

УДК [912.43:631.4]:004.9

Н.В. Клебанович,*доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой почвоведения и земельных информационных систем БГУ;***С.Н. Прокопович,***преподаватель кафедры почвоведения и земельных информационных систем БГУ;***Ю.В. Путятин,***доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом плодородия почв РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси*

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕЗОСТРУКТУР ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ КЛЕЦКОГО РАЙОНА)

Введение. Одной из причин, снижающих эффективность использования почвенных ресурсов, является недостаточный учет сложности почвенного покрова Беларуси. Это не находит пока полного отражения как в производственных технологиях, так и при практическом использовании земель, а также результатов почвенного картографирования. Почвы образуют в одинаковых условиях ассоциации с характерным рисунком, которые обладают своими усредненными показателями сельскохозяйственной пригодности, что позволяет производить оценку качества земель не только по количественным показателям почвенной неоднородности участка, но и исходя из пригодности тех или иных ассоциаций для конкретных культур.

Существенно улучшить состояние управления земельными ресурсами сельскохозяйственного назначения можно лишь на основе современных технологий, использующих космическую информацию и ГИС, сочетающих в себе мощный аналитический аппарат с пространственным представлением информации.

В развитых странах методы геоинформационного учета пестроты почвенного покрова применяются достаточно широко, особенно при точном земледелии. В Республике Беларусь наличие данных по пестроте почвенного покрова предусмотрено инструкцией об организации работ по проведению мониторинга земель в Республике Беларусь, исследования структуры почвенного покрова имеют хорошую теоретическую базу. Основной проблемой в настоящее время является отсутствие технологии автоматизированного получения данных по структуре почвенного покрова на основе цифровых почвенных карт, составление которых в стране уже начато.

Цифровая почвенная картография [1–2] – новое направление в почвоведении, использующее возможности современных технологий для пространственного количественного анализа почвенного покрова на разных этапах исследования (GPS и полевые сканеры при сборе первичной полевой информации; цифровые модели местности, материалы дистанционного зондирования (ДДЗ), геологические и другие тематические карты как источники информации о факторах среды; ГИС, геостатистику, математические и статистические модели – для унифицированного хранения информации и обработки данных). Цифровое почвенное картографирование прошло путь от исследовательских проектов [3–5] до массового производства цифровых карт на целые страны или крупные регионы, например, карта Венгрии [6] или бассейна реки Муррей с Дарлингем в Австралии [7–8]. Однако даже в развитых странах создание цифровых почвенных карт еще далеко не завершено, в том числе во Франции [9]. Отмечено [10], что имеющиеся разработки цифровой почвенной картографии ориентированы главным образом на анализ отдельных свойств и не используют в своей методологической основе положений концепции структур почвенного покрова [11].

Анализ имеющихся источников показал, что наиболее значимым критерием выделения структур почвенного покрова (СПП) следует считать однородность их местоположения. Под местоположением СПП понимается участок земной поверхности, обособленный от других участков границами гравигенного, литогенного или гидрогенного происхождения.

Основная цель исследования – разработка алгоритма выделения мезоструктур почвенного покрова по цифровым крупномасштабным почвенным картам в геоинфор-

мационной среде и получение их картометрических характеристик на примере сельскохозяйственных земель Клецкого района.

Основная часть. В результате проведенных работ сделано обоснование оптимального пространственного разрешения факторных основ решения поставленной задачи, а также анализ имеющихся представлений о средних линейных размерах элементарных почвенных ареалов (ЭПА) и элементарных почвенных структур (ЭПС), намечено их определение с помощью анализа цифровой модели рельефа (ЦМР), которая построена в среде ГИС ArcGIS для расчета морфометрических величин (крутизны, кривизны, площадей водосбора и др.).

На современном этапе, когда произошло увеличение покрытия территории цифровыми данными (о рельефе и почвах) и существует необходимость упрощения и ускорения получения обобщенной (генерализированной) информации, работы по составлению комплексных карт более мелких масштабов на основе крупномасштабных карт должны реализовываться в цифровой среде с использованием автоматического подхода. Это позволит добиться стандартизации подходов выполнения генерализации.

Применительно к структурам почвенного покрова основными сложностями было отсутствие четкого определения требований к границе почвенной структуры и ее проведению на местности и карте, а также разграничения между принципами границ почвенных структур, разных по происхождению (комплексами, ташетами, мозаиками, сочетаниями и т. п.).

При работе с цифровыми почвенными картами коренным образом меняется как качественная, так и техническая составляющая почвенной генерализации, временной фактор выполнения, анализа и контроля данного процесса. Решать поставленные задачи помогли инструменты программного продукта ArcGIS и специально написанные скрипты.

При генерализации цифровых почвенных карт в программном продукте ArcGIS Desktop возможно применять различные конструкторы запроса в атрибутивных таблицах для поиска почвенных контуров, не соответствующих размерам для выбранного масштаба, а также для дальнейшего преобразования их во внесмасштабные знаки. Таким же способом можно отобразить большие контуры, отвечающие заданному масштабу для генерализации. Для генерализации систематического списка в ArcGIS Desktop можно использовать мастер постройки диаграмм, причем технически сли-

яние контуров разновидностей (инструмент: Редактор-Слияние), отнесенных к новой классификационной единице, и дальнейшая ее визуализация займет в десятки раз меньше времени и ресурсов, чем при работе с аналоговыми авторскими или контурными почвенными картами.

Входными данными служили цифровой слой границ почвенных разновидностей, полученный путем оцифровки почвенных карт земель сельскохозяйственных организаций и цифровые данные по рельефу (ЦМР). Для слоя почв предварительно была разработана градация на семь классов по увлажнению (автоморфные; оглеенные внизу или на контакте; временно избыточно увлажняемые; глееватые; глеевые; торфяно- и торфянисто-глеевые; торфяные) и две орографические группы (почвы, характерные для возвышенностей и понижений).

На первом этапе необходимо было произвести корректировку цифрового слоя почв. На почвенных картах, использованных для оцифровки, присутствовали границы различных искусственных линейных и площадных объектов (дороги, фермы и т. п.). Эти границы были внесены в цифровой слой и образовали полигоны, которые пересекали естественные границы почв. Для корректировки был разработан алгоритм автоматического удаления данных разрывов с применением данных по рельефу. Формировалась полигональная тема потоков, пересекающих разрывы, для проведения границ между смежными почвами, расположенными на границах пустых участков.

Далее была сформирована карта потоков с данными по почвам, которые они пересекают, и создание темы взаимосвязей между ними. При этом проводилась корректировка несоответствия движения потока и чередования почв вниз по склону, обусловленного взаимной неточностью цифровых данных по рельефу и выделенных границ почвенных разновидностей.

Группировка проводилась как вниз по ряду увлажнения, так и наоборот. Такой подход позволяет отсекают группы, которые замкнуты в локальных котловинах и на отдельных возвышенностях, выделять фоновые почвы, группы, состоящие из простого сочетания одиночных почвенных контуров, и группы, объединяющие неоднородные компоненты.

В первую очередь, рассматривались почвенные комбинации (ПК), имеющие внутреннюю взаимосвязь компонентов, во вторую – без внутренней связи. Почвенные комбинации характеризуются не только характером внутренней взаимосвязи и составом, но

и характером распространения почв, входящих в их состав (рисунком почв). Любая ПК должна иметь однородность генетико-геометрического строения. Структуры, связанные с неоднородностью литологического покрова, не будут иметь границ, характеризующих взаимодействие между своими компонентами. Граница будет определяться только распространением литологической особенности территории, сформировавшей такую структуру. В этом случае характер почвенного рисунка приобретает еще большее значение при выделении границ.

Неоднородность ПК определяется сложностью и контрастностью почвенного покрова, которые определяются обычно на субъективно выделенных ключевых участках, результаты экстраполируются на территорию, имеющую сходный рисунок почв. Компьютерная обработка позволяет сделать этот процесс более объективным, так как выделение структур не зависит от научных концепций составителя, а лишь от заложенного алгоритма.

Определение контрастности хорошо отработано, а определение сложности всегда вызывало ряд затруднений, что обусловлено непрерывностью почвенного рисунка в пространстве. Контур почвы может отличаться весьма сложной формой, непрерывно изменяясь в пространстве от крупных однородных массивов до узких извилистых участков. Один и тот же контур может участвовать в построении почвенного рисунка самой разной сложности и масштаба. Таким образом, происходит отображение изменения действия почвообразующих факторов на местности. Границы между почвенными контурами очень извилисты, но при этом зоны пограничной неоднородности могут ограничивать внутри контура цельные массивы одной почвы.

Количественный анализ форм сложных контуров был нами реализован в ГИС-пакете ArcGIS. Входными данными служил цифровой слой границ почвенных разновидностей, на основе которого были построены центрыиды (центры масс) полигонов и точки равноудаленные от всех точек границы контура. Получены значения колебаний расстояний между границами внутри контура, по которым можно определять характер распределения включений в их пределах и отделять эти участки от остального массива контура.

Выделение границ позволяет проводить анализ состава групп и характера взаимосвязи их компонентов и, как следствие, отслеживать, какие группы являются взаимосвязанными структурами, а какие – просто смежными контурами почвенных разновидностей. В целом

это дает возможность переходить на завершающий этап – выполнение автоматического выделения структур почвенного покрова. Дополнительной задачей помимо создания карты групп и почвенных структур является автоматическое формирование описания этих групп (легенды), которая грамотно отражает характер взаимодействия между компонентами.

По разработанному алгоритму нами создана карта мезоструктур Клецкого района, отображенная на рисунке. В автоматизированном режиме выделено четыре крупных мезоструктуры, имеющих определенную территориальную приуроченность и отражающих доминирующий характер влияния процессов почвообразования и особенности почвообразующих пород территории.

Основными количественными характеристиками почвенных мезоструктур Клецкого района являются: расчлененность (характер расположения почвенных и их рассредоточенность в границах мезоструктуры), контрастность (степень различия почв в пределах мезоструктуры), неоднородность (интегральный показатель совокупного отражения расчлененности и контрастности) и ряд специфических показателей, отражающих картометрические особенности почвенного покрова и почвенных контуров (дробность, изрезанность границ, сложность почвенного покрова и др.). Несмотря на однозначную трактовку данных морфометрических характеристик, существуют различные методики их расчета, например коэффициент расчлененности $K_r[12]$ и $K_r[11]$, в связи с чем в таблице кроме названия показателей дается и формула, по которой данный показатель высчитывался (таблица).

В структуру 1 (вариации дерново-подзолистых и дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почв, преимущественно суглинистых) попадает 3567 контуров почвенной карты М 1: 10 000 общей площадью 20867 га (рисунок). Это самая лучшая мезоструктура района, она имеет максимальную среднюю площадь контура – 5,85 га при минимальной степени дифференциации почвенных контуров – 0,02, индексе дробности 0,31, (таблица). Самые низкие у данной мезоструктуры также коэффициенты контрастности – 8,6, расчлененности (P / S) – 0,22, сложности – 0,03. Общий невысокий коэффициент неоднородности (1,9) свидетельствует о невысокой комплексности почвенного покрова и сравнительном удобстве сельскохозяйственного использования земель.

Таблиця – Количественные характеристики мезоструктур почвенного покрова Клецкого района

Показатели	Формула	Мезоструктура			
		1	2	3	4
Количество контуров	–	3567	6589	610	4742
Общая площадь структуры	–	20867	29864	4365	10198
СП (средняя площадь контура), га	S/n	5,85	4,53	2,71	2,15
ДПК (степень дифференциации величины почвенных контуров)	$\sum_{i=1}^n (S_i - S_{cp}) / nS_{cp}$	0,02	0,02	0,06	0,05
ИД (индекс дробности)	$n / \sum_{i=1}^n S_i$	0,31	0,22	0,36	0,46
КР (коэффициент расчлененности)	P / S	0,22	0,26	0,34	0,39
КР' (коэффициент расчлененности)	$P / 3,54\sqrt{S}$	9,22	12,9	6,3	11,1
КС (коэффициент сложности)	$KP(S - S_{max}) / СП * S$	0,03	0,06	0,04	0,18
КК (коэффициент контрастности)	$ax + by + cz + \dots / 20$	8,55	9,40	16,2	10,2
КН (коэффициент неоднородности)	$KP * KK$	1,88	2,44	5,10	3,98
Ккруг. (коэффициент кругообразности)	$4\pi S / P^2$	0,40	0,42	0,41	0,36
Кизрез. (коэффициент изрезанности)	$1 / K_{круг.}$	2,50	2,38	2,43	2,77

Широкому использованию земель под пашню способствует и благоприятный гранулометрический состав почв – легкосуглинистые почвы занимают 70 % территории.

В почвенном покрове структуры – дерново-подзолистые почвы, занимающие более половины территории, – сочетаются с дерново-подзолистыми заболоченными, в основном временно избыточно увлажняемыми. Вместе с тем другие почвы занимают сравнительно небольшие площади, что создает благоприятные возможности для пахотного земледелия, так как осушительная мелиорация, как правило, не нужна.

В структуру 2 (вариации дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв, преимущественно супесчаных) попадает 6589 контуров почвенной карты М 1 : 10 000 общей площадью 29864 га. Это самая крупная мезоструктура района, она имеет высокую среднюю площадь контура – 4,5 га при минимальной степени дифференциации почвенных контуров и индексе дробности – 0,02 и 0,31 соответственно (см. таблицу). Невысокие у данной мезоструктуры также коэффициенты контрастности – 9,4, расчлененности (P / S) – 0,26, сложности – 0,06. Немногим более высокий коэффициент неоднородности, чем в структуре 1 (2,4), также свидетельствует о невысокой комплексности почвенного покрова и сравнительном удобстве сельскохозяйственного использования земель.

Широкому использованию земель под пашню способствует и более легкий в среднем, но достаточно благоприятный гранулометрический состав почв. Связносупесча-

ные почвы занимают более половины территории мезоструктуры, а всего супесчаные почвы распространены на 89 % территории. В почвенном покрове структуры дерново-подзолистые почвы, занимающие более половины территории, сочетаются с дерново-подзолистыми заболоченными, тогда как другие почвы занимают сравнительно небольшие площади, что создает благоприятные возможности для пахотного земледелия. Последнему мешает значительная доля полугидроморфных почв – 38 %, что создает неравномерность увлажнения и затруднение для проведения обработок почв в оптимальные сроки.

В структуру 3 (сочетания дерново-подзолистых песчаных и торфяно-болотных низинных и верховых почв) попадает 1610 контуров почвенной карты М 1: 10 000 общей площадью 4365 га. Это самая мелкая по площади мезоструктура района. Она имеет невысокую среднюю площадь контура – 2,7 га при втрое, по сравнению со структурами 1 и 2, более высокой степени дифференциации почвенных контуров – 0,06, индексе дробности 0,36, коэффициенте расчлененности 0,34, (см. таблицу). У данной мезоструктуры самый высокий коэффициент контрастности (16,2) сочетается с минимальным коэффициентом расчлененности ($P / 3,54\sqrt{S}$) – 6,3, невысоким коэффициентом сложности – 0,04. Сравнительно высокий коэффициент неоднородности (5,1) свидетельствует о повышенной комплексности почвенного покрова и неудобстве сельскохозяйственного использования земель.

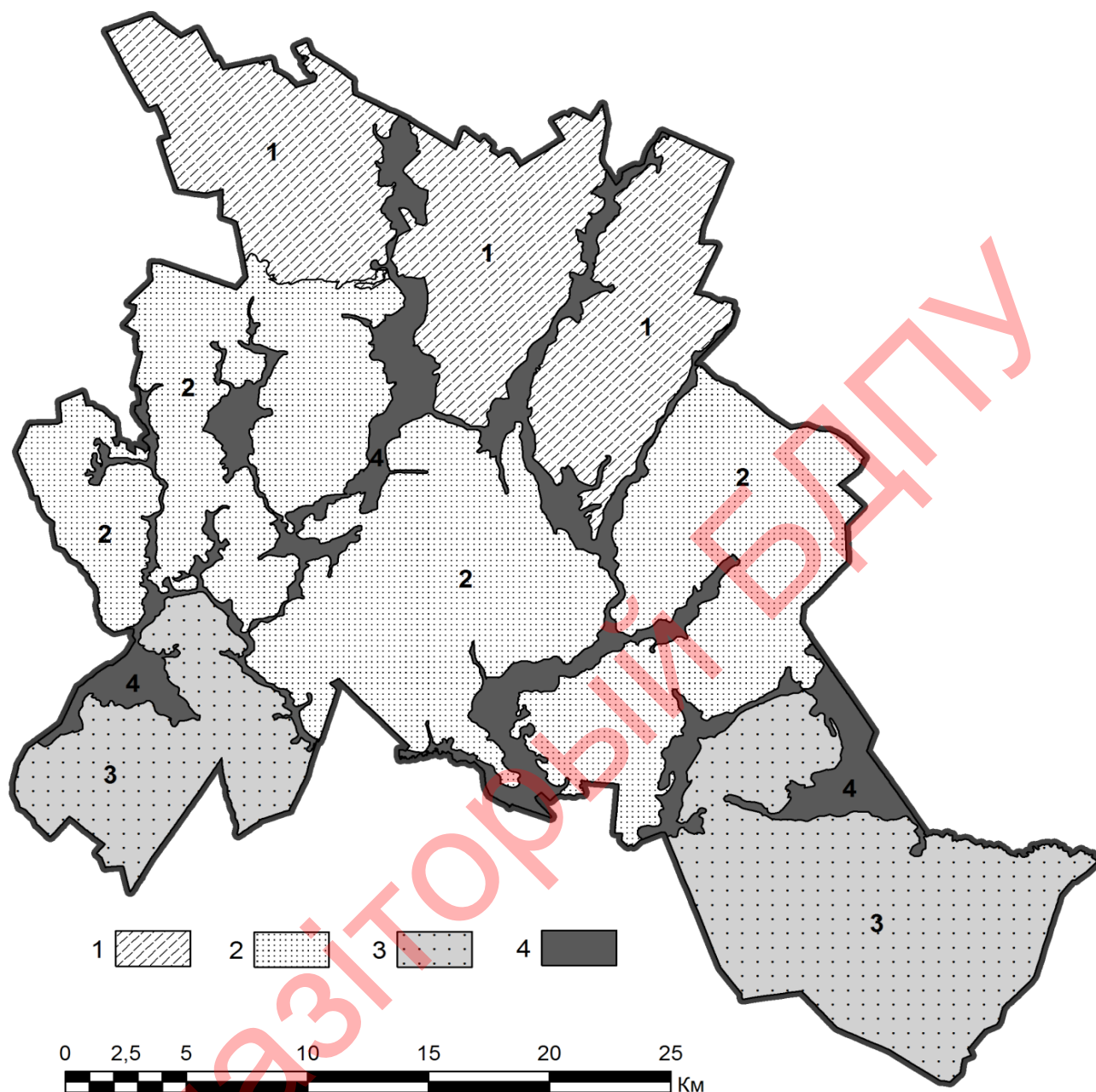


Рисунок – Мезоструктуры почвенного покрова Клецкого района

Мезоструктура 3 является самой пестрой по гранулометрическому (ботаническому) составу почв, что очень затрудняет внедрение рациональных севооборотов. Связнопесчаные, рыхлосупесчаные и торфяно-болотные почвы занимают по 25–30 % территории мезоструктуры при очень широком спектре в целом, вплоть до тяжелосуглинистых почв.

В почвенном покрове структуры дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы занимают около половины территории, сочетаются с торфяно-болотными низинными и аллювиальными почвами, тогда

как другие почвы – сравнительно небольшие площади, о чем свидетельствует рисунок. Возможности для пахотного землепользования неблагоприятны из-за высокой контрастности преобладающих типов почв.

В структуру 4 (сочетания торфяно-болотных и аллювиальных почв) попадает 4742 контуров почвенной карты М 1 : 10 000 общей площадью 10168 га. Это – средняя по площади мезоструктура района, она имеет минимальную среднюю площадь контура – 2,15 га при повышенной степени дифференциации почвенных контуров – 0,05, высоком индексе

дробности – 0,46 и коэффициенте расчлененности – 0,39. У данной мезоструктуры средний коэффициент контрастности – 16,2 сочетается с высоким коэффициентом расчлененности ($P / 3,54\sqrt{S}$) – 11,1, высоким коэффициентом сложности – 0,18. Сравнительно высокий коэффициент неоднородности (4,0) свидетельствует о существенной комплексности почвенного покрова и некотором неудобстве сельскохозяйственного использования земель.

Мезоструктура 4 (сочетания торфяно-болотных и аллювиальных почв) характеризуется доминирующей ролью гидроморфных почв – торфяно-болотные почвы составляют 61 % общей площади мезоструктуры, что в сочетании с существенной долей полугидроморфных почв, более 32 % площади, очень затрудняет земледелие и предопределяет целесообразность преимущественно лугового использования почв данной мезоструктуры. Связнопесчаные, рыхлосупесчаные и торфяно-болотные почвы занимают по 25–30 % территории мезоструктуры при очень широком спектре в целом, вплоть до тяжело-суглинистых почв.

Особенностью почвенного покрова мезоструктуры является сравнительно высокая доля антропогенно-преобразованных почв – 9,5 %, преимущественно деградированных торфяников.

Заключение. Геоинформационные технологии открывают широкие возможности для проведения агропроизводственной группировки почв, корректного картографирования структур почвенного покрова более высоких порядков. Путем обработки информации по 15 508 почвенным контурам общей площадью 65 294 га, что было бы почти нереально сделать без информационных технологий, с применением разработанных алгоритмов создана карта мезоструктур почвенного покрова сельскохозяйственных земель Клецкого района. Данная карта дает ценную информацию для определения направлений землепользования, позволяющая получить конкретные показатели по площадям, степени дифференциации величины почвенных контуров, дробности, расчлененности, сложности, контрастности, изрезанности, неоднородности почвенных контуров и на их основе делать выводы о сельскохозяйственной пригодности отдельных структур почвенного покрова. На

территории Клецкого района более благоприятными для интенсивного аграрного землепользования являются структуры 1 (вариации дерново-подзолистых и дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почв, преимущественно суглинистых) и 2 (вариации дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв, преимущественно супесчаных).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Boettinger, J.L.* Digital Soil Mapping / J.L. Boettinger, D.W. Howell, A.C. Moore (etc.). Dordrecht: Springer Netherlands. – 2010. – 473 p.
2. *McBratney, A.B.* On digital soil mapping / A.B. McBratney, M.L. Mendonça Santos, B. Minasny // *Geoderma*. – 2003. – № 117. – P. 3–52.
3. *Moore, I.D.* Soil attribute prediction using terrain analysis / I.D. Moore, P.E. Gessler, G.A. Nielsen, G.A. Peterson // *Soil Science Society of America Journal*. – 1993. – Vol. 57. – P. 443–452.
4. *Skidmore, A.K.* Use of an expert system to map forest soils from a geographical information system / A.K. Skidmore, P.J. Ryan, W. Dawes [et al.] // *International Journal of Geographical Information Science*. – 1991. – № 5. – P. 431–445.
5. *Favrot, J.C.* La cartographie automatisée des sols: une aide à la gestion écologique des paysages ruraux / J.C. Favrot, P. Lagacherie // *Comptes Rendus de L'Académie d'Agriculture de France*. – 1993. – № 79. – P. 61–76.
6. *Dobos, E.* A regional scale soil mapping approach using integrated AVHRR and DEM data / E. Dobos, L. Montanarella, T. Negre [et al.] // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2001. – № 3. – P. 30–41.
7. *Bui, E.N.* Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data / E.N. Bui, C.J. Moran // *Geoderma*. – 2001. – № 103. – P. 79–94.
8. *Bui, E.N.* A strategy to fill gaps in soil survey over large spatial extents: an example from the Murray – Darling basin of Australia / E.N. Bui, C.J. Moran // *Geoderma*. – 2003. – № 111. – P. 21–44.
9. *King, D.* Inventaire cartographique et surveillance des sols en France / D. King, M. Jamagne, D. Arrouays [etc.] // *Etat d'avancement et exemples d'utilisation. E. tude et Gestion des Sols*. – 1999. – № 6. – P. 215–228.
10. *Горячкин, С.В.* Проблема приоритетов в современных исследованиях почвенного покрова: структурно-информационный подход или парциальный анализ / С.В. Горячкин // *Современные естественные и антропогенные процессы в почвах и геосистемах*. – М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. – С. 53–81.
11. *Фридланд, В.М.* Структура почвенного покрова / В.М. Фридланд. – М.: Мысль, 1972. – 422 с.
12. *Годельман, Я.М.* Структура почвенного покрова и методы ее изучения // *Пространственные единицы почвенно-географических структур и их классификации: сб. науч. ст.* – М., 1973.

SUMMARY

The article outlines the methods of geoinformation accounting. The medley of soil in the study of soil cover heterogeneity and typing lands for sustainable land use. The mesostructures map of farmland of Kletsk district was created with the application of the developed algorithms. It gives the valuable information to guide land use and allows us to obtain specific performance on the areas, the degree of differentiation of the magnitude of the soil contours, divisibility, compartmentalization, complexity, contrast,

irregularity and heterogeneity of soil contours and to draw conclusions about the suitability of the individual structures of agricultural soil based on them. In the area of Kletsk district the variation of sod-podzolic and sod-podzolic temporarily waterlogged soils, mainly loamy and variation of sod-podzolic and sod-podzolic waterlogged soils, mainly sandy loam are more favorable to intensive agricultural land use patterns.

Поступила в редакцию 29.05.2014 г.

Резидентський БДПУ