

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GOOGLE EARTH ENGINE
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ
НА ПРИМЕРЕ АГРОЛАНДШАФТОВ МОСТОВСКОГО РАЙОНА
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

А.А. ПРОХОРОВ, Б.А. БОРИСОВ, О.Е. ЕФИМОВ, Г.А. КАЩЕНКО, В.Н. ПЕТРОВ

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

На примере разработки проекта адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) для предприятия, локализованного в Мостовском районе Краснодарского края, описаны возможности использования веб-платформы Google earth engine как инструмента работы с пространственными данными. Представлен перечень возможностей сервиса, которые предлагается использовать для оптимизации процесса агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения. Описаны основные наборы данных каталога GEE, использование которых позволяет получать предварительную информацию о пространственной неоднородности участков и об их агроклиматическом потенциале. Рассмотрен способ построения среднемноголетних картограмм продуктивности по спутниковым снимкам Sentinel-2 MSI-2A с использованием вегетационных индексов NDVI и MCARI при их агрегировании. При полевой верификации картограмм среднемноголетней продуктивности было установлено, что в большинстве случаев зоны устойчивой низкой вегетации растений за период 2015–2023 гг. соответствовали контурам переувлажненных луговато-черноземных почв, которые в условиях предгорий Кавказа и избыточного количества осадков (в среднем 876 мм в год в соответствии с данными ERA-5 land) являлись худшими землями на территории предприятия, что выражалось в снижении продуктивности культур на них. Достигнутые результаты получены благодаря использованию сервиса GEE для анализа агроэкологических условий. В рамках разработки проектов АЛСЗ использование платформы позволяет решать ряд аналитических задач и обеспечивает высокую скорость и качество получения данных.

Ключевые слова: анализ данных, проектирование систем земледелия, оценка земель, агроклиматический потенциал, почвенно-ландшафтное обследование.

Введение

На сегодняшний день в связи с повышением уровня интенсификации сельскохозяйственного производства существенно возрос спрос на агрегируемые базы данных, позволяющие оценить продуктивность земель [4, 8]. Для решения комплекса задач агроэкологической оценки земель одним из наиболее подходящих инструментов на сегодняшний день является веб-платформа Google earth engine (GEE).

Хранение в GEE данных, подготовленных к дальнейшему анализу, основано на формировании каталогов [9]. Последняя опция реализуется посредством облачных и параллельных вычислений, что позволяет повысить производительность системы ввиду ее оптимизации под различные типы данных. [9, 16]. Цифровая среда GEE также включает в себя инструменты Google Fusion Tables, предназначенные

для анализа геометрических данных с атрибутами, системы управления кластерами и распределения информационных баз. Взаимодействие пользователя со средой реализовано посредством запросов через редактор кода Earth Engine (Code Editor).

В почвоведении представленный инструментарий веб-платформы в комбинации с геоинформационными системами (QGIS, ArcGIS, SAGA GIS) и функциями пространственного анализа в программах и программных средах (RStudio) применяется в целях создания цифровых карт, картограмм среднесуточной обеспеченности температурами и осадками, линий временных рядов, отображающих структуру почвенного покрова и морфометрические особенности ландшафта. [10–12]. В рамках концепции адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) [3] агроэкологическая оценка земель и агроэкологическая карта являются основой для их разработки.

Цель исследований: обзор возможностей сервиса Google earth engine и пример его использования в рамках разработки проекта АЛСЗ на территории Мостовского района Краснодарского края.

Материал и методы исследований

В работе приведены данные для участка, локализованного в Мостовском районе Краснодарского края (40°40'3.3471»; 44°23'51.3505») (рис. 1).

Исследования по разработке проекта АЛСЗ были проведены осенью 2023 г. в рамках коммерческого договора с предприятием. Работа с облачной платформой GEE включала в себя оценку агроклиматических условий с учетом тепло- и влагообеспеченности, морфометрический анализ цифровой модели местности (ЦММ) SRTM-global с разрешением 30 м, которая с использованием алгоритмов фильтрации прошла процедуру сглаживания и была трансформирована в цифровую модель рельефа с использованием модуля SAGA GIS и метода, предложенного в работе [14] (рис. 2). Основные морфометрические параметры – такие, как экспозиция, крутизна и форма склонов, в дальнейшем использовались для оценки перераспределения тепла и влаги. На основании спутниковых снимков Sentinel-2 MSI-2A построены растровые картограммы среднесуточной продуктивности по индексам вегетации [5–7].

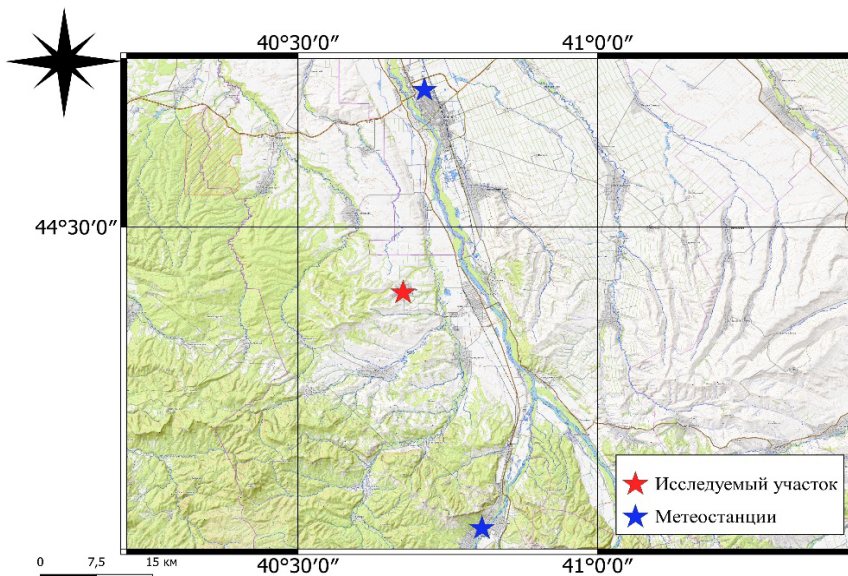


Рис. 1. Пространственная локализация анализируемого участка

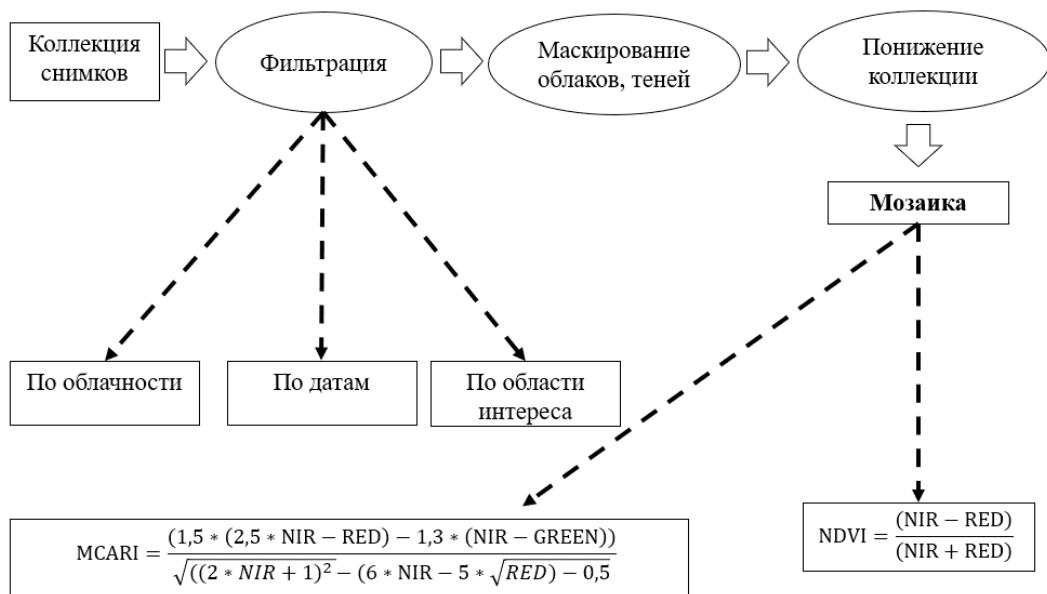


Рис. 2. Алгоритм анализа спутниковых снимков

Результаты и их обсуждение

Агроклиматические условия. Базовые параметры, используемые для оценки климатического потенциала земель в соответствии с методикой агроэкологической оценки [3], включают в себя количество осадков, минимальную среднюю и максимальную среднесуточную температуру. Открытый набор данных предоставляет Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации в виде массивов по основным агрометеорологическим параметрам. [1]. Перечень станций России для версии архива составлен на основании Списка станций Росгидромета, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом, утвержденного руководителем Росгидромета 25 марта 2004 г. Однако для исследуемого участка в Мостовском районе, где ближайшими метеостанциями являются пункты наблюдения в городах Лабинск (30 км севернее) и Псебай (35 км южнее), наблюдения не агрегируются, так как эти пункты наблюдения не входят в список станций глобальной сети. К тому же использование таких данных напрямую, без предварительной калибровки с учетом удаленности целевого участка от метеостанций, также невозможно.

Задачу получения климатических данных позволяет решить использование наборов, представленных на платформе GEE. GEE агрегирует различные климатические наборы данных, откалиброванных в соответствии с «Глобальной сетью наблюдений».

Для исследуемого участка установлено, что с точки зрения теплообеспеченности условия благоприятны для возделывания большинства районированных сельскохозяйственных культур. При подсчете данных за период 2000–2023 гг. средняя сумма активных температур [$>10^{\circ}\text{C}$], рассчитанная по датам устойчивого перехода через 10°C , составляет 3278°C . Сумма температур $>5^{\circ}\text{C}$ и $>15^{\circ}\text{C}$ составила 4166°C и 3043°C соответственно.

Морфометрическая характеристика. При разработке систем земледелия невозможно пренебрегать особенностями морфометрического строения территории.

Многие агроэкологические ограничения, связанные с избытком или недостатком влаги, связаны в первую очередь с особенностями рельефа [3]. Для проведения дистанционного анализа по основным морфометрическим параметрам, включающим в себя принадлежность участков к водосборам, параметры крутизны и экспозиции, анализ протяженности склонов и вероятности проявления водной эрозии, в ГИС существует ряд наборов данных, среди которых один из наиболее важных – «NASA SRTM Digital Elevation 30m» [8], предоставляющий цифровую информацию о неровностях земной поверхности или цифровую модель местности (ЦММ). Набор «MERIT Hydro: Global Hydrography Datasets» [15] предоставляет информацию о распространенности и принадлежности участков к объектам гидрографической сети. Набор данных «Global SRTM Landforms» [13] содержит классы рельефа, созданные путем объединения наборов данных непрерывного индекса тепловой нагрузки.

На основании данных SRTM с разрешением 30 м, проведения фильтрации с использованием алгоритма [14] и последующего заполнения пустых ячеек с использованием интерполяции была построена ЦМР, по которой в дальнейшем проводился первичный морфометрический анализ территории. На основании ЦМР в дальнейшем возможны построение картограмм крутизны и экспозиции склонов, анализ вероятности проявления процессов водной эрозии с использованием различных индексных методов по типу LS-фактора [2].

На рисунке 3 представлена картограмма крутизны склонов, построенная на основании ЦМР. Стоит отметить, что анализируемые участки характеризовались широкой вариабельностью форм рельефа, чередованием протяженных субгоризонтальных поверхностей с выраженной волнистостью, переходящих в протяженные склоны крутизной от 2° до 7° различных форм. В целом это свойственно для геоморфологического строения ландшафтов предгорных территорий Кавказа [3].

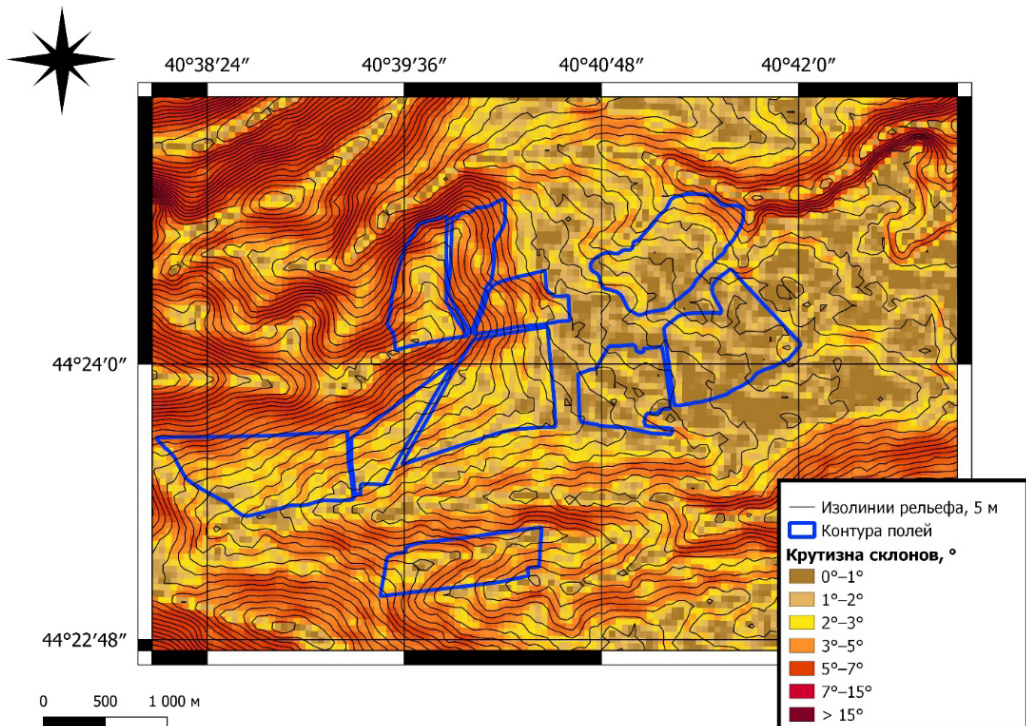


Рис. 3. Картограмма крутизны склонов, построенная по ЦМР

Анализ спутниковых снимков. GEE позволяет осуществлять операции между изображениями с использованием растровой алгебры и поддерживает функции более высокого порядка: **map()** и **iterate()**, – которые позволяют применять произвольные функции к коллекциям изображений. Для вычисления статистики по коллекциям изображений применяется оператор свертки **reduce()**, который может агрегировать данные. Клиентские библиотеки представляют собой прокси-объекты для изображений **ee.Image**, коллекций **ee.ImageCollection** и других типов данных – таких, как числа. Скорость работы со спутниковыми данными обусловлена возможностью анализа коллекции изображений без предварительного скачивания последних. При работе со снимками основной алгоритм получения изображения в формате **ee.Image** с использованием растровой алгебры сводится к использованию фильтров и функций, исключающих ненужную информацию. С помощью фильтрации по метаданным возможно исключение снимков с избыточной облачностью. Фильтры маскирования целевых участков позволяют работать с изображениями в области интереса [9].

В рамках проекта АЛСЗ на территорию предприятия были построены карты среднесуточной продуктивности полей по вегетационным индексам (ВИ) NDVI и MCARI. При формировании мозаики использовали набор снимков Sentinel-2 за период 2015–2023 гг. В дальнейшем через функцию **merge** производили объединение слоев для формирования итогового растрового слоя, для чего предварительно величины NDVI и MCARI были нормированы, чтобы вариация значений была представлена областью чисел от 0 до 1 ед. На основании данного алгоритма по каждому из полей предприятия были получены растровые картограммы среднесуточной продуктивности (рис. 4).

В соответствии с данными картограмм, при построении которых после фильтрации были использованы 36 спутниковых снимков Sentinel-2, в рамках контура каждого отдельного поля можно выделить участки с разным уровнем продуктивности. При проведении полевого обследования была заложена серия почвенных разрезов. Было установлено, что основной фактор, ограничивающий продуктивность растений на полях b и c (рис. 5), – избыточный гидроморфизм за счет накопления поверхностного стока. На таких выположенных шлейфах склонов распространены преимущественно луговато-черноземные почвы, которые в условиях высоких норм осадков (в среднем 876 мм/год) [9] типизируются как одни из самых худших участков в пределах землепользования предприятия.

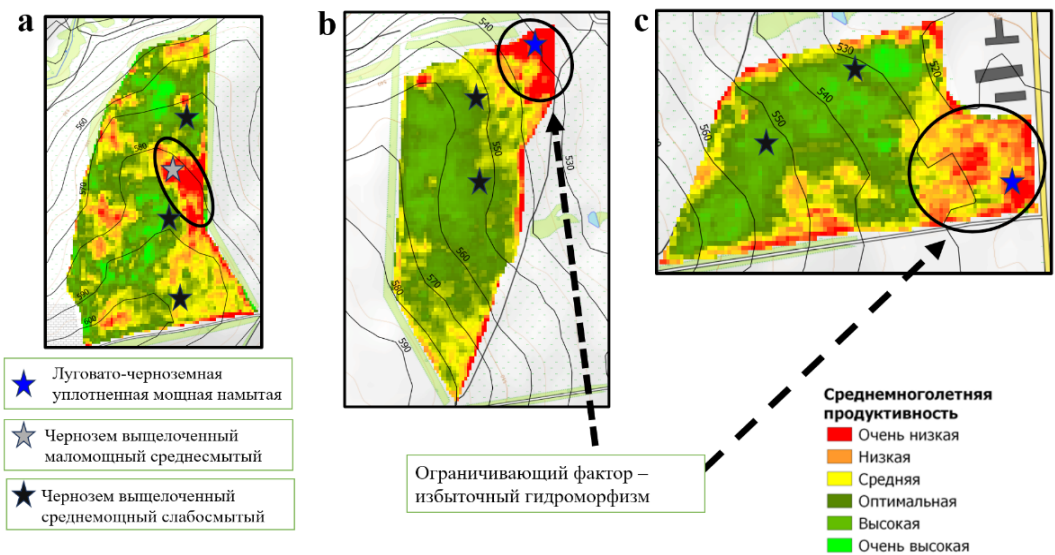


Рис. 4. Картограммы среднесуточной продуктивности по ВИ

Использованный в рамках работы подход построения среднесуточных картограмм интенсивности вегетации является дополнительным источником информации о возможном пространственном распространении контуров почв в пределах одного поля. Данный концепт базируется на понятии агроэкологических факторов, заложенных в основу методологии оценки земель [3], когда растения снижают продуктивность в соответствии с проявлением определенных агроэкологических ограничений. В данном случае практически на всех полях предприятия были выделены участки с низкой среднесуточной продуктивностью, соответствующие контурам лугово-черноземных почв, которые были приурочены к шлейфам склонов либо замкнутым понижениям при волнистом рельефе. В условиях избыточного количества осадков (по среднесуточным данным, до 876 мм/год) и с учетом того, что в севооборотах ежегодно присутствует такая культура, как озимая пшеница, чувствительная к переувлажнению, особенно в ранневесенний период при возобновлении вегетации, с помощью анализа спутниковых данных можно более детально выделять контуры и рассчитывать площадь участков, где продуктивность растений будет ниже.

На основании проведенного почвенного обследования была сформирована агроэкологическая карта (рис. 5), группы и виды земель выделены в соответствии с методикой [3].

Стоит отметить, что предварительный анализ спутниковых снимков помогает более точно планировать маршруты при проведении полевых работ, а также более детально верифицировать пространственную локализацию контуров почв и контуров агроэкологических групп. Анализ морфометрических и агроклиматических показателей в соответствии с агроэкологическими требованиями культур позволяет определять наиболее оптимальные сорта и гибриды по группам спелости, а также планировать севообороты.

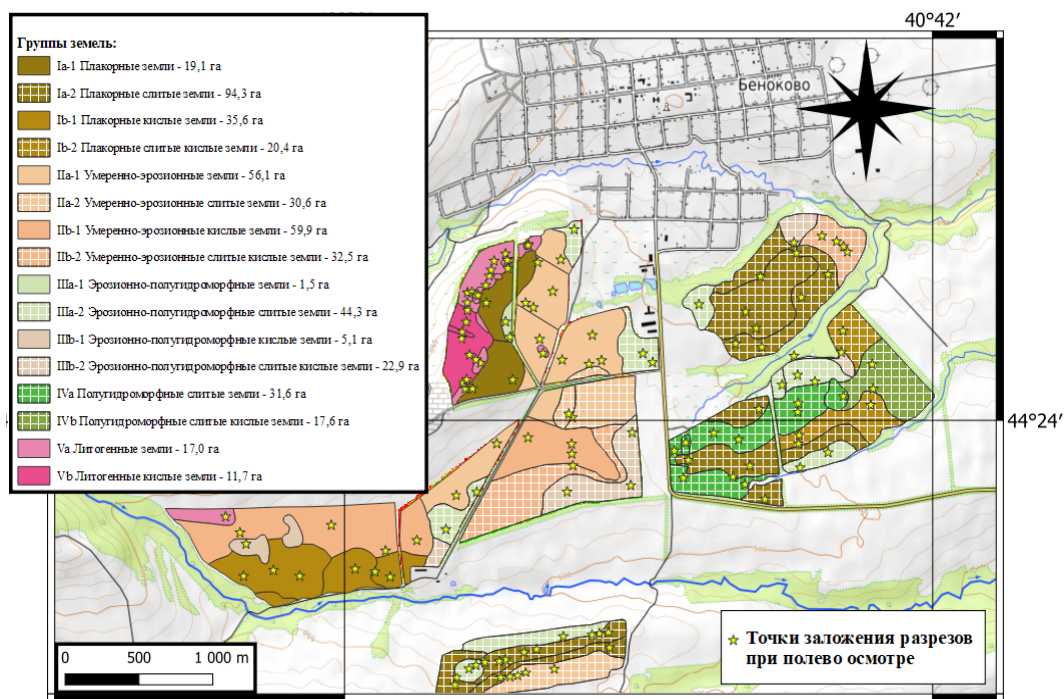


Рис. 5. Агроэкологическая карта на территорию предприятия

Выводы

В рамках проведенных исследований представлен узкий диапазон возможностей сервиса GEE, которые были использованы для оптимизации процесса агроэкологической оценки при разработке проекта АЛСЗ на территории Краснодарского края. Концепция оценки земель, основные положения которой освещены в работе [4], предполагает проведение комплексного анализа агроэкологических условий и использование платформы GEE, позволяя решать ряд прикладных задач, в частности, связанных с анализом агроклиматического потенциала, основных морфометрических параметров агроландшафта, а также дает возможность оценить пространственную неоднородность каждого отдельно взятого поля путем построения алгоритмов анализа спутниковых данных.

К основным плюсам использования платформы для решения задач оценки земель следует отнести:

- высокую скорость получения данных и исполнения алгоритмов в облачном пространстве;
- широкий спектр дата-сетов, представленных в каталогах, с различными диапазонами пространственно-временного разрешения, постоянное пополнение коллекций новыми данными из открытых источников, удобство получения разного типа данных, агрегированных в едином хранилище [Data stores];
- поддержку функционала геостатистической обработки данных, функций растровой алгебры и глубокого машинного обучения;
- упрощение полевого этапа почвенного обследования и верификации структуры почвенного покрова посредством предварительного анализа пространственной неоднородности агроландшафтов с помощью дистанционных методов.

Библиографический список

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР [ТТТТ]: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. – ВНИИГМИ МЦД, 2014. – URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation>.
2. Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П. Оценка потенциала водной эрозии почв Ставропольского края на основе факторной модели RUSLE // Сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 3 (12). – С. 1–12. DOI: 10.25930/0372-3054/001.3.12.2019.
3. Кирюшин В.И., Иванов А.Л. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: Методическое руководство МСХ РФ, РАСХН. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.
4. Кирюшин В.И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 871–879. DOI: 10.31857/S0032180X20070060.
5. Прохоров А.А., Агеев К.Д., Горячев К.С. Использование индексов вегетации в почвенно-ландшафтом картографировании и агроэкологической оценке // АгроЭко-Инфо. – 2024. – № 2. DOI: <https://doi.org/10.51419/202142228>
6. Прохоров А.А., Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Прокофьева К.Д., Кащенко Г.А. Оценка продуктивности плакорной агроэкологической группы земель на примере Краснодарского края // Агрохимический вестник – 2024. – № 4. – С. 39–44. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-4-008.
7. Прохоров А.А., Борисов Б.А., Ефимов О.Е. Индексная оценки степени выпашанности черноземов предкавказской провинции // Агрохимический вестник. – 2023. – № 5. – С. 50–55. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-5-009.
8. Прохоров А.А., Куприянов А.Н., Борисов Б.А., Ефимов О.Е. Агроэкологическая оценка продуктивности яровой пшеницы в агроландшафтах Нижнекамского района Республики Татарстан // Плодородие. – 2024. – № 5. – С. 89–96. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.19.

9. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. The shuttle radar topography mission // *Reviews of geophysics*. – 2007. – Vol. 45, № 2. DOI: 10.1029/2005RG000183.
10. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // *Remote sensing of Environment*. – 2017. – Vol. 202. – Pp. 18–27.
11. Kumar R., Deshmukh B., Kumar A. Using Google Earth Engine and GIS for basin scale soil erosion risk assessment: A case study of Chambal river basin, central India // *Journal of Earth System Science*. – 2022. – Vol. 131, № 4. – Art. 228. DOI: 10.1007/s12040-022-01977-z.
12. Luo C., Zhang X., Wang Y., Men Z., Liu H. Regional soil organic matter mapping models based on the optimal time window, feature selection algorithm and Google Earth Engine // *Soil and Tillage Research*. – 2022. – Vol. 219. – Art. 105325. DOI: 10.1016/j.still.2022.105325.
13. Padarian J., Minasny B., McBratney A.B. Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping // *Computers & Geosciences*. – 2015. – Vol. 83. – Pp. 80–88. DOI: 10.1016/j.cageo.2015.06.023.
14. Theobald D.M., Harrison-Atlas D., Monahan W.B., Albano C.M. Ecologically-relevant maps of landforms and physiographic diversity for climate adaptation planning // *PloS One*. – 2015. – Vol. 10, № 12. – Art. e0143619. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143619>
15. Vosselmann G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data // *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. – Amsterdam, 2022. – Vol. 33, № B3. – Pp. 935–942.
16. Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D., Zhang Y., Gong P. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, № 18. – Art. 3778. DOI: 10.3390/rs13183778.

USING GOOGLE EARTH ENGINE FOR THE PURPOSES
OF AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF LANDS ON THE EXAMPLE
OF AGROLANDSCAPES OF MOSTOVSKIY DISTRICT OF KRASNODAR KRAI

A.A. PROKHOROV, B.A. BORISOV, O.E. EFIMOV, G.A. KASHCHENKO, V.N. PETROV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The possibilities of using the Google Earth Engine web platform as a tool for working with spatial data are described using the development of the Adaptive Landscape Farming Systems (ALFS) project for enterprises in the Mostovskiy district of Krasnodar Krai as an example. The list of service features for optimizing the process of agroecological assessment of agricultural land is presented. The main datasets of the GEE catalog are described, the use of which allows to obtain preliminary information on the spatial heterogeneity of lands and their agroclimatic potential. The method of generating average annual productivity cartograms from Sentinel-2 MSI-2A satellite images using NDVI and MCARI vegetation indices with their aggregation is considered. During the field verification of the average annual productivity cartograms it was found that in most cases the zones of stable low vegetation of plants for the period 2015–2023 corresponded to the contours of over-watered meadow-chernozem soils. In the conditions of the Caucasian foothills and excessive precipitation (average 876 mm per year according to ERA-5 land data) they were the worst lands on the territory of the enterprise, which was expressed in the reduction of crop productivity. The results obtained were obtained by using the GEE service for the analysis of agro-ecological conditions. Within the framework of the ALSW project development, the use of the platform helps to solve a number of analytical tasks and ensures high speed and quality of data acquisition.

Keywords: data analysis, farming system design, land assessment, agroclimatic potential, soil-landscape survey

References

1. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. Description of the data set of daily air temperature and precipitation at meteorological stations of Russia and the former USSR [TTTR]: Certificate of state registration of the database No. 2023624731. VNIIGMI MTsD, 2014. (In Russ.) URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation>
2. Ermolaev N.R., Yudin S.A., Belobrov V.P. Assessment of the potential of water erosion of soils in the Stavropol Territory based on the RUSLE factor model. *Agricultural Journal*. 2019;3(12):1–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.25930/0372-3054/001.3.12.2019>
3. Kiryushin V.I., Ivanov A.L. *Agroecological assessment of lands, design of adaptive landscape systems of agriculture and agrotechnologies: a manual of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, RAS*. Moscow, Russia: Rosinformagrotekh, 2005:784. (In Russ.)
4. Kiryushin V.I. Methodology of integrated assessment of agricultural land. *Pochvovedenie*. 2020;7:871–879. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0032180X20070060>
5. Prokhorov A.A., Ageev K.D., Goryachev K.S. Use of vegetation indices in soil-landscape mapping and agroecological assessment. *AgroEcoInfo*. 2024;2. (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/202142228>
6. Prokhorov A.A., Borisov B.A., Efimov O.E., Prokof'eva K.D., Kashchenko G.A. Assessment of productivity of upland agroecological group of land using on example of the Krasnodar Region. *Agrochemical Herald*. 2024;4:39–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-4-008>
7. Prokhorov A.A., Borisov B.A., Efimov O.E. Index evaluation of chernozem degradation degree in the North Caucasian province. *Agrochemical Herald*. 2023;5:50–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-5-009>
8. Prokhorov A.A., Kupriyanov A.N., Borisov B.A., Efimov O.E. Agroecological assessment of spring wheat productivity in agricultural landscapes of Nizhnekamsk region of the Republic of Tatarstan. *Plodorodie*. 2024;5:89–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.140.19>
9. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R. et al. The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*. 2007;45(2). <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
10. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017;202:18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
11. Kumar R., Deshmukh B., Kumar A. Using Google Earth Engine and GIS for basin scale soil erosion risk assessment: A case study of Chambal river basin, central India. *Journal of Earth System Science*. 2022;131(4):228. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01977-z>
12. Luo C., Zhang X., Wang Y., Men Z., Liu H. Regional soil organic matter mapping models based on the optimal time window, feature selection algorithm and Google Earth Engine. *Soil and Tillage Research*. 2022;219:105325. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105325>
13. Padarian J., Minasny B., McBratney A.B. Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping. *Computers & geosciences*. 2015;83:80–88. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.06.023>
14. Theobald D.M., Harrison-Atlas D., Monahan W.B., Albano C.M. Ecologically-relevant maps of landforms and physiographic diversity for climate adaptation planning. *PloS One*. 2015;10(12):e0143619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143619>
15. Vosselmann G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam, 2022;33(B3):935–942.
16. Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D. et al. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 2021;13(18):3778. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>

Сведения об авторах

Прохоров Артем Анатольевич, аспирант 3 года обучения, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: artem.prokhorov.2016@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2988-5055>

Борисов Борис Анорьевич, д-р биол. наук, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: borisov@rgau-msha.ru <https://orcid.org/0000-0002-5396-1695>

Ефимов Олег Евгеньевич, канд. с.-х. наук, доцент, и.о. заведующего кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: efimovoe@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8134-0159>

Кашченко Григорий Алексеевич, студент 3 курса кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; лаборант-исследователь, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»; 119017, г. Москва, пер. Пыжевский, 7, стр. 2; e-mail: grigory.kashchenko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-5906-0198>

Петров Вадим Николаевич, руководитель отдела агроэкологической оценки земель сельскохозяйственного назначения компании ООО «ЛиквиФорс»; г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Донской, пр-кт Ленинский, 29; e-mail: v.petrov@liquiforce.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2987-5055>

Information about the authors

Artem A. Prokhorov, postgraduate student, Assistant at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: artem.prokhorov.2016@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2988-5055>

Boris A. Borisov, DSc (Bio), Professor at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: borisov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5396-1695>

Oleg E. Efimov, CSc (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: efimovoe@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8134-0159>

Grigoriy A. Kashchenko, 3rd year student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); Laboratory Research Assistant, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (7/2 Pyzhevskiy Ln., Moscow, 119071, Russian Federation); e-mail: grigory.kashchenko@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-5906-0198>

Vadim N. Petrov, Head of Agro-Ecological Assessment of Agricultural Land, ООО LiquiForce (29 Leninskiy Ave., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: v.petrov@liquiforce.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2987-5055>