

О СОВРЕМЕННОМ ПОДХОДЕ К ИЗУЧЕНИЮ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Т.Ю. Бындыч

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Историю изучения латеральной неоднородности почв следует характеризовать как постепенный и многоэтапный процесс развития теоретических представлений в почвоведении, рассматривающих «вдоль поверхностную» неоднородность почвенных свойств как одну из специфических и системных свойств ландшафтов. Попытка обобщенного анализа развития этого научного направления позволяет выделить как минимум 5 основных этапов в его истории.

В частности, на инициальной стадии развития таких представлений, которая совпадает с этапом создания и становления генетического почвоведения как науки (с 80 г. XIX века – до 1916 г.), усилиями В.В. Докучаева, Н.М. Сибирцева, Г.Н. Высоцкого, К.Д. Глинки была актуализирована необходимость исследования пространственной вариабельности почв, как особого, природного тела, которое образовано в результате действия пяти природных факторов (климата, рельефа, организмов, породы и возраста или истории развития территории), разработаны основы его изучения. Второму этапу – этапу накопления и первичной систематики экспериментальных данных об изменчивости отдельных свойств почв в пространстве (20–30 гг.), соответствовало появление и развитие целой системы научных дисциплин в области почвоведения (К.К. Гедройц, А.Н. Соколовский, В.Р. Вильямс, Б.Б. Польшин), значительное расширение и стандартизация лабораторных методов исследования почв, разработка и углубление методических приемов их количественного описания, в частности, и для типологической характеристики почв, накопления значительного экспериментального материала по результатам почвенно-географических исследований и картографических работ (Л.И. Прасолов, А.А. Роде, Л.Г. Раменский, С.С. Неуструев, Г.Г. Махов и др.), а также постепенное распространение идей генетического почвоведения в мире (К. Марбут, Ч. Келлог, Д. Милн, А. де Зигмунд). Третий этап можно определить как интеграционный (40 – начало 60 гг.), который характеризовался с одной стороны интенсивной инвентаризацией и крупномасштабным картографированием почвенного покрова (ПП) во многих странах мира, а с другой – обоснованием и разработкой подходов к точному количественному описанию варьирования свойств природных, пространственно распределенных объектов с использованием статистических методов обработки экспериментальных данных (Г. Йенни, Г.К. Бондарик, М.В. Рац), что во многом подготовило появление новой научной дисциплины – геостатистики (Ж. Маттерон). Этап своеобразной конвергенции представлений о неоднородности ПП можно условно определить с середины 60 до конца 80 гг. прошлого столетия. Он характеризовался, с одной стороны, распространением геостатистики в мире как действенного метода анализа пространственных данных и созданием теорий

структуры ПП (В.М. Фридланд, Л.М. Годельман, Ю.К. Юодис) и неоднородности почв (Л.О. Карпачевский, Ф.И. Козловский, Е.А. Дмитриев) в отечественном почвоведении, а с другой стороны, – масштабным процессом сближения традиционных (или классических) и новых теоретических подходов к изучению пространственно-варьирования почвенных свойств, возникших в национальных научных школах почвоведения в различных странах мира (Дюшофур, Кубиена и др.). И наконец, современный этап, который фактически начался в начале 90 гг. XX века и продолжается до настоящего времени, который характеризуется разработкой, постоянным совершенствованием и распространением геоинформационных технологий исследования ПП (В.П. Самсонова, Т.В. Королюк, В.В. Медведев, Р. Вебстер, М. Оливер, Д. Роситер и др.), его можно определить как геоинформационный или даже технократический этап. Для этого этапа своеобразным является не только широкое применение геоинформационных систем (ГИС) и высокотехнологичных методов для решения почвоведческих задач, а главное – формирование современной парадигмы использования природных ресурсов и, в частности ПП, как совокупности прогрессивных, фундаментальных научных представлений, которые разделяются и принимаются к действию мировым научным сообществом, что обеспечивает не только преемственность в развитии почвоведения, но и является потенциалом для дальнейшего развития человечества.

Исходя из вышеизложенного, становится особенно очевидной актуальность исследований, направленных на всесторонний анализ и оценивание новых источников информации о земной поверхности для изучения неоднородности ПП, разработку методологических основ их использования, согласующихся с теорией генетического почвоведения.

На протяжении многих лет сотрудники лаборатории дистанционного зондирования Национального научного центра «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского» последовательно осуществляют исследования информационных свойств данных многоспектрального космического сканирования (МСКС) высокого пространственного разрешения, как одной из картографических моделей земной поверхности, а также апробируют геоинформационный подход в исследованиях ПП пахотных земель в различных почвенно-климатических зонах Украины [1–4]. В результате этих исследований нами предложена достаточно полная система обработки и интерпретации данных МСКС (рис. 1), позволяющая проводить изучение и параметризацию неоднородности ПП на локальном территориальном уровне. При этом надежной технологической основой реализации большинства из указанных этапов почвенного дешифрирования данных МСКС являются аналитические процедуры современных ГИС, позволяющие в автоматическом и полуавтоматическом режиме применять комплекс методов по обработке пространственной информации.

Представленный на рис.1 подход к обработке и интерпретации данных МСКС для изучения неоднородности ПП, основан на связи оптических характеристик почвенной поверхности, генетически обусловленными свойствами почвы – содержанием (прямой дешифрирующий признак почвы) и гранулометрическим составом, что подтверждается значительным количеством научных публикаций [2, 5–6]. Несмотря на значительную наукоемкость и даже трудоемкость, большинство из представленных на схеме процедур хорошо известны широкому кругу специалистов, занимающихся вопросами полевой диагностики и картографирова-

ния почв. На наш взгляд, определенную новизну и особый интерес представляет структурное моделирование неоднородности ПП, основанное на вероятностно-статистических методах исследования. Следует отметить, что метод вероятностно-статистического моделирования хорошо известен в почвоведении [7–9]. В частности, известен опыт использования вероятностно-статистического моделирования для изучения пространственного варьирования содержания гранулометрических фракций в разновидностях каштановой почвы юго-запада Кулундинской Степи, предложенное в работах И.В. Михеевой [10], что позволило выделить три категории изменчивости почвенных свойств в зависимости от степени неоднородности факторов почвообразования (неоднородность, вариабельность и флуктуации). Однако следует признать, что практически во всех примерах вероятностно-статистического моделирования в качестве первичных данных использовались данные крупномасштабного обследования почв, представляющие результаты точечного опробования ПП и описания почвенных разрезов, что не вполне обеспечивает получение пространственной и континуально распределенной информации о ПП, что снижает точность и оперативность моделирования неоднородности ПП на их основе, особенно для значительных по площади территорий.

В этой связи, использование данных МСКС высокого пространственного разрешения для открытой почвенной поверхности пахотных земель представляет значительный интерес в качестве объективной информационной основы количественного оценивания неоднородности ПП. Для демонстрации современного подхода к моделированию и оцениванию неоднородности локальных структур ПП представляем один из примеров его использования на сельскохозяйственных землях в Украине.

Объектом наших исследований является латеральная неоднородность ПП пахотных земель Украины, а предметом исследований – картографические модели ПП опытных полигонов, созданные на основе данных МСКМ высокого пространственного разрешения, позволяющие анализировать структуру ПП.

Основной целью проводимых нами исследований является оценивание информативных свойств цифровых почвенно-картографических материалов, созданных на основе данных МСКС, для точного, количественного описания неоднородности локальных структур ПП как объективной основы решения практически значимых задач почвоведения, сельскохозяйственного производства, рационального землепользования и охраны почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из примеров количественного описания латеральной неоднородности почв по данным МСКС являются исследования, проведенные на основе данных малого, украинского спутника «Сич-2», который обеспечивал съемку открытой почвенной поверхности в нескольких диапазонах спектра (0,51–0,56 мкм; 0,61–0,67 мкм; 0,80–0,89 мкм), с пространственным разрешением до 8 метров [10]. Территориальным объектом выбран полигон «Розовка», отличающийся сложным рисунком космического изображения открытой поверхности почв, который расположен в Ясиноватском районе Донецкой области и, в соответствии со схемой физико-географического районирования Украины, относится к Донецкой физико-географической области Левобережно-Днепровской северо-степной провинции

Северной степной подзоны [11]. Эта территория имеет сложное тектоническое строение (комплекс отложений карбона, триаса, перми, юры, мелового периода, палеогена и антропогена) и значительные площади эродированных земель, что определяет значительную сложность структуры ПП этой территории и актуализирует современные крупномасштабные обследования ПП. Программа исследований предусматривала последовательное проведение:

- 1) статистического анализа изображения полигона и его предварительной классификации для разработки системы опробования почв;
- 2) детального почвенного обследования ПП полигона с отбором почвенных почв с поверхностного слоя почвы (0–10 см) и морфологическим описанием почвенных разрезов;
- 3) аналитического исследования отобранных в поле образцов почвы;
- 4) экспертной оценки сложности изображения и данных полевого обследования почв как основы для структурной идентификации ПП полигона;
- 5) поиска математических моделей, описывающих взаимосвязь между оптическими характеристиками поверхности почв и ее основным, наиболее стабильным, физико-химическим показателем – общим содержанием гумуса в почве (прямой дешифрирующий признак почв);
- 6) создания электронной картограммы общего содержания гумуса в ПП полигона;
- 7) параметризации элементов неоднородности ПП полигона по общему содержанию гумуса в почве;
- 8) анализа варьирования исследованного почвенного показателя в ПП полигона;
- 9) обобщения данных и выполнения экстраполяциянных процедур.

Для решения поставленных задач использовались статистические методы и методы геоинформационной обработки данных. Так, для географической привязки, учета яркостей элементов изображения в различных диапазонах спектра, основной обработки, преобразований, общего анализа и числовой таксономии космического изображения использовали ГИС TNT и ENVI.

В результате тематического дешифрирования данных МКС создана почвенная карта полигона, на основании которой разработана система опробования почв. Полевое обследование почв полигона проведено в соответствии с действующей методикой, предусматривающей морфологическое описание почвенных разрезов и прикопок [12], а также аналитическое исследование отобранных образцов почвы. Точная географическая привязка всех точек отбора проб почвы, почвенных разрезов и прикопок проведена с использованием приборов GPS. На полигоне было заложено 7 почвенных разрезов, позволяющих идентифицировать составляющие структуры ПП полигона, а также отобраны образцы из генетических горизонтов почвенных разрезов и 55 проб из поверхностного слоя почвы (0–10 см). Во всех образцах определяли общее содержание гумуса по методу И.В. Тюрина, pH водной вытяжки – колориметрическим методом, pH солевой – компенсационным методом с помощью потенциометра, качественный состав водной вытяжки – с использованием комплексометрического, аргентометрического и пламенно-фотометрического методов, состав обменных оснований по методу Шолленберга, а также гранулометрический состав – по методу Н.А. Качинского [13].

Результаты аналитического исследования проб почвы составили базу данных для региона и обработаны с использованием пакета программ Statistica.

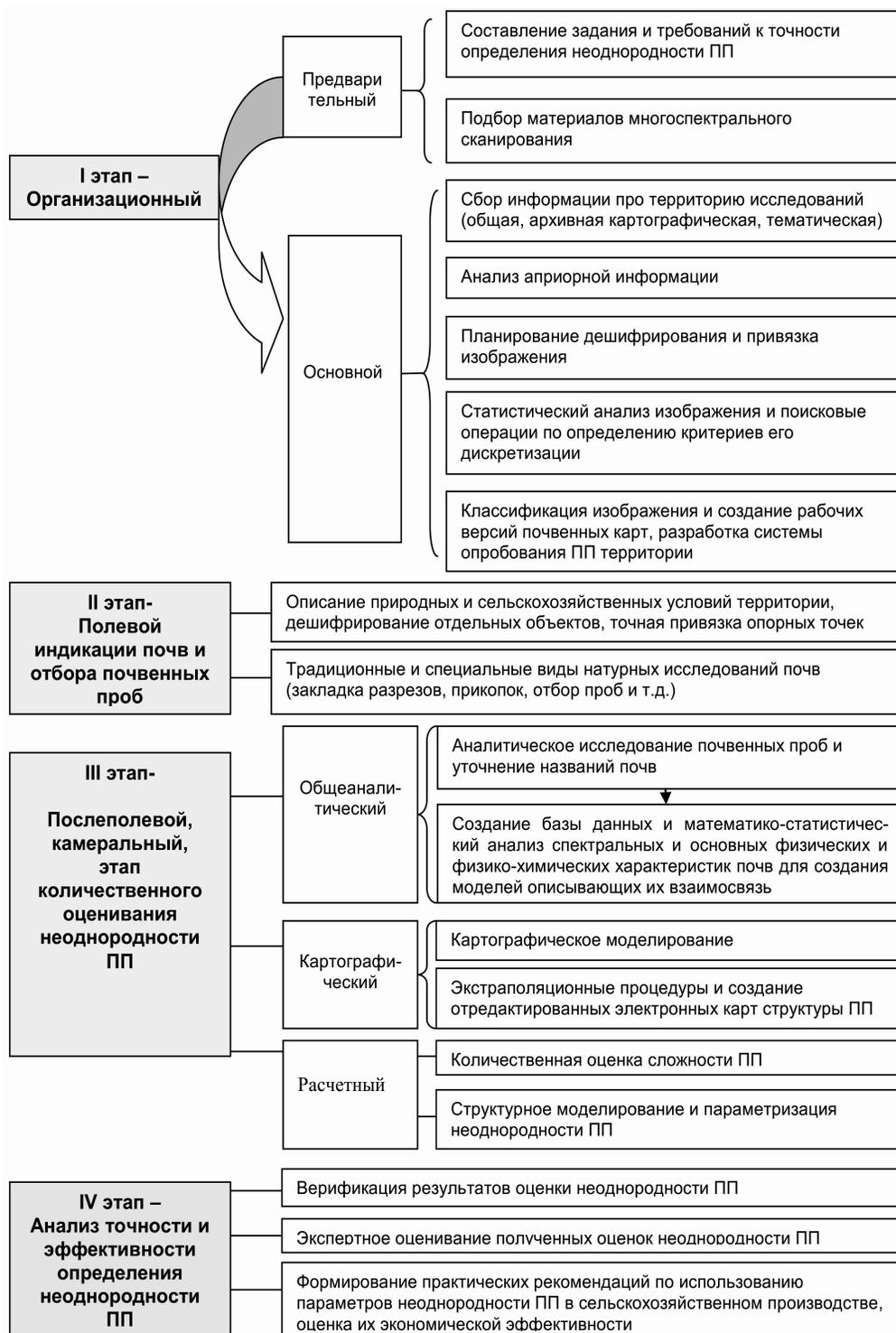


Рис. 1. Составляющие современного подхода к изучению неоднородности ПП по данным космической съемки

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность определения и количественного описания латеральной неоднородности почв на основе данных МСКС высокого пространственного разрешения основана на рассмотрении космического изображения почв как случайного поля оптической плотности, что обосновывает целесообразность использования для его описания математического аппарата теории вероятностей и, в частности, закона распределения как основной и наиболее полной характеристики варьирования случайной величины. При таком подходе, параметризация случайной величины для классов почв, выделенных в ходе дешифрирования космического изображения, и представленная в виде подобранного закона распределения вероятностей, фактически решает вопрос о структурно-параметрической идентификации неоднородности ПП и возможности ее количественного описания и оценки. И таким образом, оценка неоднородности ПП на основе данных МСКС может проводиться путем выделения элементов структуры ПП полигона и последующей параметризацией его неоднородности в пределах выделенных классов почв по показателю общего содержания гумуса, который является их прямым дешифрирующим признаком.

На первом этапе тематического дешифрирования проведена географическая привязка космического снимка в ГИС и выделены сельскохозяйственные угодья, которые имели открытую и находящуюся в состоянии полевой влажности почвенную поверхность в момент съемки. Именно для этих участков осуществлен статистический анализ изображения, позволяющий сделать вывод о целесообразности его классификации на уровне 4 классов, значимо отличающихся по показателям оптической яркости открытой почвенной поверхности. Классификация изображения для создания цифровой карты-версии, представляющей пространственное расположение основных структурных элементов ПП полигона, осуществлена по методу К-средних кластерного анализа. Полученная картографическая модель ПП использована для разработки системы опробования почв (определение общего количества и координат точек отбора проб почвы с поверхности и по генетическим горизонтам в почвенных разрезах) для этапа полевого обследования.

Полевые исследования, в целом, подтвердили корректность данной картографической модели структуры ПП путем установления взаимной обусловленности признакововой и территориальной дифференциации элементов структуры ПП (приуроченность контуров к отдельным элементам микрорельефа – микроплакору, склону, бровке между пологим и крутым склоном, днищу ложбины стока и т.д.). Контурность построенной картографической модели ПП обладает структурностью и конструктивностью и вполне согласуется с геоморфологическими особенностями полигона.

Морфологическое описание почвенных разрезов, заложенных на каждом из выделенных классов почв, также подтвердило их значимые отличия друг от друга. Разрезы значительно различались по генезису, глубине вскипания и мощности гумусированной части профиля, что подтверждает значительную эффективность использования данных МКС для выделения элементов локальной структуры ПП в данном регионе.

Разрез, заложенный в пределах распространения первого класса почв, диагностирован как чернозем обыкновенный слабосмытый высококовскипающий тяже-

лосуглинистый на лессе, характеризующийся бурным вскипанием карбонатов в пахотном слое с общим содержанием гумуса до 2,95 %, мощность гумусированной части профиля в этом разрезе составляет около 70 см. Разрезы, заложенные в пределах второго класса почв, в предбалочном понижении и в днище ложбины, представили комплекс чернозема обыкновенного мощного малогумусного, среднесуглинистого, глубоковскипающего на легкосуглинистом лессе и его намытого аналога с растянутым профилем (мощностью свыше 120 см), вскипающим в верхней части профиля. В нижней части профиля эти почвы характеризуются уплотненной, кубовидно-призматическую структурой, слабовыраженной потечностью гумуса. При этом намытый аналог этой почвы характеризуется наличием как минимум двух погребенных гумусовых горизонтов и слабовыраженной слоистостью в перераспределении гранулометрических фракций разных размеров в его верхней части. Разрез, заложенный в пределах третьего класса почв, на выпуклом склоне небольшого водораздельного повышения, представил чернозем слабосмытый малогумусный среднесуглинистый на слабозасоленной красно-бурой глине с общим содержанием гумуса в пахотном слое до 2,5 %. Мощность профиля в этом разрезе составила 45 см, в подпахотном горизонте почва имеет крупную, грубозернистую, острогранную структуру, с глубиной отмечено постепенное утяжеление гранулометрического состава почвы, выявлена слабая щелбистость в нижней части профиля. Разрезы в пределах четвертого класса, заложенные на пологих склонах восточной и юго-западной экспозициях, позволили диагностировать чернозем среднесмытый малогумусный тяжелосуглинистый на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине. Эта почва характеризуется укороченным профилем (30 см), с выходом на поверхность верхнего переходного горизонта темно-серой окраски с красноватым оттенком зернисто-комковатой структуры, плотного, с общим содержанием гумуса до 1,5 %, имеет постепенный переход к нижнему переходному горизонту краснобурого цвета, среднеглинистому, плотному с крупно-ореховато-призматической структурой с включениями плотного плитчатого песчаника с характерным раковистым изломом.

На основе результатов статистического анализа всего массива количественной информации, полученной в результате аналитических исследований проб почвы, сделан вывод о достоверности и высокой тесноте обратной связи между показателями оптической яркости в инфракрасном диапазоне спектра и общим содержанием гумуса в почве. Учитывая их значительный отрицательный коэффициент корреляции ($r^2 = -0,76$) были использованы для расчета региональной математической модели экспоненциального типа (рис. 1), позволяющей в ГИС рассчитать количественные для каждого элемента изображения и получить электронную карту метризованного свойства почвы для полигона (рис. 2). На этом этапе исследований проведена также верификация полученной картограммы, с использованием 20 % экспериментальных данных в качестве контрольной выборки, не участвующих при расчете математической модели. При этом, критерием точности определения выбрано отклонение расчетных значений (т.е. полученных с использованием математической модели) не более чем на 10 % от аналитически определенных, что соответствует точности определения данного почвенного показателя по методу Тюрина).

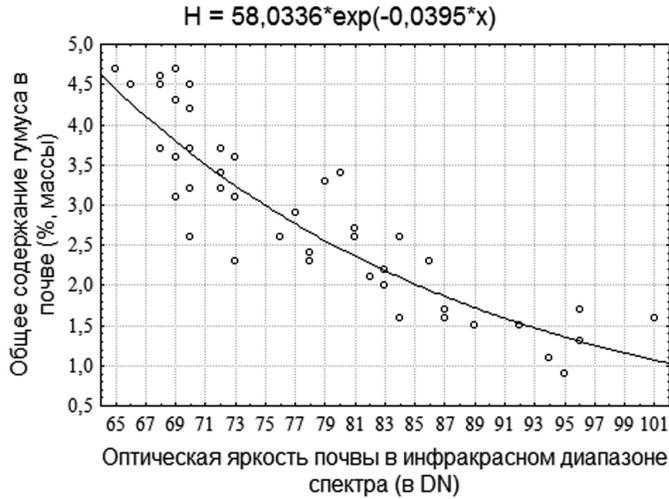


Рис. 2. Региональная модель связи между оптической яркостью почвенной поверхности в инфракрасном диапазоне спектра и общим содержанием гумуса в почве

Полученная таким образом цифровая карта рассматривалась как фрагмент непрерывного скалярного поля общего содержания гумуса в почве, основной характеристикой которого является его изменчивость в пространстве. На следующем этапе исследований проанализированы количественные значения общего содержания гумуса для каждого класса почв. Полученные данные использованы для построения гистограммы, анализ которой позволяет определить закон распределения, который наилучшим образом аппроксимирует количественные значения почвенного показателя для каждого из классов почв. При этом использованы процедуры вероятностно-статистического моделирования:

а) проверка распределения признака на соответствие закону нормального распределения;

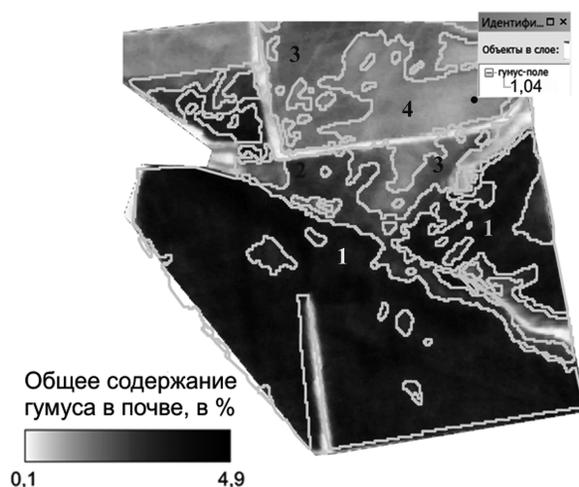
б) подгонка экспериментального распределения и определение вида функций вероятностных распределений, которые наиболее близко описывают статистическое распределение метризованного показателя почвы путем сопоставления с известными функциями распределений (нормального, Вейбула, логнормального, Коши, семейства Джонсона, семейства экспоненциальных, экстремальных значений, бета-распределения и т.д.);

в) оценивание статистик параметрических и непараметрических критериев (критерий χ^2 Пирсона, критерий отношения правдоподобия, критерий Колмогорова);

г) экспертное оценивание совокупности значений использованных критериев для определения лучшего вида распределения, при котором достигнуто максимальное значение вероятности.

При этом технологической основой анализа скалярных полей почвенных свойств также являются аналитические процедуры использованных ГИС, позволяющие в полуавтоматическом режиме применять комплекс методов по обработке пространственной информации, а также программные пакеты для статистико-математической обработки данных (Statistica, Matlab и т.д.).

Установлено, что пространственное варьирование общего содержания гумуса в черноземе обыкновенном слабосмытом высококовскипающем тяжелосуглинистом на лессе (класс 1 на рис. 3) и в черноземе обыкновенном мощном малогумусном глубококовскипающем на легкосуглинистом лессе (класс 2 на рис. 3) хорошо описывается Бета-распределением – $Be(\alpha, \beta)$, а показатели распределения соответственно составили – (2,19; 1,57) и (1,56; 1,51). Пространственная вариабельность исследуемого показателя почв в черноземе слабосмытом малогумусным среднесуглинистом на слабозасоленной красно-бурой глине (класс 3 на рис. 3) хорошо описывается нормальным законом распределения – $N(\mu, \sigma^2)$ с показателями (1,22; 0,32), а в черноземе среднесмытом малогумусном тяжелосуглинистом на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине (класс 4 на рис. 3) – типом распределения Вейбула – $W(k, \lambda)$ – (4,61; 2,01).



Условные обозначения:

- 1 – чернозем обыкновенный слабосмытый высококовскипающий тяжелосуглинистый на лессе;
- 2 – комплекс чернозема обыкновенного мощного малогумусного среднесуглинистого глубококовскипающего на лессе и его намывтого аналога;
- 3 – чернозем слабосмытый малогумусный среднесуглинистый на слабозасоленной красно-бурой глине;
- 4 – чернозем среднесмытый малогумусный тяжелосуглинистый на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине.

Рис. 3. Картограмма общего содержания гумуса для элементов структуры почвенного покрова полигона «Розовка», созданная по данным космической съемки (с примером идентификации его значения для отдельного элемента изображения)

Определение упомянутых типов вероятностно-статистических моделей распределения общего содержания гумуса в почвах обосновывает целесообразность использования робастных оценок для параметризации неоднородности элементов локальной структуры ПП по данному почвенному показателю (рис. 4). Анализ оценок пространственного варьирования параметров данного почвенного свойства, в целом, доказывает различимость выделенных классов почв по медиане и

межквартильному расстоянию, что в количественном представлении составляет около 1,0 % и 0,5 % гумуса соответственно. Сопоставление робастной оценки σ позволило установить переходное положение ареала чернозема среднесмытого малогумусного на незасоленной элювиальной красноцветной (пермской) глине (класс 4 на рис. 3), который характеризуется наибольшей изменчивостью по общему содержанию гумуса (около 2,0 % гумуса) и наибольшим межквартильным размахом (0,8 %), перекрывающим интервал значений общего содержания гумуса для второго и третьего классов.

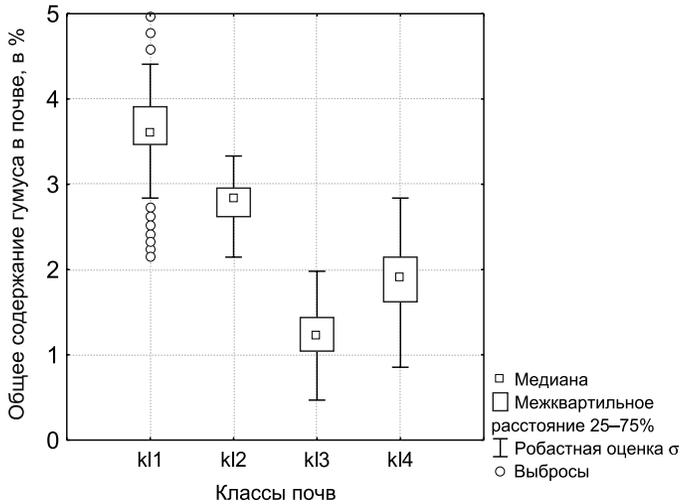


Рис. 4. Количественные оценки элементов неоднородности почв полигона «Розовка» по общему содержанию гумуса в почвах

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали достаточную, завершенность и эффективность предложенного алгоритма обработки и интерпретации данных МКС высокого пространственного разрешения для выделения элементов локальной структуры ПП пахотных земель в условиях Северной степи Украины. Морфологическая характеристика почвенных разрезов, заложенных в пределах каждого из выделенных классов почв, подтвердила их значимое отличие по типу почвообразующих пород, мощности гумусированного слоя, глубине вскипания, а также по степени эродированности.

На основе высокой корреляционной зависимости между показателями оптической яркости почвенного покрова в инфракрасном диапазоне сканирования с общим содержанием гумуса в почве проведено математическое моделирование для создания картограммы ПП полигона.

Использование основных процедур вероятностно-статистического моделирования в ходе анализа количественных значений почвенного показателя для каждого из выделенных классов почв обеспечило выбор функций распределения, которые наиболее близко аппроксимируют пространственному варьированию признака для каждого из почвенных выделов.

Количественные параметры подобранных функций распределения и робастные оценки для каждого из выделенных в результате дешифрирования классов

почв, позволили объективно характеризовать латеральную неоднородность ПП полигона.

Результаты исследований обосновывают целесообразность использования вероятно-статистических моделей и робастных оценок параметров латеральной неоднородности почв по общему содержанию гумуса в почве в качестве дополнительного метода, повышающего точность экстраполяционных процедур в процессе дистанционной диагностики почв и их мониторинга по данным МКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ачасов, А.Б. Використання дистанційних методів для дослідження ґрунтів: автореф. дис. ...канд. с.-г. наук / А.Б. Ачасов . – Харків, 1998. – 20 с.
2. Шатохин, А.В. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами / А.В. Шатохин, М.А. Лындин // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037–1044.
3. Трускавецький, С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України: автореф. дис. ...канд. біол. наук / С.Р. Трускавецький. – Харків, 2006. – 22 с.
4. Бындыч, Т.Ю. Использование данных дистанционного зондирования с целью изучения неоднородности почвенного покрова / Т.Ю. Бындыч // ґрунтознавство. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С. 100–109.
5. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
6. Кравцова, В.И. Космические методы исследования почв / В.И. Кравцова. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 190 с.
7. Гончаров, В.Н. Использование методов математического моделирования при агрофизической оценке почвенного покрова / В.Н. Гончаров // Вест. Оренбург. гос. ун-та. – 2008. – № 10(92). – С. 161–167.
8. Дмитриев, Е.А. К объяснению причин ассиметрии в распределении водопроницаемостей / Е.А. Дмитриев, А.С. Манучаров // Почвоведение. – 1968. – № 7. – С. 93–102.
9. Махлин, Т.Б. Аппроксимация кривыми Джонсона распределения элементов вещественного состава / Т.Б. Махлин // Почвоведение. – 1973. – № 6. – С. 123–130.
10. Михеева, И.В. Изменение вероятностных распределений фракций гранулометрического состава каштановых почв Кулундинской степи под воздействием природных и антропогенных факторов / И.В. Михеева // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1456–1467.
11. Космічна система «СІС-2»: завдання та напрями використання // Офіційний сайт Національного космічного агентства України [Електронний ресурс]: Свободный доступ на http://www.nkau.gov.ua/pdf/SICH2_small.pdf.
12. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько. – Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1968. – 683 с.
13. Почвенная съемка: руководство по полевым исследованиям и картированию почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 200 с.
14. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 491 с.

**ON THE MODERN APPROACH TO THE STUDY OF THE
HETEROGENEITY OF SOIL COVER**

T.Yu. Byndych

Summary

The authors propose a methodological approach to the study of soil heterogeneity which is based on multispectral satellite scanning data. Multi-spectral data from the Sich-2 satellite are used for mapping and parametric description of chernozemic soils in the Northern Steppe of Ukraine: 1) to delineate soil mapping units and evaluate their spatial structure; 2) to quantitatively assess specific properties of eroded soils using geo-statistics and multi-dimensional data processing. Field description of soil profiles from the mapped soil classes demonstrated the efficacy of K-means cluster analysis for determining different elements of the soil cover. Maps of humus content, created by statistical and mathematical modelling, enabled to realize parameterization of chernozemic soils and further detailed analysis of the structure of humus scalar field.

Поступила 21.11.16