

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

С.В. Дробыш<sup>1</sup>, Т.В. Бубнова<sup>2</sup>, О.В. Матыченкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Проектный институт Белгипрозем, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени выявлено, что в процессе реализации светопреобразующей функции почвенным покровом ведущая роль принадлежит гумусу, а зависимость между содержанием органического вещества в почвах и их спектральной отражательной способностью близка к прямолинейной и носит обратный характер [1, 2, 3, 4].

Первая опубликованная математическая зависимость между содержанием гумуса и отражательной способностью почв принадлежит Б.В. Виноградову [1]. Однако он использовал в качестве оптической характеристики коэффициент яркости, а не спектральный коэффициент отражения (СКО). К тому же в качестве объектов исследования им были взяты преимущественно почвы степной и сухостепной зон.

Н.А. Михайловой на почвах Дальнего Востока [4] также подтверждена зависимость отражательной способности почв от общего содержания гумуса в почвах и его качественного состава.

И.И. Карманов также указывает на тесную обратную корреляционную зависимость между содержанием гумуса в почвах и их коэффициентом отражения (КО), который рассчитывается по формулам, с использованием разных длин волн ( $\lambda = 440$  нм,  $\lambda = 490$  нм,  $\lambda = 540$  нм,  $\lambda = 590$  нм,  $\lambda = 640$  нм,  $\lambda = 690$  нм) [2].

Д.С. Орловым и др. [3] изучены, кроме специфических почв Дальнего Востока и почв юга России, также почвы дерново-подзолистой зоны на примере одной из опытных станций Московской области. Им используется, как наиболее информативная, длина волны 680 нм ( $\lambda_{680}$ ). Однако эти исследования были проведены для всех типов почв, встречающихся на станции (от дерновых до торфяно-болотных), а для дерново-подзолистых почв – без учета гранулометрического состава, который в условиях Беларуси играет первостепенную роль в формировании почвенного плодородия и определяет их сенсорность к антропогенным воздействиям.

К тому же рядом исследователей [5, 6] и нами в том числе [7] было установлено, что гранулометрический состав почв оказывает весьма существенное влияние на их отражательную способность.

В работах, выполненных нами ранее [7], была изучена отражательная способность агродерново-подзолистых почв легкосуглинистого и связнопесчаного гранулометрического состава по интегральному коэффициенту отражения (КО  $\lambda_{440-690}$ ).

Однако многими исследователями для характеристики спектральной отражательной способности почв, кроме КО, используются и другие длины волн, например,  $\lambda = 680$  нм и  $\lambda = 750$  нм. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9].

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Таким образом, целью данной публикации явилось представление результатов исследований влияния гранулометрического состава агродерново-подзолистых почв на их спектральную отражательную способность (СКО) при длине волны, равной 680 нм (СКО  $\lambda_{680}$ ), 750 нм (СКО  $\lambda_{750}$ ) и коэффициенте отражения (КО), рассчитанному по шести длинам волн (КО  $\lambda_{440-690}$ ).

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились образцы из агрогумусовых (пахотных) горизонтов агродерново-подзолистых почв легкосуглинистого, связносупесчаного, рыхлосупесчаного и связнопесчаного гранулометрического состава с разным содержанием гумуса. Почвы по содержанию гумуса дифференцированы нами на четыре группы: 1-я группа – содержание гумуса менее 1,50 %, 2-я группа – 1,51–2,00 %, 3-я группа – 2,01–2,50 %, 4-я группа – более 2,50 %. Для построения кривых отражательной способности использованы образцы из пахотных горизонтов конкретных разрезов (табл. 1).

Спектры диффузного отражения почвенных образцов зарегистрированы в лабораторных условиях на спектрофотометре СФ–18 [2]. На основании зарегистрированных кривых спектрального отражения (спектрограмм) получены показатели СКО  $\lambda_{750}$ , СКО  $\lambda_{680}$  и расчетный коэффициент отражения КО  $\lambda_{440-690}$ .

Всего было проанализировано 399 образцов: 122 образца из агрогумусовых горизонтов легкосуглинистых почв, 132 – из связносупесчаных и 145 – из рыхлосупесчаных и связнопесчаных.

Таблица 1

#### Объекты исследований

№ разреза	Место заложения разреза	Вид земель	Гранулометрический состав почв	Содержание гумуса, %
2М–04	СПК «Щемяслица» Минского района	пахотные земли	легкосуглинистые	1,49
1М–04				1,90
3М–04				2,40
1Л–00	СПК «Беларусь» Бельничского района			4,02
9–96	СПК «Гродно-Октябрь» Гродненского района	пахотные земли	связносупесчаные	1,47
8М–04	СПК «Авангард» Осиповичского района			1,90
13Л–01	СПК «Богдановский» Воложинского района			2,16
5С–05	ОАО «За Родину» Глубокского района			4,14
7М–00	РСУП «Демехи» Речицкого района	пахотные земли	рыхлосупесчаные и связнопесчаные	1,24
8М–00				1,84
3–03	РУСП «Натальевск» Червенского района			2,30
6С–05	ОАО «За Родину» Глубокского района			4,13

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований (рис. 1–4) показывают, что в каждой из групп по содержанию гумуса наблюдается различие в расположении спектральных кривых и величине коэффициента отражения почв при любых длинах волн ( $\lambda = 750$  нм,  $\lambda = 680$  нм,  $\lambda = 440$ – $690$  нм) в зависимости от гранулометрического состава.

Так, например, спектральные кривые агрогумусовых горизонтов легкосуглинистых разновидностей на всех рисунках располагаются выше, чем связносупесчаных, а последние – выше в сравнении с рыхлосупесчаными.

Величина СКО  $\lambda_{750}$  при содержании гумуса менее 1,50 % равна для легкосуглинистых разновидностей 52,6 %, для связносупесчаных – 47,5 %, а для рыхлосупесчаных – 40,4 % (рис. 1). Аналогичная картина наблюдается и для величины СКО  $\lambda_{680}$  и КО  $\lambda_{440-690}$ , которая составляет соответственно 48,5 %, 44,3 %, 37,4 % для СКО  $\lambda_{680}$  и 37,3 %, 33,5 %, 29,7 % для КО  $\lambda_{440-690}$ . Та же закономерность прослеживается и для почв с другим содержанием гумуса (рис. 2, 3, 4). То есть при одинаковом содержании гумуса агродерново-подзолистые легкосуглинистые почвы имеют более высокий спектральный коэффициент отражения при любой из исследованных длин волн в сравнении с почвами более легкого гранулометрического состава.

Этот факт объясняется тем, что увеличение содержания физической глины ведет к возрастанию удельной поверхности, на которой могут закрепляться гумусовые вещества, одинаковое количество гумуса менее плотно покрывает поверхность минеральных частиц, что является одной из причин осветления почв, которое и ведет к увеличению отражательной способности, а это в свою очередь сказывается на величине СКО  $\lambda_{750}$ , СКО  $\lambda_{680}$  и интегральном коэффициенте отражения (КО).

Математическая обработка данных отражательной способности агрогумусовых горизонтов разного гранулометрического состава, с разным содержанием гумуса также показала (табл. 2), что независимо от исследуемой длины волны спектральные коэффициенты отражения  $\lambda_{750}$  и  $\lambda_{680}$  и интегральный коэффициент отражения, рассчитанный по шести длинам волн, различаются в почвах разного гранулометрического состава при одинаковом содержании гумуса. При чем на разных длинах волн величина спектральных коэффициентов отражения всегда больше в легкосуглинистых разновидностях почв, чем в связносупесчаных и рыхлосупесчаных независимо от содержания в них гумуса и составляет в среднем для почв легкосуглинистого гранулометрического состава по  $\lambda = 750$  нм 48,9 %, по  $\lambda = 680$  нм – 44,4 % и по  $\lambda = 440$ – $690$  нм – 35,9 % против 44,3 %, 40,5 %, 33,6 % и 34,8 %, 31,6 %, 27,2 % соответственно для связносупесчаных и рыхлосупесчаных.

Однако если проследить величину изменения спектрального коэффициента отражения в одной группе по содержанию гумуса для разных длин волн в зависимости от гранулометрического состава, то она будет больше при длине волны, равной 750 нм, чем при  $\lambda = 680$  нм и  $\lambda = 440$ – $690$  нм. Изменение СКО  $\lambda_{750}$  между легкосуглинистыми и связносупесчаными разновидностями составляет 6 % для первой группы по содержанию гумуса, 4,8 % – для второй, 4,3 % – для третьей и 3,2 % – для четвертой. Эти же изменения СКО  $\lambda_{680}$  соответственно равны 5,4 % – 4,2 %–4,2 %–2,0 % и КО  $\lambda_{440-690}$  – 2,5 %–2,0 %–2,6 %–1,7 %.

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

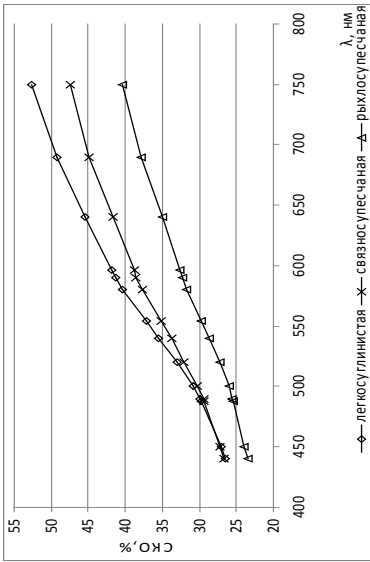


Рис. 1. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса <1,5 %

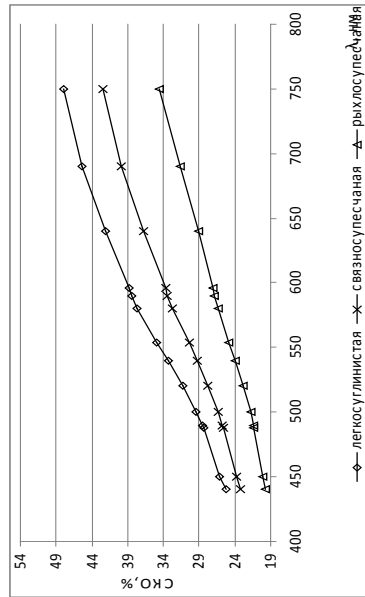


Рис. 3. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса 2,01–2,50 %

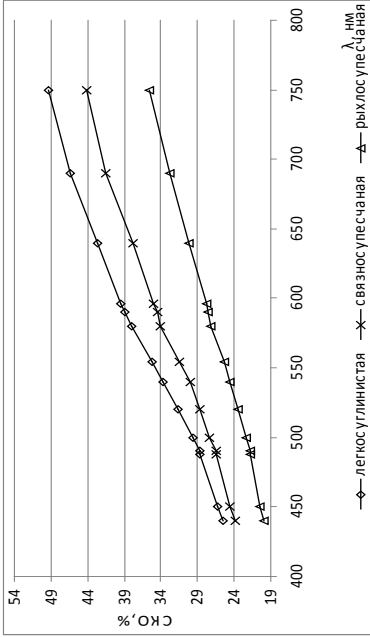


Рис. 2. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса 1,51–2,0 %

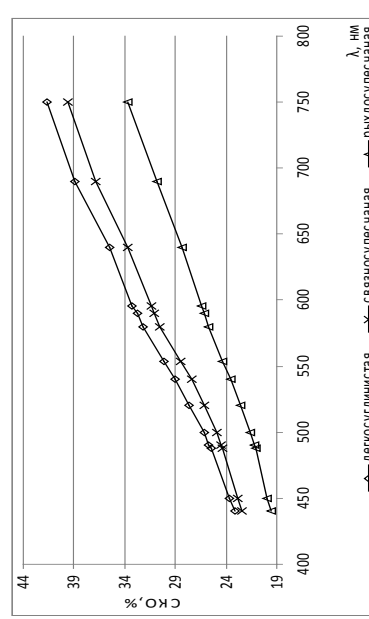


Рис. 4. Кривые спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов почв с содержанием гумуса  $\geq 2,51$  %

Таблица 2

Отражательная способность агрогумусовых горизонтов почв на разных длинах волн  
(данные математической обработки)

Гранулометрический состав почв	Градации по содержанию гумуса, %					
	≤1,50			1,51–2,00		
	СКО $\lambda_{750}$	СКО $\lambda_{680}$	КО $\lambda_{440-690}$	СКО $\lambda_{750}$	СКО $\lambda_{680}$	КО $\lambda_{440-690}$
Легкосуглинистые	$\frac{53.6 \% \pm 0.9}{6}$	$\frac{48.8 \% \pm 1.4}{6}$	$\frac{38.5 \% \pm 0.7}{6}$	$\frac{50.6 \% \pm 1.5}{16}$	$\frac{45.9 \% \pm 1.7}{16}$	$\frac{37.0 \% \pm 1.2}{16}$
Связносупесчаные	$\frac{47.6 \% \pm 0.8}{15}$	$\frac{43.4 \% \pm 0.8}{15}$	$\frac{36.0 \% \pm 1.2}{15}$	$\frac{45.8 \% \pm 2.1}{41}$	$\frac{41.7 \% \pm 2.1}{41}$	$\frac{34.8 \% \pm 1.5}{41}$
Рыхлосупесчаные и связносупесчаные	–	–	–	$\frac{37.3 \% \pm 1.2}{16}$	$\frac{33.9 \% \pm 1.3}{16}$	$\frac{28.6 \% \pm 1.1}{16}$

Гранулометрический состав почв	Градации по содержанию гумуса, %					
	2,01–2,50			≥2,51		
	СКО $\lambda_{750}$	СКО $\lambda_{680}$	КО $\lambda_{440-690}$	СКО $\lambda_{750}$	СКО $\lambda_{680}$	КО $\lambda_{440-690}$
Легкосуглинистые	$\frac{48.0 \% \pm 1.8}{43}$	$\frac{43.8 \% \pm 1.8}{43}$	$\frac{35.3 \% \pm 1.4}{43}$	$\frac{43.4 \% \pm 2.6}{57}$	$\frac{39.1 \% \pm 2.6}{57}$	$\frac{32.6 \% \pm 1.8}{57}$
Связносупесчаные	$\frac{43.7 \% \pm 1.3}{41}$	$\frac{39.6 \% \pm 1.2}{41}$	$\frac{32.7 \% \pm 1.2}{41}$	$\frac{40.2 \% \pm 3.1}{35}$	$\frac{37.1 \% \pm 2.9}{35}$	$\frac{30.9 \% \pm 2.3}{35}$
Рыхлосупесчаные и связносупесчаные	$\frac{35.3 \% \pm 2.1}{54}$	$\frac{32.0 \% \pm 2.3}{54}$	$\frac{27.7 \% \pm 1.5}{54}$	$\frac{31.9 \% \pm 1.9}{75}$	$\frac{29.0 \% \pm 2.0}{75}$	$\frac{25.3 \% \pm 1.5}{75}$

Примечание. Числитель – величина спектрального коэффициента отражения; знаменатель – число определений (образцов).

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Аналогичная зависимость прослеживается и между связноупесчаными и рыхлосупесчаными разновидностями, изменяясь соответственно по СКО  $\lambda_{750}$  от 8,5 % при содержании гумуса 1,51–2,00 до 8,3 % при содержании гумуса  $\geq 2,51$  % против 7,8–8,1 % по СКО  $\lambda_{680}$  и 6,2–5,6 % по КО  $\lambda_{440-690}$ . То есть спектральный коэффициент отражения при длине волны, равной 750 нм, более четко указывает на зависимость спектральной отражательной способности агрогумусовых горизонтов от их гранулометрического состава при одинаковом содержании гумуса.

Корреляционная зависимость между содержанием гумуса в агродерново-подзолистых почвах и их спектральной отражательной способностью, установленная по всем исследуемым образцам (399) независимо от гранулометрического состава, при длине волны в 750 нм несколько выше ( $r = -0,55$ ), чем при длине волны в 680 нм ( $r = -0,52$ ) и КО  $\lambda_{440-680}$  ( $r = -0,53$ ), а в зависимости от гранулометрического состава для легкосуглинистых почв коэффициент корреляционной зависимости  $r = -0,91$  по  $\lambda = 750$  нм,  $r = -0,89$  по  $\lambda = 680$  нм и  $r = -0,84$  по  $\lambda = 440...690$  нм, для связноупесчаных соответственно  $r = -0,94$ ,  $-0,81$  и  $-0,79$ , для рыхлосупесчаных и связноупесчаных –  $-0,77$ ,  $-0,69$  и  $-0,70$ . А если еще учесть и тот факт, что снятие показателя СКО при  $\lambda = 750$  нм значительно проще и точнее, так как это максимальная длина в видимой области спектра, то следует констатировать, что длина волны 750 нм является более информативной для характеристики спектральной отражательной способности агродерново-подзолистых почв Беларуси разного гранулометрического состава.

### ВЫВОДЫ

1. Отражательная способность агродерново-подзолистых почв определяется не только содержанием гумуса, но и их гранулометрическим составом.

2. Независимо от длины исследуемых волн ( $\lambda = 750$  нм,  $\lambda = 680$  нм,  $\lambda = 440...690$  нм) спектральный коэффициент отражения для легкосуглинистых разновидностей всегда выше, чем для почв более легкого гранулометрического состава при одинаковом содержании в них гумуса и колеблется в среднем от 48,9 % по  $\lambda = 750$  нм в легкосуглинистых почвах до 34,8 % в рыхлосупесчаных, по  $\lambda = 680$  нм от 44,4 % до 31,6 %, а по  $\lambda = 440...690$  нм от 35,9 % до 27,2 % соответственно.

3. Длина волны, равная 750 нм, является более информативной для характеристики отражательной способности агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава. Коэффициент корреляции между содержанием гумуса и СКО  $\lambda_{750}$  колеблется в зависимости от гранулометрического состава – от  $r = -0,94$  в связноупесчаных разновидностях до  $r = -0,91$  в легкосуглинистых и до  $r = -0,77$  в рыхлосупесчаных и связноупесчаных против  $r = -0,55$  по всем данным независимо от гранулометрического состава.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем / Б.В. Виноградов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

2. Карманов, И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв как показатели их свойств / И.И. Карманов. – М.: Колос, 1974. – 351 с.
3. Орлов, Д.С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов / Д.С. Орлов, Н.И. Суханова, М.С. Розанова. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 165 с.
4. Отражательная способность почв морских побережий Дальнего Востока / Н.А. Михайлова [и др.] // Почвоведение. – 1999. – №3. – С. 342–348.
5. Костенко, И.В. Изучение оптических свойств образцов дерново-степных песчаных почв юга Украины при помощи сканера / И.В. Костенко // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С.1090–1098.
6. Bowers, S.A. Reflection of radiant energy from soils / S.A. Bowers, R.J. Hanks // Soil. Sci. – 1965. – Vol. 100, № 2. – P. 130–138.
7. Спектральная отражательная способность агрогумусовых горизонтов агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава / Г.С. Цытрон [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – № 1(42). – 2009. – С. 15–21.
8. Караванова, Е.И. Оптические свойства почв и их природа / Е.И. Караванова. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 187 с.
9. Орлов, Д.С. Количественные закономерности отражения света почвами: IV варьирование показателей и влияние гумусовых веществ / Д.С. Орлов // Биол. науки. – 1969. – № 8. – С. 131–134.

## **IMPACT TEXTURE ON THE SPECTRAL REFLECTIVITY OF AGRO-SOD-PODZOLIC SOILS**

**S.V. Drobyshev, T.V. Bubnova, O.V. Matychenkova**

### **Summary**

The results of the agro-sod-podzolic soils spectral reflectivity studies of different texture with the same content of humus, determined at different wavelengths. It is established that the wavelength of 750 nm is the most informative features for the reflectivity as the function of soils texture.

*Поступила 12.04.13*