

УДК 631.1:528.71

Почвенный мониторинг как элемент системы подспутниковых полигонных исследований

О. А. Войнов

Институт агроэкологии і біотехнології УААН, Київ

Надійшла до редакції 03.10.97

Виконане вивчення фізико-хімічних і оптичних властивостей ґрунтів Південного природно-господарського полігону (Буджацький степ, міжріччя Прута і Дністра) дозволило поділити їх на 5 груп, коефіцієнт відбивання (КВ) яких складає від 12.9 до 26.4 %. Найчіткіші відмінності КВ між групами ґрунтів відмічені в зеленій (λ 500—540) і червоній (λ 610—690 нм) ділянках спектру, що дає можливість дешифрування ґрунтового покриву за багатозональними і інтегральними панхроматичними знімками.

В последнее время все более актуальными задачами почвенной науки становятся вопросы изучения антропогенно измененных природно-территориальных комплексов. Появилась необходимость организации специальных систем наблюдений, контроля и оценки состояния природной среды (мониторинга) как в местах интенсивного антропогенного воздействия, так и в глобальном масштабе. Основными задачами таких систем являются, с одной стороны, сбор объективной информации о видах и объемах антропогенного воздействия и связанных с ними последствиях, информации о тенденции изменений окружающей среды, о фактическом состоянии биосферы, а с другой — прогноз ее будущего состояния.

Почва является одним из основных компонентов биосферы. Особенности состояния, состава, свойств и режимов почвы, населяющей ее биоты содержат богатейшую информацию о природной среде. Почвенный мониторинг является значительной частью общего мониторинга окружающей природной среды (Добровольский и др., 1983). Почвенный дистанционный мониторинг предназначен для решения трех задач:

- учет и инвентаризация земель, выявление особенностей почвенного покрова и свойств почв, определяющих их плодородие на основе аэрокосмической информации;
- определение направленности и интенсивности изменения свойств почв и почвенного покрова под влиянием антропогенного воздействия (контроль динамики по контактному и дистанционному данным);
- прогноз изменения почвенного покрова, почвы и ее свойств и разработка рекомендаций по направленному регулированию почвенных процессов.

Всеобъемлющее обеспечение почвенного мониторинга должны взять на себя три направления: дистанционное зондирование, географические информационные системы и экспертные системы.

Дистанционное зондирование (ДЗ) предоставляет уникальные возможности оперативного, многовременного, многоспектрального, разномасштабного наблюдения природной среды. Но длительный опыт функционирования систем ДЗ показал, что тематически обработать такие колоссальные объемы данных и дать оценку состояния природной среды

можно только при тесном взаимодействии дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС). В этом случае ДЗ выступает как информационно-обеспечивающая технология, ГИС — как обрабатывающая технология, обеспечивающая получение результатов в виде оценочных карт, таблиц, а экспертная система — как технология поддержки принятия решений и выработки рекомендаций по управлению объектом мониторинга (Vonn et al., 1991).

Аэрокосмический мониторинг почв возможен благодаря изменению спектральной отражательной способности почв, которая отслеживает изменение некоторых почвенных свойств под влиянием различных факторов. Такими свойствами почв являются влажность, содержание гумуса и засоление.

Влажность почвы является очень динамичной характеристикой. Поэтому для получения необходимой детальной и достоверной информации о влажности почвы требуется многоспектральная аэрокосмическая съемка, основанная на выборочном полевом эталонировании и экстраполяции дистанционной информации. Для индикации влажности почв используют изображения как в видимом и ближнем ИК-канале, так и в среднем ИК- (3—5, 8—12 мкм) и микроволновом (более 0.3 см) каналах. Существуют многочисленные функции связи коэффициента яркости поверхности почвы с ее влажностью (Виноградов, 1976; Долгов, Виноградова, 1973; Allen, Sewell, 1973; Blachard et al., 1974).

Пространственно-временная изменчивость содержания гумуса в почве не так значительна, как влажности, зато очень велико его пространственное варьирование, что тоже требует изучения этого свойства дистанционными методами. Коэффициент яркости почвы в видимой и ближней ИК-областях спектра хорошо коррелирует и уменьшается с увеличением содержания гумуса в почве. Предложены функции и описаны связи зависимости отражения света почвами от содержания в них гумуса (Кондратьев и др., 1986, 1989; Толчельников, 1974), окислов железа (Толчельников, 1960) для разных типов почв (Обухов, Орлов, 1964).

Засоленные почвы для целей картографирования по аэрокосмическим снимкам дешифрируются удовлетворительно. Однако для мониторинга необходимы количественные характеристики состава и содержания солей в почве. В граничных условиях дистанционные индикаторы могут быть использованы для четырех характеристик засоления почв — содержания в почвах карбонатов, сульфатов, хлоридов и емкости поглощенных оснований (Виноградов, 1984).

Показателем энергетического состояния почв,

обуславливающим состояние, химический состав и продуктивность сельскохозяйственных растений, считается уровень плодородия, оцениваемый по совокупности результатов определения химико-минералогического состава и физических, физико-химических и агрохимических свойств почв.

Для оценки плодородия почв опорно-тестовых участков (ОТУ) Южного природно-хозяйственного аэрокосмического полигона (Буджакская степь, междуречье Прута и Днестра, входившего в состав полигонной сети системы изучения природной среды Госкомгидромета СССР) были проведены подробнейшие исследования, в результате которых установлено, что основной фон почвенного покрова составляют обыкновенные и карбонатные черноземы. В границах каждого поля встречаются по 3—4 почвенных разности и столько же элементарных поверхностей рельефа, что характерно для всего ОТУ и природно-экологической зоны. Такая ситуация обусловлена расчлененностью территории и особенностями овражно-балочного рельефа.

Так, наличие перепада относительных высот местности обуславливает развитие процессов плоскостной и линейной эрозии и формирование на склонах смытых (слабо и средне), а в нижних частях — намывных разновидностей черноземов. Кроме того, в западинах, микропонижениях и ложбинах стока из-за застоя воды формируются временно переувлажненные (мочаристые), местами солонцевато-засоленные черноземно-луговые почвы.

Все это предопределяет неравнозначность показателей энергетических характеристик подстилающей поверхности тестового поля в разных его точках, что нашло подтверждение при оценке спектральной яркости почв и состояния культивируемых растений.

Для достоверной характеристики морфологических и химических свойств почв каждое поле было охарактеризовано несколькими почвенными разрезами и прикопками, расположенными по основным элементарным поверхностям рельефа.

Образцы для исследования физико-химических свойств почв отбирали из средней части каждого генетического горизонта по 10 см. В почвах определены: гранулометрический состав почв (по содержанию физической глины и песка), содержание гумуса по Тюрину, карбонатов кальция газовольметрическим методом, поглощенных оснований и рН-водной вытяжки общепринятыми методами. Почвы исследуемых полей характеризуются: однотипным профилем с варьирующим содержанием в них физической глины в пределах 45—55 %; высоким содержанием поглощенных оснований (26—31 мг экв/100 г) и невысоким содержанием гумуса

(3.0—3.6 %) в пахотных горизонтах и постепенным снижением этих показателей вниз по профилю; нейтральной реакцией почвенных растворов и преобладанием в их составе поглощенных оснований — обменного кальция.

Анализ данных свидетельствует, что почвы, расположенные на разных элементарных поверхностях рельефа внутри каждого ОТПоля имеют некоторые качественные различия в свойствах. Склоновые почвы, например, содержат меньше физической глины и больше физического песка, т. е. они более легкие по гранулометрическому составу, и соответственно менее гумусированы, более окислены и больше содержат поглощенных оснований, особенно обменного кальция, чем почвы водораздельных пространств. Эта закономерность наблюдается в пределах большинства ОТП. Исключение составляют гидроморфные почвы, которые развиты на склонах с близким залеганием грунтовых вод или в микропонижениях.

В этих почвах по сравнению с фоновыми почвами склонов и водораздельных пространств отмечается относительно повышенное содержание глинистых частиц и гумуса по всему профилю, а также меньшее содержание карбонатов за счет увеличения их растворимости и миграции с нисходящим

током влаги в нижние слои почвы и грунтовые воды; почвы слабосолонцеваты и более щелочные (рН = 8.4—8.5).

Имеющиеся качественные различия в свойствах почв, обусловленные как расчлененностью территории, так и особенностями почвообразовательного процесса, несомненно должны отражаться на росте, развитии и общем состоянии выращиваемых сельскохозяйственных растений и физиономичности посевов.

В процессе экспериментов определяли коэффициенты спектральной яркости (КСЯ) почв с нарушенной структурой и естественным сложением и влажностью в полевых условиях, а также увлажненных до полной капиллярной влагоемкости. Изучали КСЯ образцов пахотного горизонта, в качестве эталона использовали баритованную бумагу. Результаты исследований показаны в таблице.

Видно, что почвы исследуемого участка по КО в видимой области спектра четко кластеризуются на пять обособленных групп:

1. Чернозем обыкновенный мощный — 12.9 %. Ареал распространения этих почв в пределах исследуемых участков легко дешифрируется на интегральных панхроматических (черно-белых) снимках по тону фотоизображения.

Спектральная отражательная способность почв опорно-тестового участка

Почвы	Коэффициент отражения, %													
	λ, нм													
	420	430	440	450	460	490	540	550	590	640	670	690	750	интегральный
Чернозем обыкновенный мощный	10.0	10.3	10.5	10.8	11.0	11.3	12.0	12.5	13.5	14.5	15.0	15.5	17.0	12.9
Чернозем обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый	11.3	11.5	11.6	12.0	12.3	12.5	14.0	14.0	15.3	16.5	17.0	17.8	19.5	14.7
Чернозем обыкновенный мощный (намытый) тяжелосуглинистый	11.3	11.5	12.0	12.3	12.5	12.5	13.8	14.0	15.5	16.5	17.3	18.0	20.0	14.7
Чернозем карбонатный намытый тяжелосуглинистый	11.5	11.8	12.3	12.8	13.0	13.3	15.0	15.3	16.5	18.0	18.5	19.3	21.3	15.7
Лугово-черноземная карбонатная, солонцевато-солончаковая, тяжелосуглинистая	12.0	12.5	13.0	13.3	13.5	13.8	15.3	15.5	17.0	18.0	19.0	19.5	21.5	16.1
Чернозем карбонатный мощный тяжелосуглинистый	11.8	12.0	12.5	13.0	13.3	13.8	15.5	15.8	17.3	18.5	19.5	20.0	22.0	16.3
Чернозем карбонатно-луговатый солонцевато-солончаковатый глинистый	13.0	13.3	13.8	14.0	14.5	15.0	16.5	17.0	18.0	19.3	20.0	20.5	22.5	17.2
Чернозем карбонатный среднемощный (слабосмытый) тяжелосуглинистый	14.5	15.0	15.5	15.8	16.0	16.8	18.5	19.0	20.5	22.0	23.3	24.0	27.0	19.6
Чернозем карбонатный среднесмытый тяжелосуглинистый	17.3	18.0	18.5	19.0	19.5	20.5	23.5	24.0	26.5	28.5	29.8	30.8	34.8	24.8
Чернозем карбонатный сильносмытый легкоглинистый	17.8	18.5	19.3	20.0	20.5	21.5	24.8	25.8	28.8	30.8	32.0	33.0	36.0	26.4

2. Чернозем обыкновенный среднemocный тяжело-суглинистый совместно с черноземами обыкновенными намытыми тяжело-суглинистыми — 14.7 %.

Тяжелосуглинистые почвы, в частности, черноземы обыкновенные среднemocные, мощные и намытые обладают примерно на 2—3 % (особенно в красной зоне спектра $\lambda\lambda$ 610—750 нм) большей яркостью, по-видимому, за счет более легкого механического состава.

Сравнительно большая яркость намытых почв может быть обусловлена также и более светлыми частицами (с меньшим содержанием в них гумуса), механически переносимыми в шлейфовую зону склонов (ареал распространения намытых почв) с вышележащих, более крутых элементов склонов. На снимках эти почвы дешифрируются по темно-серому тону изображения.

3. Черноземы карбонатные мощные тяжело-суглинистые совместно с черноземами карбонатными намытыми, луговыми и луговатыми, солонцевато-солончаковатыми и солончаковатыми, глинистыми почвами — 15.7—17.2 %.

Значения интегрального коэффициента отражения этих почв на 1—2 % выше, чем у обыкновенных черноземов, очевидно, за счет наличия в их составе карбонатов кальция и меньшего содержания в них гумуса, а в составе луговых и луговатых почв — наличием легкорастворимых солей.

В сухом состоянии на пашне и в натуре, и по интегральным панхроматическим снимкам эти почвы не отличаются как от тяжело-суглинистых обыкновенных черноземов, так и между собой, а потому прямое дешифрирование их на снимках по тону изображения затруднено.

Разграничение на снимках ареалов распространения тяжело-суглинистых обыкновенных черноземов от ареалов комплекса карбонатных черноземов с луговыми и луговатыми, солонцевато-засоленными почвами можно осуществить, применяя ландшафтный метод дешифрирования снимков, который заключается в сочетании методов дешифрирования (по прямым и косвенным признакам) и определения генетического содержания выделенных на снимках почвенных контуров с предварительным выделением на исследуемой территории однотипных элементарных поверхностей рельефа.

4. Чернозем карбонатный слабосмытый тяжело-суглинистый — 19.6 %;

5. Черноземы средне- и сильносмытые — 24.8—26.4 %.

На снимках слабо-, средне- и сильносмытые почвы уверенно дешифрируются по светло-серому тону изображения.

Наиболее четкие различия между группами почв по коэффициентам отражения отмечаются в зеленой ($\lambda\lambda$ 500—540) и красной ($\lambda\lambda$ 610—690 нм) зонах спектра. Это указывает на принципиальную возможность дешифрирования почвенного покрова по многозональным и интегральным панхроматическим снимкам.

При изучении значений КО исследуемых почв при увлажнении их до полной влагоемкости получено уменьшение примерно на 50 % от яркости сухих на — луговых и луговато-солонцевато-засоленных глинистых почвах. Яркость же незасоленных (в том числе намытых и смытых почв) как глинистого, так и суглинистого состава при их увлажнении до полной влагоемкости снижается лишь на 27—31 % от КО сухих почв. Это обстоятельство, очевидно, можно принять в качестве основы при разработке дешифровочных признаков и принципов дешифрирования, а также выделения на интегральных и многозональных снимках ареалов распространения солонцевато-засоленных (в том числе глубокозасоленных) глинистых почв среди малоразличающихся в сухом состоянии на снимках по тональности изображения аморфных незасоленных почв.

Кривые дневного хода изменения яркости воздушно-сухих и избыточноувлажненных до полной влагоемкости почв показывают, что с увеличением высоты стояния Солнца значения КО увеличиваются; наибольшие значения коэффициентов яркости почв отмечаются в полдень при высоте Солнца более 40° в интервалах времени от 12 до 14 ч. Очевидно, можно принять, что интервал времени с 12 до 14 ч на 46—47° северной широты является наиболее оптимальным для производства аэрофото- и космических съемок территории с распаханными почвами для целей дешифрирования почв и изучения структуры почвенного покрова.

Сравнивая значения коэффициентов спектральной и интегральной яркости воздушно-сухих и увлажненных почв, спектрального и интегрального отражения их в видимой области спектра, необходимо отметить следующее.

- Спектральный состав отраженного света почвами практически не изменяется как при измельчении образцов, так и при увлажнении почв до полной их влагоемкости.
- Значения спектрального и интегрального КО воздушно-сухих образцов почв с естественным сложением и структурой изменяется под влиянием размеров и формы структурных агрегатов почв.
- При увлажнении почв до полной их влагоемкости относительно уменьшаются значения как

интегральных, так и спектральных коэффициентов отражения.

- При анализе фотоизображения почв на интегральных панхроматических снимках важнее учет коэффициента отражения в видимой части спектра, тогда как при многозональной съемке необходимо учитывать отражение (яркость) почв при определенной длине волны.

Виноградов Б. В. Многоспектральные градиенты влажности почвы для дистанционной индикации // *Водн. ресурсы.*—1976.—5, № 6.—С. 121—126.

Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. — М.: Наука, 1984.—320 с.

Добровольский Г. В., Орлов Д. С., Гришина Л. А. Принципы и задачи почвенного мониторинга // *Почвоведение.*—1983.—№ 11.—С. 8—16.

Долгов И. С., Виноградова Г. Б. Коэффициент отражения влажных почв // *Почвоведение.*—1973.—№ 11.—С. 143—145.

Кондратьев К. Я., Козодеров В. В., Федченко П. П. Аэрокосмические исследования почв и растительности. — Л.: Гидрометеиздат, 1986.—262 с.

Кондратьев К. Я., Козодеров В. В., Федченко П. П. Аэрокосмические методы изучения состояния сельскохозяйственных культур и почв // *Применение методов дистанционной диагностики в сельском хозяйстве.* — Киев: Наук. думка, 1989.—С. 5—16.

Обухов А. И., Орлов Д. С. Спектральная отражательная способность главных типов почв и возможности использования диффузного отражения при почвенных исследованиях // *Почвоведение.*—1964.—№ 2.—С. 83—93.

Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. — Л.: Наука, 1974.—252 с.

Толчельников Ю. С. Природные факторы, влияющие на тон изображения почв распаханых массивов на аэроснимках // *Тр. лаб. аэрометодов АН СССР.*—1960.—9.—С. 101—124.

Allen W. H., Sewell I. I. Remote sensing of follow soil moisture by photography and infrared line scanner // *Trans. Anur. Soc. Agr. Eng.*—1973.—16, N 4.—P. 700—706.

Blachard M. B., Gresly R., Goettelman L. The use of visible, near infrared and thermal infrared remote sensing to study soil moisture // *Proc. 9th Intern. Symp. Remote Sens. — Environ., Ann Arbor, 1974.*—Vol. 1.—P. 693—705.

Bonn F., Cyr L., Anys H., Pesant A. Remote sensing and GIS based regional scale modelling of soil erosion and nonpoint source pollution in cultivated hills landscapes // *Proc. 11th EARSeI Symp. "Eur.: From Sea level to Alpine Peaks, from Iceland to Urals", Graz, 3–5 July, 1991.* — Boulogne: Billancourt, [1991].—P. 24.

MONITORING OF SOILS WITHIN THE SCOPE OF SPACE RESEARCH OF TESTING AREAS

O. A. Voinov

Investigations of physico-chemical and optical properties of soils in the Southern testing area (Budzhakskaja Steppe, the area between the Prut and the Dniester rivers) allowed us to distinguish five groups of soils with reflectance coefficients (RC) varying from 12.9 to 26.4 per cent. The most significant RC differences between the groups of soils were found in the green (500—540 nm) and red (610—690 nm) ranges of the spectrum, which makes possible classification of soils based on the multispectral and integral panchromatic images.