

Геоинформатика. 2022. № 2. С. 12–17.
Geoinformatika. 2022;(2):12–17.

Применение ГИС-технологий

Научная статья
 УДК 631.95: 504.064.37
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-12-17>

Использование геоинформационных технологий в прикладных задачах мониторинга сельскохозяйственных земель

© 2022 г. — Владислав Сергеевич Афанасьев

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова; Россия, Москва
 vlad_afanasev95@list.ru

Аннотация: В статье рассматриваются программные технологии для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), применяемые в прикладных задачах мониторинга сельскохозяйственных земель. Приводятся примеры результатов дешифрирования аэрофотоснимков, сделанных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Представлены возможности применения снимков Landsat-8, включая современные методы цифрового улучшения их качества. Выполнен анализ спутниковых снимков из открытых источников, позволяющий определить по косвенным и прямым признакам проблемные участки.

Ключевые слова: БПЛА, обработка и анализ данных дистанционного зондирования, дешифрирование аэрофотоснимков, программное обеспечение, вегетационные индексы, водные индексы

Для цитирования: Афанасьев В.С. Использование геоинформационных технологий в прикладных задачах мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоинформатика. — 2022. — № 2. — С. 12–17. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-12-17>.

Application of GIS-technologies

Original article

The use of geoinformation technologies in applied tasks of agricultural lands monitoring

© 2022 — Vladislav S. Afanasyev

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A. N. Kostyakov; Russia, Moscow
 vlad_afanasev95@list.ru

Abstract: The article discusses software technologies for processing Earth remote sensing (ERS) data used in applied tasks of agricultural lands monitoring. Some results of interpretation of aerial photographs taken by an unmanned aerial vehicle (UAV) are given. The potential for use of Landsat-8 images is presented, including modern methods for digital improvement of their quality. An analysis of satellite images from open sources was carried out, which makes it possible to identify problem areas by indirect and direct signs.

Key words: UAV, processing and analysis of remote sensing data, decryption of aerial photographs, software, vegetation indices, water indices

For citation: Afanasyev V.S. The use of geoinformation technologies in applied tasks of agricultural lands monitoring. *Geoinformatika*. 2022;(2):12–17. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-12-17>. In Russ.

В XXI веке в Российской Федерации отношение к сельскохозяйственной деятельности претерпело серьезные изменения: проблема рационального использования земель стала выходить на первый план с переходом хозяйств в частные руки. Актуальным становится координатное (точное) земледелие, которое подразумевает под собой повышение эффективности применения ресурсов благодаря современным технологиям [2, 4, 9, 11, 12].

Техническое состояние системы и данные о посевах формируются при визуальном обследовании по экспертным оценкам. Визуальные наблюдения в большинстве хозяйств проводятся по границам участков без площадной съемки и глубокого анализа состояния мелиоративной системы. На мели-

орируемых землях качество сельскохозяйственной продукции зависит от множества факторов: качества проведения поливных работ (переполив, недополив), степени засоления почв, работы дренажной системы и других отклонений от нормального положения мелиоративных систем [3, 4, 6, 8].

Космическая съемка активно используется в различных сферах нашей жизни. С помощью нее можно получить информацию о поверхности Земли. Но стоит отметить существенные недостатки данного метода получения информации по сравнению со съемкой с воздуха. Съемка со спутника ведется под углом, что сказывается на качестве аэрофотоснимка, в отличие от БПЛА, который может делать снимки в надир по заданной траектории.

Также преимуществом дронов перед спутниками является мобильность, так как интервал обновления снимков у космических аппаратов составляет несколько дней.

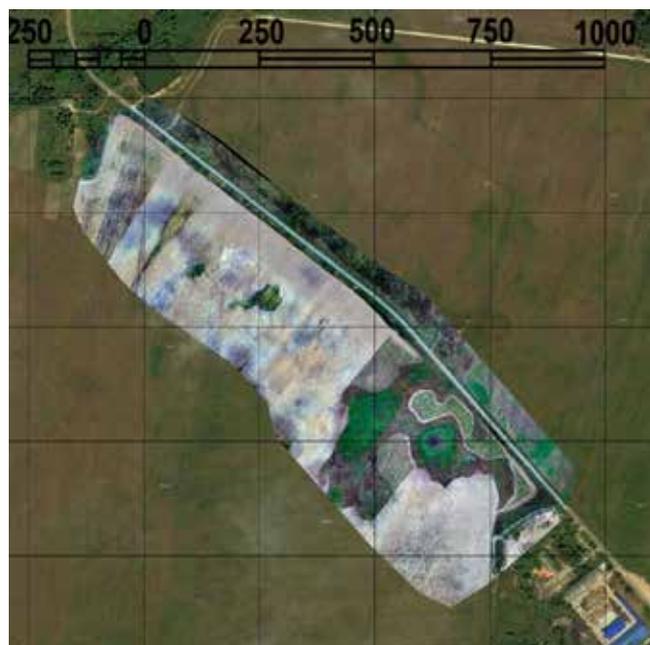
Целью исследований являлась оценка перспектив и потенциала метода мониторинга полей сельскохозяйственного назначения с использованием аэрофотоснимков, полученных с применением БПЛА.

В представленной работе на примере части территории городского округа Егорьевска была выполнена контролируемая классификация (Supervised Classification, с обучением) с использованием обучающих выборок. Съемка местности была осуществлена с помощью БПЛА DJI Phantom 3 Professional на высоте 100 м в сентябре 2021 года (рис. 1).

Данный снимок местности был обработан в программном сервисе Pix4Dmapper. Pix4Dmapper – программа линейки программных утилит Pix4D Solutions, который используется для обработки изображений, полученных с беспилотников, или результатов наземной съемки. Программа способна составлять высокоточные карты и 3D модели с географической привязкой [7]. Процесс получения высокоточных данных требует существенного перекрытия изображений, примерно 75% фронтального перекрытия (по отношению к направлению полета) и не менее 60% бокового перекрытия. При планировании летно-съемочных работ необходимо учитывать рельеф местности, показатель определяющий высоту, перекрытие. Современные беспилотники снабжены качественным программным обеспечением, например, Pix4DCapture, благодаря которому можно задать требуемые параметры летно-съемоч-

Рис. 1. Ортомозаика сельскохозяйственных угодий в городском округе Егорьевска

Fig. 1. Orthomosaics of agricultural lands in the city district of Yegoryevsk



ных работ, что положительно повлияет на проведение автоматизированной фотограмметрической обработки данных аэросъемочных работ, с содействием обработки результатов съемки БПЛА.

Программные средства по обработке данных ДЗЗ имеют определенные особенности, которые отличают их от других систем обработки изображений. Главное отличие заключается в специфике самих данных ДЗЗ.

В рамках проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в работе были также использованы спутниковые снимки Landsat 8. Снимки, разбитые на спектральные каналы, можно скачать прямо с сайта Геологической службы США USGS.GOV.

Несмотря на то, что основные каналы (RED, GREEN, BLUE) у Landsat имеют разрешение 30 м, существуют алгоритмы, позволяющие увеличить качество синтезированного изображения в этих цветах до уровня панхроматического (канал с самым высоким разрешением). Этот метод повышает резкость цветного (мультиспектрального) изображения с использованием черно-белого (панхроматического) изображения с более высоким разреше-

Рис. 2. Панхроматический канал Landsat-8

Fig. 2. Landsat-8 panchromatic channel



Рис. 3. Снимок Landsat 8, обработанный по алгоритму панхроматического слияния

Fig. 3. Landsat 8 image processed using the panchromatic fusion algorithm



нием (метод, часто называемый панхроматическим слиянием или слиянием разрешения) (рис. 2, 3).

По снимкам можно определить переувлажнение почвы и, предположительно, эрозию почв. Для более детального анализа нужно рассматривать не только каналы видимого диапазона, но и ближнего ИК. Одним из самых распространенных методов в мониторинге сельского хозяйства и растительности является расчет индексов.

Вегетационный индекс (ВИ) — это показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными каналами и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Эффективность ВИ определяется особенностями отражения листьями растений. Наиболее распространенный из вегетативных индексов — *NDVI* (рис. 4, 5) — характеризует относительное количество фотосинтетически активной биомассы. Расчет индекса ведется по известной формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где *NIR* — отражение в зоне ближнего ИК; *RED* — отражение в красной области спектра.

Основой данной формулы является то, что высокая фотосинтетическая активность, как правило, связанная с густой растительностью, приводит к уменьшению отражательной способности объекта в красной зоне спектра и к увеличению в зоне ближнего ИК. Благодаря этому появляется возможность на основе воздушных съемок проводить картирование растительного покрова, выявлять площади, покрытые и не покрытые растительностью, оценивать плотность, всхожесть, состояние растений и с помощью регулярного мониторинга наблюдать развитие процессов в динамике [10].

Неоднородность цвета на рассматриваемом участке говорит о том, что состояние растительности разное: есть участки с увядающей зеленой массой, что приводит к ухудшению свойств плодородного грунта, а на участках в удовлетворительном состоянии урожайность не снизится.

На снимке наблюдается уменьшение биомассы растительности, предположительно, по причине повышенной влажности почвы. Необходимо проведение осушительных мероприятий, направленных на снижение уровня влажности почвы, поскольку переувлажнение приводит к недостатку кислорода и излишнему накоплению углекислоты, что снижает сельскохозяйственный потенциал. Большим преимуществом работы с ВИ является то, что они позволяют выявить неблагоприятные процессы на ранних этапах, чего при работе в видимом диапазоне сделать нельзя.

Помимо основного ВИ индекса *NDVI* также применяют индекс *RVI* (относительный индекс растительности), позволяющий определить различные типы растительности с различной биомас-

Рис. 4. Рассчитанный *NDVI* с применением градиента Rainbow

Fig. 4. Calculated *NDVI* using Rainbow gradient

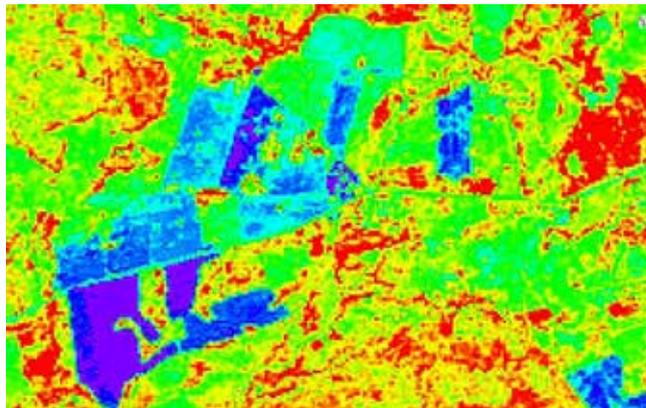


Рис. 5. Рассчитанный вегетационный индекс *NDVI* (18 августа 2021 года)

Fig. 5. Calculated vegetation index *NDVI* (August 18, 2021)

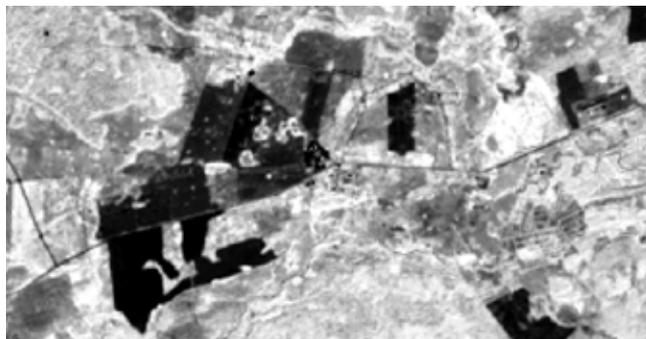
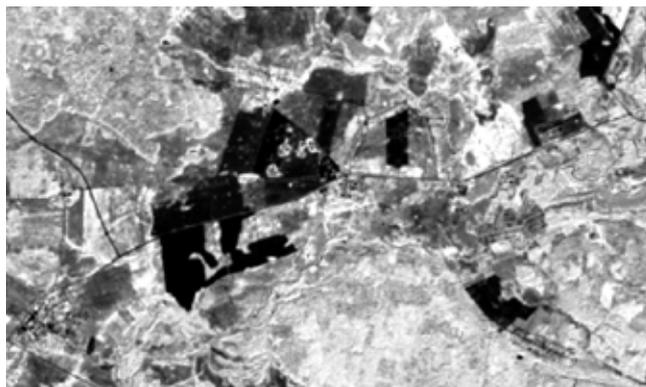


Рис. 6. Вегетационный индекс *RVI*, Landsat-8 (18 августа 2021 года)

Fig. 6. Vegetation index *RVI*, Landsat-8 (August 18, 2021)



сой, рассчитывается по формуле $b5/b4$ для Landsat 8 (рис. 6).

Кроме вегетационных индексов, существуют индексы содержания влаги. Они отражают содержание влаги в фитомассе растений или на поверхности земли. К ним относятся *NDWI*, *NDB4B6*. *NDWI* (рис. 7) — Normalized Difference Water Index (нормализованный разностный водный индекс) отобража-

ет содержание влаги в фитомассе и рассчитывается по формуле:

$$NDWI = \frac{X_{nir} - X_{swir}}{X_{nir} + X_{swir}},$$

где X_{nir} — зона ближнего ИК; X_{swir} — зона коротковолнового ИК.

Чем темнее цвет на данном снимке, тем больше содержание влаги в биомассе растения.

Индекс, отображающий содержание влаги на поверхности земли, называется NDB4B6 (рис. 8) и рассчитывается по формуле — $(B5-B10)/(B5+B10)$ для Landsat-8 [3, 5].

Системы дистанционного зондирования Земли многофункциональны. С их помощью можно решать различные практические задачи, в том числе и осуществлять мониторинг мелиорируемых земель [1]. В работе по дешифрированию снимков применяется процесс классификации, который позволяет проводить обнаружение и распознавание объектов местности. Классификация снимков делится на классификацию, контролируруемую и неконтролируемую. Контролируемая классификация предполагает формирование обучающей выборки, то есть отнесение пикселей снимков к своему классу объектов. Неконтролируемая классификация — это процесс выделения пикселей в автоматическом режиме по схожим спектральным характеристикам.

Для выполнения дешифрирования аэрофотоснимков была использована программа ENVI.

ENVI — программное обеспечение для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающее в себя набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и её интеграции с данными ГИС. В программном комплексе ENVI перед запуском автоматической классификации всегда можно задать количество классов. Особенностью ПО ENVI является адаптированность к работе с разными типами снимков — умение программы различать сенсоры и получать из файлов метаданных достаточную информацию о снимках [1]. На рисунке 9 приведен пример контролируемой классификации.

Табл. 1. Анализ данных дистанционного зондирования

Tab. 1. Analysis of remote sensing data

	Обозначение	Площадь, га
	Густая растительность	14,86
	Травянистая растительность	12,49
	Пахотные земли	17,25
	Переувлажненные территории и дороги	12,3

Рис. 7. Водный индекс NDWI Landsat-8 (18 августа 2021 года)

Fig. 7. NDVI Landsat-8 Water Index (August 18, 2021)



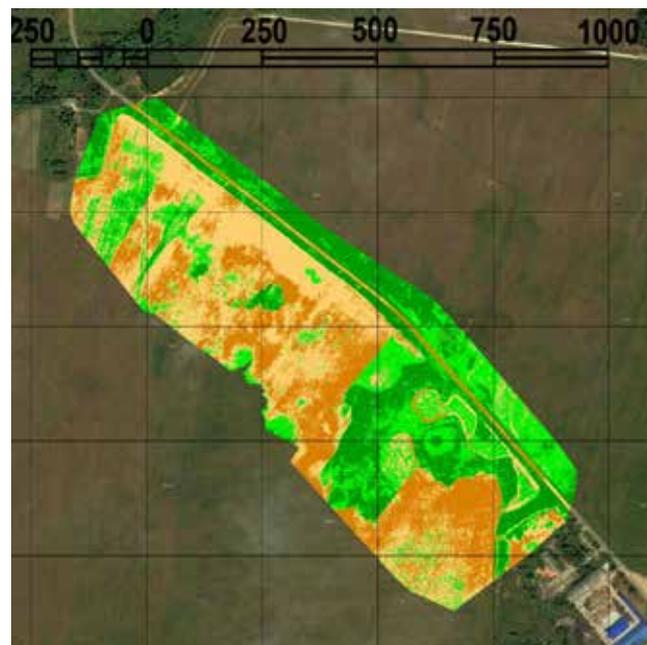
Рис. 8. Рассчитанный индекс влажности NDB4B6 Landsat-8 (18 августа 2021 года)

Fig. 8. Calculated humidity index NDB4B6 Landsat-8 (August 18, 2021)



Рис. 9. Результат контролируемой классификации по 4 классам

Fig. 9. The result of a controlled classification into 4 classes



В результате обработки аэрофотоснимка, были получены различные типы объектов на местности, а также определены их площади (табл. 1).

Заключение

На практике обосновано применение беспилотных летательных средств в точном земледелии, а именно, возможность получать полную информацию о состоянии посевов и оперативно осуществлять контроль этапов роста выращиваемых культур. Поэтапный анализ мультиспектральных снимков позволяет выявить максимальное число неисправностей по прямым и косвенным призна-

кам. Синтезированный снимок высокого разрешения обеспечивает нахождение процессов эрозии почв, а также дает возможность проведения анализа рассчитанных индексов.

Синтез цифровых фотограмметрических и геоинформационных технологий способствует повышению эффективности принятия решений в прикладных задачах мониторинга сельскохозяйственных земель, а также позволяет за счет автоматизации процесса дешифрирования существенно снизить трудоемкость обработки данных полевых исследований.

Список источников

1. Афанасьев В.С., Киселев С.А. Сравнительный анализ программных средств для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли // Качество. Инновации. Образование. – 2019. – № 6 (164). – С. 79–84. DOI 10.31145/1999-513x-2019-6-79-84.
2. Бородычев В.В., Головинов Е.Э., Лытов М.Н. Аппаратное обеспечение мониторинга работы дождевальной техники на основе технологий глобального спутникового позиционирования // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2 (62). – С. 48–52.
3. Вольнов М.А., Головинов Е.Э., Жезмер В.Б. Обеспечение пожарной безопасности торфяников путём применения систем двойного регулирования уровня воды в водных объектах и в грунтовых массивах // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России: материалы Международной научно-практической конференции (Костяковские чтения) (Москва, 20–21 марта 2013 г.). – М. : ВНИИА, 2013. – С. 365–368.
4. Головинов Е.Э., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Киселев С.А. Мониторинг гидромелиоративных систем по спутниковым снимкам из открытых источников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 4 (52). – С. 361–369. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-51.
5. Головинов Е.Э., Киселев С.А., Семенова К.С. Мониторинг водопроводящих сооружений мелиоративных систем методом дистанционного зондирования // Основные результаты научных исследований института за 2017 г. Сборник научных трудов. – М. : ВНИИГиМ, 2018. – С. 94–102.
6. Лихацевич А.П., Страхов С.Е. Учет состояния мелиорированных земель при планировании ремонтно-эксплуатационных мероприятий // Мелиорация. – 2009. – № 2 (62). – С. 51–58.
7. Дедкова В.В. Современные программные продукты для обработки материалов аэросъемок с беспилотных авиационных систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 1. – № 4. – С. 25–31. – EDN YUVBTF.
8. Товкач В.А., Шкутов Э.Н. Перспективы и возможности дистанционного зондирования Земли при организации мониторинга состояния мелиоративных систем Полесья // Мелиорация. – 2008. – № 1 (59). – С. 14–25.
9. Якушев В.П., Леконцев П.В., Петрушин А.Ф. Точное земледелие: опыт применения и потенциал развития // Информация и космос. – 2014. – № 3. – С. 50–56.
10. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс] GISLAB [сайт]. – URL: <http://gislab.info/qa/ndvi.html>.
11. Robert P.C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management // Plant and Soil. – 2002. – Vol. 247. – Iss. 1. – P. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021171514148>.
12. Schellberg J., Hill M.J., Gerhards R., Rothmund M., Braun M. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints // European Journal of Agronomy. – 2008. – Vol. 29. – Iss. 2–3. – P. 59–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>.

References

1. Afanasiev V.S., Kiselev S.A. Comparative analysis software for visualization and processing of Earth remote sensing data. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2019;164:79–84. DOI 10.31145/1999-513x-2019-6-79-84.
2. Borodychev V.V., Golovinov E.Eh., Lytov M.N. Apparatus obespechenie monitoringa raboty dozhdeval'noi tekhniki na osnove tekhnologii global'nogo sputnikovogo pozitsionirovaniya [Hardware for the monitoring of sprinkler equipment operation based on global satellite positioning technologies]. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2016;62:48–52.
3. Volynov M.A., Golovinov E.Eh., Zhezmer V.B. Obespechenie pozharnoi bezopasnosti torfyanikov putem primeneniya sistem dvojnogo regulirovaniya urovnya vody v vodnykh ob'ektakh i v gruntovykh massivakh [Ensuring the fire protection of peatlands through the use of dual water level control systems in water bodies and in soil masses]. In: *Melioratsiya i problemy vosstanovleniya sel'skogo khoziaistva Rossii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Kostyakovskie chteniya)* (Moscow, 20–21 March 2013). Moscow: VNIIA; 2013. P. 365–368.
4. Golovinov E.Eh., Borodychev V.V., Lytov M.N., Kiselev S.A. Monitoring irrigation and drainage systems from satellite imagery from public sources. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2018;52:361–369. DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-51.
5. Golovinov E.Eh., Kiselev S.A., Semenova K.S. Monitoring vodoprovodyashchikh sooruzhenii meliorativnykh sistem metodom distantsionnogo zondirovaniya [Monitoring of water supply structures of reclamation systems by remote sensing]. In: *Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy instituta za 2017 g. Sbornik nauchnykh trudov*. Moscow: VNIIGiM; 2018. P. 94–102.
6. Likhatshevich A.P., Strakhov S.E. Taking into account the condition of reclaimed lands while planning repair-and-operational works. *Land Reclamation*. 2009;62:51–58.

7. Dedkova V.V. Modern software products for processing aerial survey materials from unmanned aerial systems. *Interexpo Geo-Siberia*. 2018;1(4):25–31. EDN YUVBTF.
8. Tovkach V.A., Shkutov E.N. Prospects and resources of the remote sensing of the Earth at monitoring foundation of the state of reclamation works in Polessie. *Land Reclamation*. 2008;59:14–25.
9. Yakushev V.P., Lekomtsev P.V., Petrushin A.F. Tochnoe zemledelie: opyt primeneniya i potentsial razvitiya [Precision farming: application experience and development potential]. *Information and space*. 2014;3:50–56.
10. NDVI – theory and practice [Electronic resource] GISLAB [website]. – URL: <http://gislab.info/qa/ndvi.html>.
11. Robert P.C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*. 2002;247(1):143–149. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021171514148>.
12. Schellberg J., Hill M.J., Gerhards R., Rothmund M., Braun M. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*. 2008;29(2–3):59–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>.

Статья поступила в редакцию 05.05.2022, одобрена после рецензирования 12.05.2022, принята к публикации 27.06.2022.
The article was submitted 05.05.2022; approved after reviewing 12.05.2022; accepted for publication 27.06.2022.

Информация об авторе

Афанасьев Владислав Сергеевич

Младший научный сотрудник отдела мелиорации земель
Всероссийского научно-исследовательского института
гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова
127550, Москва, Большая Академическая ул., д. 44, корп. 2
e-mail: vlad_afanasev95@list.ru

Information about author

Vladislav S. Afanasyev

Junior Researcher of Land Reclamation Department of All-Russian
Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration
named after A. N. Kostyakov
44, build. 2, Bolshaya Akademicheskaya str., Moscow,
127550, Russia
e-mail: vlad_afanasev95@list.ru