

Н.Г. Ивлиева¹, В.Ф. Манухов², А.В. Алферина³

**КАРТОГРАФО-ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПОЧВЕННЫХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)**

АННОТАЦИЯ

Изучение почв имеет немаловажное значение для сельскохозяйственных предприятий, т.к. основная роль в обеспечении продуктивности земледелия принадлежит им. В настоящее время активно используют геоинформационно-картографическое обеспечение почвенного и геохимического исследования территории. Целью данной работы являлось создание картографической базы данных почв для отдельного сельскохозяйственного предприятия. Актуальность разработки картографической базы данных (КБД) почв земель отдельного сельскохозяйственного предприятия связана с необходимостью комплексного учёта всех агрохимических и экологических факторов, важных для устойчивой продуктивности земледелия, мониторинга плодородия почв земель хозяйства.

Основным источником тематических данных служили материалы агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Кроме того, использовались планы землепользования и размещения сельскохозяйственных культур хозяйства, топографическая карта и спутниковые снимки. ГИС-средой служил программный продукт ArcGIS 10. Он предоставляет возможность работы с базами геоданных, а также набор инструментов для автоматизированного картографирования, проведения пространственного анализа и математико-картографического моделирования.

В результате выполнения работы была спроектирована структура КБД, сформирован набор пространственных данных ГИС, разработано содержание, компоновка и оформление тематических карт отдельного сельскохозяйственного предприятия. Упорядоченная структура КБД позволяет легко и просто работать с данными, проводить необходимый пространственный анализ.

Использование современных методов геоинформационного и математико-картографического моделирования позволило создать более подробное геоинформационно-картографическое обеспечение исследования почв территории. На основе современных ГИС-технологий в целях улучшения восприятия и анализа информации при построении картографических моделей применялись бесступенчатые шкалы, строились условные поверхности и т.д. Для создания типологических синтетических характеристик и дальнейшего отображения их на карте использовались методы многомерного математико-статистического анализа. Построена типологическая почвенно-геохимическая карта, на которой показана дифференциация изучаемых обрабатываемых участков по комплексу агрохимических показателей. Для целей дальнейших исследований была построена подробная цифровая модель рельефа изучаемой территории.

Созданная картографическая база данных уже используется при проведении исследований по оптимизации управления земельными ресурсами с применением ГИС-технологий, агроэкологической оценке пахотных земель, рациональному использованию сельских территорий и др.

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, д. 68, Саранск, 430005, Россия; *e-mail*: gkg_mrsu@mail.ru

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, д. 68, Саранск, 430005, Россия; *e-mail*: gkg_mrsu@mail.ru

³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, д. 68, Саранск, 430005, Россия; *e-mail*: alferina.96@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, картографическая база данных, почва, агрохимические показатели

Natalia G. Ivlieva¹, Vladimir F. Manukhov², Anastasia V. Alferina³

**CARTOGRAPHY-GEOINFORMATION SUPPORT
OF SOIL AND AGROCHEMICAL RESEARCHES
(ON THE EXAMPLE OF A SEPARATE AGRICULTURAL ENTERPRISE)**

ABSTRACT

The study of land soils is of no small importance for agricultural enterprises, since the main role in ensuring the productivity of agriculture belongs to the soil. Currently, they are actively using geoinformation-cartographic support of soil and geochemical research of the territory. The aim of this work was to create a cartographic database of soils for a separate agricultural enterprise. The relevance of the development of a cartographic database (CDB) of the soils of the lands of an individual agricultural enterprise is associated with the need to comprehensively take into account all agrochemical and environmental factors important for sustainable agricultural productivity, and monitor soil fertility of the farm.

The main source of thematic data was materials from an agrochemical survey of agricultural soils. In addition, land use and farm location plans, a topographic map, and satellite imagery were used. The GIS environment was the ArcGIS 10 software product. It provides the ability to work with geodatabases, as well as a set of tools for automated mapping, spatial analysis, and mathematical-cartographic modeling.

As a result of the work, the CDB structure was designed, a set of spatial GIS data was generated, the content, layout and design of thematic maps of a separate agricultural enterprise were developed. The ordered structure of the CDB makes it easy and simple to work with data and carry out the necessary spatial analysis.

The use of modern methods of geographic information and mathematical cartographic modeling allowed us to create a more detailed geographic information and cartographic support for the study of soil in the territory. On the basis of modern GIS technologies, in order to improve the perception and analysis of information when constructing cartographic models, stepless scales were used, conditional surfaces were built, etc. To create typological synthetic characteristics and further display them on a map, methods of multivariate mathematical-statistical analysis were used. A typological soil-geochemical map is constructed, which shows the differentiation of the studied cultivated areas according to a complex of agrochemical indicators. For the purposes of further research, a detailed digital relief model of the study area was built.

The cartographic database is already used in research on optimizing land management using GIS technologies, agroecological assessment of arable land, rational use of rural territories, etc.

KEYWORDS: GIS-technologies, cartographic database, soil, agrochemical indicators

¹ N.P. Ogarev National Research Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 4300005, Saransk, Russia;
e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

² N.P. Ogarev National Research Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 4300005, Saransk, Russia;
e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

³ N.P. Ogarev National Research Mordovia State University, Bolshevistskaya str., 68, 4300005, Saransk, Russia;
e-mail: alferina.96@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки картографической базы данных почв земель отдельного сельскохозяйственного предприятия связана с необходимостью комплексного учёта всех агрохимических и экологических факторов, важных для устойчивой продуктивности земледелия, мониторинга плодородия почв земель хозяйства. Тематическое картографирование по материалам почвенных и агрохимических полевых обследований играет важную роль для дальнейших исследований. В них активно используются геоинформационные технологии. Программное обеспечение ГИС предоставляет возможность выполнения автоматизированного создания картографических произведений, проведения пространственного анализа и математико-картографического моделирования.

Современная картография претерпела значительные модификации. Самое главное проявление изменений заключается в том, что раньше карты рассматривались только как графические модели (изображения, иллюстрации), сейчас карты — это ещё и данные. В настоящее время развивается электронное тематическое картографирование, базирующееся на создании объектно-ориентированных тематических баз пространственных данных, связанных в первую очередь с назначением карты, а не масштабом картографирования [Лурье, 2016].

Почвенное и почвенно-геохимическое картографирование является достаточно развитой областью, оно проводится как для целей оптимизации управления почвенными ресурсами для устойчивого развития сельского хозяйства, так и для географических и геоэкологических исследований.

В настоящее время методы геоинформационного моделирования и обработки данных дистанционного зондирования Земли находят широкое применение в сельском хозяйстве. Целью данного исследования явилось создание картографической базы данных для почвенного и геохимического исследований почв сельскохозяйственного предприятия ООО «Агросоюз — Красное Сельцо» Рузаевского района Республики Мордовия. Оно расположено в лесостепной ландшафтной зоне с умеренно-континентальным климатом, характеризующимся сравнительно холодной зимой и умеренно жарким летом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исходных материалов использовались планы землепользования и размещения сельскохозяйственных культур. Для уточнения границ полей применялись спутниковые снимки и публичная кадастровая карта. Дополнительные пространственные данные сняты с топографической карты масштаба 1: 25 000. Основным источником тематических данных послужили материалы агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий ООО «Агросоюз — Красное сельцо». В паспортной ведомости сельскохозяйственных угодий приводятся средневзвешенные данные за 2014 г. по содержанию элементов питания по каждому отдельно обрабатываемому участку, а также агрохимическая характеристика почв по видам угодий. Также руководством хозяйства были предоставлены сведения об урожайности зерновых культур и площади посевных участков за 2015–2017 гг. Площадь сельскохозяйственных угодий хозяйства — 4 266 га.

В работе применялись следующие методы исследования — геоинформационный, многомерный математико-статистический анализ, математико-картографическое моделирование, приёмы карто- и морфометрии.

ГИС-средой служил программный продукт ArcGIS 10. Он предоставляет возможность работы с базами геоданных, а также набор инструментов для автоматизированного картографирования. ГИС ArcGIS можно использовать и для обработки данных дистанционного зондирования Земли. В ArcGIS был сформирован необходимый набор пространственных данных. Составление тематических карт осуществлялось на основе предоставляемых программным обеспечением возможностей картографической визуализации атрибутивных данных. Методы картографической визуализации геопространственных данных

подробно рассмотрены в работе [Kraak, Ormeling, 2010]. ГИС-пакеты программ предоставляют некоторый универсальный набор функций для построения тематических карт. При проектировании и построении картографического изображения средствами ГИС основное внимание должно быть сосредоточено не на выразительном красочном оформлении карты, а на согласовании содержательного аспекта картографируемого показателя с его графическим отображением с обязательной увязкой с тем или иным способом картографического изображения и возможностями его реализации в ГИС-пакете [Манухов, Ивлиева, 2015]. От этого зависит практическая ценность создаваемой карты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполнения работы была сформирована КБД почв обследуемого хозяйства, в которую вошли 4 блока [Алферина, Ивлиева, 2018].

Первый блок включает базовые векторные карты: общегеографическую, сельскохозяйственные угодья (рис. 1а), картосхему участков полей севооборотов.

Во второй блок входят карты, характеризующие почвы и их геохимические свойства. Типы почв земель хозяйства отображены способом качественного фона в соответствии со стандартной классификацией (рис. 1б). Для данной территории наиболее характерно сочетание выщелоченных и оподзоленных чернозёмов и комплекса серых лесных почв. В состав этого блока включена серия аналитических почвенно-геохимических карт, показывающих содержание отдельных химических веществ и элементов в почвах, составленных способом картограмм. Градации значений определялись в соответствии с принятыми классификациями. Например, по содержанию обменного калия почвы подразделялись на следующие группы: низкое (менее 80 мг/кг), среднее (81–120 мг/кг), повышенное (121–170 мг/кг), высокое (171–250 мг/кг), очень высокое (более 250 мг/кг). Для наглядного представления степени развития показателя на карте использовались цветовые шкалы с возрастающей насыщенностью тона. Были составлены карты кислотности почв, содержания в почвах обменного калия и подвижного фосфора, процентного содержания гумуса и др. Все аналитические карты имеют одинаковый масштаб и схожую компоновку. Их тематическая индивидуальность передана через оформление.

Третий блок составляют дополнительные данные: карты урожайности зерновых культур по отдельным годам, а также карты углов наклона и экспозиции склонов.

Прочие картографические материалы (план внутрихозяйственного землепользования, кадастровая карта, растровые копии топографической карты) и спутниковые снимки образуют четвёртый блок КБД. На рис. 2 показана часть структуры разработанной картографической базы данных, представленная непосредственно в ГИС-среде. Упорядоченная структура КБД позволяет легко и просто работать с данными, проводить необходимый пространственный анализ.

Созданная КБД уже используется при проведении исследований по оптимизации управления земельными ресурсами с применением ГИС-технологий, агроэкологической оценке пахотных земель, рациональному использованию сельских территорий и др. В целях обеспечения дальнейших почвенных и агрохимических исследований было решено дополнить разработанную КБД новыми картографическими изображениями, построенными различными методами геоинформационного картографирования и математико-картографического моделирования.

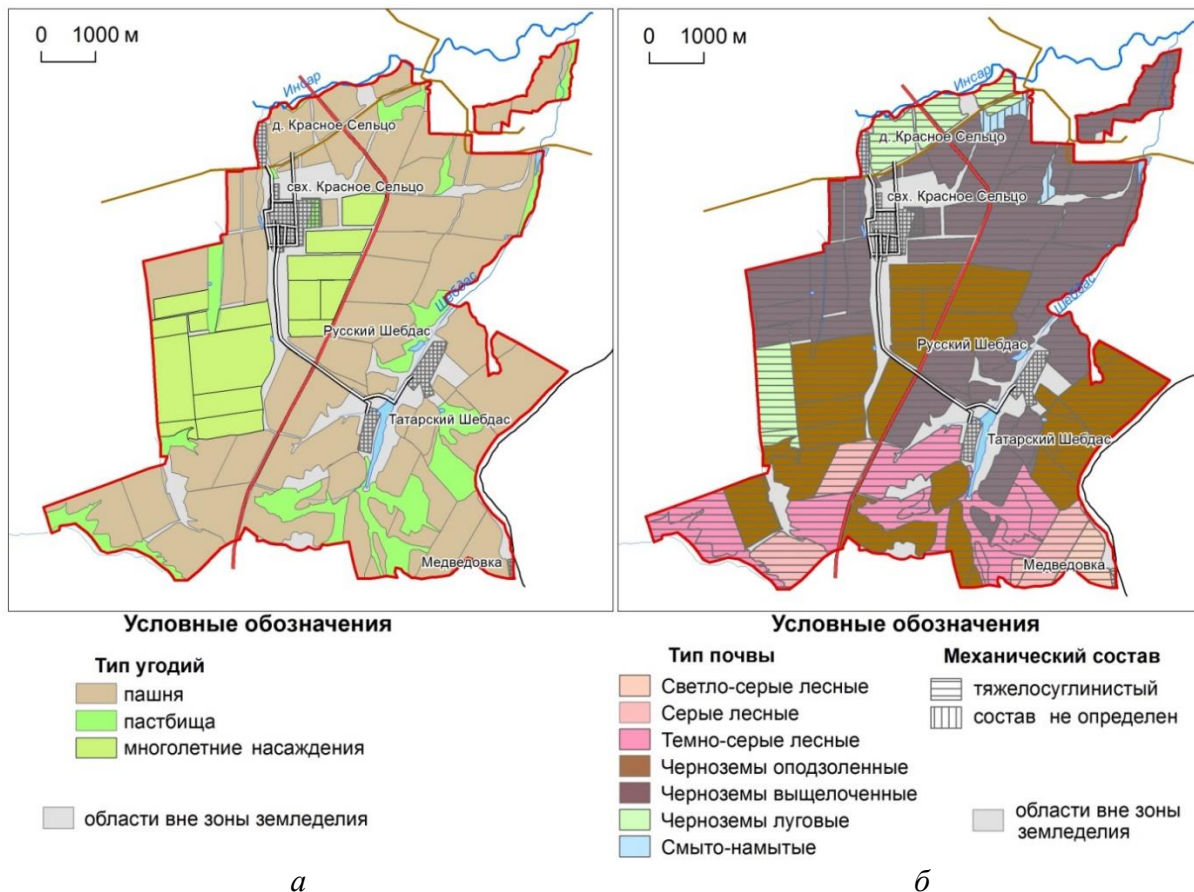
Созданные ранее тематические карты показывают осреднённые по каждому отдельно обрабатываемому участку значения показателей. В соответствии с действующим на тот момент ГОСТ 28168-89, при агрохимическом обследовании почв на пашне, улучшенных сенокосах и пастбищах смешанный образец составлялся из 20, в садах из 16 проб, взятых по осевой линии элементарного участка. Каждый почвенный образец характеризует участок пашни площадью 15 га. Построенные карты не показывают различий в интенсивности явлений внутри изучаемых территориальных единиц. Ступенчатая шкала скрывает и

неоднородность распространения явлений по участкам, попавшим в один класс. Общее количество исследованных участков — 94, поэтому имело смысл передать более подробную картину распределения значений показателей.

На основе современных ГИС-технологий в целях улучшения восприятия и анализа информации несложно видоизменять форму её показа: можно использовать непрерывные (бесступенчатые) шкалы, создавать трёхмерные блок-диаграммы, строить условные поверхности, анаморфированные изображения и т.д.

Методы геоинформационного моделирования позволяют строить картограммы в непрерывных шкалах, когда насыщенность цвета (интенсивность штриховки) ставится в точное соответствие величине картографируемого показателя. В целях получения такого картографического изображения в ГИС-пакете ArcGIS полигональный слой участков был преобразован в растровую форму. Используя тип «крастяжка» визуализации растровых данных, мы построили картограммы, передающие распределение значений показателей в непрерывных шкалах (рис. 3).

Для построения условных поверхностей распределения содержания отдельных веществ и химических элементов в почвах использовалась интерполяция по точкам. Был осуществлён переход от полигонов (участков) к точкам; к точке центроида полигона и приурочивался смешанный образец проб почв на участке, что, по сути, отвечает методике полевого обследования. Затем, используя методы, встроенные в набор инструментов Spatial Analyst, проводили интерполяцию.



*Рис. 1. Характеристика исследуемой территории:
 а) по видам сельскохозяйственных угодий; б) по типу и механическому составу почв
 Fig. 1. Characteristics of study territory:
 a) by type of agricultural land; b) by type and mechanical composition of soils*

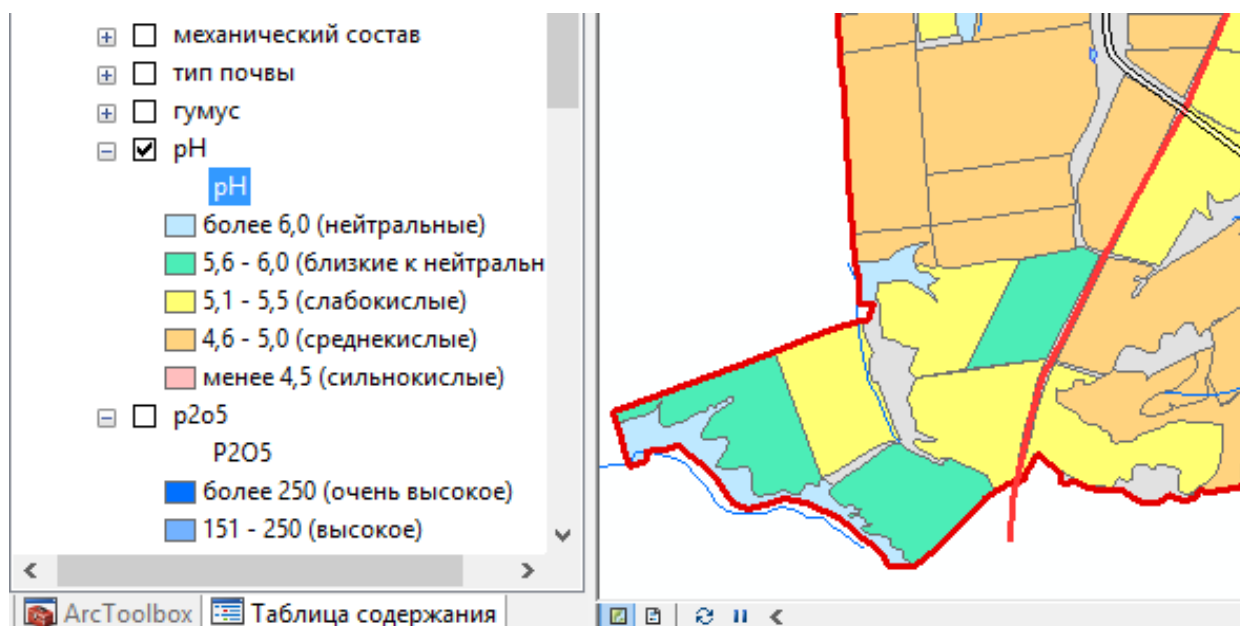


Рис. 2. Фрагмент структуры слоёв картографической базы данных в ГИС-пакете ArcGIS

Fig. 2. Fragment of structure of the cartographic database layers in the ArcGIS GIS package

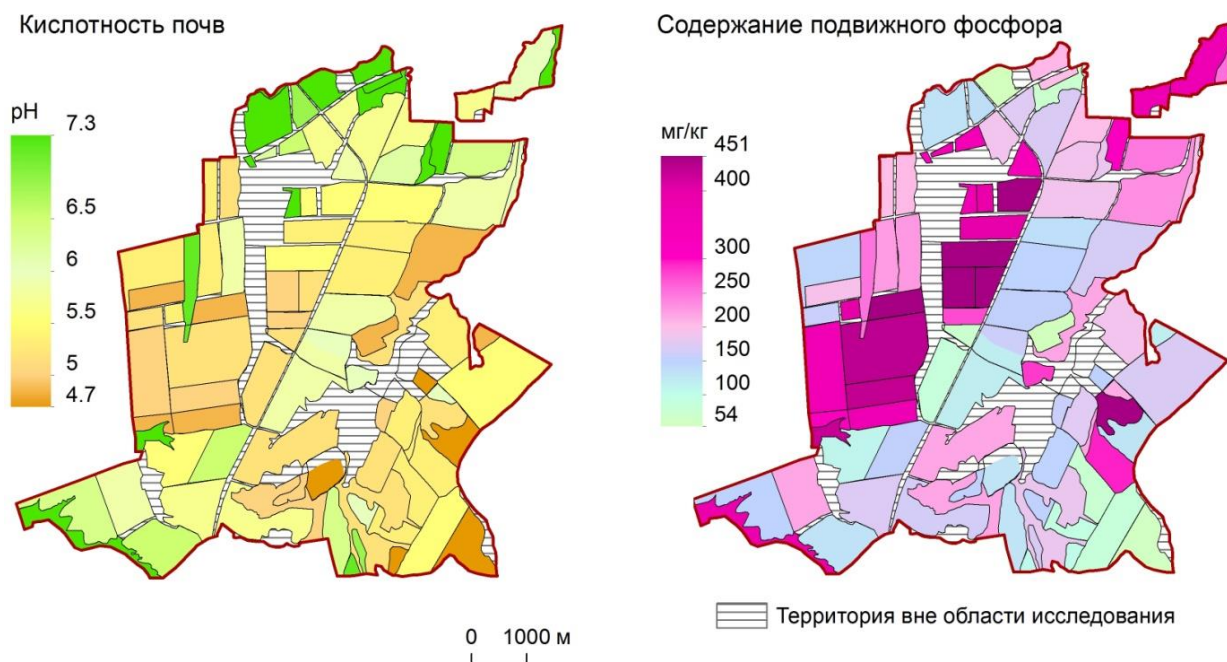


Рис. 3. Картограммы в бесступенчатой шкале

Fig. 3. Choropleth maps in stepless scale base

Построенные условные поверхности распределения содержания отдельных макро- и микроэлементов в почвах могут применяться для оценки взаимосвязей пространственных характеристик, например, урожайности зерновых и содержания того или иного элемента в почвах. Корреляционные модели взаимосвязей явлений несложно построить, пользуясь только встроенными в ГИС функциями. Как известно, коэффициент корреляции примерно равен косинусу угла α между направлениями градиентов двух сравниваемых

статистических поверхностей $\gamma = \cos \alpha$. Углы между направлениями градиентов есть углы между направлениями экспозиций склонов условных поверхностей, вычисления которых реализованы практически в каждой растровой ГИС (или в пакете программ, создающих цифровые модели рельефа). В них также реализована возможность сложения, вычитания поверхностей и т.п. Поэтому, если уже построены цифровые модели поверхностей, то далее решение задачи не представляет трудности. Достаточно вычислить разность значений экспозиции двух сравниваемых поверхностей и найти косинус этой разности, т.е. угла между градиентами, как правило, выраженного в радианах.

Географический подход к изучению явлений предполагает их территориальную изменчивость и её изучение с помощью методов классификации. Для создания типологических синтетических характеристик и дальнейшего отображения их на карте использовались методы многомерного математико-статистического анализа.

В данной работе каждая территориальная единица (участок поля) характеризовалась набором из 13 исходных показателей:

- X1 — кислотность (рН);
- X2 — подвижный фосфор P_2O_5 (мг/кг);
- X3 — обменный калий K_2O (мг/кг);
- X4 — сера (мг/кг);
- X5 — гумус (%);
- X6 — гидролитическая кислотность Нг (мг·экв/100 г);
- X7 — насыщенность основаниями V (%);
- X8 — бор (мг/кг);
- X9 — медь (мг/кг);
- X10 — молибден (мг/кг);
- X11 — цинк (мг/кг);
- X12 — обменный кальций (мг·экв/100 г);
- X13 — обменный магний (мг·экв/100 г).

Чтобы оценить степень влияния всего комплекса показателей, на их основе был реализован алгоритм компонентного анализа. Анализ матрицы нагрузок главных компонент на показатели (табл. 1) выявил, что первая компонента обобщает 5 показателей: рН, гидролитическую кислотность, насыщенность основаниями и в значительной степени содержание обменного кальция и органических веществ. На неё приходится максимум дисперсии (более 26 %). Вторая компонента ассоциируется с содержанием микроэлементов в почве: цинка, бора, в некоторой степени молибдена, а третья — с содержанием обменного магния и серы. Заметим, что четвёртая компонента характеризует обеспеченность почв важными элементами питания растений: подвижным фосфором и обменным калием. В совокупности 4 компоненты охватывают в сумме более 68 % дисперсии, а уже восемь первых компонент — более 92 % (табл. 2). Поэтому можно утверждать, что 8 главных компонент в достаточной мере характеризуют весь набор показателей и могут использоваться в дальнейших расчётах вместо исходной системы показателей.

Пространственное варьирование значений первых четырёх главных компонент (Z1, Z2, Z3, Z4) на занятой пашней территории ООО «Агросоюз — Красное сельцо» изображено на рис. 4, красные тона показывают их высокие значения, зелёные или синие — низкие.

Использование первых 8 ортогонализированных характеристик вместо 13 исходных показателей в определённой мере исключает случайную составляющую вариации исходных показателей и приводит их систему к ортогональному виду. Второе положение является необходимым для возможности использования многомерных математических алгоритмов, базирующихся на использовании евклидовых расстояний и удобных для целей дифференциации всех полей хозяйства на выделы (кластеры), включающие участки с достаточно однородными величинами исходных показателей [Тикун, 1997].

Табл. 1. Матрица нагрузок главных компонент
Table 1. Principal component loadings matrix

Исходные показатели	Нагрузка главных компонент							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-0,849	0,056	0,086	-0,072	-0,275	0,053	-0,241	0,199
P ₂ O ₅	-0,187	-0,387	0,015	-0,778	-0,051	0,023	0,232	-0,188
K ₂ O	0,041	-0,453	-0,020	-0,742	0,140	-0,089	-0,275	0,128
Сера	-0,232	0,482	-0,649	-0,193	0,129	0,145	0,244	-0,295
Гумус	-0,626	-0,054	-0,373	0,266	0,079	-0,415	-0,277	-0,241
Hr	0,802	-0,095	-0,497	-0,023	-0,152	-0,121	-0,180	0,008
V	-0,904	-0,013	0,267	0,095	0,152	0,125	0,199	-0,021
B	-0,443	0,698	-0,151	-0,223	0,132	0,262	-0,122	0,161
Cu	-0,142	0,222	0,001	-0,098	-0,930	0,082	-0,069	-0,131
Mo	0,162	0,610	0,055	-0,166	-0,142	-0,535	0,429	0,235
Zn	0,171	0,821	-0,132	-0,215	0,171	0,018	-0,278	0,070
Ca	-0,688	-0,312	-0,357	-0,014	-0,007	-0,385	0,028	0,144
Mg	-0,049	-0,446	-0,694	0,169	-0,106	0,328	0,208	0,305

Табл. 2. Собственные значения и вклад главных компонент в суммарную дисперсию
Table 2. Eigenvalues and the contribution of the principal components to the total variance

Собственные значения	Вклад в суммарную дисперсию, %	Накопленная дисперсия, %
3,411	26,24	26,2
2,481	19,08	45,3
1,539	11,84	57,2
1,440	11,08	68,2
1,111	8,54	76,8
0,853	6,56	83,3
0,721	5,54	88,9
0,454	3,50	92,4

Для дифференциации изучаемой территории по комплексу агрохимических показателей, ортогонализированному с помощью метода главных компонент, применялся кластерный анализ — метод «к средних». Было проведено многовариантное математико-картографическое моделирование. Картографическое представление результатов одного из вариантов изображено на рис. 5, где участки полей поделены на 5 кластеров с достаточно однородными значениями исходных данных. Легендой для данной карты служат средние значения исходных показателей, рассчитанные по каждому кластеру, представленные в виде профильных диаграмм. При этом они, чтобы были соизмеримы и сопоставимы, нормированы по средним значениям соответствующих характеристик по всему хозяйству. Тем самым значения более единицы выше среднего по хозяйству, а менее единицы — ниже среднего. Средние значения агрохимических показателей по кластерам даны в табл. 3. Таким образом, на типологической почвенно-геохимической карте показана дифференциация изучаемых обрабатываемых участков по комплексу агрохимических показателей. Диаграммы дают нужную информацию для подбора вида вносимых удобрений и их количества.

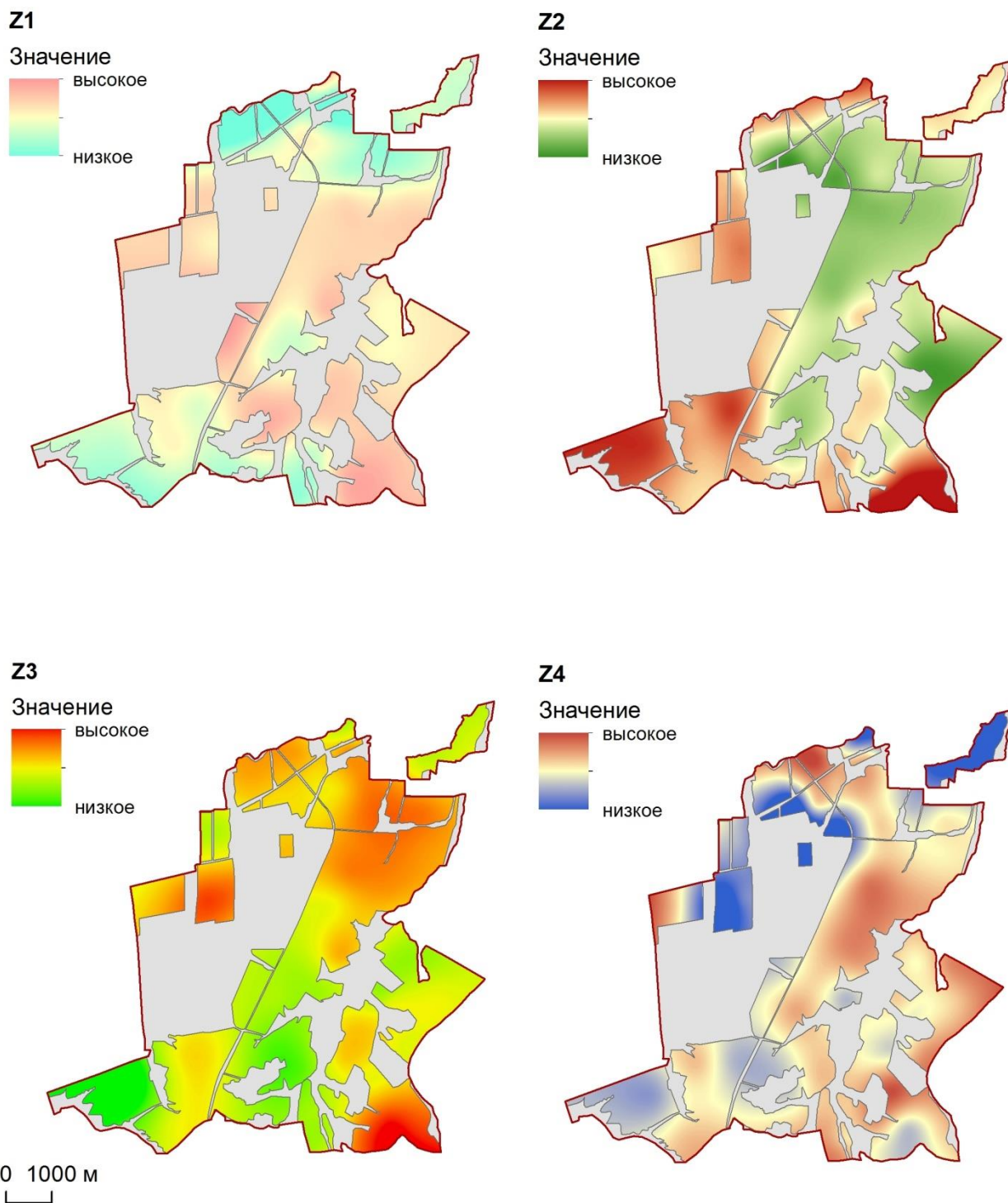


Рис. 4. Варьирование главных компонент на исследуемой территории
Fig. 4. Variation of the principal component scores in the study area

Следовательно, методы математико-картографического моделирования позволяют совместно исследовать целый набор показателей и на их основе произвести группировку отдельных почвенных участков в выделы (кластеры) примерно с одинаковыми агрохимическими условиями, требующими внесения тех или иных доз и сочетаний удобрений.

Одним из важнейших факторов развития природных процессов и их влияния на агроландшафты, определяющим локальные особенности распределения воды, солнечной радиации, энергии склоновых процессов, служит рельеф территории [Глотов, 2013]. Поэтому

для целей дальнейших исследований была построена подробная цифровая модель рельефа изучаемой территории (рис. 6). С целью создания гидрологически корректной модели рельефа применялась интерполяция с учётом векторных данных о водотоках [Hutchinson, 1989], алгоритм которой реализован в ArcGIS. Гидрографическая сеть на исследуемой территории представлена мелкими ручьями, протекающими по днищам балок и оврагов, впадающими в р. Инсар и её приток руч. Шебдас. Территория сельскохозяйственного предприятия располагается на равнинных водоразделах и пологих склонах различных экспозиций; при этом более возвышенные участки склонов занимают серые лесные почвы и оподзоленные чернозёмы, а нижние части — выщелоченные чернозёмы и лугово-чернозёмные почвы.

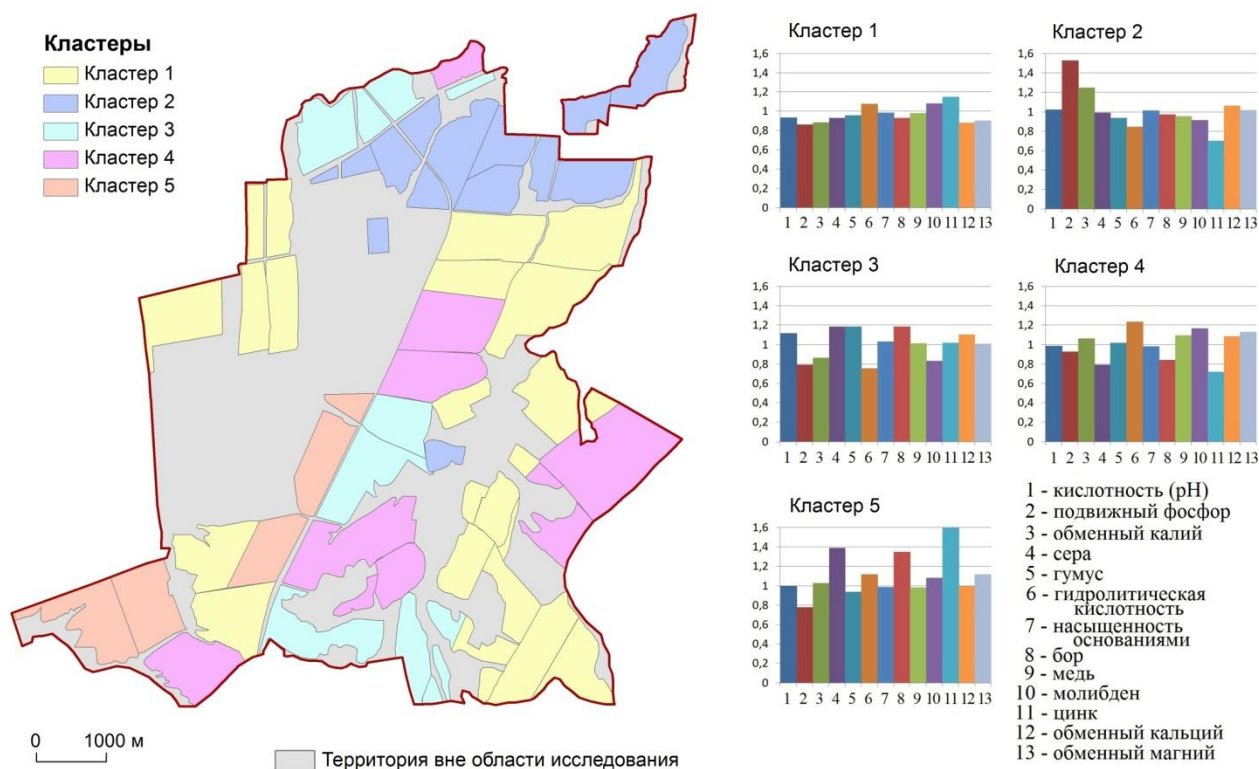


Рис. 5. Дифференциация участков по комплексу агрохимических показателей
Fig. 5. Differentiation of cultivated areas by set of agrochemical indicators

На основе ЦМР с использованием стандартных функций модуля Spatial Analyst ГИС-пакета ArcGIS строились производные характеристики — углы наклона, экспозиция склонов, кривизна поверхности. Экспозиция определяет направление потока. Уклон характеризует скорость потока вниз по склону. Значение профильной кривизны указывает на ускорение или замедление потока, что влияет на эрозию. Кроме того, на основе раstra суммарного стока и углов наклона был рассчитан топографический индекс влажности (Topographic Wetness Index, TWI) [Gessler et al., 1995], позволяющий оценить особенности эрозионных процессов с учётом гидрологических ресурсов для их развития (чем больше удельная водосборная площадь, тем выше вероятность развития эрозии [Глотов, 2013]), выделить участки потенциального переувлажнения. Следует заметить, что существуют различные алгоритмы вычисления площади водосбора по цифровым моделям рельефа, например, на основе построения линий тока [Кошель, Энтин, 2017].

Использование геоморфометрического анализа предоставляет возможность рассчитать количественные показатели плоскостной и линейной эрозии.

Табл. 3. Средние значения агрохимических показателей для выделенных кластеров
 Table 3. The average values of agrochemical indicators for the selected clusters

Показатели	Номера кластеров					Общее среднее
	1	2	3	4	5	
Кислотность (рН)	5,04	5,51	6,02	5,3	5,38	5,38
Подвижный фосфор (мг/кг)	134	238,4	123,4	144,6	121	155,7
Обменный калий (мг/кг)	163,7	231,9	160,3	196,9	190,4	185,3
Сера (мг/кг)	2,37	2,53	3,02	2,02	3,54	2,55
Гумус (%)	7,14	7	8,85	7,62	7	7,47
Гидролитическая кислотность (мг · экв/100 г)	3,94	3,1	2,77	4,53	4,1	3,66
Насыщенность основаниями (%)	90,44	93,16	94,51	89,91	90,5	91,66
Бор (мг/кг)	1,06	1,11	1,35	0,96	1,54	1,14
Медь (мг/кг)	5,62	5,47	5,8	6,26	5,62	5,72
Молибден (мг/кг)	0,13	0,11	0,1	0,14	0,13	0,12
Цинк (мг/кг)	0,62	0,38	0,55	0,39	0,88	0,54
Обменный кальций (мг · экв/100 г)	17,66	21,4	22,14	21,79	20	20,08
Обменный магний (мг · экв/100 г)	3,92	4,43	4,39	4,92	4,86	4,34

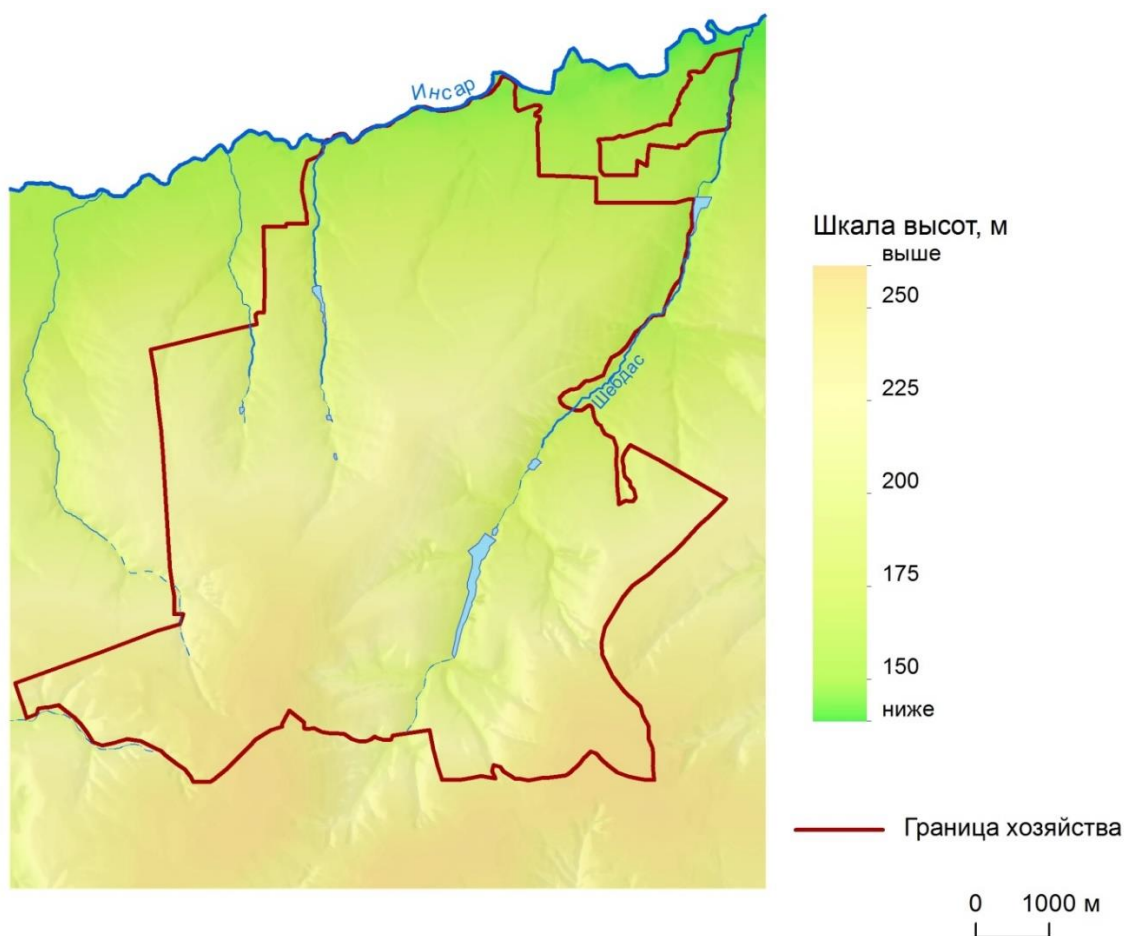


Рис. 6. Изображение рельефа местности
 Fig. 6. Terrain image

Методами геоинформационного анализа и моделирования в ГИС-среде ArcGIS можно выполнить агроэкологическую оценку земель. Схема проведения такого оценивания на примере отдельного фермерского хозяйства при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия, например, дана в работе [Смирнова и др., 2011].

ВЫВОДЫ

В результате проведённой работы создано картографо-геоинформационное обеспечение почвенных и агрохимических исследований территории сельскохозяйственного предприятия ООО «Агросоюз — Красное Сельцо», помогающее специалистам получить оперативный доступ к необходимой информации. Но оно не является полностью и окончательно сформированным. Возможно её наполнение тематическими картами, создаваемыми на основе новых данных методами геоинформационного картографирования и пространственного анализа и моделирования. КБД делает возможным осуществление комплексного учёта всех агрохимических и экологических факторов при мониторинге земель хозяйства.

Обобщая выполненные исследования, можно сделать вывод, что применение геоинформационного и математико-картографического моделирования для создания базы данных электронных карт почв территории отдельного сельскохозяйственного предприятия является вполне эффективным. Составленные карты наглядно показывают пространственное варьирование значений различных характеристик почв. Классификация участков полей на кластеры, включающие участки с достаточно однородными величинами агрохимических показателей, с представлением полученных результатов на карте может быть использована в практике работы агрономов, а также в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферина А.В., Ивлиева Н.Г. О создании картографической базы данных почв отдельного сельскохозяйственного предприятия. Структура, динамика и функционирование природно-социально-производственных систем: наука и практика. Межвузовский сборник научных трудов. Саранск: Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, 2018. С. 82–86.
2. Глотов А.А. Применение данных о рельефе для эффективного использования сельскохозяйственных земель. Геопрофи, 2013. № 4. С. 20–22.
3. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2017. № 3. С. 42–50.
4. Лурье И. К. Университетская школа географической картографии: традиции и инновации. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка, 2016. Т. 60. № 5. С. 37–41.
5. Манухов В.Ф., Ивлиева Н.Г. О построении картографических изображений средствами ГИС-пакетов. Педагогическая информатика, 2015. № 1. С. 55–63.
6. Смирнова Л.Г., Нарожная А.Г., Кривоконь Ю.Л., Петрякова А.А. Применение геоинформационных систем для агроэкологической оценки земель при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Достижения науки и техники АПК, 2011. № 11. С. 11–14.
7. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. М.: Издательство Московского университета, 1997. 405 с.
8. Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J. Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. International Journal of GIS, 1995. No 9 (4). P. 421–432.
9. Hutchinson M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 1989. V. 106. No 3–4. P. 211–232.
10. Kraak M.-J., Ormeling F. Cartography: visualization of geospatial data. 3rd edition. Harlow, England: Pearson Education Limited, 2010. 249 p.

REFERENCES

1. *Alferina A.V., Ivlieva N.G.* On creation of the cartographic database of soils of a separate agricultural organization. The structure, dynamics and functioning of natural-social-production systems: science and practice. An inter-university collection of scientific papers. Saransk: N.P. Ogarev Mordovia State University, 2018. P. 82–86 (in Russian).
 2. *Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., Ryan P.J.* Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. *International Journal of GIS*, 1995. No 9 (4). P. 421–432.
 3. *Glotov A.A.* The elevation data application for the efficient use of agricultural land. *Geoprofi*, 2013. No 3. P. 20–22 (in Russian).
 4. *Hutchinson M.F.* A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 1989. V. 106. No 3–4. P. 211–232.
 5. *Kraak M.-J., Ormeling F.* Cartography: visualization of geospatial data. 3rd edition. Harlow, England: Pearson Education Limited, 2010. 249 p.
 6. *Koshel S.M., Entin A.L.* Catchment area derivation from gridded digital elevation models using the flowline-tracing approach. *Herald of Moscow University. Series 5. Geography*, 2017. No 3. P. 42–50 (in Russian).
 7. *Lurie I.* The university school of geographic cartography: tradition and innovation. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*, 2016. V. 60 (5). P. 37–41 (in Russian).
 8. *Manukhov V.F., Ivlieva N.G.* Creation of cartographic images GIS packages means. *Pedagogical Informatics*, 2015. No 1. P. 55–63 (in Russian).
 9. *Smirnova L.G., Narazhnaja A.G., Krivokon' Yu.L., Petryakova A.A.* Application of geoinformation systems for agroecological assessment of land with adaptive landscape farming system designing. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 2011. No 11. P. 11–14 (in Russian).
 10. *Tikunov V.S.* Modelling in cartography. Moscow: Moscow University Press, 1997. 405 p. (in Russian).
-