

Моделирование системы мониторинга аграрных экологических систем на основе больших данных

Д. М. Назаров¹✉, В. В. Сулимин¹, В. В. Шведов¹

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: slup20005@mail.ru

Аннотация. С учетом постоянного роста мирового населения и увеличения потребности в продуктах питания эффективный мониторинг аграрных экологических систем становится все более важным. Это связано с необходимостью оптимизировать использование ресурсов, повысить урожайность и обеспечить устойчивость аграрных систем в условиях изменяющегося климата и возрастающего антропогенного воздействия. Применение таких технологий позволяет получить более точные и объективные данные о состоянии аграрных экосистем, что, в свою очередь, способствует принятию обоснованных решений, направленных на улучшение управления аграрными экосистемами и оптимизацию сельскохозяйственных практик. **Цель.** В данной научной работе целью является моделирование мониторинга аграрных экологических систем, разработанной на основе использования больших данных (Big Data). **Методы.** Авторы статьи анализируют существующие методы мониторинга агроэкосистем и обосновывают необходимость создания нового подхода, который улучшит качество и точность мониторинговых результатов. Основной акцент сделан на применение методов анализа больших данных и машинного обучения для получения более точной и объективной информации о состоянии аграрных экосистем. **Научная новизна.** Авторами проведено моделирование систем мониторинга аграрных экологических систем, основанное на методологии больших данных. Это представляет собой переход от классических подходов к более высокоэффективным и точным, что является значительным шагом вперед в данной области исследований. **Результаты.** Новая модель мониторинга аграрных экологических систем предоставляет возможности для более точного и объективного изучения и оценки состояния агроэкосистем. Она также позволяет принимать обоснованные решения на основе полученной информации, что является важным инструментом для устойчивого развития аграрного сектора. В заключение авторы обсуждают возможности дальнейшего усовершенствования модели и ее применения в различных сферах аграрной деятельности.

Ключевые слова: большие данные, агропромышленный комплекс, аграрные экологические системы.

Для цитирования: Назаров Д. М., Сулимин В. В., Шведов В. В. Моделирование системы мониторинга аграрных экологических систем на основе больших данных // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 11. С. 138–150. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-138-150.

Дата поступления статьи: 03.05.2023, **дата рецензирования:** 16.06.2023, **дата принятия:** 22.09.2023.

Modeling a monitoring system for agricultural ecological systems based on Big Data

D. M. Nazarov¹✉, V. V. Sulimin¹, V. V. Shvedov¹

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: slup20005@mail.ru

Abstract. Due to population growth and food demand, the monitoring of agrarian ecological systems is becoming increasingly important. This is due to the expected use of resources, increased yields and the impacts of agricultural systems in the face of climate change and increasing anthropogenic pressure. The use of such technologies makes it possible to obtain more accurate and objective data on the state of agricultural ecosystems, which, in turn, is based on decisions made aimed at improving the management of agricultural ecosystems and optimizing agricultural practices. **Purpose.** In this scientific paper, the purpose is to present the results of the assessment of agricultural ecological systems, developed on the basis of the use of Big Data. **Methods.** The authors of the article

analyze the methods of monitoring agroecosystems and justify a new observation that will improve the quality and control of monitoring results. The main emphasis is placed on the use of big data analysis and machine learning methods to obtain more accurate and objective information about the state of agricultural ecosystems. **Scientific novelty.** The authors have carried out modeling of monitoring systems for agrarian ecological systems based on big data methodology. This represents a transition from classical approaches to more efficient and accurate ones, which is a significant step forward in this field of research. **Results.** The new model for monitoring agrarian ecological systems provides opportunities for a more accurate and objective study and assessment of the state of agroecosystems. It also allows you to make informed decisions based on the information received, which is an important guarantee for the sustainable development of the agricultural sector. In conclusion, the authors consider the possibilities for improving efficiency and its application models in various areas of agricultural activity.

Keywords: Big Data, agro-industrial complex, agrarian ecological systems.

For citation: Nazarov D. M., Sulimin V. V., Shvedov V. V. Modelirovaniye sistemy monitoringa agrarnykh ekologicheskikh sistem na osnove bol'shikh dannykh [Modeling a monitoring system for agricultural ecological systems based on Big Data] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 11. Pp. 138–150. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-138-150. (In Russian.)

Date of paper submission: 03.05.2023, **date of review:** 16.06.2023, **date of acceptance:** 22.09.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Мониторинг и оценка состояния природных экосистем в первую очередь предполагают создание и использование систем наблюдения, данные которых служат основой для анализа и оценки состояния этих экосистем. Важным аспектом оценки является анализ количественных показателей экосистем, которые обладают динамичными свойствами и изменяются под воздействием различных внешних факторов (специфика факторов зависит от типа экосистемы).

В случае экосистем сельского хозяйства такие системы обычно называют агроэкосистемами. Эти агроэкосистемы также подвержены воздействию множества факторов, влияющих на их динамику и устойчивость. С учетом сложности и многообразия агроэкосистем особое внимание уделяется разработке и внедрению прогрессивных методов мониторинга и оценки, которые позволят получать точные и актуальные данные для анализа и принятия обоснованных решений в области сельского хозяйства.

Мониторинг агроэкосистем играет значительную роль с экономической и экологической точек зрения. С одной стороны, он имеет существенное экономическое значение для региона, так как на основе результатов мониторинга управляющие агроэкосистемой могут разработать стратегии и принять меры по сохранению урожая, борьбе с вредителями и другим важным аспектам. С другой стороны, мониторинг агроэкосистем имеет важное экологическое значение, поскольку они являются составной частью более крупных природных экосистем.

В современных условиях мониторинг агроэкосистем становится невозможным без применения технологий обработки больших объемов данных. Это связано с тем, что агроэкосистемы характеризуются динамичностью и постоянными изменениями,

что требует от управляющих быстрого получения актуальной информации о состоянии агроэкосистемы для своевременного и эффективного управления. Таким образом, использование технологий анализа больших данных становится неотъемлемой частью современного мониторинга агроэкосистем и ключевым фактором для обеспечения их устойчивости и процветания.

Методология и методы исследования (Methods)

Для качественного анализа методик мониторинга агроэкосистем в теоретической части статьи применяется метод анализа технологий и источников Big Data и анализ инструментов больших данных для определенного сектора сельского хозяйства. В практической части статьи для разработки модели применяются моделирование, классификация и формализация.

Результаты (Results)

Таким образом, возникла необходимость разработки методики оценки готовности агроэкосистемы к анализу данных о ее состоянии с использованием технологий больших данных (Big Data), или, другими словами, методики оценки уровня эффективности мониторинга агроэкосистем с помощью технологий Big Data. Основная идея здесь заключается в определении того, является ли использование технологий Big Data оптимальным и эффективным для конкретной агроэкосистемы.

Примером может служить гипотетическое сельскохозяйственное поле (агроэкосистема), на котором установлено всего 10 датчиков кислотности почвы. В таком случае применение технологий Big Data может быть избыточным, так как полученные данные можно анализировать с помощью простых инструментов, таких как Microsoft Excel, без необходимости разработки специализированного программного обеспечения на основе Python или другого языка программирования.

Разработка такой методики позволит более рационально использовать ресурсы, определять оптимальные подходы к анализу данных и, таким образом, повышать эффективность управления агроэкосистемами. Это поможет принимать более обоснованные решения в области сельского хозяйства, снижая затраты и повышая устойчивость агроэкосистем.

Таким образом, существует определенный минимальный объем данных, который необходимо получать с сельскохозяйственного поля (агроэкосистемы), чтобы применение технологий Big Data стало целесообразным. Кроме того, даже при наличии достаточного объема данных важно определить, какие из многочисленных существующих технологий Big Data для сельского хозяйства подходят для проведения анализа.

На примере Свердловской области представим таблицу, демонстрирующую распределение технологий анализа больших данных в зависимости от области сельского хозяйства (таблица 1). Такая таблица может служить полезным инструментом для определения наиболее подходящих технологий Big Data для конкретной агроэкосистемы, что облегчит принятие решений в области сельского хозяйства.

В результате анализа становится очевидным, что наиболее подготовленными областями сельского хозяйства являются посевные культуры, состояние почвы и фермерские хозяйства. Именно на основе этих областей можно разработать первоначальные онтологические графы для создания методики, основанной на инженерной онтологии. Это позволит учесть особенности и потребности каждой из рассмотренных областей и сформировать более точную систему оценки мониторинга аграрных экологических систем на основе больших данных.

Построение онтологического графа мониторинга агроэкосистем на примере области сельского хозяйства «Посевные культуры»

Так как наибольший процент представленности данных у области «Посевные культуры», опишем процесс разработки онтологического графа для данного сектора.

Первым шагом необходимо выбрать инструмент Big Data для реализации модели. Для этого был проведен анализ инструментов больших данных для этого сектора и представлен в таблице 2.

Используя анализ из таблицы 2, построим онтологический граф области «Посевные культуры» (рис. 1–3). Для построения используем программное обеспечение Protégé – бесплатный и открытый инструмент для редактирования онтологий и создания фреймворков знаний. Платформа Protégé предлагает два основных подхода к моделированию онтологий с использованием редакторов Protégé-Frames и Protégé-OWL.

Первый шаг – необходимо создать сущности для онтологического графа. В данном программном обеспечении они именуется как Entities. Сущность Historical_datasets описывает историческую информацию, размещенную в свободном доступе. Сущность Ground_sensors_are_devices содержит данные по наземным датчикам, сущность Satellite_data описывает спутниковые данные.

Далее, создадим Individuals по аналогии. Individuals будет содержать в себе все технологии больших данных, применяемые в данном секторе «Посевные культуры». В результате, сопоставив все зависимости Entities и Individuals, представим онтологический граф для вышеописанного сектора.

Как видно на представленном графе, источники Big Data были представлены в виде Entities в среде Protégé, а технологии Big Data были представлены в виде Individuals. Такой подход позволяет нам прежде всего проследить «парные» источники для анализа больших данных.

В практической перспективе это означает возможность использования одних и тех же технологий анализа и одного и того же программного обеспечения для обработки данных из различных источников, но в рамках одной агроэкосистемы. Такой подход упрощает работу специалистов по анализу больших данных при определении зависимостей, получении дополнительной информации, составлении прогнозов и т. д.

Практическая значимость использования технологий Big Data в сельском хозяйстве располагает множеством возможностей, но внедрение этих технологий в реальное хозяйство может столкнуться с различными трудностями. В первую очередь для внедрения потребуется обучение персонала, внедрение новых технологий и инфраструктуры для сбора и обработки данных. Экономическая эффективность и окупаемость использования технологий Big Data могут варьироваться в зависимости от конкретной области применения и специфики хозяйства. Однако в целом использование данных технологий может привести к увеличению продуктивности и эффективности производства, а также к снижению затрат. Стоит также отметить, что окупаемость вложений в технологии Big Data может быть не сразу очевидна, поскольку эффекты их применения часто проявляются в долгосрочной перспективе. Однако даже краткосрочные преимущества, такие как улучшение управления ресурсами и оптимизация процессов, могут вносить значительный вклад в рентабельность хозяйства.

Кроме того, в онтологической диаграмме можно заметить, что источник, такой как историческая информация, размещенная в свободном доступе, анализируется только одной методикой и при этом не пересекается с другими источниками Big Data. Это, в свою очередь, наталкивает на мысль о том,

что при развитии Big Data в регионе существуют два возможных направления:

1. Ограничить использование такого источника без необходимости его дальнейшего развития и анализа больших данных.

2. Представить данные в формате, доступном для анализа другими технологиями Big Data.

Таким образом, можно понять, что подобные онтологические диаграммы могут быть построены для любой области сельского хозяйства и адаптиро-

ваны для любой агроэкосистемы. Для наглядности расширим существующую диаграмму, добавив такие области, как «Состояние почвы», «Фермерские хозяйства» и «Погода и климат», создавая таким образом гипотетическую агроэкосистему, которая охватывает указанные области. Иными словами, области были выбраны таким образом, чтобы они отвечали за анализ метаобласти и удовлетворяли интересы фермерских хозяйств, занимающихся растениеводством.

Таблица 1

Распределение технологий анализа больших данных в зависимости от области сельского хозяйства в разрезе их доступности в Свердловской области

Область анализа данных	Источники Big Data	Технологии Big Data	Доступность данных
Погода и климат	Геопространственные данные	Статистический анализ.	–
	Метеорологические станции	Машинное обозначение (алгоритм кластеризации K-means, алгоритм построения случайных/глубоких деревьев).	+
	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	GIS-анализ.	+
	Иные данные, полученные дистанционно	Модель распределенных вычислений	–
Животноводство	Наземные датчики	Нейронные сети.	+
	Тепловые данные	Масштабируемые векторные машины.	–
	Оптические сенсоры	Деревья принятия решений	–
	Датчики поступающего корма		+
	Данные по мясо-молочной продукции		+
Посевные культуры	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	Алгоритм кластеризации K-means. Машина опорных векторов. Преобразование Фурье. Вейвлет-анализ	+
	Спутниковые данные		+
	Наземные датчики		+
Земельные ресурсы	Геопространственные данные	Алгоритм кластеризации K-means.	–
	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	Алгоритм построения случайных/глубоких деревьев. Обработка изображений.	+
	Иные данные, полученные дистанционно	Вегетационный индекс NDVI.	+
	Данные с аэрофотосъемок		–
Сорняки	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	Нейронные сети. Логистическая регрессия. Обработка изображений	–
	Данные, получаемые с дронов		–
	Данные с аэрофотосъемок		–
	Датчик размещенные на полях		–
	Цифровые веб-библиотеки		–
Состояние почвы	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	Алгоритм кластеризации K-means. Нейронные сети	+
	Наземные датчики		+
	Информация, размещенная в базе данных госучреждений		+
	Датчики влажности		+
	Оптические датчики		–
Биологическая устойчивость	Геопространственные данные	Статистическое моделирование. Байесовские функции	+
	Историческая информация, размещенная в свободном доступе		–
	Информация, размещенная в базе данных госучреждений		+

Пищевая безопасность	Геопространственные данные	Нейронные сети. Геопространственное моделирование. Статистическое моделирование. Обработка изображений	–	
	Историческая информация, размещенная в свободном доступе		–	
	Иные данные, полученные дистанционно		+	
	Данные опросов		–	
	Датчики глубины роста		–	
	Фермерские хозяйства	Историческая информация, размещенная в свободном доступе	Бенчмаркинги больших данных. Веб-сервисы. Мобильные приложения	+
		Оптические сенсоры		–
		Информация, размещенная в базе данных госучреждений		+
		Метеорологические станции		+
		Социальные сети		+
	Дистанционное зондирование	Спутниковые данные	Облачные вычисления с моделью распределенных вычислений. Геопространственное моделирование. Компьютерное зрение. Искусственный интеллект	–
		Геопространственные данные		–
		Метеорологические станции		–
		Данные, получаемые с дронов		–
		Цифровые веб-библиотеки		–
		Оптические сенсоры		–
Страхование и финансы	Информация, размещенная в базе данных госучреждений	Статистическое моделирование. Предиктивная аналитика. Облачные технологии	–	
	Цифровые веб-библиотеки		+	
	Информация частных банков		–	
	Данные опросов		–	

Table 1
Distribution of big data analysis technologies depending on the field of agriculture in terms of their availability in the Sverdlovsk region

Area of data analysis	Big Data Sources	Big Data Technologies	Data Availability
Weather and climate	Geospatial data	Statistical analysis. K - means clustering algorithm , algorithm for constructing random/ deep trees). GIS analysis. Distributed computing model	–
	Meteorological stations		+
	Historical information posted in the public domain		+
	Others data received remotely		–
Livestock	Ground sensors	Neural networks. Scalable vector machines. Decision trees	+
	Thermal data		–
	Optical sensors		–
	Sensors incoming stern		+
	Data on meat and dairy products		+
Sowing culture	Historical information posted in the public domain	K-means clustering algorithm. Support vector machine. Fourier transform. Wavelet analysis	+
	Satellite data		+
	Ground sensors		+
Land resources	Geospatial data	K-means clustering algorithm. Algorithm for constructing random/ deep trees. Image processing. Vegetation index NDVI	–
	Historical information posted in the public domain		+
	Others data received remotely		+
	Data from aerial photographs		–
Weeds	Historical information posted in the public domain	Neural networks. Logistic regression. Image processing	–
	Data received from drones		–
	Data from aerial photographs		–
	Sensor posted on fields		–
	Digital web libraries		–

State soil	Historical information posted in the public domain	K-means clustering algorithm. Neural networks	+
	Ground sensors		+
	Information posted in the database of government agencies		+
	Sensors humidity		+
	Optical sensors		-
Biological sustainability	Geospatial data	Statistical modeling Bayesian functions	+
	Historical information posted in the public domain		-
	Information posted in the database of government agencies		+
Food safety	Geospatial data	Neural networks. Geospatial modeling. Statistical modeling. Treatment images	-
	Historical information posted in the public domain		-
	Others data received remotely		+
	Data polls		-
	Sensors depths growth		-
Farm farms	Historical information posted in the public domain	Big data benchmarking. Web services. Mobile applications	+
	Optical sensors		-
	Information posted in the database of government agencies		+
	Meteorological stations		+
	Social networks		+
Remote probing	Satellite data	Cloud computing with a distributed computing model. Geospatial modeling. Computer vision. Artificial intelligence	-
	Geospatial data		-
	Meteorological stations		-
	Data received from drones		-
	Digital web libraries		-
	Optical sensors		-
Insurance and finance	Information posted in the database of government agencies	Statistical modeling. Predictive analytics. Cloud technologies	-
	Digital web libraries		+
	Information private banks		-
	Data polls		-

Таблица 2

Анализ инструментов больших данных для сектора «Посевные культуры»

Название технологии	Описание и возможное применение технологии
Алгоритм кластеризации K-means	Технология алгоритма кластеризации K-means основана на разделении определенного набора наблюдений (точек) на заданное число кластеров, соответствующих определенному стандарту [6]. Основная характеристика этого метода заключается в наличии центроида для каждого кластера и распределении точек согласно их сходству. Другими словами, точки группируются в кластеры в зависимости от положения центральной точки (центроида), которая определяется путем усреднения координат всех точек или наоборот. После разделения на кластеры, сравнение двух и более образцов друг с другом осуществляется через расчет расстояний между ними. Применение данной технологии оправдано в случаях, когда имеется ряд точек, связанных с географическим положением. Таким образом, из имеющихся источников Big Data только наземные датчики в сочетании со спутниковыми данными или другими методами сбора пространственной информации о наземных датчиках могут быть использованы. Такой источник, как историческая информация, размещенная в свободном доступе, представляет собой слишком широкое понятие, поэтому его рейтинг использования для анализа «Посевы» с помощью технологий Big Data будет низким

Технология опорных векторных машин	<p>Технология опорных векторных машин основана на обучении с использованием прецедентов, которые учитывают линейную разделимость, оптимальные решения и зазоры между классами. Отметим, что анализ с использованием этой технологии часто применяется в задачах, связанных с линейной регрессией, включая параллельный поиск минимизации.</p> <p>Адекватное использование данной технологии предполагает наличие временной оси, то есть возможность отслеживать изменение информации во времени. Среди предложенных источников Big Data таким источником может выступать историческая информация, размещенная в свободном доступе, при условии, что эта информация может быть представлена в виде количественных метрик. Таким образом, опорные векторные машины могут быть применены для анализа данных, позволяющих выявить временные тенденции и закономерности в аграрных экологических системах</p>
Технология преобразования Фурье	<p>Технология преобразования Фурье предполагает сопоставление одной функции с комплексной переменной, что обеспечивает определение коэффициентов при разложении исходной функции на базовые компоненты. В рассматриваемой нами сфере такое преобразование применяется для обработки сигналов и их представления в виде временных рядов, а также для отображения их частотного спектра. Эффективное использование данной технологии возможно при постоянном поступлении сигналов, то есть при использовании наземных датчиков, которые обеспечивают сбор непрерывных данных в аграрных экологических системах</p>
Технология вейвлет-анализа	<p>Технология вейвлет-анализа [9] включает анализ различных частотных компонентов данных, обычно в соответствии с последовательностью «масштаб – время – уровень». Вейвлет-анализ часто применяется для уточнения результатов преобразования Фурье или для получения более точной информации после его выполнения, поскольку позволяет достичь более точной корреляции количественных характеристик параметра с временем. Таким образом, можно сделать вывод, что вейвлет-анализ является в основном дополнительным инструментом анализа и применяется в определенных ситуациях в комбинации с преобразованием Фурье</p>

Table 2
Analysis of Big Data tools for the crops sector

Technology name	Description and possible application of the technology
<i>K-means clustering algorithm</i>	<p><i>K-means clustering algorithm is based on dividing a certain set of observations (points) into a given number of clusters corresponding to a certain standard [6]. The main characteristic of this method is to have a centroid for each cluster and distribute the points according to their similarity. In other words, points are grouped into clusters depending on the position of a central point (centroid), which is determined by averaging the coordinates of all points or vice versa. After dividing into clusters, comparison of two or more samples with each other is carried out by calculating the distances between them.</i></p> <p><i>The use of this technology is justified in cases where there are a number of points related to geographic location. Thus, from the available Big Data sources, only ground sensors in combination with satellite data or other methods for collecting spatial information about ground sensors can be used. A source such as historical information posted in the public domain is too broad a concept, so its use rating for “Crops” analysis using Big Data technologies will be low</i></p>
<i>Support vector machine technology</i>	<p><i>Support vector machine technology is based on case-based learning that takes into account linear separability, optimal solutions, and gaps between classes. Note that analysis using this technology is often used in problems involving linear regression, including parallel minimization searches.</i></p> <p><i>Adequate use of this technology requires the presence of a time axis, that is, the ability to track changes in information over time. Among the proposed Big Data sources, such a source can be historical information posted in the public domain, provided that this information can be presented in the form of quantitative metrics. Thus , support vector machines can be used to analyze data to identify temporal trends and patterns in agricultural ecological systems</i></p>
<i>Fourier transform technology</i>	<p><i>Fourier transform technology involves mapping one function to a complex variable, which ensures the determination of coefficients when decomposing the original function into its basic components. In the area we are considering, such a transformation is used to process signals and present them in the form of time series, as well as to display their frequency spectrum. Effective use of this technology is possible with a constant supply of signals, that is, using ground-based sensors that provide continuous data collection in agricultural ecological systems</i></p>
<i>Wavelet analysis technology</i>	<p><i>Wavelet analysis technology [9] involves the analysis of various frequency components of data, usually in accordance with the sequence “scale - time - level”. Wavelet analysis is often used to clarify the results of the Fourier transform or to obtain more accurate information after its implementation, since it allows one to achieve a more accurate correlation of the quantitative characteristics of a parameter with time. Thus, we can conclude that wavelet analysis is mainly an additional analysis tool and is used in certain situations in combination with the Fourier transform</i></p>

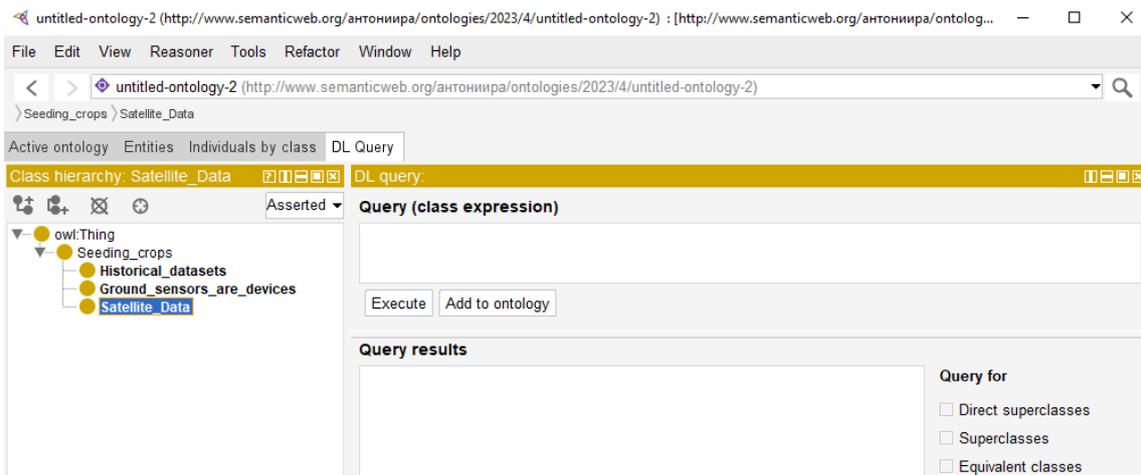


Рис. 1. Создание источников Big Data в виде Entities
 Fig. 1. Creation of Big Data sources in the form of "Entities"

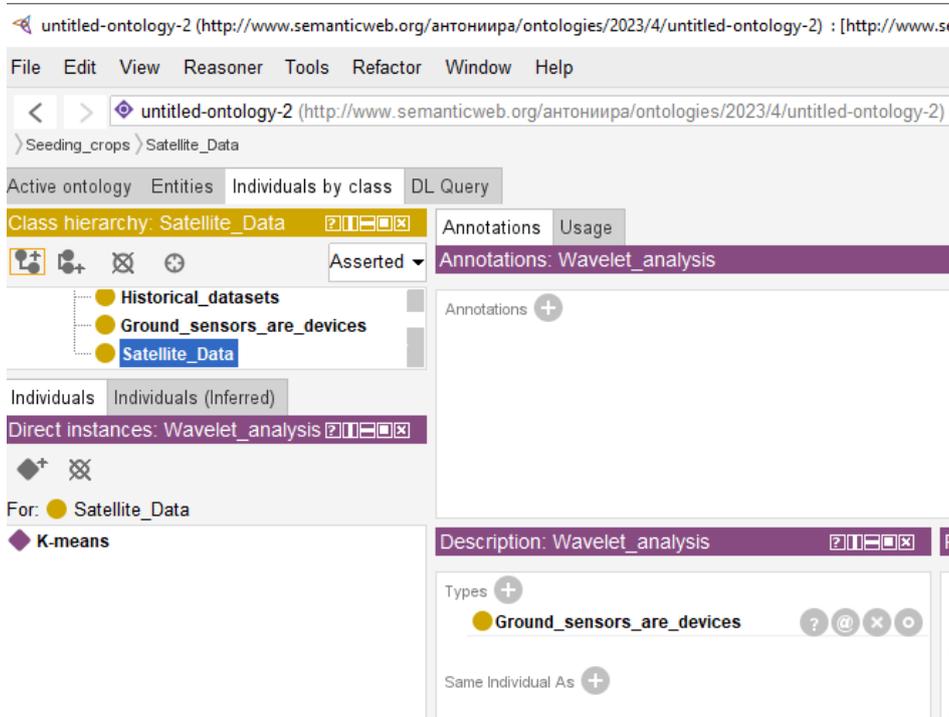


Рис. 2. Создание технологий Big Data в виде Individuals
 Fig. 2. Creation of Big Data technologies in the form of "Individuals"

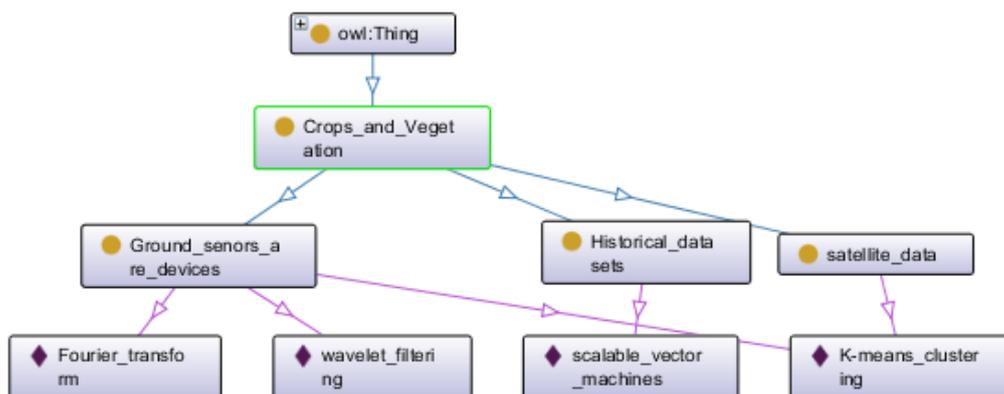


Рис. 3. Построенный онтологический граф для сектора «Посевные культуры»
 Fig. 3. The constructed ontological graph for the sector "Sowing crops"

В результате был сформирован поисковый онтологический граф (рис. 4). При выполнении поиска по ключевому слову data мы видим следующее.

Исходя из полученной информации можно сделать вывод о том, что представленная визуализация в виде онтологического графа существенно упрощит работу аналитика больших данных.

Например, используя разработанную онтологию, можно увидеть:

1) готовность области сельского хозяйства для внедрения технологий Big Data;

2) доступность источников для анализа больших данных;

3) зависимость применения источников в определенной области сельского хозяйства

Для получения количественной информации об оценке каждого сектора сельского хозяйства воспользуемся данными таблицы 1 и рис. 1 и визуализируем их с помощью функций Data properties и Object properties у каждого из Entities (рис. 5).

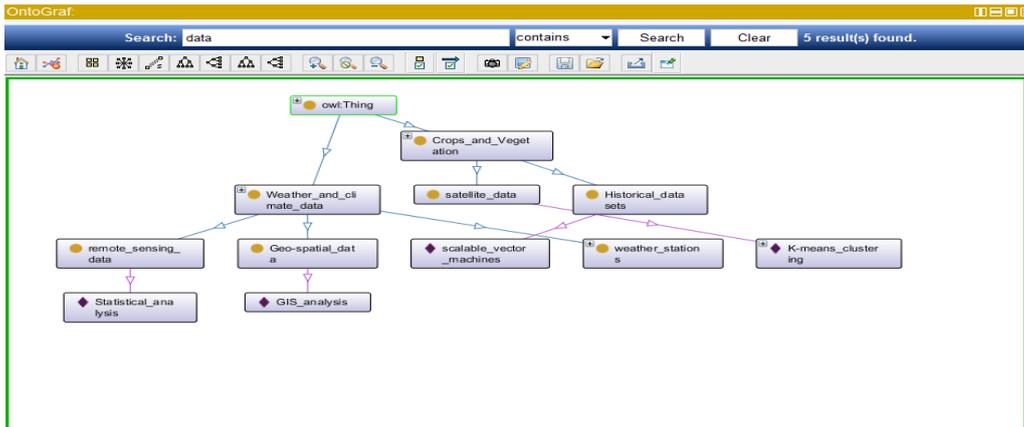


Рис. 4. Результат вывода поискового онтологического графа по ключевому слову data
Fig. 4. The result of the output of the search ontological graph for the keyword "data"

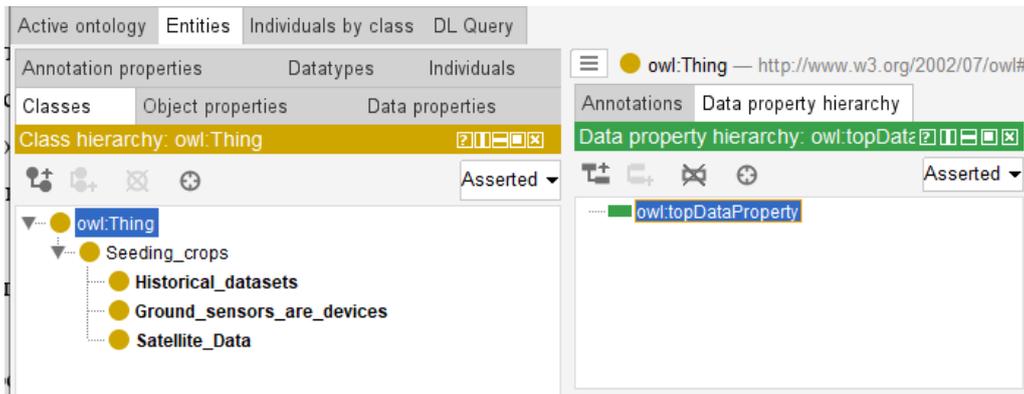


Рис. 5. Параметры Data properties и Object properties
Fig. 5. Parameters "Data properties" and "Object properties"

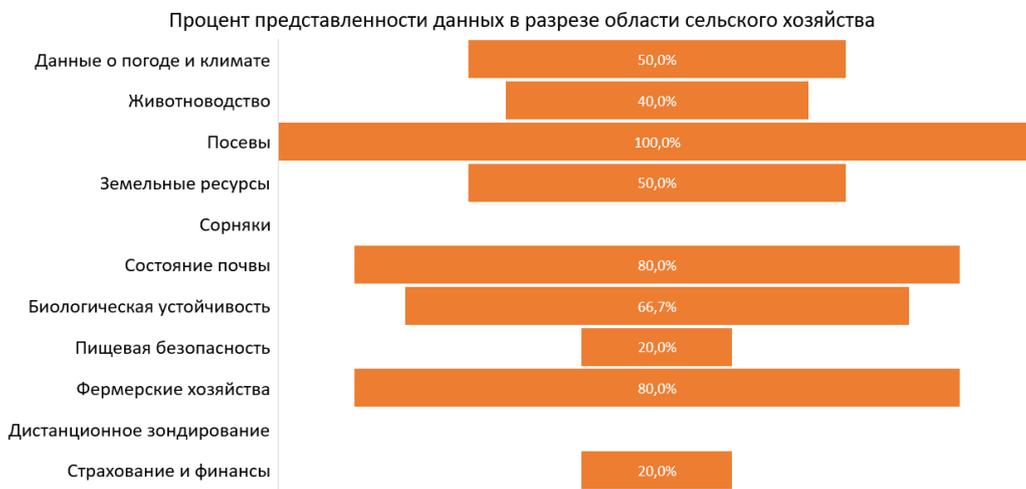


Рис. 6. Диаграмма оценки уровня эффективности мониторинга в разрезе областей сельского хозяйства

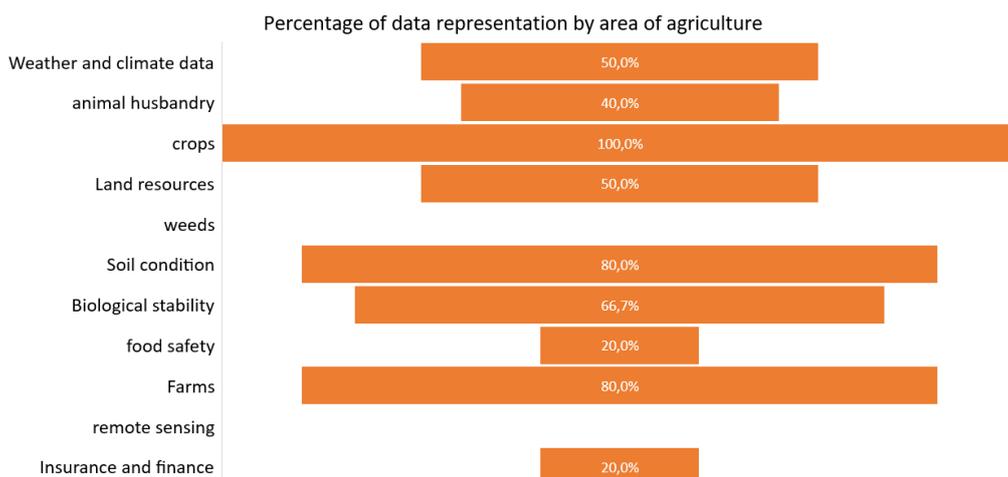


Fig. 6. Diagram for assessing the level of monitoring efficiency in the context of agricultural areas

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Заполнив данные, визуализируем их с помощью диаграммы «Воронка», которая показывает процент наличия источников информации для анализа агроэкосистем в разрезе областей сельского хозяйства (рис. 6).

Исходя из этой диаграммы мы можем сразу заметить отставание в определенных областях сельского хозяйства, а именно в областях «Дистанционное зондирование» и «Сорняки». Это объясняется тем, что в Тюменском регионе такие области не рассматриваются отдельно.

Однако для улучшения эффективности использования технологий Big Data необходимо увеличение количества источников Big Data. Такое распределение было заметно еще на этапе добавления столбца «наличие источника» и отражено в таблице 1.

Включение количественных метрик для Data properties и Object properties в онтологию позволит скорректировать метрики источников для агроэкосистемы и предоставить более точное представление об «эффективности использования технологий Big Data» на уровне, подходящем для специалистов. Корректные решения по развитию Big Data для различных агроэкосистем снизят затраты на оборудование (добавление разных типов источников данных) за счет понимания, какие источники устанавливать, и ускорят принятие решений о развитии области.

Таким образом, в результате моделирования системы мониторинга в разрезе областей сельского хозяйства можно сделать следующие выводы:

1. Управляющий агроэкосистемой должен не только опираться на подбор технологий Big Data для анализа информации об агроэкосистеме, но и ориентироваться на имеющиеся источники данных о ней.

2. Методика может быть улучшена путем использования инженерных онтологий и программного обеспечения Protégé, с помощью которого

можно проводить внутреннюю оценку технологий для агроэкосистем и поиск скрытых знаний, минимизируя человеческий фактор.

Для дальнейшего совершенствования методики необходимо провести сравнение различных агроэкосистем на эффективность использования технологий Big Data и проанализировать полученные результаты.

Проанализировав эффективность использования технологий Big Data в разных агроэкосистемах, специалисты смогут определить наиболее перспективные направления развития и применения данных технологий. В долгосрочной перспективе это может привести к улучшению сельскохозяйственного производства, снижению затрат на обработку данных и повышению конкурентоспособности регионов, активно использующих Big Data.

Кроме того, исследования в данной области могут способствовать совершенствованию существующих методов обработки данных, адаптации новых технологий и интеграции различных источников данных для более эффективного анализа и принятия решений на основе информации об агроэкосистеме.

Также необходимо учитывать, что развитие Big Data и анализ больших данных могут способствовать сотрудничеству между различными секторами сельского хозяйства, исследовательскими институтами и государственными организациями. Это может обеспечить лучшую координацию усилий, направленных на повышение устойчивости сельскохозяйственных систем и достижение целей развития сельского хозяйства на региональном и глобальном уровнях.

В целом совершенствование методики мониторинга агроэкосистем для оценки уровня эффективности использования технологий Big Data будет иметь положительное влияние на сельскохозяйственное производство и поддержку устойчивого развития сельскохозяйственных систем.

Библиографический список

1. Alves M. A. B., de Souza A. P., de Almeida F. T., Hoshide A. K., Araújo H. B., da Silva A. F., de Carvalho D. F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment // Sustainability. 2023. Vol. 15. Article number 4954. DOI: 10.3390/su15064954.
2. Antora S. S., Chang Y. K., Nguyen-Quang T., Heung B. Development and Assessment of a Field-Programmable Gate Array (FPGA)-Based Image Processing (FIP) System for Agricultural Field Monitoring Applications // AgriEngineering. 2023. Vol. 5. Pp. 886–905.
3. Chen L., He Z., Gu X., Xu M., Pan S., Tan H., Yang S. Construction of an Agricultural Drought Monitoring Model for Karst with Coupled Climate and Substratum Factors – A Case Study of Guizhou Province, China // Water. 2023. Vol. 15. Article number 1795. DOI: 10.3390/w15091795.
4. Hu L., Zhang C., Zhang M., Shi Y., Lu J., Fang Z. Enhancing FAIR Data Services in Agricultural Disaster: A Review // Remote Sens. 2023. Vol. 15. Article number 2024. DOI: 10.3390/rs15082024.
5. Аббасов И. Б., Дешмух Р. Р. Распознавание изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 3 (213). С. 202–212. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-3-202-212.
6. Будзко В. И., Меденников В. И. Системный анализ образовательных цифровых экосистем в АПК // Системы высокой доступности. 2023. Т. 19. № 1. С. 46–58. DOI: 10.18127/j20729472-202301-04.
7. Германова С. Е., Дремова Т. В., Самброс П. А. Управление и оценка рисков загрязнения почвы нефтепродуктами в АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 59–61. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-11013.
8. Диченский А. В., Гриц Н.В., Удотов А.Ю. Аспекты применения роботизированной техники в аграрном производстве - современное состояние и перспективы // Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № 50. С. 15–19.
9. Ивановская В. В., Голубева Е. И., Труфанов А. В. Применение ГИС-технологий для оптимизации сельскохозяйственного природопользования // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 36–41. DOI: 10.24412/1728-323X-2020-5-36-41.
10. Косенчук О. В. Типология аграрных территорий по оценке многофункциональности сельского хозяйства // Региональные проблемы преобразования экономики. 2019. № 11 (109). С. 57–66. DOI: 10.26726/1812-7096-2019-11-57-66.
11. Кузнецов В. К. Санжарова Н. И., Панов А. В., Исамов Н. Н. Радиационно-экологический мониторинг агроэкосистем в зоне воздействия АЭС: методология и результаты исследований // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64. № 4. С. 25–31. DOI: 10.12737/article_5d1102809c5ac3.32613968.
12. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6–10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
13. Мабиала Ж., Гниздыло В. С. Эколого-экономические проблемы территориальной политики развития Республики Крым // ЦИТИСЭ. 2020. № 3 (25). С. 38–52. DOI: 10.15350/2409-7616.2020.3.04.
14. Матвеева Н. И., Зволинский В. П. Предпринимательский потенциал как экономическая категория // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2020. Т. 44. № 2. С. 49–55. DOI: 10.32935/2221-7312-2020-44-2-49-55.
15. Назаров Д. М., Кондратенко И. С., Сулимин В. В., Шведов В. В. Цифровизация сельского хозяйства на примере Румынии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 622–624. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_622.
16. Холодов О. А. Комплексный мониторинг использования земель сельскохозяйственного назначения в современный период // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2019. Т. 21. № 3. С. 107–119. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.3.10.
17. Цветных А. В., Шевцова Н. В. Устойчивое развитие сельских территорий: сбалансированная система показателей // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2020. Т. 9. № 2 (31). С. 366–370. DOI: 10.26140/anie-2020-0902-0088.

Об авторах:

Дмитрий Михайлович Назаров¹, доктор экономических наук, заведующий кафедрой бизнес-информатики, ORCID 0000-0002-5847-9718, AuthorID 646255; +7 922 205-18-88, slup20005@mail.ru

Владимир Власович Сулимин¹, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, ORCID 0000-0003-2694-4352, AuthorID 518696; +7 912 623-06-32, vsulimin@bk.ru

Владислав Витальевич Шведов¹, кандидат исторических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, ORCID 0000-0003-2130-3273, AuthorID 579652; +7 912 687-79-41, shvedoff@mail.ru

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

References

1. Alves M. A. B., de Souza A. P., de Almeida F. T., Hoshide A. K., Araújo H. B., da Silva A. F., de Carvalho D. F. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment // Sustainability. 2023. Vol. 15. Article number 4954. DOI: 10.3390/su15064954.
2. Antora S. S., Chang Y. K., Nguyen-Quang T., Heung B. Development and Assessment of a Field-Programmable Gate Array (FPGA)-Based Image Processing (FIP) System for Agricultural Field Monitoring Applications // AgriEngineering. 2023. Vol. 5. Pp. 886–905.
3. Chen L., He Z., Gu X., Xu M., Pan S., Tan H., Yang S. Construction of an Agricultural Drought Monitoring Model for Karst with Coupled Climate and Substratum Factors – A Case Study of Guizhou Province, China // Water. 2023. Vol. 15. Article number 1795. DOI: 10.3390/w15091795.
4. Hu L., Zhang C., Zhang M., Shi Y., Lu J., Fang Z. Enhancing FAIR Data Services in Agricultural Disaster: A Review // Remote Sens. 2023. Vol. 15. Article number 2024. DOI: 10.3390/rs15082024.
5. Abbasov I. B., Deshmuh R. R. Raspoznavanie izobrazheniy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur, rasteniy i lesnykh massivov [Recognition of images of agricultural crops, plants and forests] // Izvestiya SFedU. Tekhnicheskie nauki. 2020. No. 3 (213). Pp. 202–212. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-3-202-212.
6. Budzko V. I., Medennikov V. I. Sistemnyy analiz obrazovatel'nykh tsifrovyykh ekosistem v APK [System analysis of the development of digital ecosystems in the agricultural sector] // Highly available systems. 2023. Vol. 19. No. 1. Pp. 46–58. DOI: 10.18127/j20729472-202301-04.
7. Germanova S. E., Dremova T. V., Sambros P. A. Upravlenie i otsenka riskov zagryazneniya pochvy nefteproduktami v APK [Management and assessment of risks of soil pollution by petroleum products in the agro-industrial complex] // International Agricultural Journal. 2020. No. 1. Pp. 59–61. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-11013.
8. Dichenskiy A. V., Grits N. V., Udotov A. Yu. Aspekty primeneniya robotizirovannoy tekhniki v agrarnom proizvodstve – sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Aspects of the use of robotic technology in agricultural production – current state and prospects] // Izvestia MAAO. 2020. No. 50. Pp. 15–19.
9. Ivanovskaya V. V., Golubeva E. I., Trufanov A. V. Primenenie GIS-tekhnologiy dlya optimizatsii sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya [Application of GIS technologies to optimize agricultural environmental management] // Regional Environmental Issues. 2020. No. 5. Pp. 36–41. DOI: 10.24412/1728-323X-2020-5-36-41.
10. Kosenchuk O. V. Tipologiya agrarnykh territoriy po otsenke mnogofunktional'nosti sel'skogo khozyaystva [Typology of agricultural territories according to the efficiency of multifunctionality of agriculture] // Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki. 2019. No. 11 (109). Pp. 57–66. DOI: 10.26726/1812-7096-2019-11-57-66.
11. Kuznetsov V. K., Sanzharova N. I., Panov A. V., Isamov N. N. Radiatsionno-ekologicheskii monitoring agroekosistem v zone vozdeystviya AES: metodologiya i rezul'taty issledovaniy [Radiation-ecological monitoring of agroecosystems in the area affected by nuclear power plants: methodology and research results] // Medical Radiology and Radiation Safety. 2019. Vol. 64. No. 4. Pp. 25–31. DOI: 10.12737/article_5d1102809c5ac3.32613968.
12. Lobachevskiy Ya. P., Dorokhov A. S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannyye tekhnicheskiye sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic technical means for agriculture] // Agricultural Machinery and Technologies. 2021. Vol. 15. No. 4. Pp. 6–10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
13. Mabilia Zh., Gnizdylo V. S. Ekologo-ekonomicheskiye problemy territorial'noy politiki razvitiya Respubliki Krym [Ecological and economic problems of the territory of development policy of the Republic of Crimea] // CITISE. 2020. No. 3 (25). Pp. 38–52. DOI: 10.15350/2409-7616.2020.3.04.
14. Matveeva N. I., Zvolinskiy V. P. Predprinimatel'skiy potentsial kak ekonomicheskaya kategoriya [Entrepreneurial potential as an economic category] // Theoretical and Applied Problems of Agro-industry. 2020. Vol. 44. No. 2. Pp. 49–55. DOI: 10.32935/2221-7312-2020-44-2-49-55.
15. Nazarov D. M., Kondratenko I. S., Sulimin V. V., Shvedov V. V. Tsifrovizatsiya sel'skogo khozyaystva na primere Rumynii [Digitalization of agriculture in Romania] // International Agricultural Journal. 2022. No. 6 (390). Pp. 622–624. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_622.
16. Kholodov O. A. Kompleksnyy monitoring ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v sovremenny period [Integrated monitoring of the use of agricultural land in the modern period] // Journal of Volgograd State University. Economics. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 107–119. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2019.3.10.

17. Tsvettsykh A. V., Shevtsova N. V. Ustoychivoe razvitie sel'skikh territoriy: sbalansirovannaya sistema pokazateley [Sustainable development of events: balanced scorecard] // Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration. 2020. Vol. 9. No. 2 (31). Pp. 366–370. DOI: 10.26140/anie-2020-0902-0088.

Authors' information:

Dmitriy M. Nazarov¹, doctor of economic sciences, head of the department of business informatics, ORCID 0000-0002-5847-9718, AuthorID 646255; +7 922 205-18-88, slup20005@mail.ru

Vladimir V. Sulimin¹, candidate of economic sciences, associate professor of the department of state and municipal administration, ORCID 0000-0003-2694-4352, AuthorID 518696; +7 912 623-06-32, vsulimin@bk.ru

Vladislav V. Shvedov¹, candidate of historical sciences, associate professor of the department of state and municipal administration, ORCID 0000-0003-2130-3273, AuthorID 579652; +7 912 687-79-41, shvedoff@mail.ru

¹Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia