

Научная статья

УДК 631.58; 528.88

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20

Марина Геннадьевна Ерунова<sup>1✉</sup>, Анна Сергеевна Симакина<sup>2</sup>, Олег Эдуардович Якубайлик<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>1</sup> marina.erunova@gmail.com

<sup>2</sup> anna.simakina.97@mail.ru

<sup>3</sup> oleg@icm.krasn.ru

### СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ОПХ «КУРАГИНСКОЕ»

Цель исследования – создание базы данных для точного земледелия на примере ОПХ «Курагинское» и анализ сезонной вегетации за период 2019–2020 гг. на основе ДДЗ Planet Score. Объектом исследования является территория ОПХ «Курагинское» Курагинского района Красноярского края. В качестве исходной информации взяты наземные данные и данные дистанционного зондирования, в исследовании также использовались почвенно-агрохимические обследования, информация о произрастающих культурах и полученной урожайности за 2019–2020 гг. Данные дистанционного зондирования представлены спутниковыми данными Planet Score с высоким пространственным разрешением 3 м. Вся исходная табличная, графическая и картографическая информация территории ОПХ «Курагинское» была систематизирована, упорядочена, а также преобразована в геопространственную базу данных с использованием программного обеспечения QGIS. База данных ОПХ «Курагинское» содержит цифровые тематические карты полей, почвенного покрова, агрохимические картограммы по подвижному фосфору, калию, гумусу и кислотности почвы. Были получены тематические карты вегетационных индексов NDVI, VARI, CI Green для каждого поля за 2019–2020 гг. Проведен анализ сезонной динамики вегетации полученных индексов, для каждого поля и культур определены отличия спектральных характеристик. Разработана система сбора, хранения и обработки данных по сельскохозяйственным объектам, представленная в виде геопространственной базы данных. Такой подход обеспечивает доступ к сгенерированной базе данных через веб-сервисы, способствует внедрению технологий точного земледелия среди широкого круга пользователей и предоставляет различные возможности в совместной работе специалистов.

**Ключевые слова:** точное земледелие, база данных, тематические карты, вегетационные индексы, Planet Score

**Для цитирования:** Ерунова М.Г., Симакина А.С., Якубайлик О.Э. Создание базы данных для точного земледелия ОПХ «Курагинское» // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 13–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20.

Marina Gennadievna Erunova<sup>1✉</sup>, Anna Sergeevna Simakina<sup>2</sup>, Oleg Eduardovich Yakubailik<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Computational Modeling SB RAS Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup> marina.erunova@gmail.com

<sup>2</sup> anna.simakina.97@mail.ru

<sup>3</sup> oleg@icm.krasn.ru

**DATABASE FOR PRECISION FARMING AT THE KURAGINSKOYE AGRICULTURAL EXPERIMENTAL PRODUCTION FACILITY**

*The purpose of the study is to create a database for precision farming using the example of the Kuraginskoye experimental production facility (EPF) and to analyze the seasonal growing season for the period 2019–2020 based on remote sensing data Planet Scope. The object of the study is the territory of the Kuraginskoye experimental production facility of the Kuraginsky District of the Krasnoyarsk Region. Ground data and remote sensing data were taken as the initial information; the study also used soil-agrochemical surveys, information on growing crops and the obtained yield for 2019–2020. Remote sensing data are represented by Planet Scope satellite data with a high spatial resolution of 3 m. All original tabular, graphical and cartographic information of the Kuraginskoye production facility was systematized, organized, and also converted into a geospatial database using QGIS software. The database of Kuraginskoye production facility contains digital thematic maps of fields, soil cover, agrochemical cartograms for mobile phosphorus, potassium, humus and soil acidity. Thematic maps of vegetation indices NDVI, VARI, CI Green were obtained for each field for 2019–2020. The analysis of the seasonal dynamics of the vegetation of the obtained indices is carried out, for each field and crops the differences in spectral characteristics are determined. A system for collecting, storing and processing data on agricultural objects has been developed, presented in the form of a geospatial database. This approach provides access to the generated database through web services, promotes the introduction of precision farming technologies among a wide range of users, and provides various opportunities for specialists to work together.*

**Keywords:** precision farming, database, thematic maps, vegetation indices, Planet Scope

**For citation:** Erunova M.G., Simakina A.S., Yakubailik O.E. Database for precision farming at the Kuraginskoye agricultural experimental production facility // Bulliten KrasSAU. 2022;(1):13–20. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20.

**Введение.** Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система управления сельским хозяйством [1]. Эта система направлена на получение максимального объема качественной и наиболее дешевой сельскохозяйственной продукции с учетом норм экологической безопасности конкретного хозяйства. Основная идея точечного земледелия состоит в том, чтобы учесть неоднородности в пределах одного поля, и для оценки этих неоднородностей используют современные технологии в области информационных технологий, спутниковой навигации и программного обеспечения [2].

Последние достижения в области информационных технологий, развитие Интернета, растущие возможности новых смартфонов и других мобильных устройств, количественные и качественные изменения в доступности данных дистанционного зондирования и различных общедоступных картографических сервисов позволяют эффективно решать вопросы информационного и технологического обеспечения системы сельского хозяйства.

Одним из важных этапов точечного земледелия является разработка системы сбора, хранения и обработки данных об объектах сельскохозяйственных ресурсов, сельскохозяйственном сырье и готовой продукции. Отсутст-

вие стандартов, определяющих форматы и условия владения данными и доступом к ним, не позволяет использовать «готовые» решения для конкретного хозяйства. В зависимости от биологических потребностей сельскохозяйственных культур определенного хозяйства собираются уникальные для этого хозяйства данные полевых и лабораторных исследований поля, рассчитываются и вводятся дифференцированные элементы питания растений, строятся уникальные для этого хозяйства (поля) агрохимические карты и карты урожайности. Таким образом, достигается оптимизация питания сельскохозяйственных культур и выравнивание их урожайности в разных участках поля [3].

Описание технологических решений по сбору, обработке и предоставлению фермеру интересующей его оперативной информации о фактическом состоянии поля встречается во многих научных работах. Но в основном это решение отдельных технологических задач с получением новой информации о сельскохозяйственном поле: создание электронных карт полей [4]; определение NDVI и других индексов [5]; оценка интенсивности вегетации, определение биомассы растений [6]; мониторинг развития растительности [7]; анализ развития культур в целом за всю вегетацию, выявление проблемных зон [8]; раз-

работка веб-ГИС-сервисов для обеспечения доступа к информации [9]. Сбор всей исходной информации, связанной с сельскохозяйственной деятельностью предприятия (хозяйства), последующей ее систематизацией и организацией этой информации в виде базы данных – важнейший первый шаг в точечном земледелии. Правильно организованная база данных является составляющей частью любой информационной системы, в основе которой лежит доступ к оперативной и достоверной информации.

**Цель исследования** – создание базы данных для точного земледелия на примере ОПХ «Курагинское» и анализ сезонной вегетации за период 2019–2020 гг. на основе ДДЗ Planet Score.

**Объекты и методы.** Объектом настоящего исследования являются сельскохозяйственные угодья опытно-производственного хозяйства «Курагинское», филиала ФГБУ ФИЦ КНЦ СО РАН. Территория хозяйства расположена в юго-западной части Курагинского района Красноярского края. Общая площадь хозяйства составляет 14 374 га [10], в том числе – 11 972 га сельскохозяйственных угодий, из них 6 342 га пашни.

**Наземные данные.** В работе использовали материалы исследования системы земледелия и землеустройства ОПХ «Курагинское», проводимого Институтом «Востсибгипрозем» в 1986 г. [10], а также данные агрохимических обследований, проведенных в разные годы, в том числе в 2016 г., Государственным центром агрохимической службы «Красноярский», табличные данные выращиваемых культур и урожайность за 2019–2020 гг.

**Данные дистанционного зондирования.** В исследовании использованы спутниковые данные с высоким пространственным разрешением 3 м – Planet Score. Данные спутниковой группировки Planet Score компании Planet Labs позволяют получать снимки любой части территории земли. Повторяемость съемки – 1 день (возможно несколько раз в день), в настоящее время ведется съемка в четырех спектральных каналах (красный, зеленый, голубой, ближний инфракрасный). Архив спутниковых данных по территории ОПХ «Курагинское» доступен с 2016 г.

За 2019–2020 гг. сформирован и проанализирован архив данных спутниковой группировки Planet Score – 118 безоблачных сцен за вегетационный сезон 2020 г., с апреля по сентябрь.

**Создание базы данных.** Вся исходная табличная, графическая и картографическая информация по ОПХ «Курагинское» была систематизирована, сформирована геопространственная база данных, которая включала формирование цифровых тематических карт (карта полей, почвенная карта, тематические карты агрохимических характеристик почвы, географическая база (рельеф местности и гидрография), административно-пространственная структура, инфраструктура (дороги)). Формирование базы данных хозяйства проводилось в открытой геоинформационной системе QGIS [11].

На исследуемую территорию подготовлена серия тематических карт по спутниковым снимкам, сформирована база данных ОПХ «Курагинское», содержащая полученную информацию. На основе технологий веб-ГИС разработан интерфейс для пользователей полученной базы данных [9].

**Анализ сезонной динамики вегетации.** Вегетационные индексы NDVI, VARI, CIGreen вычислялись для каждого поля в программе ГИС QGIS через модуль «Калькулятор растров» [11]. Для каждого снимка рассчитывались спектральные индексы с учетом индивидуальных калибровочных коэффициентов. С учетом имеющихся безоблачных сцен были подготовлены данные на 20 дней (уникальные даты) за 2019 г. и на 33 дня за 2020 г. ОПХ «Курагинское» состоит из нескольких снимков, и они сшивались в «единый» растр. Цифровая карта сельскохозяйственных полей и набор снимков рассчитанных вегетационных индексов за 2019–2020 гг. позволили получить статистические значения NDVI, VARI, CIGreen для каждого поля в хозяйстве в течение всего вегетационного периода. В ГИС QGIS использовался инструмент «Расчет зональной статистики». Результаты зональной статистики по среднему значению сохранялись в отдельном векторном слое. Окончательный анализ сезонной вегетации проводился в ГИС QGIS и MS Office Open XML для более удобной и наглядной работы с данными.

**Веб-сервис.** Доступ к полученной базе данных точечного земледелия ОПХ «Курагинское» осуществляется на геопортале Института вычислительного моделирования СО РАН (URL: <http://gis.krasn.ru>) и предоставляет удобный интерфейс для совместной работы специалистов по сбору, поиску, хранению и анализу обработки данных по сельскохозяйственным объектам [9].



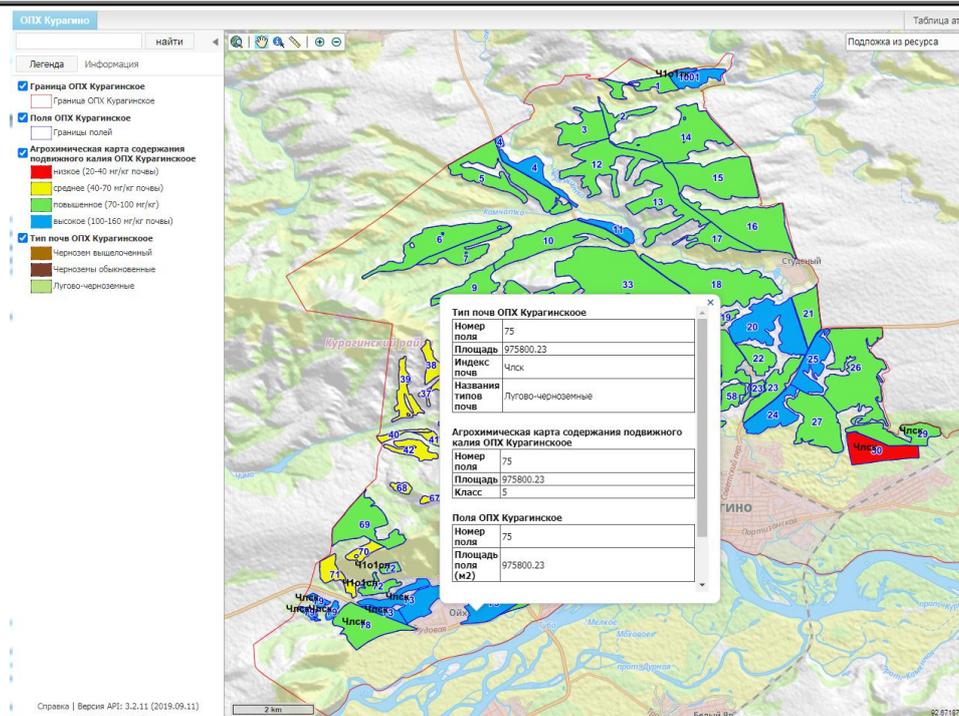


Рис. 2. Агрохимическая картограмма по содержанию подвижного калия в почве ОПХ «Курагинское»

По данным многочисленных научных публикаций [8, 12], согласно индексу NDVI можно предсказывать урожайность сельскохозяйственных культур с высокой точностью. Вегетационный индекс NDVI изменяется в течение всего вегетационного сезона, и его значения различаются во время роста, цветения и созревания растений. В начале вегетационного сезона индекс увеличивается, в момент цветения его рост останавливается, затем по мере созревания NDVI снижается. В зависимости от плодородия почв, метеоусловий и технологии возделывания посевов скорость развития биомассы будет разной.

Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) – это индекс растительности для количественной оценки доли растительности только в видимом диапазоне спектра [12]. Для каждого поля были получены средние значения VARI. При помощи индекса VARI можно выявлять неоднородности на поле, но сравнивать динамику поля нельзя, поскольку данный индекс очень чувствителен к условиям освещения.

Chlorophyll Index-Green (CIGreen) – это индекс вегетации, который используется для оценки содержания хлорофилла в листьях, при этом измеряется степень отраженного излучения в ближнем инфракрасном и зеленом каналах спектра [12]. Чем больше содержание хло-

рофилла в листьях растений, тем выше значения индекса. Полученные распределения позволяют рассчитывать необходимое количество удобрений для каждого конкретного поля.

База данных ОПХ «Курагинское» дополнена вегетационными индексами NDVI, VARI, CIGreen для каждого поля за 2019–2020 гг., что позволило изучить сезонное изменение значений сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории хозяйств. Приведем пример анализа распределения вегетационных индексов для поля № 67, где и в 2019, и в 2020 г. поле использовалось под сенокосы, где произрастают многолетние травы (рис. 3).

На графиках показаны изменения спектральной отражательной способности сенокосов в различные периоды сезонной вегетации. Из графиков видно, что кошение проводилось в июне и августе.

Проводя анализ всей территории опытно-производственного хозяйства, можно выявить неоднородность пространственного размещения индексов по каждому массиву поля. Выявленная неоднородность демонстрирует неравномерность роста и развития сельскохозяйственных культур, позволяет в оперативном режиме осуществить необходимые технологические операции точного земледелия на конкретном участке поля.

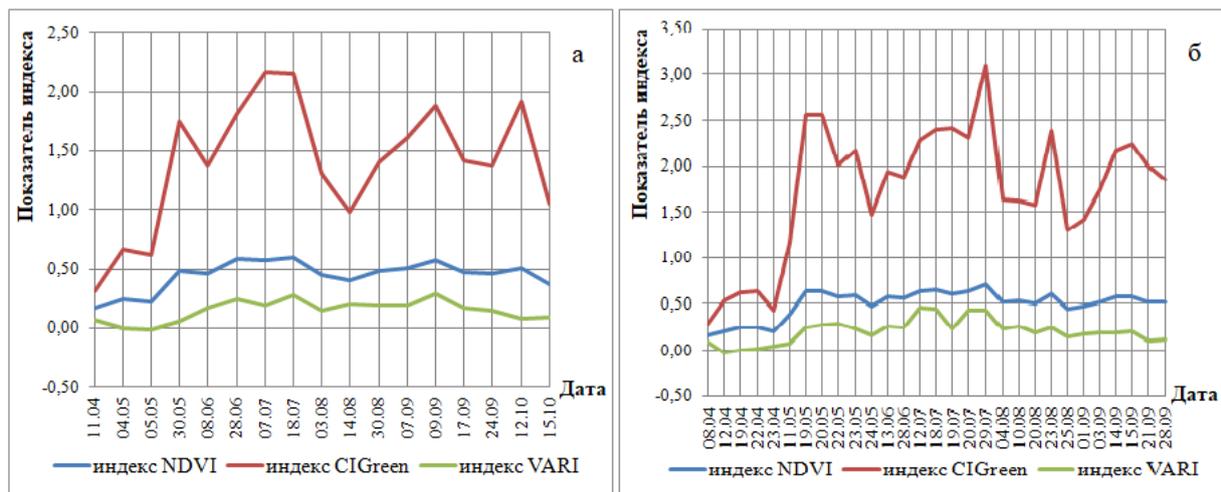


Рис. 3. Динамика по спектральным индексам NDVI, VARI и CIGreen поля № 67: а – 2019 г.; б – 2020 г.

Доступ к базе данных для точечного земледелия ОПХ «Курагинское» организован на картографическом веб-сервисе. Веб-версия полученной базы данных доступна по адресу <http://gis.krasn.ru/go/upvt>. Для удобства пользователя информация организована в виде таблиц и тематических карт (почвенная карта, карта полей, агрохимические карты, карты вегетационных индексов). Веб-сервис позволяет посмотреть информации об отдельном показателе, а также обо всех имеющихся в базе данных показателях на конкретное поле (см. рис. 2).

**Выводы.** Для территории опытно-производственного хозяйства «Курагинское» разработана система сбора, хранения, обработки и предоставления данных об объектах сельскохозяйственных ресурсов в виде базы данных, к которой представлен доступ на картографическом Веб-сервисе.

На данный момент в базе данных хранятся данные наземных почвенно-агрохимических обследований, информация о произрастающих культурах и полученной урожайности за 2019–2020 гг. Данные дистанционного зондирования представлены полученными тематическими картами вегетационных индексов NDVI, VARI, CIGreen для каждого поля за 2019–2020 гг. Проведен анализ сезонной динамики вегетации полученных индексов, для каждого поля и культур определены отличия спектральных характеристик.

Разработанный картографический веб-сервис обеспечивает доступ к сгенерированной

базе данных через Интернет, что способствует внедрению технологий точечного земледелия среди широкого круга пользователей, и предлагает различные возможности для совместной работы специалистов, начиная с просмотра доступных карт (слоев) на основе данных, загруженных в веб-сервис, и заканчивая совместным редактированием и анализом информации.

#### Список источников

1. Truflyak E.V., Kreymer A.S., Kurchenko N.Y. Precision farming: yesterday, today, tomorrow // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. V. 2. Issue 4. P. 15–26.
2. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия. Краснодар: КубГАУ, 2016. 39 с.
3. Якимова Л.А. Эффективность ресурсосберегающих технологий в системе точного земледелия // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 23–29.
4. Шпедт А.А., Ерунова М.Г. Создание цифровой крупномасштабной почвенной карты учебного хозяйства «Миндерлинское» Сухобузимского района Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2011. № 7. С. 57–61.
5. Использование наземных спектрофотометрических измерений для выявления влияния приемов основной обработки почвы на процесс нарастания надземной фитомассы яровой пшеницы в зернопаропропашном севообороте / В.К. Ивченко, Т.Н. Демьянен-

- ко, И.О. Ильченко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 1. С. 3–11.
6. Оценка агротехнических факторов возделывания ячменя по ресурсосберегающим технологиям с помощью наземной спектрометрии / В.К. Ивченко, Т.Н. Демьяненко, А.П. Шевырногов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2019. № 5. С. 86–93.
  7. Спутниковое картографирование растительного покрова России / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.О. Жарко [и др.]. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
  8. Оценка состояния сенокосных угодий на основе наземной и спутниковой спектрометрии / А.А. Ларько, И.Ю. Ботвич, Д.В. Емельянов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2. С. 11–17
  9. *Shaparev N., Yakubailik O.* Usage of web mapping systems and services for information support of regional management // MATEC Web of Conferences. 2016. V. 79. 01081.
  10. Система земледелия и землеустройство ОПХ «Курагинское» Курагинского района Красноярского края. Красноярск. 1986. 191 с.
  11. *Erunova M.G., Simakina A.S., Yakubailik O.E.* Smart analysis of agricultural land use with NDVI at Kuraginskoye agricultural experimental production facility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 032105.
  12. *Воронина П.В., Мамаш Е.А.* Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 3. С. 76–102.
  - zemledeliya // Vestnik KrasGAU. 2017. № 9. С. 23–29.
  4. *Shpedt A.A., Erunova M.G.* Sozdanie cifrovoy krupnomasshtabnoj pochvennoj karty uchebnogo hozyajstva «Minderlinskoe» Suhobuzimskogo rajona Krasnoyarskogo kraya // Vestnik KrasGAU. 2011. № 7. С. 57–61.
  5. Ispol'zovanie nazemnyh spektrofotometricheskikh izmerenij dlya vyyavleniya vliyaniya priemov osnovnoj obrabotki pochvy na process narastaniya nadzemnoj fitomassy yarovoj pshenicy v zernoparopropashnom sevoobrote / V.K. Ivchenko, T.N. Dem'yanenko, I.O. Il'chenko [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 1. С. 3–11.
  6. Ocenka agrotehnicheskikh faktorov vozdelevaniya yachmenya po resursosberegayuschim tehnologiyam s pomosch'yu nazemnoj spektrometrii / V.K. Ivchenko, T.N. Dem'yanenko, A.P. Shevyrnogov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2019. № 5. С. 86–93.
  7. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii / S.A. Bartalev, V.A. Egorov, V.O. Zharko [i dr.]. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
  8. Ocenka sostoyaniya senokosnyh ugodij na osnove nazemnoj i sputnikovoj spektrometrii / A.A. Lar'ko, I.Yu. Botvich, D.V. Emel'yanov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 2. С. 11–17
  9. *Shaparev N., Yakubailik O.* Usage of web mapping systems and services for information support of regional management // MATEC Web of Conferences. 2016. V. 79. 01081.
  10. Sistema zemledeliya i zemleustrojstvo OPH «Kuraginskoe» Kuraginskogo rajona Krasnoyarskogo kraya. Krasnoyarsk. 1986. 191 s.
  11. *Erunova M.G., Simakina A.S., Yakubailik O.E.* Smart analysis of agricultural land use with NDVI at Kuraginskoye agricultural experimental production facility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 032105.
  13. *Voronina P.V., Mamash E.A.* Klassifikaciya tematicheskikh zadach monitoringa sel'skogo hozyajstva s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya MODIS // Vychislitel'nye tehnologii. 2014. Т. 19, № 3. С. 76–102.

### References

1. *Truflyak E.V., Krejmer A.S., Kurchenko N.Y.* Precision farming: yesterday, today, tomorrow // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. V. 2. Issue 4. P. 15–26.
2. *Truflyak E.V.* Osnovnye `elementy sistemy tochnogo zemledeliya. Krasnodar: KubGAU, 2016. 39 s.
3. *Yakimova L.A.* `Effektivnost' resursosberegayuschih tehnologij v sisteme tochnogo

Статья принята к публикации 29.11.2021 / The article accepted for publication 29.11.2021.

Информация об авторах:

**Марина Геннадьевна Ерунова**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий, кандидат технических наук, доцент

**Анна Сергеевна Симакина**<sup>2</sup>, младший научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий

**Олег Эдуардович Якубайлик**<sup>3</sup>, ведущий научный сотрудник отдела технологий мониторинга природной среды, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

**Marina Gennadievna Erunova**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Anna Sergeevna Simakina**<sup>2</sup>, Junior Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies

**Oleg Eduardovich Yakubailik**<sup>3</sup>, Leading Researcher, Department of Environmental Monitoring Technologies, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

