

СОЗДАНИЕ МЕНЕДЖМЕНТ-ЗОН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ГЕОСТАТИСТИКИ

О. А. КУЦАЕВА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: alexa-1982@bk.ru

(Поступила в редакцию 26.03.2020)

Совершенствование методологии внутрихозяйственного землеустройства в направлении перехода от формирования рабочих участков к формированию менеджмент-зон, установленных под конкретные требования сельхозпроизводителя при внедрении точного земледелия крайне важно для аграрного сектора белорусской экономики. Действенным инструментом при идентификации и делинеации таких менеджмент-зон является использование функциональных возможностей геоинформационного анализа. В статье представлены результаты применения методов геостатистического и многофакторного геоинформационного анализа для формирования менеджмент-зон в пределах землепользования РУП «Учебно-опытное хозяйство БГСХА» (Республика Беларусь, Могилевская область, Горецкий район). Общая площадь обследуемой территории составила 83420,1 га. Характер пространственного распределения данных о содержании гумуса, подвижного фосфора и калия в почве, а также об уровне pH был оценен с помощью инструментов модуля Spatial Statistics ArcGIS 10.3. Было установлено наличие надежной кластеризации данных об изучаемых параметрах почвы, поскольку значение глобального индекса Морана (I) варьировало от 0,197827 до 0,360388, а z-показатель во всех случаях превышал 2,58. Метод универсального кригинга оказался наиболее пригодным для моделирования пространственного распределения данных о pH почвы, в то время как эмпирический байесовский кригинг является наиболее приемлемым при моделировании пространственного распределения содержания гумуса, фосфора и калия в почве. Как метод основных компонент, так и простое суммирование растров с использованием функциональных возможностей калькулятора растров в процессе выполнения многофакторного геопропространственного анализа оказались пригодными для определения менеджмент-зон по набору параметров почвы (расхождение с фактической площадью составило 16,56 и 16,24 га соответственно). Полученные результаты целесообразно использовать для разработки карт-заданий по дифференцированному внесению минеральных удобрений при внедрении элементов точного земледелия.

Ключевые слова: геопропространственный анализ, почва, менеджмент-зоны, кластеризация, точное земледелие.

Improving the methodology of on-farm land management in the direction of transition from the formation of work sites to the formation of management zones established for the specific requirements of the agricultural producer when introducing precision farming is extremely important for the agricultural sector of the Belarusian economy. An effective tool for the identification and delineation of such management zones is the use of the functionality of geographic information analysis. The article presents the results of applying the methods of geostatistical and multifactor geoinformation analysis for the formation of management zones within the land use of the Republican Unitary Enterprise «Educational Experimental Farm of BSAA» (Republic of Belarus, Mogilev region, Gorki district). The total area of the surveyed area was 83,420.1 ha. The spatial distribution of data on the content of humus, mobile phosphorus and potassium in the soil, as well as on the pH level, was estimated using the tools of the Spatial Statistics ArcGIS 10.3 module. A reliable clustering of data on the studied soil parameters was established, since the value of the global Moran (I) index varied from 0.197827 to 0.360388, and the z-score in all cases exceeded 2.58. The universal kriging method turned out to be the most suitable for modeling the spatial distribution of soil pH data, while empirical Bayesian kriging is the most suitable for modeling the spatial distribution of the content of humus, phosphorus, and potassium in the soil. Both the method of the main components and the simple summation of rasters using the functionality of the raster calculator in the process of performing multivariate geospatial analysis turned out to be suitable for determining management zones according to a set of soil parameters (the discrepancy with the actual area was 16.56 and 16.24 ha, respectively). It is advisable to use the results obtained for the development of task maps for the differential application of mineral fertilizers when introducing precision farming elements.

Key words: geospatial analysis, soil, management zones, clustering, precision farming.

Введение

Вследствие глобализации мировой экономики сельское хозяйство всех стран сталкивается с рядом серьезных проблем, в частности, с изменением климата, растущим спросом на энергоресурсы и их дефицитом, ускоренной урбанизацией, старением населения в сельских регионах, увеличением конкуренции на мировых рынках. В отношении земельных ресурсов первоочередной проблемой, актуальной как для стран ЕС, так и для Беларуси и других сопредельных государств, является сокращение площади сельскохозяйственных угодий, которое в странах Европы в последние десять лет составляет в среднем 0,7 % в год [1], а в Беларуси достигает 0,1–0,4 % [2]. В условиях постоянного удорожания энергоресурсов, сырья для производства минеральных удобрений и наличия дефицита органических удобрений актуальной становится проблема поиска путей увеличения экономической эффективности использования земельных ресурсов. Одним из способов ее успешного решения является внедрение точного (координатного) земледелия – современной концепции управления сельским хозяйством, использующей цифровые методы для мониторинга и оптимизации процессов сельскохозяйственного производства [3, 4]. Его главная цель – увеличить количество и качество получаемой сельскохозяй-

ственной продукции при меньшем потреблении энергетических и материальных ресурсов и обеспечении снижения негативного воздействия на окружающую среду. Мировой рынок технологий точного земледелия в среднем составляет 2,3 миллиарда евро и, как ожидается, с каждым годом будет увеличиваться в среднем на 12 % [5].

Беларусь имеет высокий потенциал для внедрения систем точного земледелия либо их отдельных элементов в аграрное производство. Среди основных ее преимуществ – наличие свыше 1380 сельскохозяйственных предприятий со средним размером землепользований свыше 5,3 тыс. га по площади сельскохозяйственных угодий и свыше 3,5 тыс. га – по площади пахотных земель [2]. Также положительным фактором следует считать сосредоточение сельскохозяйственных земель преимущественно в руках государства (87,6 % от общей площади), что открывает возможности для сельхозпроизводителей получить государственную финансовую поддержку при внедрении систем точного земледелия, в частности на модернизацию производства и покупку высокоточной техники.

Однако, наряду с преимуществами существуют и проблемы, препятствующие широкому внедрению системы точного земледелия в практику сельскохозяйственных предприятий. Важнейшей из них является существующая система внутрихозяйственного землеустройства, ориентированная на традиционное энерго- и ресурсозатратное земледелие и не учитывающая существующих неоднородностей в пределах отдельного поля либо земельного участка – ключевых факторов для координатного земледелия. В частности, формирование рабочих участков исходя исключительно из геометрических принципов, без учета пространственной неоднородности как почвенного покрова, так и агрохимических и физико-химических свойств почв, не позволяет проводить дифференцированное внесение минеральных удобрений и нивелирует экономическую сущность точного земледелия, заключающуюся в снижении материальных и энергетических затрат сельскохозяйственного производства без уменьшения его объемов.

Точное определение зон неоднородностей в пределах поля является неотъемлемым условием эффективного внедрения координатного земледелия. Его успешное выполнение, в свою очередь, возможно исключительно посредством применения возможностей ГИС-анализа [6, 7, 8], который используют как для поиска пространственных закономерностей в распределении тех или иных почвенных показателей и взаимосвязей между ними, так и для разработки методики создания актуальных карт, пригодных для использования техникой, оснащенной системами глобального позиционирования.

Вопросам реализации возможностей геопро пространственного анализа в различных сферах народного хозяйства посвящен целый ряд исследований. Применению ГИС-анализа в территориальном планировании посвящены работы [9, 10, 11], использованию возможностей геопро пространственного анализа для жилищного строительства и городского развития – исследования [12, 13], в экономике природопользования – работы [14, 15].

Значительное количество исследований посвящено непосредственно проблеме разграничения менеджмент-зон для целей точного земледелия [16, 17, 18, 19 и др.]. Однако, вне внимания ученых-экономистов и землеустроителей оказались вопросы, связанные с методологией и методикой осуществления внутрихозяйственных землеустроительных мероприятий в направлении перехода от формирования рабочих участков к формированию менеджмент-зон под конкретные требования сельхозпроизводителя. Таким образом разработка новых подходов к осуществлению внутрихозяйственного землеустройства при внедрении системы точного земледелия, в частности связанная с созданием менеджмент-зон для дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием инструментов геостатистики, является чрезвычайно актуальной для аграрного сектора экономики Беларуси и требует детального всестороннего изучения.

Основная часть

Исследования выполнялись в 2017–2019 гг. на территории Горьковского района Могилевской области в пределах землепользования РУП «Учебно-опытное хозяйство БГСХА» на площади 83420,1 га.

Шейп-файл с размещением земельных участков и атрибутивными значениями содержания в почве гумуса, подвижных фосфора и калия, а также pH почвенного раствора в пределах территории проведения исследования был создан в среде ГИС ArcGIS версии 10.3 по результатам оцифровки планово-картографических материалов, полученных при выполнении агрохимического обследования территории сельскохозяйственного предприятия в 2018 году УКПП «Могилевская областная проектно-исследовательская станция агрохимизации».

Почвенный покров представлен преимущественно дерново-подзолистыми супесчаными на водно-ледниковых супесях и дерново-подзолистыми суглинистыми на лессовидных суглинках почвами [20].

Анализ пространственного распределения данных об агрохимических и физико-химических свойствах почвы выполнялся с помощью функциональных возможностей наборов инструментов «Анализ структурных закономерностей» и «Расчет кластеризации» модуля «Пространственная статистика» ГИС ArcGIS версии 10.3.

Многофакторный геопространственный анализ выполнялся посредством применения инструмента «Калькулятор растра» утилиты «Алгебра карт», инструментов «Метод главных компонент» и «Классификация по методу максимального подобия» утилиты «Многомерность». Глобальный индекс Морана (I) и индекс Getis-OrdGi* рассчитывали по методике, изложенной в работе [7].

В качестве основного инструмента для изучения структуры пространственного распределения почвенных показателей были использованы вариограммы. Точность интерполяции оценивалась посредством выполнения кросс-валидации по величине средней ошибки (ME), среднеквадратичной нормированной ошибки (MSSE) [20].

В технологии точного земледелия под менеджмент-зоной понимается субрегион поля, который определяется относительной однородностью продуктивности выращиваемых в его пределах сельскохозяйственных культур и/или почвенных параметров, требующий применения одинаковой нормы удобрений, дозы пестицидов, химических мелиорантов [3, 17]. На сегодняшний день сложилось преимущественно два подхода к определению менеджмент-зон: 1) поля разделяются на зоны управления в соответствии со значениями одной или нескольких характеристик почвы и/или урожая; 2) менеджмент-зоны определяются по величине окупаемости затрат урожаем [21]. Поскольку элементы технологии точного земледелия только начали внедряться в Беларуси, применение подхода, основанного на экономических характеристиках, не представляется возможным, поскольку отсутствует достоверная информация об экономической эффективности подобного рода мероприятий. Однако и определение менеджмент-зон по значениям почвенных параметров и показателям урожайности также имеет ряд ограничений. В частности, на сегодняшний день в сельскохозяйственных предприятиях страны имеется незначительное количество комбайнов, оснащенных приспособлениями для точного учета урожая. Исходя из этого, при разработке методики определения менеджмент-зон для условий Республики Беларусь в качестве исходных показателей были выбраны почвенные параметры, наиболее часто используемые агрономическими службами сельскохозяйственных предприятий: содержание в почве гумуса, подвижных фосфора и калия, а также pH почвенного раствора.

На первом этапе исследований было выполнено группирование данных с помощью алгоритма k-средних. Целью такого группирования стал поиск естественных кластеров и распределение данных о почвенных параметрах на заданное число групп, в которых все показатели наиболее схожи между собой, в то время как сами группы максимально отличаются друг от друга. Были выделены четыре группы кластеров. Максимальную площадь выделенных кластеров имеет группа 3 – 2703,5 га; группы 1 и 2 имеют относительно близкую величину по площади – 2182,9 и 2059,3 га, а группа 4 имеет минимальную площадь кластеров – 1396,4 га.

После установления факта наличия кластеров была выполнена оценка меры пространственной автокорреляции данных посредством определения индекса Морана. Рассчитанная величина глобального индекса Морана I колебалась в пределах от 0,197827 до 0,360388, что свидетельствует о том, что данные об агрохимических и физико-химических свойствах почвы в пределах исследуемой территории распределены не случайно и кластеризованы с вероятностью 99 %.

Для установления достоверности кластеризации данных с высокими и низкими значениями выполняли «анализ горячих точек» посредством определения величины общего индекса Getis-Ord Gi*, что позволяет визуально идентифицировать где именно в пределах территории исследований будут наблюдаться максимальные и минимальные значения изучаемых свойств почвы и приблизительно идентифицировать возможные локалитеты определяемых менеджмент-зон.

В процессе выполнения анализа кластеров и выбросов по результатам оценки величины локального индекса Морана, z-оценки и r-значения установлено наличие пространственных выбросов высоких и низких значений для всех исследуемых показателей. Наличие максимального количества выбросов с высокими значениями установлено для данных о содержании подвижного фосфора (84 кластера), а наибольшим количеством выбросов с низкими значениями характеризовались данные о содержании в почве гумуса (135 кластеров). Минимумом выбросов с высокими значениями характери-

зовались данные о содержании в почве гумуса, а с низкими значениями – данные о pH почвенного раствора.

Пространственные выбросы в нашем случае обусловлены как несовершенством методики отбора проб почвы при выполнении почвенных обследований, так и несовершенством применяемых методов картографирования результатов агрохимических исследований. С другой стороны, наличие выбросов может быть обусловлено и объективными причинами, например, применением различных доз минеральных удобрений в пределах отдельных рабочих участков. Этим, в частности, может быть объяснена пестрота пространственного распределения подвижных фосфора и калия в почве. При проведении перепроверки с целью уточнения ситуации с наличием выбросов не подтвердилось наличие от 38 до 78 % кластеров с выбросами высоких значений и от 62 до 78 % кластеров с выбросами низких значений. В последующем участки с не подтвержденными пространственными выбросами были исключены из набора данных при последующем выполнении моделирования пространственного распределения показателей качества почвы посредством метода интерполяции.

Для моделирования пространственного распределения данных об агрохимических и физико-химических свойствах почвы применяли интерполяцию по методу кригинга. После выполнения процедуры кросс-валидации наилучшие результаты для моделирования пространственного распределения данных о pH почвы были получены при применении метода универсального кригинга, что хорошо соотносится с результатами, полученными в работе [18]. Метод эмпирического байесовского кригинга оказался наиболее приемлемым при моделировании пространственного распределения содержания в почве гумуса, фосфора и калия, что также соотносится с результатами, представленными в работах [22, 23] (табл. 1).

Таблица 1. Параметры моделей кригинга, используемых для прогноза пространственного распределения агрохимических и физико-химических свойств почвы

Показатель	Модель семивариограммы	Наггет	Уклон	Степень	ME	MSSE
Содержание гумуса, %	Power	$3,92 \cdot 10^{-2}$	$1,03 \cdot 10^{-2}$	1,61	0,001	0,929
Содержание P_2O_5 , mg/kg	Power	$5,26 \cdot 10^3$	$5,92 \cdot 10^3$	1,54	0,136	0,965
Содержание K_2O , mg/kg	Power	$1,71 \cdot 10^2$	$4,35 \cdot 10^3$	1,52	0,166	0,953
pH _{KCl}	Spherical	0,000	0,318*	0,318**	0,002	1,007

* – частичный порог семивариограммы; ** – порог семивариограммы.

Следующим этапом исследований стал поиск наиболее приемлемого метода определения зон с наилучшим и наихудшим комплексом исследуемых показателей качества почвы посредством выполнения многофакторного геопропространственного анализа. Полученные в результате растровые изображения переклассифицировались и преобразовывались в векторные слои для последующей оценки площади идентифицированных менеджмент-зон с соответствующим качеством земель (табл. 2).

Таблица 2. Идентифицированные менеджмент-зоны с соответствующим качеством земель

Качество земель	Растр, полученный посредством использования функциональных возможностей калькулятора растров		Растр, полученный с использованием метода главных компонент		Растр, полученный с использованием метода максимального правдоподобия	
	Размер менеджмент-зоны					
	га	% от общей площади	га	% от общей площади	га	% от общей площади
Низкое	1977,83	23,66	1974,35	23,62	2927,95	35,02
Удовлетворительное	2784,07	33,31	2773,92	33,19	2379,04	28,46
Хорошее	2278,11	27,26	2253,48	26,96	1106,81	13,24
Отличное	1318,32	15,77	1356,91	16,23	1946,78	23,29
Общая площадь	8358,34	100,0	8358,66	100,0	8360,58	100,0
Отличие от фактического значения	+16,24	+0,19	+16,56	+0,20	+18,48	+0,22

При сравнении площадей выделенных менеджмент-зон практически идентичными по результатам определения оказались анализ по методу главных компонент и использование функциональных возможностей калькулятора растра, поскольку различия с фактической площадью исследуемой территории составили всего лишь 16,56 и 16,24 га или 0,20 и 0,19 % соответственно. Более того, все идентифицированные зоны имели значительное совпадение между собой как по локализации, так и по площади, следовательно, оба эти метода являются пригодными для установления границ менеджмент-зон в пределах пахотных земель по комплексу агрохимических и физико-химических показателей. Однако, при наличии более широкого перечня показателей, целесообразнее все же использовать метод главных компонент для идентификации зон неоднородностей, поскольку он позволяет более пол-

но оценить имеющиеся данные и определить те из них, которые имеют максимальную изменчивость, а соответственно и пригодность для делинеации менеджмент-зон, на что, в частности, указывается и в работах [16, 18, 19].

На рисунке представлено растровое изображение идентифицированных по набору из четырех почвенных параметров менеджмент-зон. Следует отметить, что выделенные менеджмент-зоны посредством использования функциональных возможностей ГИС могут быть разбиты на рабочие участки, сформированные под ширину захвата используемой высокоточной сельскохозяйственной техники, применяемой для дифференцированного внесения минеральных удобрений, а полученные картографические изображения – использоваться в качестве карт-заданий для ее эффективной работы.

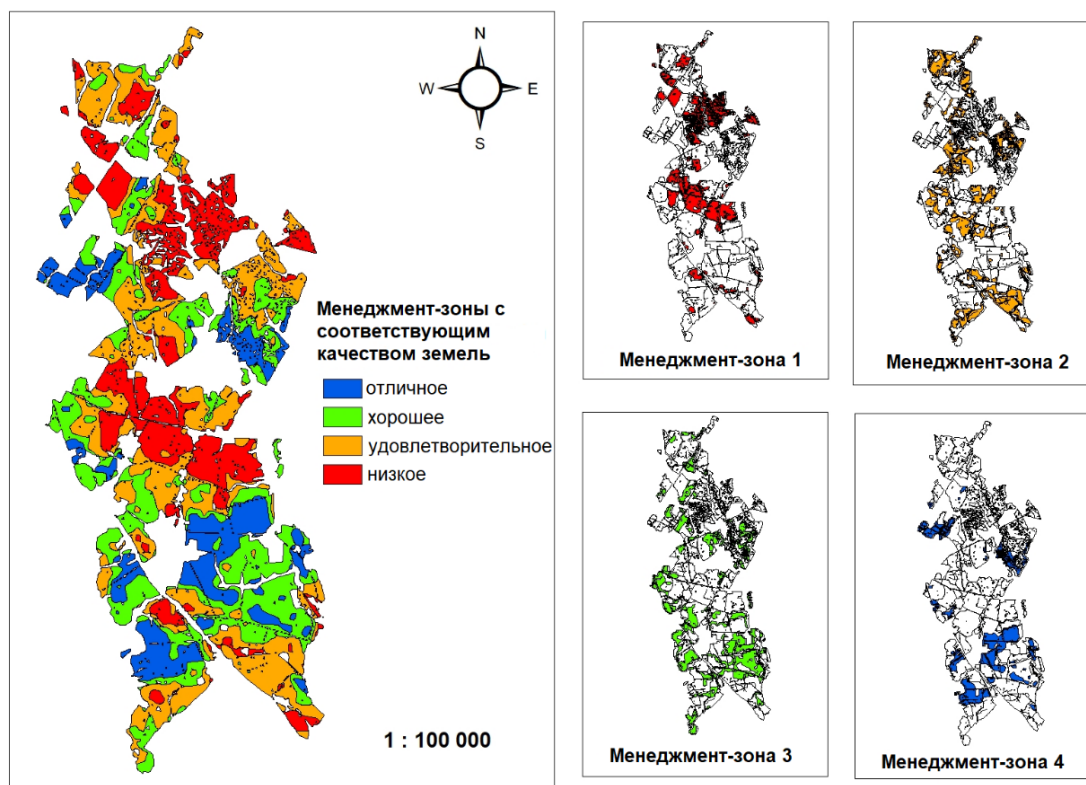


Рис. Менеджмент-зоны с соответствующим качеством земель, идентифицированные в пределах землепользования РУП «Учебно-опытное хозяйство БГСХА»

В пределах каждой из четырех идентифицированных менеджмент-зон были определены средние значения изучаемых свойств почвы, которые целесообразно использовать в качестве входных данных для расчета норм удобрений и химических мелиорантов и дифференцированного их внесения (табл. 3).

Таблица 3. Средние значения свойств почвы в пределах менеджмент-зон

Менеджмент-зона	Количество рабочих участков, входящих в зону	Содержание гумуса, %	Содержание P_2O_5 , мг/кг	Содержание K_2O , мг/кг	pH_{KCl}
1	112	2,00	120	132	5,68
2	164	2,04	183	196	5,74
3	136	2,19	251	252	5,98
4	77	2,46	322	332	6,01

Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы: 1) для условий Беларуси определение менеджмент зон возможно осуществлять исходя из данных об агрохимических и физико-химических свойствах почвы; 2) интерполяция по методу кригинга (универсального – для показателя pH почвенного раствора и эмпирического байесовского – для содержания в почве гумуса, фосфора и калия) является наиболее приемлемой для моделирования пространственного распределения данных о почвенных параметрах; 3) алгоритм идентификации менеджмент-зон предусматривает: выполнение разведочного геостатистического анализа; построение интерполированных растров для определенного набора почвенных параметров; переклассификацию растров и выполнение многофакторного анализ; конвертирование итогового растра в векторные слои и определение площадей выде-

ленных зон; 4) как метод главных компонент, так и простое суммирование интерполированных растров пригодны для идентификации менеджмент зон, однако при наличии большего числа параметров предпочтение все же следует отдавать методу главных компонент; 5) полученные картографические изображения с разграничением идентифицированных менеджмент-зон целесообразно использовать для планирования дифференцированного внесения минеральных удобрений, что позволит сэкономить ресурсы и улучшить химические, физические и экологические свойства почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Precision agriculture and the future of farming in Europe / Daheim C., Poppe K., Schrijver R. – Directorate-General for Parliamentary Research Services, 2016. – 274 p.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск. – 2019. – 212 с.
3. Doerge, T. A. Management zone concepts. The site-specific management guidelines / T. A. Doerge // Potash and Phosphate Institute, South Dakota State University. – 1999. – P. 1–4.
4. GIS for housing and urban development The National Academies Press. – Washington, 2003. – 142 p.
5. Zarco-Tejada, P. J., Hubbard N., Loudjani Ph. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers – potential support with the cap 2014-2020 / P. J. Zarco-Tejada, N. Hubbard, Ph. Loudjani/ –Joint Research Centre of the European Commission, 2014. – 57 p.
6. Bateman, I. Applying geographical information systems (GIS) to environmental and resource economics / I. Bateman, A. Jones, A. Lovett // Environmental and Resource Economics. – 2002. – Vol. 22. – P. 219–269.
7. Mitchell, A. The ESRI Guide to GIS Analysis / A. Mitchell // Esri Press. – 2005. – Vol. 2. – 252 p.
8. Мыслыва, Т. Н. Геостатистический анализ пространственного распределения агрохимических свойств почв земель сельскохозяйственного назначения / Т. Н. Мыслыва, Ю. А. Белявский // Материалы Международной научно-практической конференции «Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрения». – Горки, 2019. – С. 101–103.
9. Барлиани, И. Я. Возможности использования ГИС-технологий в системе планирования и управления территорией / И. Я. Барлиани // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Вып. 6, №1. – С. 247–250.
10. Каганович, А. А. (2017) Планирование территориальной устойчивости с использованием геоинформационных систем / Е. П. Богодяж // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – №1 (46). – С. 203–207.
11. Чымыров, А. У. Использование ГИС в территориальном планировании / А. У. Чымыров, А. К. Бектуров // Вестник КГУСТА. – 2013. – №2. – С. 124–129.
12. Kurowska, K. Possibilities use to selected methods of spatial data mining in demographic data analytics / K. Kurowska, E. Kietlinska, H. Kryszk // Baltic surveying. – 2018. – Vol. 9. – P. 45–55.
13. Perkins, D. D. Mapping urban revitalization: using GIS spatial analysis to evaluate a new housing policy / D. D. Perkins, C. Larsen, B. B. Brown // J. Prev. Interv. Community. – 2009. – Vol. 37(1). – P. 48–65.
14. Бакланов, П. Я. Региональные геоинформационные системы в природопользовании на Дальнем Востоке / П. Я. Бакланов, В. В. Ермошин, С. М. Краснопеев // Открытое образование. – 2010. – №5. – С. 12–23.
15. Богодяж, Е. П. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2018 год. / Е. П. Богодяж. – Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, Минск. – 2019. – 476 с.
16. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India / S.K. Behera [et al.] // Catena / – 2018. – Vol. 165 – P. 251–259.
17. Edge, B. An economic-theory-based approach to management zone delineation / B. Edge // In: Poster Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture, July 8–11, 2019. – Montpellier, France. – 2019. – P. 56–57.
18. Soil properties spatial variability and delineation of site-specific management zones based on soil fertility using fuzzy clustering in a hilly field in Jianyang, Sichuan, China / Mohamed S. Metwally [et al.] // Sustainability. – 2019. – Vol. 11, issue 24. – P. 1–19.
19. Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review / S. Nawar [et al.] // In Advances in Agronomy. – 2017. – Vol. 143. – P. 175–245.
20. Use of geospatial analysis methods in land management and cadaster / T. Myslyva [et al.] // Baltic Surveying. – 2018. – Vol. 9. – P. 56–62.
21. Management zone delineation using a modified watershed algorithm / P. Roudier [et al.] // Precision Agriculture. – 2008. – Vol. 9(5). – P. 233–250.
22. Durdević, B. Spatial variability of soil organic matter content in Eastern Croatia assessed using different interpolation methods / B. Durdević [et al.] // Int. Agrophys. – 2019. – Vol. 33(1). – P. 31–39.
23. Samsonova, V. P. Use of empirical Bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands / V. P. Samsonova, Y. N. Blagoveshchenskii, Y. L. Meshalkina // Eurasian Soil Science. – 2017. – Vol. 50. – P. 305–311.