Learning in Computational Physics. 2022. Article 21. DOI: 10.22323/1.429.0021.
25. *Wu W., Liu Y., Hu M.* Editorial on Special Issue “Geo-Information Technology and Its Applications” // ISPRS Intern. J. Geo-Information. 2022. V. 11. No. 6. Article 347. DOI: 10.3390/ijgi11060347.

Using natural language processing techniques to analyze the use of Google Earth Engine in 2015–2023 remote sensing research publications

A. B. Jaxylykova¹, A. M. Mirash², A. A. Pak¹, A. A. Ziyaden¹

¹ *Institute of Information and Computational Technologies, Almaty 050000, Kazakhstan*
E-mail: aa.pak83@gmail.com

² *BL-group, Almaty 050000, Kazakhstan*
E-mail: aitugan.mirash@gmail.com

Remote sensing is of key importance for the sustainable development of human activities. Previously, the field of satellite data processing was dominated by specialized professional packages with high costs. With the expansion of information technology capabilities, the landscape of this field has undergone a significant transformation due to the emergence and development of cloud-based technologies that combine built-in access to satellite databases with tools for their processing. The best known in this area is the Google Earth Engine (GEE) product, which first appeared in 2010. Currently, this product from Google has become a serious competitor to expensive professional satellite data processing packages, which often have a less intuitive interface, due to limited audience and financial barriers. GEE provides users with free (with certain limits on the amount of data transferred) access to most satellite databases, as well as cloud-based tools for processing them. In addition, it should be noted that GEE has opened new horizons for detailed monitoring of the environment and climate change. Its ability to process large volumes of global remote sensing data and automate the analysis of satellite imagery has opened revolutionary opportunities for users to work towards analyzing the spectral properties of the Earth's underlying surface. The frequency of GEE use and its temporal dynamics can serve as an indicator of the potential development of remote sensing processing in different countries and in different scientific directions. The aim of this paper is to analyze the trends of GEE frequency in scientific and technical publications in the period 2015–2023 based on natural language processing techniques. The findings show a power growth in the frequency of GEE mentions in the abstracts of scientific articles between 2015 and 2022. Moreover, the dominant use of GEE is recorded in papers by authors affiliated with the PRC Academy of Sciences. Authors from US universities lose out by more than a factor of two. This situation diagnoses the outstripping growth of PRC scientific research and displacement of US scientific institutions from the leading positions in the world in the field of remote sensing.

Keywords: remote sensing, satellite databases, cloud processing technologies, Google Earth Engine, content analysis, longitudinal analysis

Accepted: 10.10.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-319-326

References

1. Balashov I. V., Kashnitsky A. V., Bartalev S. A. et al., VEGA-Les: information system for complex monitoring of forests and hunting grounds in Russia, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 73–88 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88.
2. Baldina E. A., Labutina I. A., *Deshifrirovaniye aerokosmicheskikh snimkov: uchebnik* (Decoding of Aerospace Images), Moscow: KDU, Dobrosvet, 2021, 269 p. (in Russian), DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1163-4-2021-269.
3. Bartalev S. A., Ershov D. V., Loupian E. A., Tolpin V. A., Possibilities of Satellite Service VEGA Using for Different Tasks of Land Ecosystems Monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 49–56 (in Russian).
4. Gavrilova L. A., Limonov A. N., *Photogrammetry and remote sensing*, Moscow: Academic Project, 2020, 296 p. (in Russian).
5. Denisov P. V., Sereda I. I., Troshko K. A. et al., Opportunities and experience of operational remote monitoring of winter crops condition in Russia, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 2, pp. 171–185 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-171-185.
6. Elizarov D. A., Knyazev N. A., Lavrova O. Yu., Uvarov I. A., Integration into the See the Sea information system of acoustic Doppler current profiler data obtained concurrently with satellite data, *Sovremennye*

- problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 244–253 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-244-253.
7. Konstantinova A. M., Balashov I. V., Kashnitsky A. V. et al., The possibilities of organizing long-term remote monitoring of large sources of anthropogenic pollution to assess their impact on the environment, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 41–52 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52.
 8. Loupian E. A., Burtsev M. A., Proshin A. A., Kobets D. A., Evolution of remote monitoring information systems development concepts, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 3, pp. 53–66 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66.
 9. Loupian E. A., Konstantinova A. M., Balashov I. V. et al., Development of a system for analyzing the state of environment in areas of large industrial facilities, tailings and dumps, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 243–261 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-243-261.
 10. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A. et al., Vega-Science system: design features, main capabilities and usage experience, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 6, pp. 9–31 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
 11. Proshin A. A., Loupian E. A., Balashov I. V. et al., Technology of satellite data dynamic block provision to distributed processing systems, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 79–93 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-79-93.
 12. Sutyryna E. N., *Distantsionnoe zondirovanie Zemli* (Remote sensing of the Earth), Irkutsk: Izd. IGU, 2013, 165 p. (in Russian).
 13. Chandra A. M., Gosh S. K., Remote sensing and geographical information systems, *Alpha Science*, 2006, 298 p.
 14. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023a), The consequences of damage to the Kakhovka Reservoir dam on the Dnieper River, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 314–322 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-314-322.
 15. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2023b), Analysis of the influence of species composition, projective cover and phytomass of arid landscape pasture vegetation on spectral reflectance properties based on ground measurements, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 3, pp. 176–192 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192.
 16. Biau G., Scornet E., A random forest guided tour, *Test*, 2016, Vol. 25, pp. 197–227, DOI: 10.1007/s11749-016-0481-7.
 17. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al., Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 2017, Vol. 202, pp. 18–27, DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
 18. Khvatish N. V., Sokolova T. A., Moskvitin G. I., Taraskin M. M., Use of geoinformation systems based on intellectual technologies in favor of a company, *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*, IOP Publ., 2020, Vol. 579, No. 1, Article 012150, DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012150.
 19. Mutanga O., Kumar L., Google earth engine applications, *Remote Sensing*, 2019, Vol. 11, No. 5, Article 591, DOI: 10.3390/rs11050591.
 20. Perilla G. A., Mas J. F., Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube, *Investigaciones Geográficas*, 2020, No. 101, DOI: 10.14350/ri.59929.
 21. Pradhan S., Bajracharya B., Shakya K., Shakya B., Geospatial information technology for information management and dissemination, *Earth Observation Science and Applications for Risk Reduction and Enhanced Resilience in Hindu Kush Himalaya Region: A Decade of Experience from SERVIR*, 2021, pp. 251–267, DOI: 10.1007/978-3-030-73569-2.
 22. Reis R. S., Datia N., Pó-de-Mina Pato M., A primer on understanding Google Earth Engine APIs, *i-ETC: ISEL IAJETC*, 2020, Vol. 6, No. 1, pp. 1–11, DOI: 10.4000.21/12353.
 23. Tamiminia H., Salehi B. Mahdianpari M. et al., Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review, *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020, Vol. 164, pp. 52–170, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001.
 24. Uzhinskiy A., Google Earth Engine and machine learning for Earth monitoring, *The 6th Intern. Workshop on Deep Learning in Computational Physics*, 2022, Article 21, DOI: 10.22323/1.429.0021.
 25. Wu W., Liu Y., Hu M., Editorial on Special Issue “Geo-Information Technology and Its Applications”, *ISPRS Intern. J. Geo-Information*, 2022, Vol. 11, No. 6, Article 347, DOI: 10.3390/ijgi11060347.