



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.51885/1561-4212_2022_3_198
MPHTI 20.19.21

**Ж.К. Шаймарданов¹, Н.А. Куленова², М.А. Саденова³, Б.Х. Шаймарданова⁴,
Н.А. Бейсекенов⁵**

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: ZhShaimardanov@ektu.kz

²E-mail: NKulnova@ektu.kz

³E-mail: MSadenova@ektu.kz*

⁴E-mail: BShaimardanova55@gmail.com

⁵E-mail: BNail@ektu.kz

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

НАҚТЫ ЕГІНШІЛІК ЖҮЙЕСІНІҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ЕНГІЗУ БОЙЫНША ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ОТАНДЫҚ ЖӘНЕ ШЕТЕЛДІК ЖЕТІСТІКТЕРДІ ТАЛДАУ

ANALYSIS OF MODERN DOMESTIC AND FOREIGN ACHIEVEMENTS IN THE INTRODUCTION OF ELEMENTS OF THE PRECISION FARMING SYSTEM

Аннотация. Информационные технологии являются важным ресурсом для влияния на систему устойчивого производства продуктов питания, повышения качества и безопасности продуктов питания, снижения техногенной нагрузки на окружающую среду, сокращения потерь при производстве сельскохозяйственной продукции. На основе комплексного анализа современных программных продуктов геоинформационных систем (ГИС) выделены основные модули технологической схемы интеграции входных данных и их последующей обработки: создание карты урожайности, планирование, в зависимости от погодных условий, сроков сева, точечный мониторинг сельскохозяйственных угодий, проведение статистического анализа данных по сбору урожая и др. Предложена концепция и разработанные отдельные модули отечественного геоинформационного кроссплатформенного приложения «Планшета Агронома» с учетом почвенно-климатических особенностей Восточного Казахстана для интеграции в сельскохозяйственную геоинформационную систему страны.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, точное земледелие, умное сельское хозяйство.

Аңдатпа. Ақпараттық технологиялар тамақ өнімдерінің тұрақты өндірісі жүйесіне әсер етудің, азық-түліктің сапасы мен қауіпсіздігін арттырудың, қоршаған ортаға антропогендік қысымды төмендетудің, ауыл шаруашылығы өнімдерін өндірудегі ысырапты азайтудың маңызды ресурсы болып табылады. Географиялық ақпараттық жүйелердің (ГАЖ) заманауи бағдарламалық өнімдерін кешенді талдау негізінде кіріс мәліметтерін біріктіру және оларды кейіннен өңдеу үшін технологиялық схеманың негізгі модульдері анықталды: өнім картасын құру, ауа райы жағдайына байланысты жоспарлау, егіс мерзімі, жер учаскесі. ауыл шаруашылығы жерлерінің мониторингі, егін жинау туралы мәліметтерге статистикалық талдау жасау және т.б. Еліміздің ауылшаруашылық геоақпараттық жүйесіне интеграциялау үшін Шығыс Қазақстанның топырақ-климаттық

ерекшеліктерін ескере отырып, отандық геоақпараттық кросс-платформалық қосымшаның «Агроном планшеті» тұжырымдамасы мен әзірленген жекелеген модульдері ұсынылды.

Түйін сөздер: геоақпараттық технологиялар, нақты егіншілік, ақылды ауыл шаруашылығы.

Abstract. Information technology is an important resource for influencing the system of sustainable food production, improving food quality and safety, reducing anthropogenic pressure on the environment, and reducing losses in agricultural production. On the basis of the complex analysis of modern geoinformation systems (GIS) software the basic modules of the technological scheme of input data integration and their further processing are marked out: creation of yield maps, planning, depending on weather conditions, terms of sowing, point monitoring of agricultural lands, realization of the statistical analysis of yield data, etc. The concept and developed individual modules of the domestic geoinformation cross-platform application «Agronomist Tablet», taking into account soil and climatic characteristics of Eastern Kazakhstan, for integration into the agricultural geoinformation system of the country are proposed.

Keywords: geo-information technology, precision farming, smart agriculture.

Введение. Повышенный интерес к точному земледелию в последнее десятилетие связан со способностью геоинформационных систем (ГИС) анализировать и визуализировать сельскохозяйственную среду и рабочие процессы в реальном времени. Преимущества активного внедрения ГИС связаны в первую очередь с перспективой увеличения урожайности и / или повышения рентабельности производства для фермера. Внедрение точного земледелия стало возможным благодаря развитию сенсорной технологии в сочетании с процедурами для привязки отображаемых переменных к конкретному полю с характеристиками почвы, посевов, графиком внесения удобрений, гербицидов и пестицидов и другими данными. Известно, что состояние и качество почвы является ключевым фактором, влияющим на урожайность сельскохозяйственных культур. Увеличить производительность сельского хозяйства можно двумя способами. Первый способ (интенсификация) заключается в повышении урожайности на единицу площади. Второй (экстенсификация) – за счет увеличения посевных площадей. Например, за счет применения элементов точного земледелия (ТЗ) мировое производство зерновых с 1961 по 2014 гг. увеличилось более чем в два раза, при этом под зерновые было использовано всего на 16 % больше земли [1].

Министерство сельского хозяйства США сообщило, что в среднем операционная прибыль кукурузной фермы для тех, кто внедряет точное земледелие, на 163 доллара с гектара выше, чем для тех, кто не внедряет технологию, с учетом того, что самые высокие показатели внедрения для трех технологий (компьютерное картографирование, руководство и оборудование с переменной нормой внесения) находились в хозяйствах площадью более 1500 га [2]. Большая часть задач сельского хозяйства состоит из повторяющихся и стандартизированных действий, то есть пригодна для использования робототехники. Например, программируемые дроны компаний DroneSeed и BioCarbon умеют правильно сеять семена. Авторы [3] выполнили корреляционный и регрессионный анализы и установили линейную зависимость между анализом надземной биомассы (AGB) на квадратный метр и высотой растений.

В Канаде использование базовых элементов точного земледелия доходит до 60...80 %. В настоящее время в Европе около 80 % сельскохозяйственной техники продается со встроенными навигационными системами. Однако количество подключений составляет всего лишь 25...30 %. Это объясняется меньшей долей крупных фермерских хозяйств по сравнению с США, а также наличием большого количества «семейных» преемственных бизнесов, которые используют в своем хозяйстве устаревшую технику [4]. В странах Европы (Великобритания, Дания, Франция, Германия) средний размер фермы составляет 50...90 га. В США, Канаде и Австралии средний размер фермы превышает 100 га. По

оценкам экономистов, внедрение такого элемента точного земледелия, как система автопилотирования сельскохозяйственной техники, может быть рентабельным на сельхозпредприятиях с площадью пахотных земель 100...300 га и больше [5]. По данным United States Geological Survey, Казахстан входит в топ-20 крупнейших земельных резервов планеты [6]. По значению доли площади пахотных земель к общей территории страны можно сделать вывод, что ключевые земельные ресурсы планеты сосредоточены в основном в Европе и Южной Азии. Казахстан, занимающий 9-е место в мире по общей площади территории, имеет всего лишь 9,6 % пахотных земель. Внедрение элементов ТЗ позволило многим странам развить сельскохозяйственную отрасль и снизить зависимость от импорта продовольствия [7], [8].

Целью данной работы является анализ существующих технологий в точном земледелии и обоснование основных эффективных программных модулей, основанных на интеграции метеорологических показателей, спутниковых измерений спектральных параметров сельскохозяйственных культур, статистических данных об урожайности культур за определенный период и спутниковых снимков, позволяющих создавать динамические прогнозные модели, направленные на решение задачи управления технологическими процессами. Данные процессы предлагается осуществлять с помощью разрабатываемой авторами уникальной инновационной системы «Многоуровневая облачная интеллектуальная сельскохозяйственная система дистанционного зондирования Земли» (МОИСС ДЗЗ) для интеграции в сельскохозяйственную ГИС Казахстана.

Литературный обзор. Сельское хозяйство в Казахстане после добывающей промышленности следующая ключевая отрасль казахстанской экономики. Доля сельскохозяйственной отрасли в валовом внутреннем продукте составляет около 6 %, занятость экономически активного населения более 15 % и свыше 40 % всего населения страны проживают в сельских местностях [9]. Это свидетельствует о важной роли сельскохозяйственной отрасли в социально-экономической и политической стабильности в стране. Природные и климатические условия Казахстана характеризуются как резко континентальные, из-за них производственные процессы аграрного сектора сопряжены с непредвиденными и часто неконтролируемыми природными рисками, в числе которых можно назвать засуху, ветровую эрозию, весенние и осенние заморозки. Зерновые и бобовые культуры занимают крупную долю в общем объеме посевной площади в Казахстане. Две трети общей посевной площади приходятся только на одну пшеницу, 8 % занимают другие виды зерновых и зернобобовых культур, 17 % отводятся под кормовые и 10 % – на масличные культуры. Около 80 % территории страны характеризуются как сельскохозяйственные земли, что составляет более 200 миллионов га. Согласно официальной статистике, из этой территории лишь 40 % (96 миллионов га) используются в сельскохозяйственном обороте. Как показывает опыт развитых стран, таких как США, Канада, Австралия, Украина цифровые технологии кардинально меняют эту традиционную отрасль. Современные ГИС и большие данные, получаемые из различных источников, включая Интернет вещей, способствуют получению высоких урожаев без истощения почвы, причем с рациональным использованием земельных ресурсов.

По прогнозам консалтинговой компании Tractica (рис. 1), к 2024 г. поставки сельскохозяйственных роботов в мире вырастут почти до 600 тысяч единиц (примерно в 18,5 раза по сравнению с 2015 г.) [10]. Эти данные свидетельствуют о растущей популярности внедрения элементов ТЗ.

Вопрос оценки уровня состояния или готовности той или иной страны к внедрению элементов ТЗ невозможен без изучения динамики урожайности культур, темпов

воспроизводства технической базы, рынка техники и др. На рис. 2 показана обеспеченность основными видами техники в ряде стран с 2013 по 2016 гг. Например, обеспеченность тракторами на 1000 гектар пашни в Казахстане почти в 13 раз меньше, чем в США и в 17 раз меньше, чем странах Европы. По сравнению с Россией количество тракторов в Казахстане на 1000 гектар пашни больше в 3 раза [11].

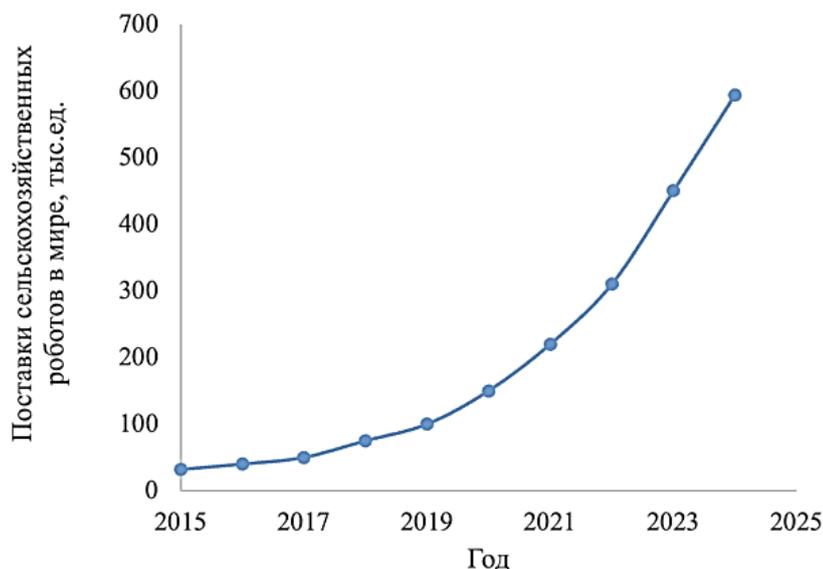


Рисунок 1. Поставки сельскохозяйственных роботов в мире [10]

Из всех сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Республике Казахстан, пшеница является доминирующей. Казахстан занимает одно из последних мест в мире по урожайности пшеницы – 0,94 т/га (рис. 3). Мировыми лидерами по урожайности пшеницы в 2020/21 гг. являются: Германия – 7,53 т/га, Франция – 6,8 т/га, Египет – 6,4 т/га, Китай – 5,7 т/га [12].

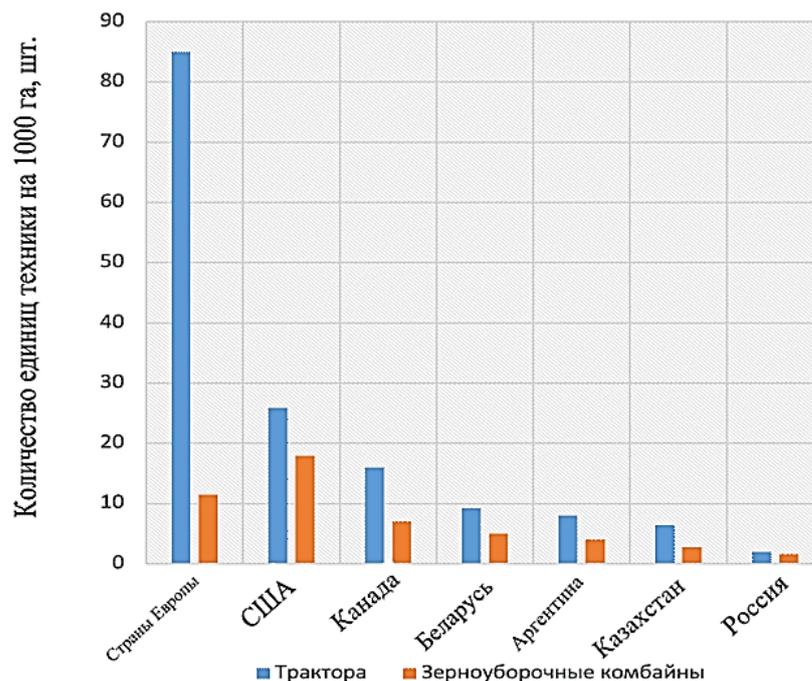


Рисунок 2. Обеспеченность основными видами техники в ряде стран с 2013 по 2016 гг.

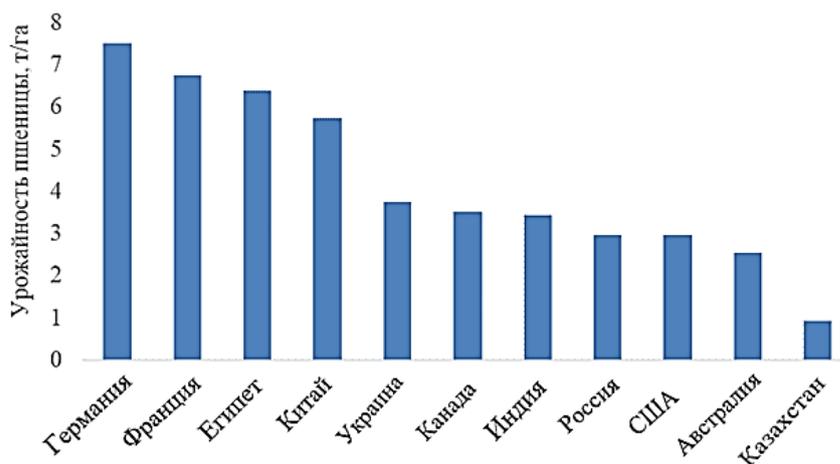


Рисунок 3. Урожайность пшеницы в ряде стран мира за 2020-2021 гг. [12]

Авторы [13] предложили два индекса для оценки потенциала страны на перспективность использования элементов точного земледелия (рис. 4 и 5). Первый – пространственный индекс – характеризует величину площади пашни на одного работающего. При этом, чем больше значение этого индекса, тем выше потенциал развития точного земледелия в той или иной стране. Второй – экологический индекс – характеризует степень использования удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур на один гектар пашни. Величина данного индекса свидетельствует о состоянии окружающей среды. Однако это не означает, что чем меньше вносить удобрений, тем лучше. Вопрос стоит о дифференцированном подходе внесения удобрений, с учетом агрохимических данных.

Из данных, представленных на рис. 4, следует, что основными лидерами по применению технологий ТЗ являются Канада, Австралия, США. Казахстан по значению пространственного индекса находится на 9-ом месте после России и Финляндии, т.к. за последние 25 лет значительно сократились площади под посевы (более чем на 10 млн. гектар). Нужно отметить, что данный индекс может иметь небольшую тенденцию к возрастанию, т.к. в последние годы количество работающих в крестьянских хозяйствах сокращается [14], [15].

По использованию минеральных удобрений (рис. 5) Казахстан занимает последнее место – 2,8 кг/га. Лидерами считаются страны Евросоюза и США, где на 1 гектар пашни приходится от 100 до 230 кг удобрений. Ключевую роль в снижении энергоресурсов стали играть технологии, связанные с уменьшением затрат на обработку почвы, так называемая нулевая технология – No-till. В настоящее время эта технология получила довольно широкое распространение в мире, особенно в странах с высокой культурой земледелия. По некоторым данным нулевая обработка земли применяется на площади более 94 миллиона гектар. В аграрном секторе таких стран, как США, Канада, Аргентина и Бразилия под технологию No-till отдано 20,8 %, 57 %, 55,2 % и 56,9 % площадей соответственно [16]-[19].

Канадскими исследователями в ходе экспериментов доказано, что при применении технологии нулевой обработки почвы уменьшается выброс углекислого газа в атмосферу в 5,7 раз по сравнению с традиционной механической обработкой земли плугом [20]. Согласно источникам [15] и [21], в Казахстане технология No-till применяется примерно на 10 % обрабатываемых земель.

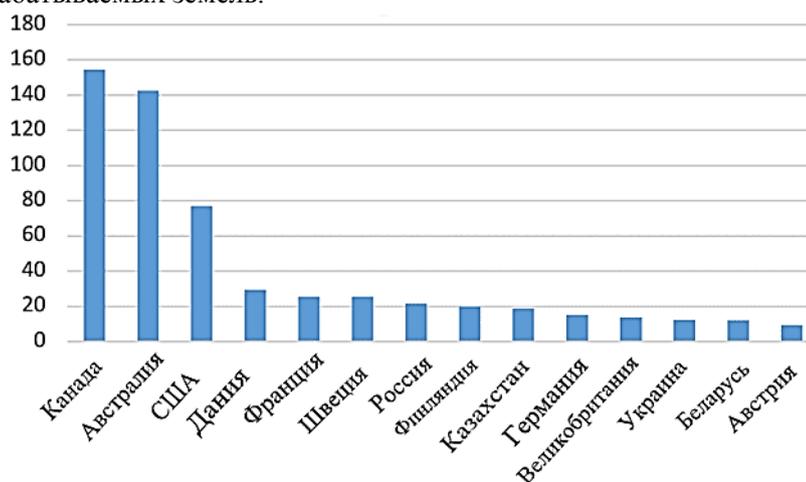


Рисунок 4. Значения пространственного индекса для оценки возможности внедрения технологий точного земледелия в ряде стран [14]

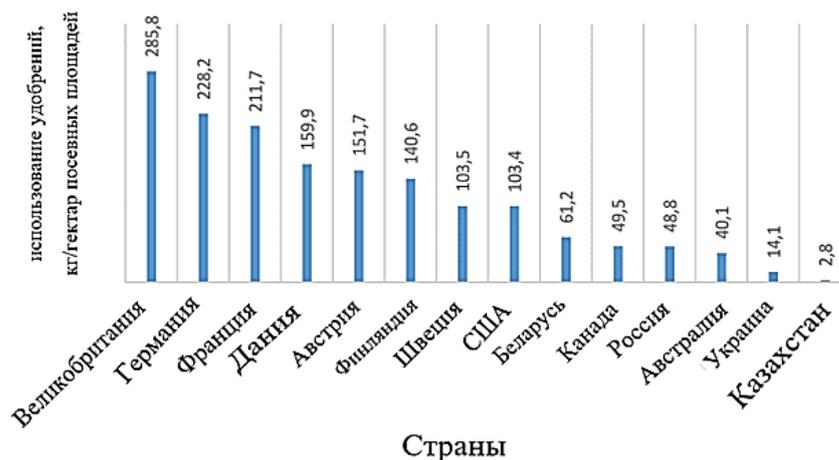


Рисунок 5. Значения экологического индекса для оценки возможности внедрения технологий точного земледелия в ряде стран (кг/га) [14]

В настоящее время получила распространение еще одна ресурсосберегающая технология – Strip-till, позволяющая значительно сократить расходы на топливо и удобрения и увеличить урожайность. При этом поле обрабатывается и засеивается только полосами – каждый вспаханный ряд имеет ширину около 20...25 см. Вся остальная площадь остается неспаханной. Наибольший опыт применения технологии Strip-till накоплен американскими фермерами при выращивании пропашных культур: расходы на минеральные удобрения и средства защиты растений снижаются на 30...40 %, урожайность многих культур увеличивается в среднем на 15...20 % [22]-[24].

Известные геоинформационные технологии зарубежных стран – Cropio, OneSoil, ExactFarming. Их вычислительная мощность позволяет решать различные практические задачи, возникающие при реализации реальных систем земледелия. Главный недостаток этих программ в том, что они не адаптированы к почвенно-климатическим условиям Казахстана и не оптимизированы под наш резко континентальный климат. Для решения этой задачи необходимо разработать отечественную геоинформационную платформу, учитывающую все особенности почвенно-климатических и аграрных условий Казахстана. С учетом современного состояния отечественного сельского хозяйства и ускорения процессов изменения внешней-внутренней среды особенно актуальна цифровая трансформация сельскохозяйственного производства, так как она является важным источником обеспечения значительного экономического роста. Сравнительный анализ по основным характеристикам зарубежных геоинформационных систем Cropio, OneSoil, ExactFarming и отечественной Egistic выявил следующие отличительные особенности каждой системы:

– Cropio (Швейцария) – современная система дистанционного контроля с/х угодий. Качества бренда: простота (весь функционал в одной системе, работа приложения офлайн); функционал (2 версии: мобильное и веб-приложение, которое имеет расширенный функционал по прогнозированию урожая, есть возможность исследования истории поля за последние 10 лет); преимущества (гибкая настройка датчиков, онлайн трансляции, автоматические оповещения, учет и план агроработ). Внешний облик геоинформационного портала Cropio представлен на рис. 6.

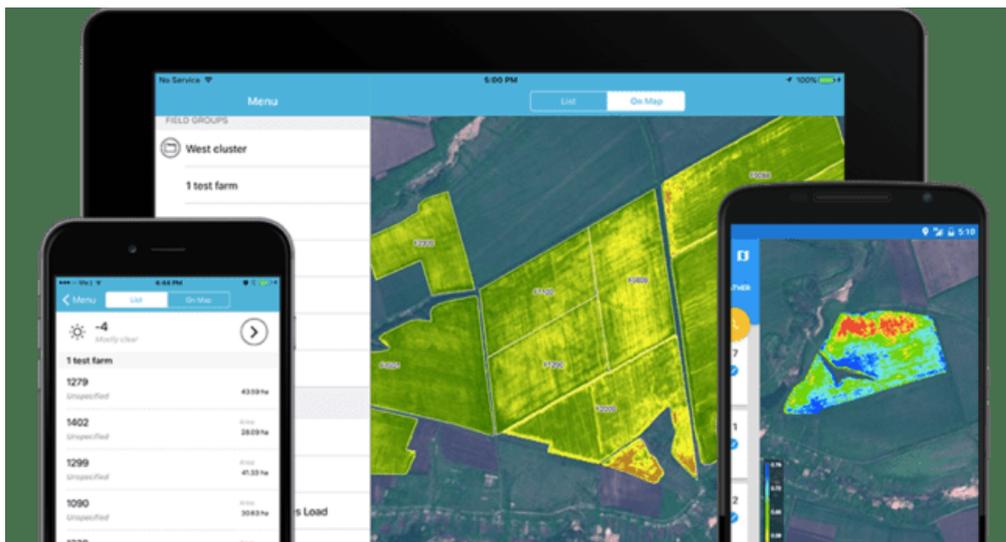


Рисунок 6. Геоинформационный портал Storio

– OneSoil Scouting (Беларусь) – цифровая платформа для эффективного и экологичного сельского хозяйства. Качества бренда: доступность и удобство (простота и понятность в использовании + бесплатно); функционал (2 версии: веб-версия и мобильная версия, которая имеет базовый функционал, веб-версия имеет расширенный функционал); преимущества (экономическая выгода, простота, карты NDVI). Внешний вид геоинформационного портала OneSoil представлен на рис. 7.

– ExactFarming (США) – платформа, позволяющая участникам эффективно управлять агробизнесом, своевременно принимать решения и снижать риски. Качества бренда: удобство (возможность автоматической выработки готового решения); функционал (предельно ясный таргетинг по аудитории: сельхозпроизводители, производители семян и удобрений, банки и страховые компании); преимущества (экономические выгоды, возможность попробовать платформу бесплатно и запросить временную версию). Внешний вид геоинформационного портала ExactFarming представлен на рис. 8.

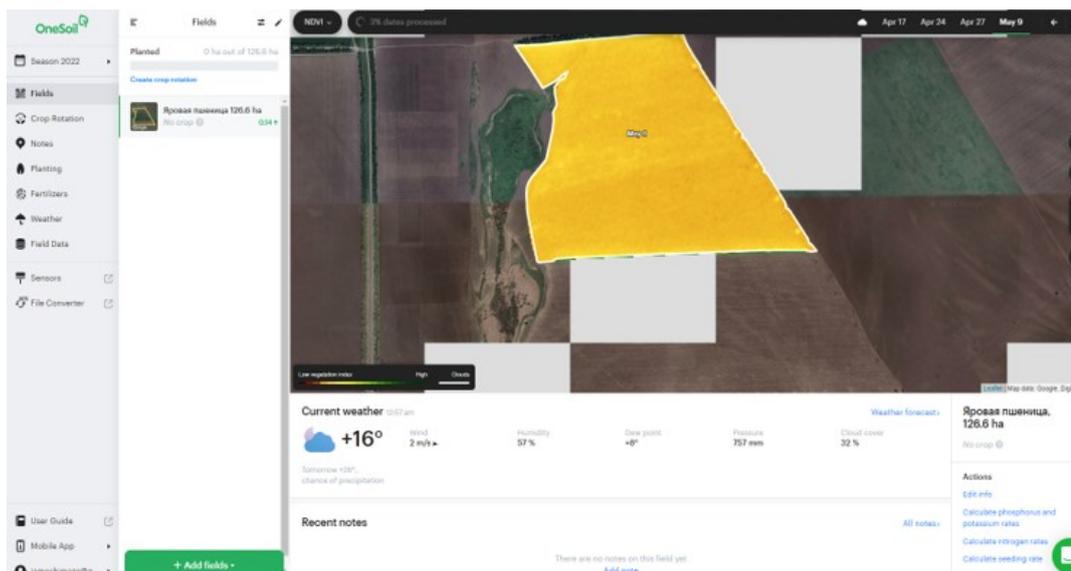


Рисунок 7. Геоинформационный портал OneSoil

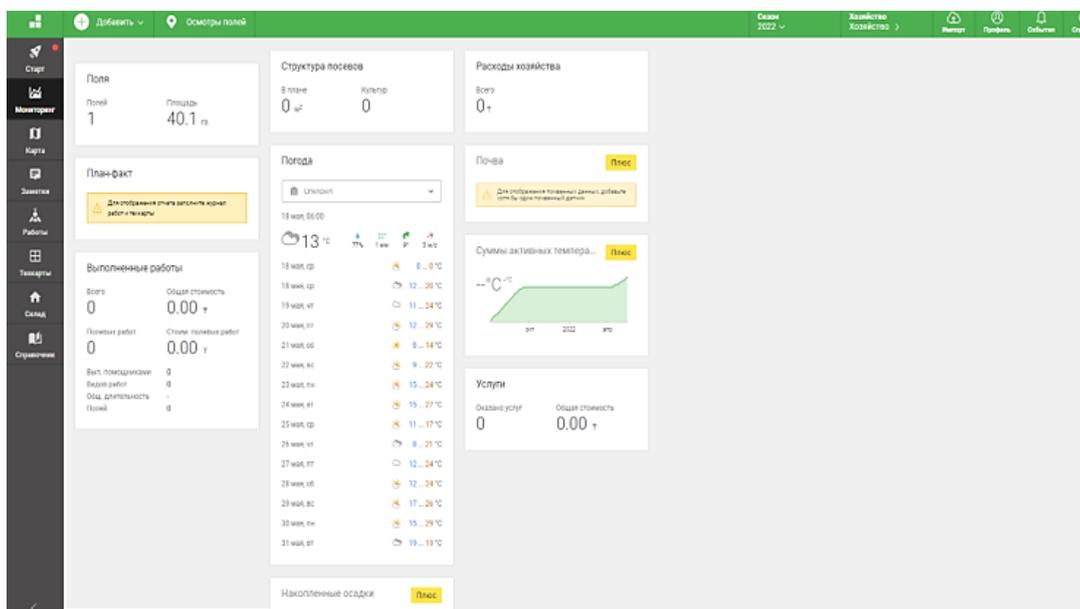


Рисунок 8. Геоинформационный портал ExactFarming

– Egistic (Казахстан) – Startup-платформа, предоставляющая комплексное решение для агрономов или владельцев агробизнеса, которое позволяет получать максимальную выгоду от земледелия при минимальных затратах. Качества бренда: оперативность (возможность моментальной обработки информации в один клик); функционал (предельно ясный таргетинг по аудитории: сельхозпроизводители, производители семян и удобрений, банки и страховые компании); преимущества (экономические выгоды, возможность попробовать платформу бесплатно и запросить временную версию). Внешний вид геоинформационного портала Egistic представлен на рис. 9.

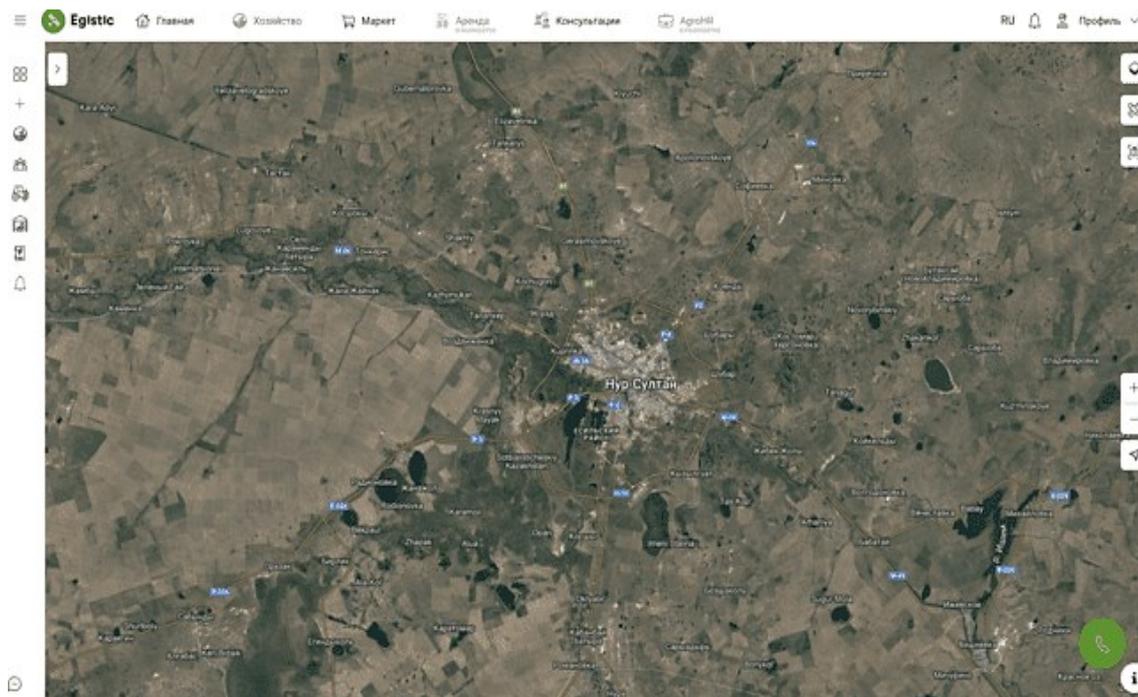


Рисунок 9. Геоинформационный портал Egistic

Таким образом, задачей данного исследования является проведение сравнительного анализа современных достижений в точном земледелии, исходя из которых необходимо разработать вариант отечественной кроссплатформы умного сельского хозяйства.

Материалы и методы исследования. В настоящей работе изучены и проанализированы программные и аппаратные методы различных приложений для разработки всех инструментов и функционала нового отечественного программного продукта – «Планшет Агронома». В результате обзора выбраны следующие инструменты:

- библиотека JavaScript - ReactJS. Данная библиотека с открытым исходным кодом предназначена для разработки пользовательских интерфейсов. Основными преимуществами данной библиотеки являются высокая скорость, доступность и масштабируемость;
- язык разметки гипертекста HTML и каскадные таблицы стилей CSS;
- программная платформа Node.js, используемая в качестве серверной части приложения.

Следующим шагом является разработка модульных кластеров входных и выходных данных для многоуровневой геоинформационной платформы. К ним относятся: данные, введенные пользователем вручную, содержащие сведения о сельскохозяйственных полях, проведенных на них работах, урожайности и севооборотах; данные, полученные с помощью сторонних API-сервисов.

Используемые API сервисы:

- OpenWeatherMap – онлайн-сервис, предоставляющий API для доступа к текущим погодным данным, прогнозам и историческим данным. В качестве источников данных используются официальные метеорологические службы, данные с метеостанций аэропортов и данные с частных метеостанций. Информация обрабатывается OpenWeatherMap, после чего на основе данных строится прогноз погоды и карты погоды, например, карты облачности и осадков. На основе корреляции двух метеорологических

служб Ventusky и Windy модуль предоставляет более точные метеорологические данные для определенной территории. Эти метеорологические показатели могут быть использованы при планировании и проведении полевых работ;

- SentinelHub – онлайн-сервис, предоставляющий последние спутниковые изображения со всех спутников Sentinel: радарные изображения Sentinel-1, оптические многоспектральные изображения Sentinel-2, а также данные о земной поверхности Sentinel-3 для совместного анализа окружающей среды с данными об атмосфере и качестве воздуха в Sentinel-5P;

- сервис поиска и получения спутниковых изображений с сайта EO Browser, который находится в открытом доступе.

Исследование по наземному наблюдению для апробации, а также разработки портала проводились в двух экспериментальных участках в Восточном Казахстане. Данное исследование включает в себя: сбор метео данных из открытых источников API, сбор спектральных индексов, полученных с помощью методов дистанционного зондирования земель (ДЗЗ) на базе открытых источников. В результате чего все собранные данные консолидируются в базу данных для разработки и построения многофакторных рекомендаций фермерам.

В исследовании использовались результаты обработки спутниковых данных, полученных с помощью Leaflet API и Sentinel hub API, за период с 2017 по 2021 гг., на основе которых были получены еженедельные значения индекса NDVI за календарный год, рассчитанные по маске пахотных земель. По полученной информации проводится синтез данных с учетом почвенно-климатических и сельскохозяйственных условий с использованием языка программирования Python в среде разработки Jupyter Notebook с применением дополнительных программных пакетов matplotlib, pandas, numpy. В результате пользователь получает выходную информацию, включая рекомендации по повышению плодородия почвы и экономической эффективности. Концептуальная архитектура, содержащая в себе все вышеперечисленные модули, а также инструменты ГИС, представлены в рис. 10.

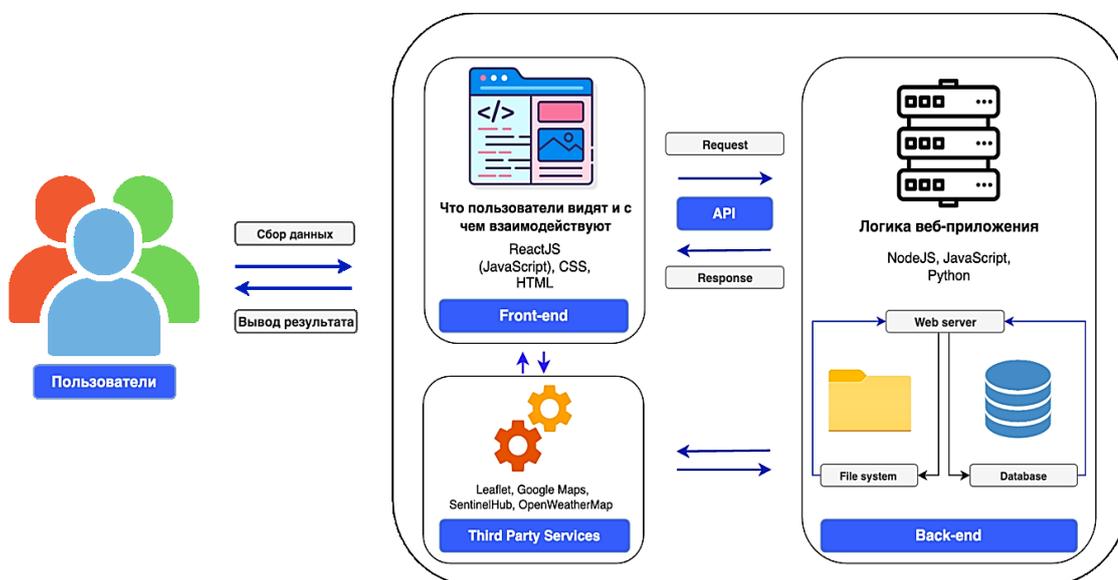


Рисунок 10. Концептуальная архитектура «Планшета Агронома»

Заключение. Повышение эффективности управления сельскохозяйственным предприятием с помощью информационных технологий способствует поддержанию конкурентоспособности на рынке. Сегодня современные приложения являются эффективным помощником агронома, инженера или руководителя фермы, помогая повысить эффективность и рентабельность сельскохозяйственного производства. На основе анализа современных достижений по внедрению элементов системы точного земледелия разработана концептуальная архитектура кроссплатформенного приложения «Планшет Агронома» с учетом почвенно-климатических особенностей Казахстана. «Планшет Агронома» направлен на повышение эффективности сельскохозяйственного производства и будет способствовать увеличению производительности труда, принятию эффективных управленческих решений при повышении уровня устойчивости и конкурентоспособности агробизнеса.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках реализации проекта BR10965186 «Разработка и внедрение геоинформационного обеспечения «умного» сельского хозяйства для улучшения управления агропромышленным комплексом», финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Список литературы

1. Teodor C., Bran M., Strat V. A. The Influence of Land Structure on Performance of Wheat Production. The Case of the Romanian Counties – Challenging the Changes, March 2018, Economic computation and economic cybernetics studies and research / Academy of Economic Studies 52(1/2018):59-76. – DOI: 10.24818/18423264/52.1.18.04.
2. Saiz-Rubio V., Rovira-Más F. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy* 2020, 10, 207.
3. Panday U.S., Shrestha N., Maharjan S., Pratihast A., Shahnawaz K., Shrestha K.L., Aryal J. Correlating the Plant Height of Wheat with Above-Ground Biomass and Crop Yield Using Drone Imagery and Crop Surface Model, A Case Study from Nepal. *Drones* 2020, 4, 28. ht
4. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольяпин В.Я., Голубев И.Г. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2019. – 316 с.
5. EU agricultural outlook for markets and income, 2018-2030. European Commission. – DG Agriculture and Rural Development, Brussels. – 125 с.
6. Пахотные земли стран мира. 22.07.2022. – URL: <https://komyza.com/zemlya-klyuchevojj-resurs-agrarnom-budushh/>.
7. Анищенко А.Н., Шутьков А.А. Agriculture 4.0 как перспективная модель научно – технологического развития аграрного сектора современной России //Продовольственная политика и безопасность. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 129-140.
8. Алтухов А.И., Дудин М.Н., Анищенко А.Н. Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития агропромышленного сектора России //Продовольственная политика и безопасность. – 2020. – Т. 7, № 2. – С. 81-95.
9. Panova G.G., Kanash E.V., Semenov K.N., Charykov N.A., Khomyakov Yu.V., Anikina L.M., Artem'eva A.M., Kornukhin D.L., Vertebnyi V.E., Sinyavina N.G., Udalova O.R., Kulenova N.A. //Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya. – Vol. 53. – Issue 1, 2018. –P. 38-49. – DOI:10.15389/agrobiology.2018.1.38eng.
10. Иванов А., Моисеев И. Сельское хозяйство по-умному. Приложение к журналу CONTROL ENGINEERING РОССИЯ. 09.06.2022. – URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/iot_35.pdf.
11. Полухин А.А. Оценка технологического развития сельского хозяйства: Технический аспект // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. – 2017. – Vol. 6 (66). – P. 23 – 36.
12. ТОП-10 стран-производителей пшеницы в 2020/21. 09.06.2022. – URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-stran-proizvoditelej-pshenitsy-v-202021-mg>.
13. McBratney A., Whelan B., Ancev T. Future Directions of Precision Agriculture // Precision Agriculture. – 2005. – V.6. – P. 7-23.
14. Якушев В.П., Якушев В.В. Перспективы «Умного сельского хозяйства» в России // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88, № 8. – С. 773 – 784.

15. Kazinform. 19.08.2022. – URL: https://www.inform.kz/ru/v-kazahstane-znachitel-no-sokratilis-ploschadi-pahotnyh-zemel_a3078630.
16. Aguiar T.R. Jr., Raseira K., Parron L.M., Brito A.G., Ferreira M.T. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of crops practices // *Agricultural Water Management*. – 2015. – № 149. – P. 74-80.
17. Чекаев Н.П., Кузнецов А.Ю. Технология – путь к реальным результатам // *Продовольственная политика и безопасность*. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 7-18.
18. Техника для обработки почвы. 19.08.2022. – URL: <https://agroimpuls.com.ua/ru/blog/osoblivosti-obrobki-gruntu-za-nulovoyu-tehnologiyu>.
19. Плюсы и минусы щадящей обработки почвы. 15.08.2022. – URL: <https://alfagro.com.ua/plyusy-i-minusy-tehnologii-shhadyashhej-obrabotki-pochvy>.
20. Опыт Канады в No-till. 14.08.2022. – URL: <https://world-nan.kz/blogs/opyt-kanady-v-no-till-cto-perenyat-kazahstanskim-fermeram>.
21. Нулевая технология: ресурсосберегающее земледелие в Казахстане. 25.10.2021. – URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/results/2013/08/08/no-till-climate-smart-agriculture-solution-for-kazakhstan/>.
22. Технология Strip-till. 14.08.2022. – URL: <https://www.doragromash.ru/info/articles/tehnologiya-strip-till-istoriya-vozniknoveniya> (дата обращения 15.10.2021).
23. McBratney A., Whelan B., Ancev T. Future directions of Precision Agriculture // *Precision Agriculture*. – 2005. – V. 6, № 1. – P. 7-23.
24. Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Павлов А.В. Комбинированная технология и агрегат для полосовой обработки почвы // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2021. – №1 (101). – С. 47-51.

References

1. Teodor C., Bran M., Strat V. A. The Influence of Land Structure on Performance of Wheat Production. The Case of the Romanian Counties – Challenging the Changes, March 2018, Economic computation and economic cybernetics studies and research / *Academy of Economic Studies* 52(1/2018):59-76. – DOI: 10.24818/18423264/52.1.18.04.
2. Saiz-Rubio V., Rovira-Más F. From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy* 2020, 10, 207. – <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
3. Panday U.S., Shrestha N., Maharjan S., Pratihast A., Shah Nawaz K., Shrestha K.L., Aryal J. Correlating the Plant Height of Wheat with Above-Ground Biomass and Crop Yield Using Drone Imagery and Crop Surface Model, A Case Study from Nepal. *Drones* 2020, 4, 28. – <https://doi.org/10.3390/drones4030028>.
4. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Buklagin D.S., Gol'tyapin V.YA., Golubev I.G. Cifrovoe sel'skoe hozyajstvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya. FGBNU «Rosinformagrotekh». – M., 2019. – 316 s.
5. EU agricultural outlook for markets and income, 2018-2030. European Commission. – DG Agriculture and Rural Development, Brussels. – 125 c.
6. Pahotnye zemli stran mira. 22.07.2022. – URL: <https://komyza.com/zemlya-klyuchevojj-resurs-agrarnom-budushh/>.
7. Anishchenko A.N., SHut'kov A.A. Agriculture 4.0 kak perspektivnaya model' nauchno – tekhnologicheskogo razvitiya agrarnogo sektora sovremennoj Rossii // *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 129-140.
8. Altuhov A.I., Dudin M.N., Anishchenko A.N. Cifrovaya transformaciya kak tekhnologicheskij proryv i perekhod na novyj uroven' razvitiya agropromyshlennogo sektora Rossii // *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*. – 2020. – Т. 7, № 2. – С. 81-95.
9. Panova G.G., Kanash E.V., Semenov K.N., Charykov N.A., Khomyakov Yu.V., Anikina L.M., Artem'eva A.M., Kornukhin D.L., Vertebnyi V.E., Sinyavina N.G., Udalova O.R., Kulenova N.A. // *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. – Vol. 53. – Issue 1, 2018. – P. 38-49. – DOI:10.15389/agrobiology.2018.1.38eng.
10. Ivanov A., Moiseev I. Sel'skoe hozyajstvo po-umnomu. Prilozhenie k zhurnalul CONTROL ENGINEERING ROSSIYA 2017. – URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/iot_35.pdf.
11. Poluhin A.A. Ocenka tekhnologicheskogo razvitiya sel'skogo hozyajstva: Tekhnicheskij aspekt // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. – 2017. – Vol. 6 (66). – R. 23-36.
12. TOP-10 stran-proizvoditelej pshenicy v 2020/21. – URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-stran-proizvoditelej-pshenitsy-v-202021-mg>.

13. McBratney A., Whelan B., Ancev T. Future Directions of Precision Agriculture // Precision Agriculture. – 2005. – V. 6. – 7-23.
 14. Yakushev V.P., YAKushev V.V. Perspektivy «Umnogo sel'skogo hozyajstva» v Rossii // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. – 2018. – T. 88, № 8. – S. 773-784.
 15. Kazinform. – URL: https://www.inform.kz/ru/v-kazahstane-znachitel-no-sokratilis-ploschadi-pahotnyh-zemel_a3078630.
 16. Aguiar T.R. Jr., Rasera K., Parron L.M., Brito A.G., Ferreira M.T. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of no-till crops practices // Agricultural Water Management. – 2015. – № 149. – P. 74-80.
 17. Chekaev N.P., Kuznecov A.YU. Tekhnologiya No – till put' k real'nym rezul'tatam // Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'. – 2015. – T. 2, № 1. – S. 7-18.
 18. Tekhnika dlya obrabotki pochvy No – till. – URL: <https://agroimpuls.com.ua/ru/blog/osoblivosti-obrobki-gruntu-za-nulovoyu-tehnologiyu-no-till>.
 19. Plyusy i minusy shchadyashchej obrabotki pochvy No – till. – URL: <https://alfagro.com.ua/plyusy-i-minusy-tehnologii-shhadyashhej-obrabotki-pochvy-no-till>.
 20. Opyt Kanady v No-till. – URL: <https://world-nan.kz/blogs/opyt-kanady-v-no-till-cto-perenyat-kazahstanskim-fermeram>.
 21. Nulevaya tekhnologiya: resursosbergayushchee zemledelie v Kazahstane. – URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/results/2013/08/08/no-till-climate-smart-agriculture-solution-for-kazakhstan>.
 22. Tekhnologiya Strip-till. – URL: <https://www.doragromash.ru/info/articles/tekhnologiya-strip-till-istoriya-vozniknoveniya>.
 23. McBratney A., Whelan B., Ancev T. Future directions of Precision Agriculture // Precision Agriculture. – 2005. – V. 6, № 1. – P. 7-23.
 24. Bojkov V.M., Starcev S.V., Vorotnikov I.L., Pavlov A.V. Kombinirovannaya tekhnologiya i agregat dlya polosovoj obrabotki pochvy // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2021. – №1 (101). – S. 47-51.
-
-