

## Применение онтологического подхода к проектированию геопространственной базы опытных данных для информационного обеспечения исследований в точном земледелии

О. А. Митрофанова<sup>1,2</sup>, Е. П. Митрофанов<sup>1,2</sup>, Н. А. Буре<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Агрофизический научно-исследовательский институт, Российская Федерация, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

**Для цитирования:** Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П., Буре Н. А. Применение онтологического подхода к проектированию геопространственной базы опытных данных для информационного обеспечения исследований в точном земледелии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2022. Т. 18. Вып. 2. С. 253–262. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2022.206>

Благодаря развитию информационных технологий и вычислительных ресурсов появилась возможность получения и обработки больших данных, в том числе геопространственных. Значительная часть исследований в области точного земледелия имеет междисциплинарный характер, опытные полевые данные используют разрозненные научные группы, в связи с чем важно было разработать единую веб-систему для хранения, систематизации и обмена экспериментальной информацией. На первом шаге достижения поставленной цели необходимо было создать геопространственную базу данных (БД). Так как разрабатываемая система в будущем может потребовать расширений, модификаций, корректировок, интеграции в другие проекты, то представляется целесообразным применение онтологии для формирования структуры БД. Главным инструментарием служили наиболее популярные средства: язык онтологий OWL (Ontology Web Language), среда разработки Protege 5.5. Основная исходная информация была получена в ходе проведения экспериментальных работ, осуществляемых на биополигоне: метеоданные, агрохимические показатели (отборы образцов почвы и растений с геопривязкой), агрофизические параметры (влажность, электропроводность), данные дистанционного зондирования. По результатам анализа современного состояния исследований в области хранения и систематизации экспериментальной информации в растениеводстве, а также опроса сотрудников Агрофизического научно-исследовательского института был сформирован прототип структуры БД на основе онтологического подхода. В качестве фундамента были определены 9 родительских классов: Field (поле), Crop rotation — experience (севооборот — опыт), Agrotechnology (агротехнология), Yield (урожайность), Meteo (метеоданные), Ground samples (наземные измерения), Orthophoto (ортофото), Calendar (календарь), Dictionary — units of measurement (словарь — единицы измерения).

*Ключевые слова:* онтология, точное земледелие, полевые эксперименты, биополигон, OWL, Protege.

**1. Введение.** В Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ) на базе биополигона, состоящего из 29 опытных сельскохозяйственных полей, многие годы проводятся научно-исследовательские эксперименты. За это время накоплен большой объем разнородной информации, с 2003 г. собраны геопривязанные данные, в том числе аэрофотоснимки с различными спектральными каналами в высоком

разрешении [1, 2]. При этом отметим, что проекты сотрудниками АФИ проводятся в широком круге направлений, часто несогласованно в рамках отдельных научных групп. Возникла необходимость создать единую геоинформационную систему, позволяющую систематизированно хранить, обмениваться опытной информацией, а также автоматизировать разрабатываемые методы анализа геоданных. Такой веб-сервис представляется перспективным не только в качестве информационного обеспечения исследований в точном земледелии, но и в будущем для сельскохозяйственных производителей [3].

На первом шаге достижения поставленной цели необходимо было создать геопространственную базу опытной информации. Учитывая, что основу задачи составляют большие разнородные данные, а также обеспечение последующих расширений, модификаций системы (а возможно, интеграции в другие проекты), по нашему мнению, целесообразно применять онтологию для формирования структуры базы данных (БД).

Семантический подход как инструмент формализации знаний в сельскохозяйственной отрасли используется в основном в зарубежных исследованиях [4–6]. Следует указать, что онтологии разрабатываются и для более узких направлений, например для аквапонии [7], изучения влияния агротехнологий на водные ресурсы [8], органического растениеводства [9] и др. Перспективным и актуальным этот метод также представляется и для извлечения агроданных с применением веб-технологий [10, 11]. Преимущества онтологии продемонстрированы и в работах, связанных с разработкой систем управления в точном земледелии [12, 13]; одной из новых областей является внедрение этого подхода в интеллектуальные и геоинформационные системы [14, 15].

**2. Объекты и методы.** Областью изучения является опытный биополигон АФИ, который находится в деревне Меньково Ленинградской обл., общая площадь составляет 538.56 га, научно-производственные эксперименты проводятся на 398 га. Основные полевые культуры: зерновые, картофель и многолетние травы. Ежегодно производятся работы, связанные с агроэкологическим мониторингом состояния сельскохозяйственных полей с применением дистанционного зондирования и наземных измерений. Среди последних осуществленных опытов выделяются следующие:

- комплексная оценка систем удобрения и воспроизводства плодородия окультуренных дерново-подзолистых почв в севооборотах различной интенсивности;
- изучение влияния дифференцированного применения органо-минерального удобрения и интегрированной системы защиты растений на агрохимические показатели почвы и вынос элементов с урожаем основной и побочной продукции в полевом севообороте;
- использование данных аэрофотосъемки и диагностических показателей минерального питания посевов яровой пшеницы для оптимизации агротехнологий и оценки устойчивости сельскохозяйственного производства;
- изучение влияния различных доз крупных фракций отсева щебеночного производства на урожайность и химический состав растений;
- другие.

К основной исходной информации, полученной в ходе проведения экспериментальных исследований, осуществляемых на биополигоне, относятся метеоданные, агрохимические показатели (отборы образцов почвы и растений с геопривязкой), агрофизические параметры (влажность, электропроводность), данные дистанционного зондирования. Аэрофотосъемка реализовывалась с помощью беспилотной летательной системы Геоскан-401 с двумя цифровыми камерами в качестве полезной нагрузки (видимый и ближний инфракрасный каналы), разрешение снимков — 3–7 см/пиксель.

С 2021 г. применяется также мультиспектральная камера Micasense RedEdge MX (пять каналов: красный, зеленый, синий, ближний инфракрасный и красный край). Изображения предварительно обрабатывались, выполнялось построение ортофотопланов на основе исходных мозаик фотографий [2].

На первом этапе создания единой веб-платформы для хранения, обмена и обработки экспериментальной информации было необходимо разработать геопространственную БД, при этом принимая во внимание ряд требований к будущему сервису, как, например:

- база геоданных должна иметь возможность внедрения в веб-приложение;
- в будущем планируется использование надстроек для работы с пространственными данными (расчет площадей, расстояний и т. п.);
- структура БД должна предусматривать оперативную возможность внесения архитектурных изменений в будущем;
- другие.

Для создания схемы необходимой БД целесообразно использовать онтологию. Основная идея метода заключается в построении структуры информации, относящейся к конкретной предметной области, понятной для людей и программного обеспечения [16]. По определению онтология  $O$  (Ontology) представляет собой набор из трех конечных множеств [17]:

$$O = (C, T, R),$$

где  $C$  (Concepts) — множество концептов  $c$  или понятий исследуемой предметной области;  $T$  (Transformations) — множество преобразований  $t$  или функций  $f(x)$  для преобразования значения сущности  $x$  из диапазона значений  $R_x$  в  $R_y$ ;  $R$  (Relations) — множество отношений  $r$  между концептами.

Основным инструментарием служили наиболее популярные средства [18, 19]: язык онтологий OWL (Ontology Web Language), среда разработки Protege 5.5.

**3. Результаты и их обсуждение.** По результатам анализа современного состояния исследований в области хранения и систематизации экспериментальной информации в растениеводстве, а также опроса сотрудников АФИ был сформирован прототип структуры геопространственной БД на основе онтологического подхода. В качестве фундамента были определены следующие родительские классы:

1. Field (поле). Стартовая страница будущего веб-сервиса будет содержать интерактивную карту опытного биополигона АФИ, позволяющую получить полный спектр информации о проводимых научно-исследовательских экспериментах на каждом сельскохозяйственном участке, поэтому одним из базовых концептов является «Поле», включающее исчерпывающие геоданные (номера полей, контуры всех задействованных территорий, центральные координаты), которые понадобятся для реализации пространственных функций с использованием PostGIS.

2. Crop rotation — experience (севооборот — опыт). Для агрономической службы важной составляющей являются данные о севообороте опытов: культура посевов, цели ее размещения, а также ответственный исполнитель эксперимента.

3. Agrotechnology (агротехнология). Отдельно целесообразно определить концепт «Агротехнология», представляющий собой информацию о технологических манипуляциях, производимых на сельскохозяйственной территории, например внесение агрохимикатов, причем предусмотрена возможность добавления информации в виде не только единой дозы действующих веществ на все поле (интенсивная технология), но и карты-задания с дифференциацией (точное земледелие).

4. Yield (урожайность). Для проведения интеллектуального анализа геоданных,

а также для прогнозирования необходима информация об уровне полученной в ходе эксперимента урожайности.

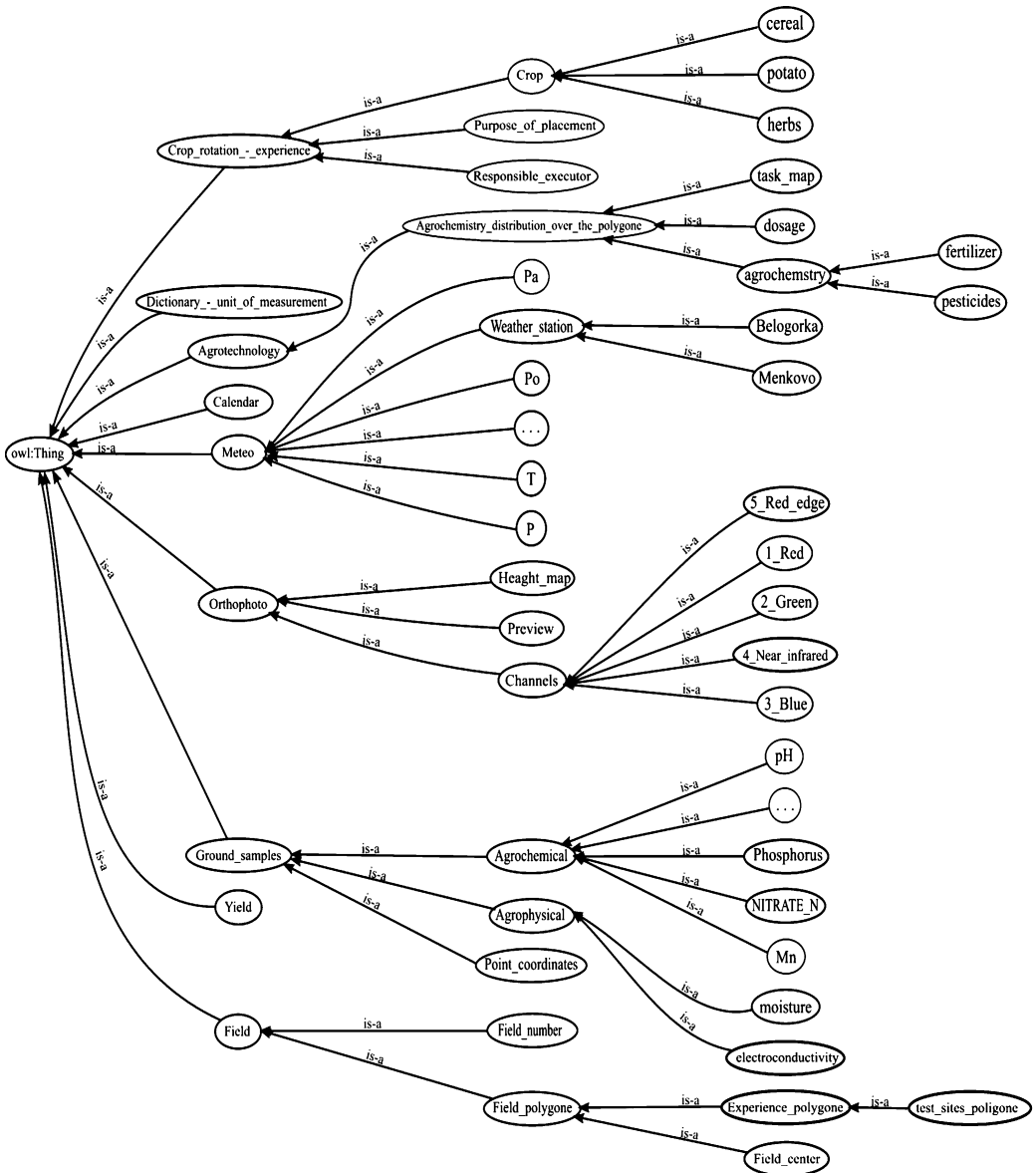


Рис. 1. Структура иерархии онтологии научно-исследовательских экспериментов в области точного земледелия

5. Meteo (метеоданные). Погодные данные также являются неотъемлемой частью проведения научно-исследовательских проектов. Исходные показатели представлены на базе двух метеостанций: одна размещена на территории биополигона, вторая, ближайшая к опытным полям, расположена в деревне Белогорка Ленинградской обл.

6. Ground samples (наземные измерения). В ходе экспериментов осуществляется

широкий комплекс получения агрохимических и агрофизических показателей: пробы растений и почвы. Нужно отметить, что при этом все образцы привязаны к географической системе координат.

7. Orthophoto (ортофото). К важным элементам исходной информации для оценки состояния сельскохозяйственных земель относятся изображения высокого качества в различных спектрах. Аэрофотоснимки также геопривязаны.

8. Calendar (календарь). Для фиксации дат проведения агротехнологических манипуляций или получения данных желательнее выделить отдельно концепт «Календарь».

9. Dictionary — units of measurement (словарь — единицы измерения). Так как результаты лабораторных исследований наземных образцов часто предоставляются в разных единицах измерения, необходимо определить их словарь, позволяющий также в будущем веб-сервисе реализовать калькулятор перевода значений агрохимических, агрофизических показателей.

На рис. 1 представлено дерево иерархии онтологии. Следует отметить, что структура гибкая и позволит в ходе дальнейшей разработки вносить корректировки и дополнения. Все родительские классы связаны между собой системой отношений, которая наглядно продемонстрирована в виде графа на рис. 2. В связи с тем, что будущий веб-сервис будет содержать стартовую интерактивную карту, где пользователь выбирает интересующий его сельскохозяйственный участок и получает всю необходимую привязанную к этой территории информацию, наибольшее количество связей определено к концепту «Поле».

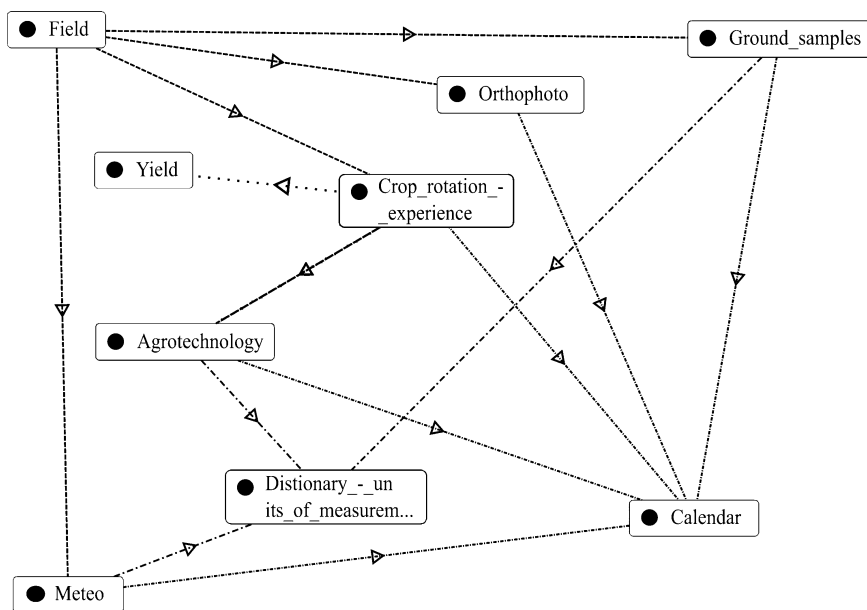


Рис. 2. Граф свойств объектов онтологии

Список отношений родительских классов представлен в таблице, в которую не были включены иерархические связи, продемонстрированные на рис. 1. Всего определено пять свойств объектов (рис. 2).

Разработанная онтология имплементирована в PostgreSQL [20], которая является бесплатной объектно-реляционной системой управления базами данных с открытым исходным кодом, предоставляет возможность работы не только со стандартными типами данных (целочисленные, строковые, логические), но и с датами, временем, диапазонами, документами, пространственной информацией и др., т. е. система расширяемая. Созданная с помощью онтологического подхода геопространственная БД представляет собой основу будущего веб-сервиса (рис. 3).

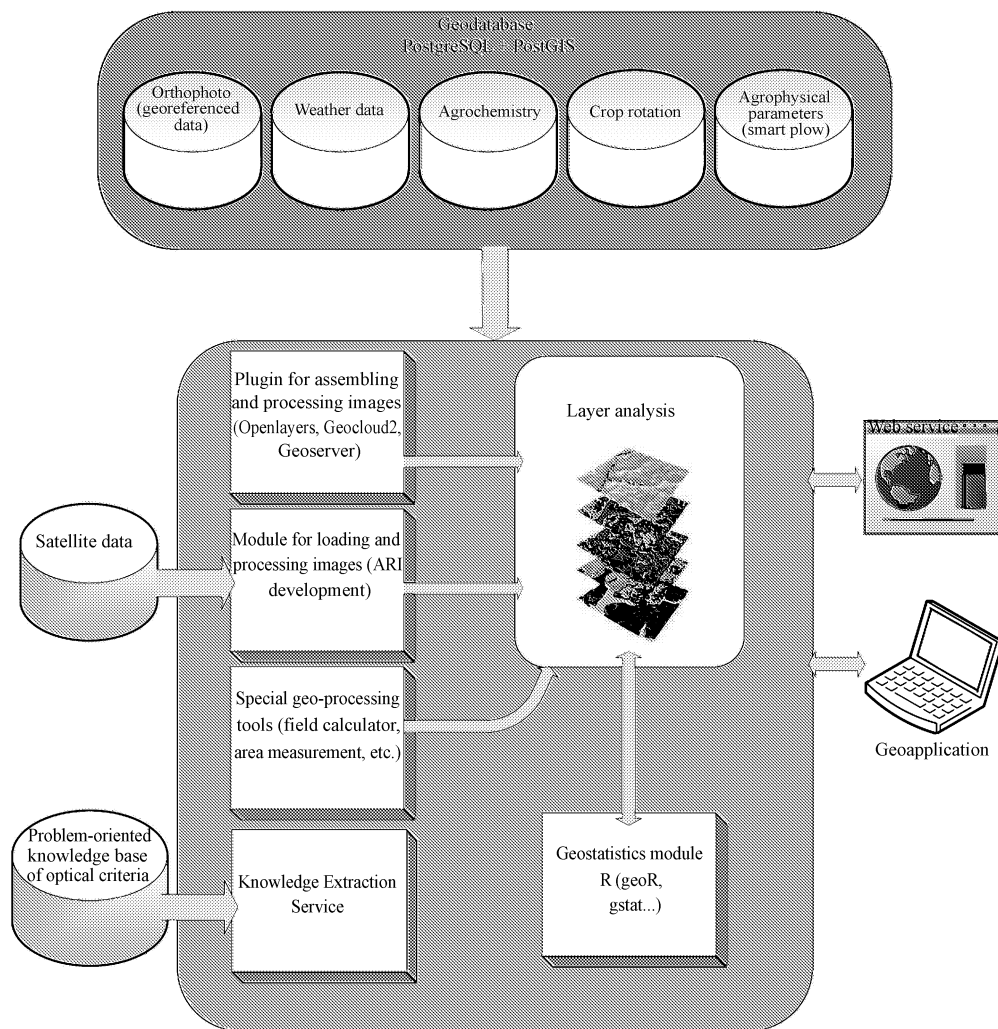


Рис. 3. Структура разрабатываемого веб-сервиса [1]

**4. Заключение.** В работе продемонстрированы результаты проектирования геопространственной БД при использовании концептуальной (онтологической) модели. Такой подход не только позволил эффективно хранить и обеспечивать доступ к разнородной информации, но и предоставил возможность в будущем создать уникальную единую веб-систему для обработки экспериментальных данных и поддержки

Таблица. Список свойств-отношений родительских классов онтологии

Property name	Domains	Ranges
Allowed to get	Crop rotation — experience	Yield
Can includes data	Field	Meteo Ground samples Orthophoto Crop rotation — experience
Carried out	Crop rotation — experience	Agrotechnology
Has a date	Ground samples Crop rotation — experience Meteo Orthophoto Agrotechnology	Calendar
Requires	Ground samples Agrotechnology Meteo	Dictionary — units of measurement

принятия агротехнологических решений. Полученная структура может быть расширена, скорректирована и имплементирована в другие проекты. На ее основе уже разработана БД в СУБД PostgreSQL, база содержит более 10 000 экземпляров.

## Литература

1. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. К вопросу автоматизации построения варнограмм в задачах точного земледелия // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2020. Т. 16. Вып. 2. С. 177–185. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2020.209>
2. Буре В. М., Митрофанов Е. П., Митрофанова О. А., Петрушин А. Ф. Выделение однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов с помощью беспилотного летательного аппарата // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 145–150. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2018.206>
3. Митрофанов Е. П., Митрофанова О. А., Буре В. М. Перспективы создания единой системы хранения и обработки данных дистанционного зондирования для мониторинга состояния посевов // Информационно-ресурсная цифровая платформа развития сельского хозяйства: сб. материалов конференции в рамках выставки «Агрорусь», Санкт-Петербург, 2–5 сентября 2020 г. СПб., 2020. С. 32–35.
4. Su X., Li J., Cui Y., Meng X., Wang Y. Review on the work of agriculture ontology research group // Journal of Integrative Agriculture. 2012. Vol. 11. N 5. P. 720–730.
5. Wei Y., Wang R., Hu Y., Wang X. From web resources to agricultural ontology: a method for semi-automatic construction // Journal of Integrative Agriculture. 2012. Vol. 11. N 5. P. 775–783.
6. Anandhi V., Venkitapirabu J., Natarajan S. K., Sumathi C. S. Ontology for crop management — A core vocabulary of agricultural activity // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2020. Vol. 9. N 9. P. 3364–3368.
7. Abbasi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to represent aquaponics 4.0 system's knowledge // Information Processing in Agriculture. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.12.001> (In Press)
8. Bonacin R., Nabuco O. F., Pierozzi Jr. I. Ontology models of the impacts of agriculture and climate changes on water resources: Scenarios on interoperability and information recovery // Future Generation Computer Systems. 2016. Vol. 54. P. 423–434.
9. Pakdeetrakulwong U., Hengpraprom K. An ontology-based knowledge management for organic and good agricultural practice agriculture: A case study of Nakhon Pathom Province, Thailand // Thai Interdisciplinary Research. 2018. Vol. 13. N 4. P. 26–34.
10. Qin X., Zhang H., Zheng H. Research on intelligent retrieval system for agricultural information resources based on ontology // IOP Conference. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1168. N 022041.
11. Drury B., Fernandes R., Moura M. F., Lopes A. A. A survey of semantic web technology for agriculture // Information Processing in Agriculture. 2019. Vol. 6. P. 487–501.

12. Zheng Y., He Q., Qian P., Li Z. Construction of the ontology-based agricultural knowledge management system // Journal of Integrative Agriculture. 2012. Vol. 11. N 5. P. 700–709.
13. Li D., Kang L., Cheng X., Li D., Ji L., Wang K., Chen Y. An ontology-based knowledge representation and implement method for crop cultivation standard // Mathematical and computer modelling. 2013. Vol. 58. P. 466–473.
14. Mouromtsev D. Semantic reference model for individualization of information processes in IoT heterogeneous environment // Electronics. 2021. N 2523.
15. Wang X., Chen N., Chen Z., Yang X., Li J. Earth observation metadata ontology model for spatiotemporal-spectral semantic-enhanced satellite observation discovery: a case study of soil moisture monitoring // Journal GIScience and Remote Sensing. 2016. Vol. 53. Iss. 1. P. 22–44.
16. Gruber T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing // International Journal of Human-Computer Studies. 1995. Vol. 43. P. 907–928.
17. Ngo Q. H., Kechadi T., Le-Khac N.-A. OAK: Ontology-based knowledge map model for digital agriculture // arXiv. 2020. N 2011.11442.
18. Gupta S., Sabitha A. S. Designing ontology for massive open online courses using Protege // 8<sup>th</sup> International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), June 4–5, 2020. India, 2020. P. 403–406.
19. Jambhulkar S. V., Karale S. J. Semantic web application generation using Protege tool // Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET). 2016. N 39794780.
20. Официальный сайт PostgreSQL. URL: <https://www.postgresql.org/> (дата обращения: 13.03.2022).

Статья поступила в редакцию 15 марта 2022 г.

Статья принята к печати 5 мая 2022 г.

Контактная информация:

Митрофанова Ольга Александровна — канд. техн. наук; [omitrofa@gmail.com](mailto:omitrofa@gmail.com)

Митрофанов Евгений Павлович — мл. науч. сотр.; [mjeka@bk.ru](mailto:mjeka@bk.ru)

Буре Наталья Анатольевна — канд. филол. наук; [nataly.bure@gmail.com](mailto:nataly.bure@gmail.com)

## Ontological approach application to the design of a geospatial experimental database for information support of research in precision agriculture

O. A. Mitrofanova<sup>1,2</sup>, E. P. Mitrofanov<sup>1,2</sup>, N. A. Bure<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy pr., St Petersburg, 195220, Russian Federation

<sup>2</sup> St Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St Petersburg, 199034, Russian Federation

**For citation:** Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P., Bure N. A. Ontological approach application to the design of a geospatial experimental database for information support of research in precision agriculture. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2022, vol. 18, iss. 2, pp. 253–262.

<https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2022.206> (In Russian)

Thanks to the development of information technologies and computing resources, it became possible to obtain and process big data, including geospatial data. Most research in the field of precision farming is interdisciplinary in nature, with experimental field data used by disparate scientific groups. In this connection, it became necessary to develop a unified web-based system for storing, organizing, and exchanging experimental information between researchers. The first step in achieving this goal was to create a geospatial database. Since the system being developed in the future may require extensions, modifications, adjustments, integration into other projects, it seems appropriate to use the ontology to form the database



structure. The most popular tools were used as the main tools: the ontology language OWL (Ontology Web Language), the Protege 5.5 development environment. The main initial information obtained in the course of experimental studies carried out at the biopolygon: weather data, agrochemical indicators (sampling of soil and plants with georeferencing), agrophysical parameters (humidity, electrical conductivity), remote sensing data. Based on the results of the analysis of the current state of research in the field of storage and systematization of experimental information in crop production, as well as a survey of ARI employees, a prototype of the database structure was formed based on the ontological approach. Nine parent classes were defined as the foundation: Field, Crop rotation — experience, Agrotechnology, Yield, Meteo, Ground samples, Orthophoto, Calendar, and Dictionary — units of measurement.

*Keywords:* ontology, precision agriculture, field experiments, biopolygon, OWL, Protege.

## References

1. Iakushev V. P., Bure V. M., Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P. K voprosu avtomatizatsii postroeniia variogramov v zadachakh tochnogo zemledeliia [On the issue of semivariograms constructing automation for precision agriculture problems]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2020, vol. 16, iss. 2, pp. 177–185. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2020.209> (In Russian)
2. Bure V. M., Mitrofanov E. P., Mitrofanova O. A., Petrushin A. F. Vydelenie odnorodnykh zon sel'skokhoziaistvennogo polia dlia zakladki opytov s pomoshch'iu bespilotnogo letatel'nogo apparata [Selection of homogeneous zones of agricultural field for laying of experiments using unmanned aerial vehicle]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 145–150. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2018.206> (In Russian)
3. Mitrofanov E. P., Mitrofanova O. A., Bure V. M. Perspektivy sozdaniia edinoi sistemy khraneniia i obrabotki dannykh distantsionnogo zondirovaniia dlia monitoringa sostoiianiia posevov [Prospects of the unified system creation for storing and processing remote sensing data for monitoring the state of crops]. *Information and resource digital platform for the development of agriculture*. Collection of conference materials within the framework of the exhibition “Agrorus”. Saint Petersburg, September 2–5, 2020. St Petersburg, 2020, pp. 32–35. (In Russian)
4. Su X., Li J., Cui Y., Meng X., Wang Y. Review on the work of agriculture ontology research group. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, vol. 11, no. 5, pp. 720–730.
5. Wei Y., Wang R., Hu Y., Wang X. From web resources to agricultural ontology: a method for semi-automatic construction. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, vol. 11, no. 5, pp. 775–783.
6. Anandhi V., Venkitapirabu J., Natarajan S. K., Sumathi C. S. Ontology for crop management — A core vocabulary of agricultural activity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2020, vol. 9, no. 9, pp. 3364–3368.
7. Abbasi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to represent aquaponics 4.0 system's knowledge. *Information Processing in Agriculture*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.12.001> (In Press)
8. Bonacin R., Nabuco O. F., Pierozzi Jr. I. Ontology models of the impacts of agriculture and climate changes on water resources: Scenarios on interoperability and information recovery. *Future Generation Computer Systems*, 2016, vol. 54, pp. 423–434.
9. Pakdeetrakulwong U., Hengpraprom K. An ontology-based knowledge management for organic and good agricultural practice agriculture: A case study of Nakhon Pathom Province, Thailand. *Thai Interdisciplinary Research*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 26–34.
10. Qin X., Zhang H., Zheng H. Research on intelligent retrieval system for agricultural information resources based on ontology. *IOP Conference. Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1168, no. 022041.
11. Drury B., Fernandes R., Moura M. F., Lopes A. A. A survey of semantic web technology for agriculture. *Information Processing in Agriculture*, 2019, vol. 6, pp. 487–501.
12. Zheng Y., He Q., Qian P., Li Z. Construction of the ontology-based agricultural knowledge management system. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, vol. 11, no. 5, pp. 700–709.
13. Li D., Kang L., Cheng X., Li D., Ji L., Wang K., Chen Y. An ontology-based knowledge representation and implement method for crop cultivation standard. *Mathematical and computer modelling*, 2013, vol. 58, pp. 466–473.
14. Mouromtsev D. Semantic reference model for individualization of information processes in IoT heterogeneous environment. *Electronics*, 2021, no. 2523.

15. Wang X., Chen N., Chen Z., Yang X., Li J. Earth observation metadata ontology model for spatiotemporal-spectral semantic-enhanced satellite observation discovery: a case study of soil moisture monitoring. *Journal GIScience and Remote Sensing*, 2016, vol. 53, iss. 1, pp. 22–44.
16. Gruber T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 1995, vol. 43, pp. 907–928.
17. Ngo Q. H., Kechadi T., Le-Khac N.-A. OAK: Ontology-based knowledge map model for digital agriculture. *arXiv*, 2020, no. 2011.11442.
18. Gupta S., Sabitha A. S. Designing ontology for massive open online courses using Protege. *8<sup>th</sup> International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)*, June 4–5, 2020. India, 2020, pp. 403–406.
19. Jambhulkar S. V., Karale S. J. Semantic web application generation using Protege tool. *Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, 2016, no. 39794780.
20. *Official website of PostgreSQL*. Available at: <https://www.postgresql.org/> (accessed: March 13, 2022).

Received: March 15, 2022.

Accepted: May 05, 2022.

#### Authors' information:

*Olga A. Mitrofanova* — PhD in Engineering; [omitrofa@gmail.com](mailto:omitrofa@gmail.com)

*Evgenii P. Mitrofanov* — Junior Researcher; [mjeka@bk.ru](mailto:mjeka@bk.ru)

*Nataliya A. Bure* — PhD in Phylology; [nataly.bure@gmail.com](mailto:nataly.bure@gmail.com)