

УДК: 528.8

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-66-81

И.В. Брыжко<sup>1</sup>, Т.В. Шабалина<sup>2</sup>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Технологии точного земледелия используются во всем мире и являются перспективными для территории России. Необходимость их внедрения, обуславливаются необходимостью увеличения объемов сельскохозяйственного производства и повышения продовольственной безопасности. Точное земледелие позволяет существенно повысить качество и количество производимой продукции, при этом сохраняя качественное состояние почвы и ее потенциал.

В данной статье рассматриваются вопросы внедрения технологий точного земледелия на сельскохозяйственном предприятии с применением результатов почвенных обследований, материалов дистанционного зондирования Земли и сканирования почвы, с помощью оборудования компании «Veris».

В ходе выполнения работ и внедрения технологий точного земледелия была произведена инвентаризация земель, созданы слои и атрибуты, обновлены карты земель предприятия, исследованы инструменты сканирования почв, построены и размещены на служебном веб-сервисе различные карты и даны рекомендации по повышению плодородия почв. При выполнении работы использовались открытые программные продукты, такие как QGIS, SAGA, веб-сервис OneSoil.

Результат исследования показал, что инвентаризация сельскохозяйственной территории позволяет оперативно выделять участки с нецелевым использованием, автоматизированно обновлять данные о изменении площадей сельскохозяйственных угодий, хранить пространственную информацию о севообороте, позволяя вести учет сельскохозяйственных земель. Построение веб-карты позволило аграриям активно использовать инструменты веб-картографирования для анализа сельскохозяйственных культур, выделяя взаимосвязи между почвенными показателями и зонами продуктивности на поле. Основываясь на результатах сканирования почвы, вегетационного индекса и почвенного опробования, возможно получение рекомендаций по повышению плодородия почв и урожайности.

Внедрение данных технологий на сельскохозяйственном предприятии позволяет эффективно использовать все инструменты точного земледелия, анализировать пространственную информацию. В результате работы была выявлена перспективность и проверена практическая польза данного направления на предприятии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационное картографирование, точное земледелие, веб-картография, сельское хозяйство, данные дистанционного зондирования, сервис One Soil, почвенное сканирование.

---

<sup>1</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Географический факультет, Букирева, д.15, 614068, Пермь, Россия; *e-mail*: [zemproekt@yandex.ru](mailto:zemproekt@yandex.ru)

<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Географический факультет, Букирева, д.15, 614068, Пермь, Россия; *e-mail*: [tanek51@mail.ru](mailto:tanek51@mail.ru)

Илья В. Bryzhko<sup>1</sup>, Tatyana V. Shabalina<sup>2</sup>

## GIS-BASED SUPPORT FOR PRECISION FARMING ON THE EXAMPLE OF THE TYUMEN REGION

### ABSTRACT

Precision farming technologies are used all over the world and are promising for the territory of Russia. The need for their implementation is determined by the need to increase agricultural production and improve food security. Precision farming can significantly improve the quality and quantity of products, while maintaining the quality of the soil and its potential.

This article discusses the implementation of precision farming technologies at an agricultural enterprise using the results of soil surveys, Earth remote sensing materials and soil scanning, using the equipment of the company "Veris".

In the course of the work and the implementation of precision farming technologies, an inventory of lands was made, layers and attributes were created, maps of the enterprise's lands were updated, soil scanning tools were investigated, various maps were built and posted on the special web service, and recommendations were given to improve soil fertility. When performing the work, open source software products were used, such as QGIS, SAGA, OneSoil web service.

The result of the study showed that the inventory of agricultural land allows you to quickly identify areas with inappropriate use, automatically update data on changes in agricultural land areas, store spatial information on crop rotation, allowing you to keep records of agricultural land. Building a web map allowed farmers to actively use web mapping tools to analyze crops, highlighting relationships between soil indicators and productivity zones in the field. Based on the results of soil scanning, vegetation index and soil sampling, it is possible to obtain recommendations for improving soil fertility and productivity.

The introduction of these technologies at an agricultural enterprise makes it possible to effectively use all precision farming tools and analyze spatial information. As a result of the work, the prospects were identified and the practical use of this direction at the enterprise was checked.

**KEYWORDS:** GIS mapping, precision farming, web-cartography, agriculture, OneSoil service, remote sensing data, soil scan.

### ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние сельского хозяйства характеризуется наличием негативных тенденций, многие из которых становятся системными. Для решения этих проблем и обеспечения развития агропромышленного комплекса необходимо внедрение современных и инновационных технологий и методов производства. Точное земледелие в настоящее время является одной из самых эффективных технологий, направленных на повышение урожайности и сохранения качественного состояния почв.

Без картографического сопровождения трудно представить себе грамотную организацию и проведение работ в области производства аграрной продукции, а геоинформационное обеспечение точного земледелия в свою очередь является основой для оперативного картографирования и проведения пространственного анализа.

---

<sup>1</sup> Perm State University, Faculty of Geography, Bukireva, 15, 614068, Perm, Russia; *e-mail:* [zemproekt@yandex.ru](mailto:zemproekt@yandex.ru)

<sup>2</sup> Perm State University, Faculty of Geography, Bukireva, 15, 614068, Perm, Russia; *e-mail:* [tanek51@mail.ru](mailto:tanek51@mail.ru)

Опираясь на опыт зарубежных стран, можно выделить три этапа внедрения точного земледелия. На первом этапе, происходит сбор и хранение пространственной информации. Создается архив, который позволяет эффективно использовать базу данных в течении многих лет. На основе проанализированной пространственной информации происходит построение тематических карт и карт-заданий, с помощью современных инструментов ГИС, используемых на втором этапе [Mulla, Khosla, 2017]. Данные карты служат основой для всех агрономических операций, позволяя эффективно управлять и следить за состоянием каждого поля. Реализация операций карт-заданий возможна только с помощью современных датчиков и специальной техники.

Производство продукции сельского хозяйства традиционно является достаточно трудоемким и консервативным видом хозяйственной деятельности. Несмотря на серьезные проблемы в агропромышленном комплексе инновации внедряются медленно. В настоящее время особенно важной является необходимость обеспечивать продовольственную безопасность государства и увеличивать объемы сельскохозяйственной продукции, производимой в стране.

Одним из способов повышения объема производства сельскохозяйственной продукции с единицы площади является внедрение технологий точного земледелия, под которым понимают интегрированную систему, предназначенную для увеличения урожайности, производительности, а также рентабельности сельскохозяйственного производства, при этом минимизируя негативное воздействие на окружающую среду [Баич, 2019].

Технологии точного земледелия перспективны и заслуживают внимания. Благодаря точному земледелию становится возможным учитывать гораздо более широкий спектр факторов, влияющих на процесс производства аграрной продукции, чем при применении традиционных методов производства. Это позволяет существенно повысить качество и количество производимой продукции, при этом сохраняя качественное состояние почвы и ее потенциал [Брыжко, Шабалина, 2020].

Для учета факторов каждого локального участка используют различные цифровые информационные технологии, в частности совместное использование возможностей геоинформационных систем и GPS [Рунов, 2010]. Многообразие инструментов, созданных для обработки пространственной информации, позволяет оценивать почвенное разнообразие, микрорельеф, микроклиматические особенности территории и другие параметры, необходимые для выделения особенностей обрабатываемых участков. Кроме того, на основе полученных данных, создаются карты-задания, позволяющие выполнять агротехнологические операции по ходу движения транспортных средств в поле. Такие мероприятия позволяют эффективно управлять сельскохозяйственными процессами, добываясь высокой продуктивности и рентабельности производства [Рулев, 2018].

По мнению российских ученых, занимающихся проблемами точного земледелия, внедрение этой технологии позволит интенсифицировать производство продукции сельского хозяйства и получить объемы продукции, способные извлекать доход, сравнимый с доходами от экспорта углеводов [Якушев, Матвеев, 2017].

К сожалению, на данный момент, используемые агротехнологии являются достаточно экстенсивными и дают в результате урожайность в среднем в 4 раза меньшую, чем в странах, где уже применяются технологии точного земледелия [Бикбулатова, 2008].

Внедрение современных технологий в агропромышленное производство может интенсифицировать развитие агропромышленного комплекса, уровень развития которого влияет на занятость и уровень жизни населения сельских территорий. В современной ситуации этот вопрос стоит особенно остро, учитывая низкий кадровый потенциал сельского хозяйства и низкую привлекательность отрасли для приложения труда. Более

эффективное и экономически выгодное агропромышленное производство позволит быстрее развивать инфраструктуру сельских территорий и тем самым решать вопросы кадровой обеспеченности сельского хозяйства [Брыжко, Брыжко, 2019].

В целом ученые высоко оценивают целесообразность перехода от традиционной агрономии к технологиям точного земледелия, но также отмечают необходимость предварительного проведения оценки, так как эффективность такого внедрения может существенно отличаться в зависимости от условий каждого конкретного участка [Якушев, 2019].

Учитывая экстремальные природно-климатические характеристики Тюменской области, вопрос сохранения и повышения уровня производства продукции агропромышленного комплекса стоит достаточно остро, необходимо учитывать локальные факторы на конкретных участках для обеспечения хорошей урожайности.

Для использования концепции точного земледелия на любом предприятии, необходимо поэтапное освоение новых методов и технологий. Исходя из этого была поставлена следующая цель: разработать и внедрить технологии картографического обеспечения точного земледелия на предприятии ООО «Агрофирма КРиММ».

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

- разработана и внедрена система хранения и отображения пространственной информации;
- произведено оперативное картографирование полей;
- определить эффективный метод почвенного обследования территории, позволяющий повысить плодородие почвы;
- разработаны рекомендации по повышению плодородия почв на предприятии ООО «Агрофирма КРиММ».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сельскохозяйственное предприятие ООО «Агрофирма КРиММ», в пределах которых проводилось исследование, располагается на юге Тюменской области в Упоровском районе. Территория района находится в зоне северной лесостепи. Климат района является резко континентальным в зоне рискованного земледелия. На предприятии выращивают 11 различных культур, но компания преимущественно специализируется на выращивании картофеля.

При создании оперативных карт были использованы результаты почвенных обследований 2018–2019 гг., основанных на химико-аналитических и физических методах исследования почв, произведено сканирование почвы в летнем сезоне 2018 года, использованы материалы дистанционного зондирования Земли, а также информация, полученная в аналоговом виде с карт, планов и из таблиц о территории, на которую создавались карты. В работе использовались такие методы как: картографический метод, моделирование, измерение, сравнение и наблюдение.

Сканирование почвы осуществлялось с помощью сканера AgriVeris на четыре показателя: электропроводность (на 2 глубинах), органическое вещество, кислотность (рН). Каждый показатель отбирается с помощью отдельного датчика, встроенный в сканер.

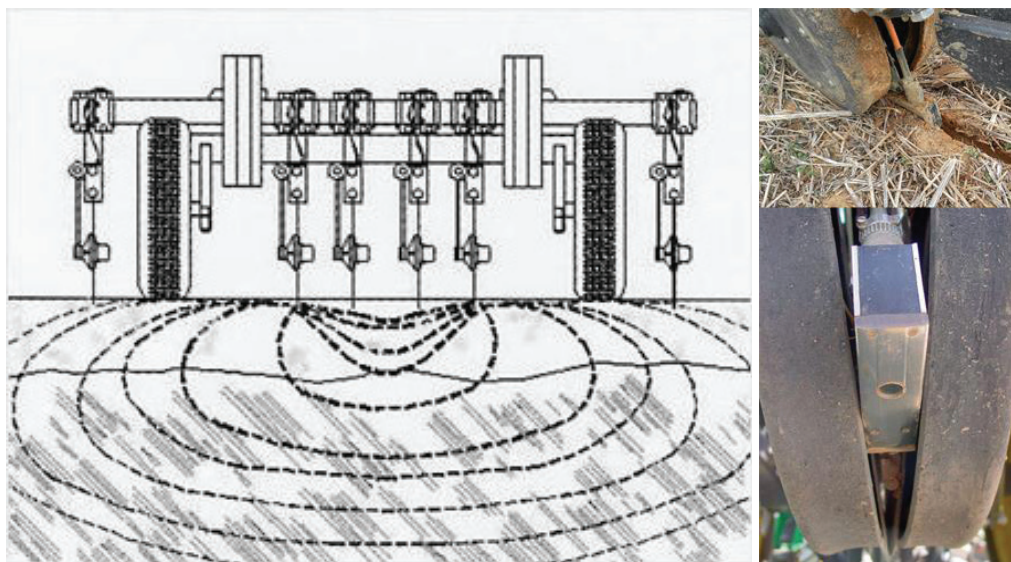
Электропроводность (ЕС) почвы осуществляется при помощи шести дисков, соприкасающихся с почвой. Диски опускаются в почву и измеряют электропроводность. Внутренние диски измеряют электропроводность на глубине 0–30 см, внешние 2 диска – на глубине 0–90 см (рис. 1).

Измерение содержания органики проводится специальным оптическим сенсором. Данный датчик работает в красном и инфракрасном диапазонах, что обеспечивает точность

измерений. Глубина измерений может регулироваться от 3 до 10 сантиметров. Для получения высокоточных карт необходимо провести калибровку данных с помощью дополнительно-отобранных проб<sup>1</sup>.

Система измерения кислотности происходит следующим образом: пробоотборник погружается в почву по ходу движения сканера, набранный материал поднимается по трубке с помощью гидравлики до 2 рН электрода, которые измеряют рН почвы с точностью от 0,5 рН до +/- 2,00 рН. Далее идет набор нового почвенного материала и очищение электродов через форсунки с помощью воды, хранящейся в прикрепленном баке. Данная процедура повторяется через несколько секунд, приблизительно через каждые 25 метров при скорости 10 км/час.

Сканирование почвы осуществляется при движении трактора по полю с прикрепленным сканером с расстоянием между рядами около 15–25 метров. Водитель должен равномерно соблюдать скорость движения транспортным средством для достоверности результата, кроме того, необходимо следить за аномальными значениями показателей рН, поступающих на компьютер, и при необходимости прочистить пробоотборник (рис. 2).



*Рис. 1. Диски измерения электропроводности и оптический центр для измерения содержания органического вещества<sup>1</sup>*

*Fig. 1. Discs for measuring conductivity and optical center for measuring the content of organic matter<sup>1</sup>*

При внедрении технологий точного земледелия в сельское хозяйство очень важным этапом является подготовка базы данных и цифровой картографической основы. Данные, содержащиеся в цифровой картографической основе, нужны для автоматизации процессов использования пространственных данных как по отдельным участкам, так и в комплексе. Это позволяет наиболее эффективно рассчитывать необходимые агротехнические мероприятия непосредственно для конкретной территории с привязкой к ее местоположению [Ишбулатов, 2018; Галеев, 2019].

<sup>1</sup> Сканирование почвы сканером Veris [Электронный ресурс]. URL: <https://agri2.com.ua/catalog/skanirovanie-pochvy-skannerom-veris> (дата обращения: 22.03.2021).



*Рис. 2. Сканер Agri Veris в процессе сканирования почвы*  
*Fig. 2. Agri Veris scanner during soil scanning*

Традиционно для сельского хозяйства большая часть материалов, используемых в работе, существует в бумажной форме, и только малый процент самых свежих данных - в цифровой. В работе использовался картографический материал, представленный почвенными и топографическими картами, результаты проведенного агрохимического обследования полей, информация из ЕГРН и границы кадастровых участков, информация о гербицидах, внесенных удобрениях и севооборотах.

Для удобства работы вся информация была собрана, проанализирована и приведена в удобный для последующего использования вид. Были составлены слои с информацией о границах полей, культурах, нецелевом использовании и севооборотах, с внесением атрибутивной информации, полученной с предприятия, за 2017–2019 гг. Работа выполнялась с помощью PostGIS, ПО Quantum GIS (QGIS), SAGA, как наиболее доступных для организации и совместимых между собой программных продуктах, имеющих достаточно разнообразный инструментарий.

Для составления истории полей был создан слой «Севооборот», содержащий сведения о культурах, их площадях посадки, используемых средствах обработки защиты растений, гербицидах и удобрениях на поле. Это позволяет анализировать не только существующий период и вывести закономерности влияния прошлых агротехнических операций на урожай текущего года. Оцифровка полей производилась с помощью метода визуального дешифрирования, основываясь на слое с границами сельскохозяйственных участков предприятия государственного кадастра недвижимости, и растровых космических фотокартах (Google Satellite, Bing, ESRI Satellite) с использованием модуля

«QuickMapServices» в ПО QGIS. Также с используемых для посадки культур тракторов John Deere была получена дополнительная информация, которая позволила уточнить границы используемых земель (рис. 3).

Основываясь на требованиях и потребностях организации, была разработана структура таблицы атрибутов, содержащая следующие данные: название филиала, наименование поля, культуры за каждый год, урожайность, внесенные удобрения и средства защиты растений и площадь. Собранная атрибутивная информация позволила хранить и анализировать данные в электронном виде, что существенно ускорило и упростило обработку информации.

Площади полей были вычислены с помощью «калькулятора полей», в дальнейшем была произведена инвентаризация и обновление площадей в документах. В результате работы были выявлены поля с разницей в площадях (в некоторых случаях до 10 га), фактически задействованных в производстве и документальными данными. В дальнейшем была обновлена карта сельскохозяйственных земель предприятия.



*Рис. 3. Сравнение кадастровых данных с актуальной информацией о посевах*

*Fig. 3. Comparison of inventory data with current planting information*

В целях соблюдения земельного законодательства и организации рационального использования земель при дешифрировании и выделении границ полей произведено выявление нарушений в использовании земельных участков и создан слой «Нецелевое использование». Те участки, которые не использовались под пашню, но входили в кадастровый участок автоматически попадали в нецелевое использование. В дальнейшем каждый участок был проанализирован и классифицирован в соответствии с возможным нарушениям использования. В частности, были выделены участки, подверженные зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, заболоченные участки, участки с наложением границ полей на границы кадастровых участков. Найденные проблемы еще раз анализировались, используя другие данные и методы (в том числе полевые), и при подтверждении данного факта, отправлялись в соответствующий отдел на устранение.

В рассматриваемом предприятии несколько культур могут располагаться на одном поле. В следствии этого было принято решение в создании отдельного слоя «Культура».

Базой для этого слоя послужил слой «Севооборот», в процессе работы к нему были добавлены сведения о урожайности, типе культур, сортах и площади.

В сельском хозяйстве есть свои нюансы, включенные при составлении данного слоя. Отдельно в слое «Культура» были созданы такие типы значений как «пар», «аренда», «субаренда». Данные типы были введены вследствие того, что аграрии оставляют ежегодно часть земель под «паром», не засеивая ее. Кроме того, для рационального использования земли некоторые участки сдаются в аренду и субаренду. Это также необходимо прописывать в атрибутивной информации, чтобы учитывать данные участки земли.

Все созданные слои используются при проведении работ и организации производства аграрной продукции, а также в целях сбора информации для отчетности.

Одной из главных задач при использовании технологий точного земледелия является составление оперативных карт. Для удобного просмотра и использования карт и атрибутивной информацией аграриями, было принято решение разместить карты в html формате на сервере компании.

При создании веб-карт в QGIS был использован модуль «qgis2web». Данная веб-карта позволяет агрономам быстро получать различную информацию в доступной форме и использовать ее в работе (рис. 4).

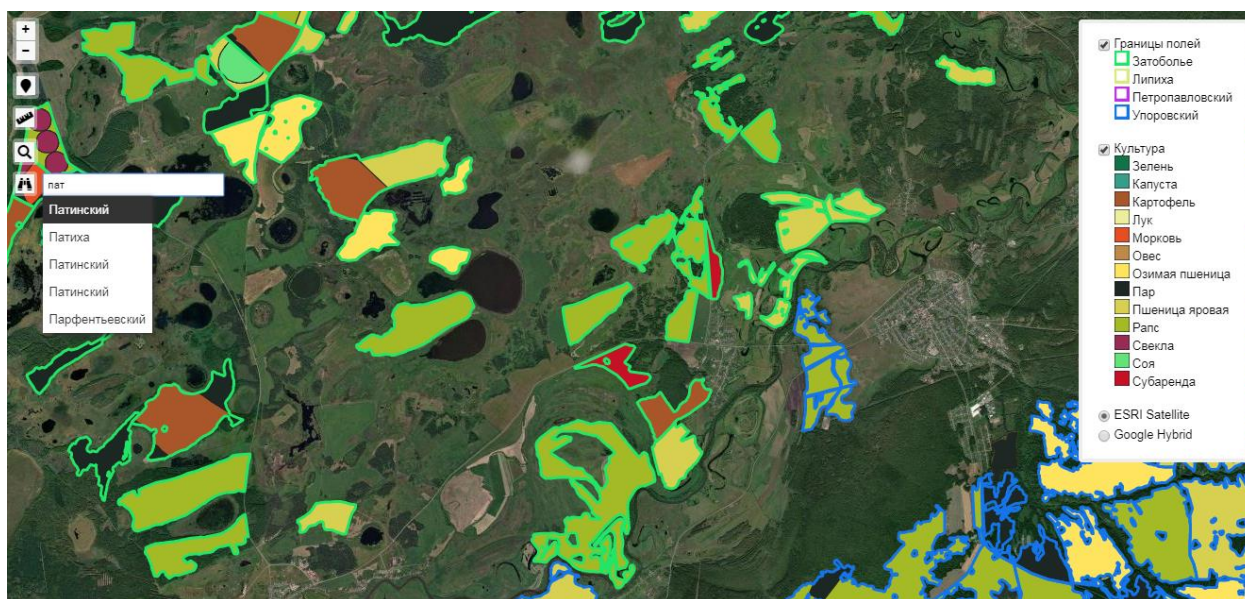


Рис. 4. Веб-карта полей предприятия ООО «Агрофирма КРiММ»  
Fig. 4. Web map of the fields of the enterprise LLC "Agrofirma KRiMM"

Должный эффект от применения методов точного земледелия было бы невозможно получить без агрохимического обследования полей и оценки агрохимического состояния почв. Благодаря этим мероприятиям были выявлены участки с различной продуктивностью. На основе таких данных строятся зоны, с которыми можно работать и повышать урожайность, выявляя потребность в конкретных микроэлементах, которые нужно вносить дифференцировано с удобрениями.

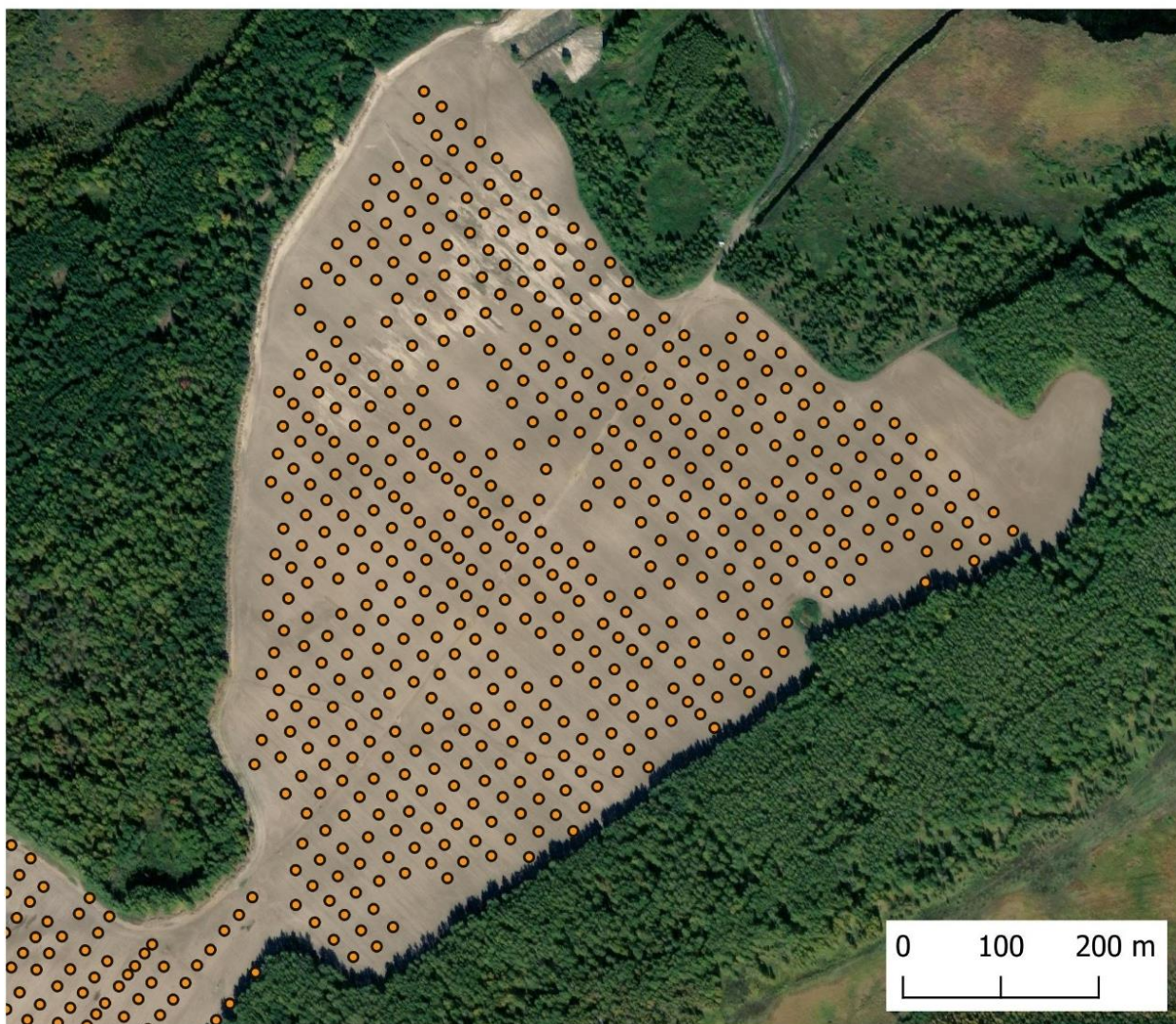
Оценка состояния почвы и почвенного потенциала производилась на основе двух видов полевых исследований на территории предприятия в 2018 году. Во-первых, материал был собран при помощи сканера AgriVeris (электропроводность, содержание органического вещества, pH), передающего данные на компьютер с помощью



специального встроенного программного обеспечения. Во-вторых, были взяты в тот же день пробы почв для лаборатории в выделяющихся зонах, на основе сканера AgriVeris. Это необходимо для корректировки данных, полученных со сканера. В результате были получены материалы с трех полей

Полученные материалы со сканера были откалиброваны на основе лабораторных данных и убраны ложные значения (рис. 5). Обработанные данные были интерполированы методом кригинга в ГИС SAGA, на основе которых были построены карты по pH, количеству содержания органического вещества, электропроводности и высоте. Оформление карт производилось в QGIS.

Для оценки достоверности построения карт был выполнен анализ карт, выполненных сторонней компанией и полученных в результате собственного исследования, на одних и тех же данных (рис. 6). Карты, полученные на практике менее генерализованы, но и более точны. Таким образом, было выявлено, что возможно составление карт, не используя услуги сторонних компаний.



*Рис. 5. Расположение полевых данных, со сканера Veris*  
*Fig. 5. Location of field data from the Veris scanner*

Построив карты, мы смогли провести оценку почв на участке по таким показателям как содержание органического вещества, электропроводность и pH. К недостаткам использования данного метода является то, что для полноценного анализа необходимо иметь результаты лабораторных исследований по 12 показателям, а не по трем собираемым сканером. В результате из-за небольшого количества апробирования почвы некорректно будет интерполировать значения полевых исследований. В следствии этого неэкономично использовать данный метод для исследования агрохимического состояния поля. Кроме того, так как данное сканирование производится на чистом от посевов поле, то анализ необходимо проводить либо в период севооборота «пар», либо после убора посевов, что является недостаточно удобным. Также для достоверности результатов необходимо производить сканирование полей и отбор почвенных проб при хорошей погоде и в один и тот же день.

Для решения этих проблем было решено использовать метод на основе оценки спектрального индекса NDVI.

Содержание органического вещества в почве на поле Лыково  
Сравнение карт субподрядчика и собственных

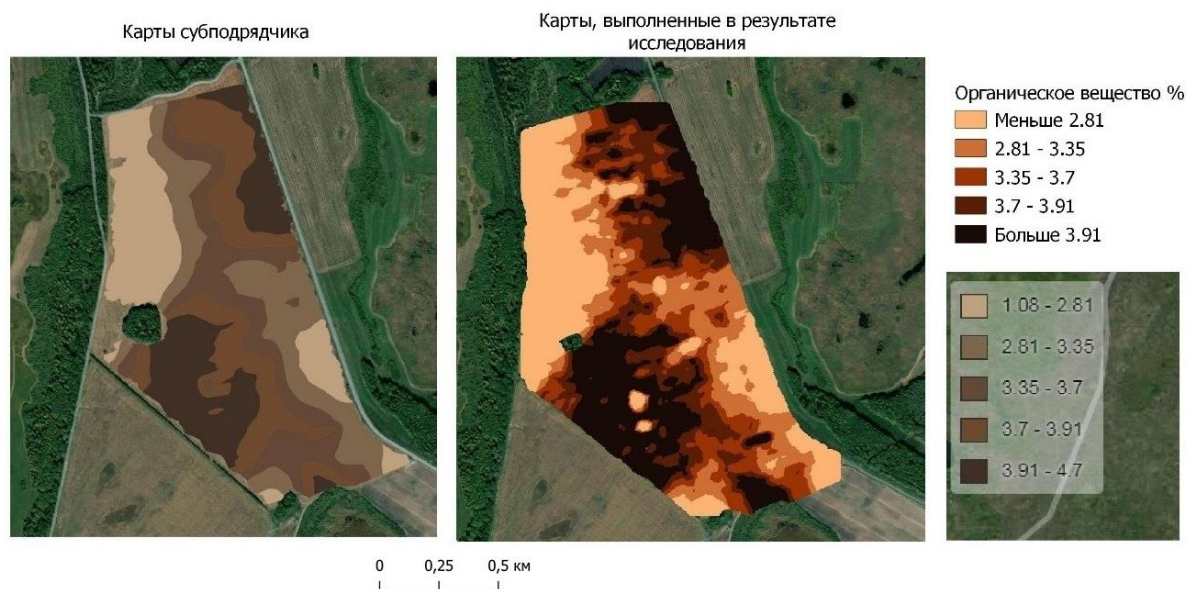


Рис. 6. Сравнение карт «Содержание органического вещества в почве на поле Лыково»  
Fig. 6. Comparison of maps "Content of organic matter in soil in the Lykovo field"

Один из способов выделения зон продуктивности основывается на оценке спектрального индекса NDVI<sup>1</sup>. Данный индекс имеет значения от -1 до 1. Значение биомассы тем больше, чем индекс ближе к единице. На основе этого можно предположить о хорошем состоянии растительности и высокой производительности данного участка поля в вегетационный период. Таким образом, любое поле делится на три зоны продуктивности: высокая, средняя и низкая.

Полученные на основе индекса NDVI зоны продуктивности сравнивают с данными отбора проб и присваивают значения для типологически одинаковых комплексов.

<sup>1</sup> Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование [Электронный ресурс]. URL: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=20&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news) (дата обращения: 22.03.2021).

Для демонстрации процесса создания агрохимических карт, на основе зон продуктивности приведем пример таких полей как «Верхотурово» и «Вышка 1».

Данными для создания карт послужили снимки от 1 июля 2019 с космического аппарата Sentinel-2 и использованием каналов с красным и ближним инфракрасным диапазонами, характеризующиеся максимальным разнообразием, отображающим вегетационную картину и данные полевого отбора проб произведенного в ноябре 2019 года. Зональные особенности были выявлены с использованием бесплатной онлайн платформы OneSoil<sup>1</sup> (рис. 7). Данный сервис позволяет в автоматическом режиме выделять зоны продуктивности, основанные на значении NDVI за выбранный период. Каждой зоне был присвоен порядковый номер от 1 – с наибольшим вегетационным индексом до 3 – с наименьшим вегетационным индексом. Полученные зоны анализировались и в результате каждой был присвоен показатель из протокола количественного химического анализа почвенного отбора, соответствующий данной территории. Отбор проб производился на основе разнообразной картины поля и соответствовал от 6–15 проб на одно поле (2–5 проб на одну зону).

Табл. 1. Средний показатель проб в каждой зоне на поле  
Table 1. Average sample values in each zone at field

Показатель	Ед. измер.	Средний показатель проб					
		Вышка 1			Верхотурово		
Зона продуктивности		1	2	3	1	2	3
рН (водная )	ед. рН	6,5	6,8	7,1	6,3	6,7	5,7
рН (солевая )	ед. рН	5,4	5,8	6,0	5,5	5,9	4,7
Гидролитическая кислотность	ммоль/100 г.	5,0	3,1	2,4	2,9	2,4	3,8
Сумма поглощенных оснований	ммоль/100 г.	18,4	18,2	16,4	12,8	13,3	7,4
Органическое вещество	%	12,1	8,0	6,0	6,2	3,4	2,7
Азот нитратный	мг/кг	9,2	9,2	10,9	–	–	–
Азот аммонийный	мг/кг	9,0	7,9	5,5	18,4	18,1	13,9
Фосфор подвижный	мг/кг	196,0	227,3	236,0	161,5	166,0	99,7
Калий подвижный	мг/кг	380,0	283,3	330,0	308,0	245,0	166,7
Сера подвижная	мг/кг	12,6	9,3	4,7	3,9	2,4	2,3
Кальций обменный	ммоль/100 г.	18,8	17,8	15,5	15,0	15,6	10,4
Магний обменный	ммоль/100 г.	2,5	2,5	2,8	1,3	1,3	1,1

<sup>1</sup> OneSoil [Электронный ресурс]. URL: <https://onesoil.ai/ru/> (дата обращения: 22.03.2021).

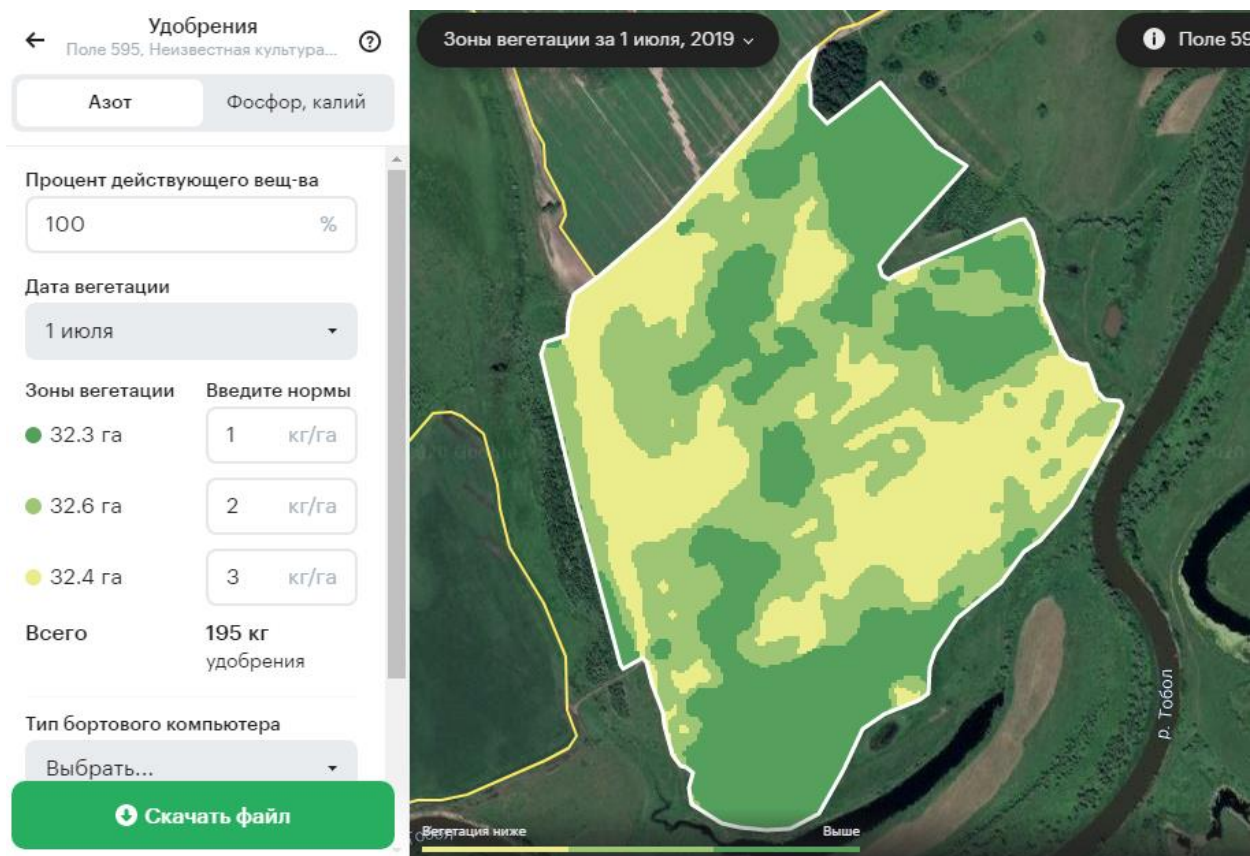


Рис. 7. Выделение зон продуктивности на поле  
 Fig. 7. Highlighting productivity zones features on the field

В результате работы были созданы карты агрохимического обследования территории. Тематические карты составляются для оперативного картографирования, с учетом использования их работниками сельского хозяйства.

Данный характер использования карты определяет требования к оформлению и точности карт:

**Цель:** использование тематических карт в качестве оперативного картографирования для принятия агрономических решений.

**Аудитория:** работники сельскохозяйственной сферы.

**Масштаб:** 1: 600 000 – 1: 10 000

**Проекция:** WGS 84 / Pseudo-Mercator

**Программное обеспечение:** QGIS 3.6.2

Оформление и публикация карт в формате html производилась с помощью программного модуля qgis2web.

Карты оформлялись на основе классификации «Границы интервальных группировок агрохимических показателей»<sup>1</sup>. В данном пособии прописаны интервалы разделения почв на различные группы и рекомендуемый цвет окраски для них. На основе данной классификации были созданы универсальные стили в QGIS для каждого показателя.

<sup>1</sup> Границы интервальных группировок агрохимических показателей. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npk-kaluga.ru/gruppirovki.htm> (дата обращения: 22.03.2021).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам построения карт агрохимических показателей была выполнена оценка состояния почв и произведен анализ полей «Верхотурово» и «Вышка 1».

Поле «Верхотурово» имеет размеры по площади равные 97,3 га, с посеянной в 2019 году яровой пшеницей. По результатам обследования территории поля было выявлено что участки с наибольшей продуктивностью занимают 32,3 га, участки со средней продуктивностью – 32,6 га и участки с малой продуктивностью занимают 32,4 га.

Приемлемое значение рН пахотного горизонта почвы для яровой пшеницы должно варьироваться в интервале от 6 до 7,5 единиц. В нашем случае площадь участков полей по рН составляет 60 га для интервала от 5 до 6, 9 га для интервала от 6 до 7, и 28,3 га для интервала от 7 до 8.

Согласно полученным результатам, участки с показателем рН от 6 до 8 обладают наибольшей продуктивностью. Исходя из этого, в целях повышения площади плодородных земель необходимо произвести известкование почв, в зонах с низкой кислотностью и продуктивностью. Расчет внесения извести зависит от показателя гидролитической кислотности. Зоны малой продуктивности имеют данный показатель в значениях 4-5 ммоль/100 г. Это определяет необходимость внесения извести с объемом 6-7,5 тонн на гектар. В зонах, где гидролитическая кислотность составляет 3 ммоль/100 г, известь вносится в дозировке 4,5 тонн на гектар. Таким образом, можно повысить уровень плодородия почвы, внося точно известь, составив предварительно карту-задание и посчитать насколько более выгодно известковать все поле равномерно.

Кроме того, можно выявить аналогичную зависимость продуктивности и показателей содержания таких веществ как калий, кальций, сера, фосфор и количество органического вещества. При этом по показателям фосфора и кальция наиболее плодородные участки имеют более низкое содержание, чем в средней зоне. А так как пробы были взяты после полевого сезона, то это подтверждает то, что культура вбирает в себя необходимые микроэлементы. Это предположение основывается на том, что плодородные участки имеют оптимальное соотношение агрохимических и агрофизических характеристик, которые позволяют их усвоить. Участки с низкой продуктивностью, несмотря на внесенные микроэлементы с помощью удобрений, не могут усвоить их, из-за неоптимальных условий.

Таким образом, результатом геопространственного агрохимического анализа поля «Верхотурово» является рекомендация по составлению карт-заданий с внесением извести и удобрений в целях повышения плодородия почв.

Поле «Вышка 1» имеет размеры по площади равные 89 га, с посеянной в 2019 году яровой пшеницей и соей.

Яровая пшеница на поле «Вышка 1» имеет высокую и среднюю продуктивность. В первую очередь выявляется зависимость от органического вещества, чем больше содержания органики в почве (больше 10 %), тем продуктивнее участок выше. Если рассматривать данные участки по микроэлементам, то содержание таких элементов как фосфор, калий, кальций распределены достаточно равномерно. Данные показатели в первую очередь необходимы для роста растений, поэтому их содержание в почве – высокое. Так как пробы отбирались в ноябре, то в 2020 году по данным показателям вносить удобрения, содержащие данные микроэлементы не нужно. Содержание серы и магния, на участках, где посажена пшеница, распределено неравномерно. В зонах, с низким содержанием данных элементов в почве, следует повысить, внося одно из следующих удобрений: разновидности «микровита» для серы и доломитовую муку, «серпинтинит» для магния.

Участки, засаженные соей, наиболее разнообразны по продуктивности. На основе данных ДЗЗ, было замечено, что на территории поля, присутствует антропогенные нарушения такие как дорога к поливной станции и поливная станция, что также негативно сказывается на продуктивности участков в этих зонах. Кроме того, было замечено с помощью полевых выездов, что данная культура хорошо чувствует себя и в зонах с низкой продуктивностью. Анализ основных микроэлементов для роста растительности показал, что содержание их достаточно равномерно. Поле имеет достаточно высокую концентрацию кальция по всему полю, исключение составляет зоны с вымочками, что объясняется большим количеством песка, используемого при их засыпке. Кроме того, особенностью данного поля является микрорельеф. Большое влияние на продуктивность зон оказывает угол наклона склонов (уклон 10°). Данная культура увеличивает свою продуктивность в зависимости от количества полива. Так как соя высевается не грядами, а рядами, то искусственные препятствия воде отсутствуют. Таким образом, было замечено, что на данном участке выделяется зависимость от кругового полива и условий увлажнения культуры, которые совместно с агрохимическими показателями дают наиболее плодотворный результат.

## **ВЫВОДЫ**

В ходе выполнения работ для предприятия были проверены и внедрены технологии точного земледелия. Была произведена инвентаризация земель и обновлены карты земель предприятия, исследованы инструменты сканирования почв, построены две веб-карты, включающие данные по 12 показателям и даны рекомендации по повышению плодородия почв. При выполнении работы использовались открытые программные продукты, такие как QGIS, SAGA, веб-сервис OneSoil. Методика построения тематических карт была основана на результатах исследования почвенного апробирования, 2D-моделирования и материалах ДЗЗ.

В итоге установлено, что инвентаризация сельскохозяйственной территории позволяет оперативно выделять участки с нецелевым использованием в целях устранения нарушений земельного законодательства и своевременного производства культур-технических и мелиоративных мероприятий, также это позволяет автоматизировано обновлять данные о изменении площадей сельскохозяйственных угодий. Кроме того, хранение такой пространственной информации является своеобразным архивом данных или «книгой полей» и позволяет вести учет сельскохозяйственных земель.

Внедрение работы с веб-картами позволило предприятию обширно использовать инструменты веб-картографии при анализе сельскохозяйственных культур, а также автоматизировать процесс создания отчетов.

Разработка и использование методики по составлению тематических карт на основе сканирования полей показала, что существует возможность отказаться от услуг сторонних компаний, не потеряв в качестве картографической продукции, созданной силами предприятия. Кроме того, в ходе работы были выявлены недостатки использования оборудования компании Veris, что привело к смене способа отбора проб и повышению качества выполняемых работ.

Наибольшую эффективность и потенциал показали карты, составленные на основе индекса NDVI и почвенного апробирования. По результатам анализа данных карт возможно выявление закономерностей почвенных показателей. Было выявлено, что зоны с наибольшей продуктивностью имеют меньшее содержание микроэлементов в почве, так как усваиваются растениями. На основе этого вывода были даны рекомендации по повышению плодородия почв на поле «Вышка 1» и «Верхотурово» и составлению карт-

задач. Данное исследование закономерностей показало перспективу использования технологий точного земледелия для расчета прогноза урожайности поля.

Таким образом, все технологии были внедрены на предприятии ООО «Агрофирма КРиММ» и прошли практическую проверку. По результатам двух лет данные технологии позволили эффективно анализировать пространственную информацию, при этом показав перспективу использования данного направления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баич Д.* Геоинформационные системы и точное земледелие: концепция, теория и практика. Геополитика и экогеодинамика регионов, 2019. Т. 5 (15). № 3. С. 51–64.
2. *Бикбулатова Г.Г.* Технология точного земледелия. Омский научный вестник, 2008. № 2(71). С. 45–49.
3. *Брыжко В.Г., Брыжко И.В.* Совершенствование социальной инфраструктуры сельских территорий на основе рационального землепользования. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Экспертно-консалтинговый центр «Профессор», 2019. 200 с.
4. *Брыжко И.В., Шабалина Т.В.* Картографирование полей для целей землеустройства и точного земледелия. Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию основания университета, Пермь, 20 октября 2020 года. – Пермь, 2020. С. 382–384.
5. *Галеев Э.И.* Роль картографии для точного земледелия. Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2019. № 2 (50). С. 21–26. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-21-26.
6. *Ишбулатов М.Г.* Создание электронных карт для ведения точного земледелия. Российский электронный научный журнал. 2018. № 4 (30). С. 206–216. DOI: 10.31563/2308-9644-2018-30-4-206-216.
7. *Рулев А.С.* Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, 2018. № 4 (52). С. 115–122. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-15.
8. *Рунов Б.А.* Новейшие технологии (точное земледелие) – основа развития выгодного сельского хозяйства. Экономика сельского хозяйства России, 2010. № 2. С. 25–34.
9. *Якушев В.П.* Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета "умное сельское хозяйство" России. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2019. № 2. С. 11–15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15.
10. *Якушев В.П., Якушев В.В., Матвеев Д.А.* Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы, Агрофизика. 2017. № 1. С. 51–65.
11. *Mulla D., Khosla R.* Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming. Canadian Agriculture Library, September 2017.

### REFERENCES

1. *Baich D.* Geoinformation systems and precision farming: concept, theory and practice. Geopolitics and ecogeodynamics of regions, 2019. V. 5 (15). No 3. P. 51–64 (in Russian).
2. *Bikbulatova G.G.* Precision farming technology. Omsk Scientific Bulletin, 2008. No 2 (71). P. 45–49 (in Russian)

3. *Bryzhko V.G., Bryzhko I.V.* Improving the social infrastructure of rural areas based on rational land use. Moscow: Limited Liability Company "Expert and Consulting Center" Professor ", 2019. 200 p. (in Russian).
  4. *Bryzhko I.V., Shabalina T.V.* Mapping fields for land management and precision farming. Agrotechnologies of the XXI century: development strategy, technologies and innovations: materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the university foundation, Perm, October 20, 2020. Perm, 2020. P. 382–384 (in Russian).
  5. *Galeev E.I.* The role of cartography for precision agriculture. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University, 2019. No 2 (50). P. 21–26. DOI: 10.31563 / 1684-7628-2019-50-2-21-26 (in Russian).
  6. *Ishbulatov M.G.* Creation of electronic maps for precision farming. Russian electronic scientific journal, 2018. No 4 (30). P. 206–216. DOI: 10.31563 / 2308-9644-2018-30-4-206-216 (in Russian).
  7. *Mulla D., Khosla R.* Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming. Canadian Agriculture Library, September 2017.
  8. *Rulev A.S.* Geoinformation technologies in providing precision farming. Bulletin of the Nizhnevolsky agro-university complex, 2018. No 4 (52). P. 115–122. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-04-15 (in Russian).
  9. *Runov B.A.* The latest technology (precision farming) is the basis for the development of profitable agriculture. Agricultural Economics of Russia, 2010. No 2. P. 25–34 (in Russian).
  10. *Yakushev V.P.* Digital technologies of precision farming in the implementation of the "smart agriculture" priority in Russia. Bulletin of Russian agricultural science, 2019. No 2. P. 11–15. DOI 10.30850 / vrsn / 2019/2 / 11-15 (in Russian).
  11. *Yakushev V.P., Yakushev V.V., Matveenko D.A.* The role and objectives of precision farming in the implementation of the national technological initiative, Agrophysics. 2017. No 1. P. 51–65 (in Russian)
-