

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСВЕННЫХ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПТИЧЬИМ ПОМЕТОМ

А.А. Устюжанин, РГАУ – МСХА, К. Даммер, Й. Интрес, Институт агротехники им. Лейбница (Потсдам)

Показано, что загрязнение почв птичьим пометом оказывает действие на спектральную отражательную способность растительного покрова. Пометные стоки влияют на спектральную отражательную способность водоемов.

Ключевые слова: косвенные дешифровочные признаки, дистанционный мониторинг, загрязнение почв, птичий помет.

Дистанционная оценка различных параметров почв, в том числе загрязнения их органическими удобрениями, не всегда может проводиться по прямым дешифровочным признакам. Проективное покрытие растений выше 10-15% слишком сильно влияет на спектральную отражательную способность земной поверхности. Кроме того, определенную сложность представляет варьирование влажности верхнего горизонта почвы. Эти факторы обуславливают большую информативность при использовании дистанционных методов исследования косвенных признаков [2].

Наиболее подходящие для оценки загрязнения почв птичьим пометом косвенные дешифровочные признаки – растительный покров территории, а также состояние близлежащих водоемов. Очевидно, что загрязнение почв птичьим пометом, а значит резкое увеличение концентрации азота в почве, влияет на видовой состав растительности [9, 11]. Происходит замена естественного сообщества на наиболее устойчивые к очень высоким дозам азота рудеральные нитрофильные растения. К тому же, загрязнение влияет на состояние растений [7], а также, в случаях попадания в почву очень высоких доз, в первые годы и на величину проективного покрытия [5].

Поступление в почву высоких доз органических удобрений влечет за собой загрязнение водосборной площади и, как следствие, эвтрофикацию близлежащих водоемов [5, 6, 12]. Отмечающееся при этом увеличение концентрации фосфора в воде может стать причиной резкого увеличения численности цианобактерий. Следствием этого являются уменьшение прозрачности и изменение окраски водоема [10].

Кроме того, загрязнение водоемов стоками органических удобрений часто приводит к затягиванию их поверхности повсеместно распространенной в условиях умеренного климата ряской малой [1, 8].

**Методика.** В ходе работы были обследованы загрязненные птичьим пометом территории, расположенные в Новомосковском округе г. Москвы и Московской области, с прилегающими к ним водоемами.

Объекты исследования – растения лебеды раскидистой и полныи обыкновенной как наиболее часто встречающиеся представители флоры на обследованных территориях (космические снимки Landsat ETM+ обследованных территорий и данные открытых спектральных библиотек).

В рамках исследования был поставлен модельный опыт по изучению спектральной отражательной способности лебеды и полныи в различные периоды вегетации, а также влияния на нее концентрации азота, фосфора и калия в почве. Для этого в идентичные сосуды были пересажены два растения лебеды раскидистой и одно растение полныи. Одно из растений лебеды получало дополнительно высокие дозы азота, фосфора и калия. Для этого использовали удобрение

Flora Self (10 % N, 4 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 7% K<sub>2</sub>O). Общая доза составила 15 г N, 6 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 10,5 г K<sub>2</sub>O на 3 кг почвы. Дозу вносили в течение вегетации растения частями. В данном модельном опыте намеренно использовали очень высокие дозы, чтобы имитировать условия загрязнения почвы птичьим пометом.

По данным открытых спектральных библиотек [13] изучали спектральную отражательную способность растительных сообществ с различным уровнем проективного покрытия. Также по данным дистанционного зондирования оценивали спектральную отражательную способность эвтрофированных водоемов.

Для получения спектральных кривых отражения растений использовали гиперспектральную камеру, работающую в диапазоне 400-1000 нм. Обработку результатов осуществляли с использованием программного обеспечения ENVI 4.6 и SAGA 2.1.1.

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 1 приведены данные спектральной отражательной способности листьев, полученные в результате обработки гиперспектральных снимков лебеды раскидистой и полныи обыкновенной в программе ENVI 4.6. Для сравнения приведена спектральная отражательная способность побегов злаковых трав в фазе кущения.

1. Спектральная отражательная способность листьев лебеды и полныи в различные периоды вегетации, %

Длина волны, нм	Полынь			Лебеда			
	Май, III декада	Июнь, II декада	Июль, I декада	Май, III декада	Июнь, II декада	Июль, I декада	Июль, III декада
400	3	4	1	8	3	4	5
450	4	3	2	3	3	3	3
500	5	4	3	4	4	4	3
550	13	12	12	13	16	9	11
600	8	7	7	7	10	5	7
700	16	13	14	14	17	10	12
800	51	53	47	43	39	46	40
900	50	52	47	42	38	45	40
1000	46	48	43	39	35	42	38

Как видно из данных таблицы 1, спектральная отражательная способность растений при различных длинах волн может сильно варьировать в зависимости от периода вегетации и погодных условий. В целом отмечается тенденция к понижению коэффициентов спектральной яркости листьев в видимом диапазоне (400-700 нм) у более старых растений (июль) в сравнении с молодыми (май – июнь), что подтверждается литературными данными [3].

Сравнение спектральной отражательной способности лебеды и полныи в диапазоне 400-800 нм не выявило достоверных признаков, по которым можно было бы отличить один вид от другого. Интервалы варьирования рассматриваемого показателя перекрывались для каждого из приведенных значений длины волны. В диапазоне 900-1000 нм спектральная отражательная способность листьев полныи была выше, чем листьев лебеды, однако эти результаты требуют дальнейшей проверки.

В таблице 2 приведена сравнительная характеристика спектральной отражательной способности листьев лебеды в

зависимости от условий питания. На основании приведенных в таблице данных построены графики (рис. 1).

## 2. Спектральная отражательная способность листьев лебеды в зависимости от концентрации азота, фосфора и калия в почве, %

Длина волны, нм	Растение 1, листья (с удобрением)			Растение 2, листья (без удобрения)		
	Май, III декада	Июнь, II декада	Июль, III декада	Май, III декада	Июнь, II декада	Июль, III декада
400	2	2	3	8	3	5
450	2	2	3	3	3	3
500	3	4	3	4	4	3
550	6	10	7	13	16	11
600	4	6	4	7	10	7
700	7	12	8	14	17	12
800	34	38	38	43	39	40
900	33	36	38	42	38	40
1000	30	32	35	39	35	38

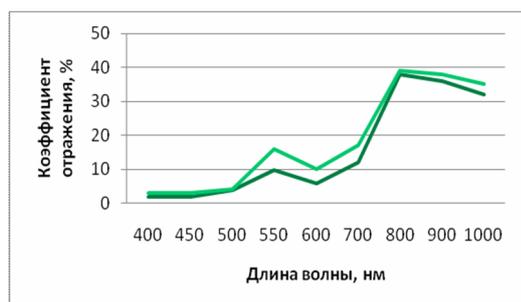


Рис. 1. Спектральная отражательная способность листьев лебеды в зависимости от концентрации азота, фосфора и калия в почве: *сверху вниз* – III декада мая, II декада июня, III декада июля. Темная кривая – растение 1, светлая – растение 2

Как видно из представленных данных, увеличение концентрации азота, фосфора и калия в почве способствовало снижению коэффициентов отражения в видимом и ближнем инфракрасном свете. Полученные результаты можно объяснить увеличением содержания хлорофилла в листьях при более высокой обеспеченности каждым из основных элементов питания. Это предположение подтверждают и литературные данные [4].

Как показали наблюдения, загрязнение почв птичьим пометом может приводить не только к изменению видового состава растительности и состояния растений, но и, на пер-

вых этапах при использовании очень высоких доз, к уменьшению проективного покрытия, что показано на спектральной кривой отражения земной поверхности.

В таблице 3 и на рис. 2 представлены данные зависимости спектральной отражательной способности поверхности земли от проективного покрытия (ПП) растений польни черной. Результаты получены на основе данных открытых спектральных библиотек [13].

## 3. Спектральная отражательная способность земной поверхности в зависимости от проективного покрытия растений польни черной, %

Длина волны, нм	Проективное покрытие, %	
	50	70
400	4	4
450	6	4
500	7	5
550	8	7
600	9	8
650	10	10
700	13	15
750	18	20

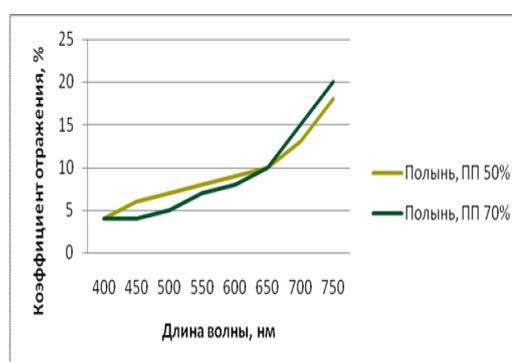


Рис. 2. Зависимость спектральной отражательной способности земной поверхности от проективного покрытия польни

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении коэффициентов отражения при уменьшении проективного покрытия в диапазоне 450-600 и 700-750 нм. Пересечение кривых в области 650 нм теоретически означает, что коэффициент отражения этого участка не зависит от проективного покрытия при данной длине волны. Так как загрязнение почвы птичьим пометом влияет на ее отражательную способность, логично предположить, что знание точки пересечения спектральных кривых участков с различным проективным покрытием может позволить оценить загрязнение конкретной почвы.

Следует отметить, что зависимость спектральной кривой отражения от проективного покрытия растений на различных типах почв может существенно различаться. Например, дерново-подзолистые почвы в сравнении с зелеными растениями имеют более высокие коэффициенты отражения в области 400-700 нм и более низкие в диапазоне 800-1000 нм [13]. Это означает, что увеличение проективного покрытия зеленой растительности будет приводить к снижению коэффициентов отражения в первой области и к повышению во второй.

Установлена зависимость спектральной отражательной способности водоемов от численности цианобактерий и степени развития ряски малой в результате загрязнения почвы птичьим пометом.

В таблице 4 приведена сравнительная характеристика коэффициентов яркости и индекса GI (Eitel, Long et al. 2008) прозрачного водоема (пруд 2), водоемов с высокой численностью цианобактерий (пруд 1) и, покрытого ряской малой (пруд 3). Как следует из таблицы 4, увеличение численности цианобактерий приводит к повышению коэффициентов отражения в зеленой и красной областях спектра. Изменение коэффициентов отражения в синей области может зависеть от глубины водоема. Заращение поверхности водоема ряс-

кой малой приводило к существенному увеличению отражения в ближней инфракрасной области. Однако развитие цианобактерий не оказало такого влияния, несмотря на высокие коэффициенты отражения в ней хлорофилла. Это можно объяснить низкой пропускающей способностью воды по отношению к инфракрасному излучению. Наиболее высокий индекс GI характерен для водоема, покрытого ряской, а наименьший – для прозрачного.

#### 4. Зависимость спектральной отражательной способности водоемов от численности цианобактерий

Канал / индекс	Яркость, усл. ед.		
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3
Синий (0,45-0,52 мкм)	20,8 ± 1,9	15,5 ± 2,2	65,3 ± 10,2
Зеленый (0,53-0,61 мкм)	21,3 ± 1,9	5,5 ± 1,3	90,0 ± 8,6
Красный (0,63-0,69 мкм)	16,0 ± 1,0	5,5 ± 1,7	55,0 ± 8,6
Ближний ИК (0,75-0,90 мкм)	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	96,5 ± 3,2
GI (Eitel, Long et al. 2008)*	1,33 ± 0,08	1,11 ± 0,17	1,65 ± 0,12

\* GI (Green Index) = зеленый / красный.

С использованием программного обеспечения SAGA 2.1.1 для прудов 1 и 2 была составлена карта распределения значений индекса NDVI (рис. 3).

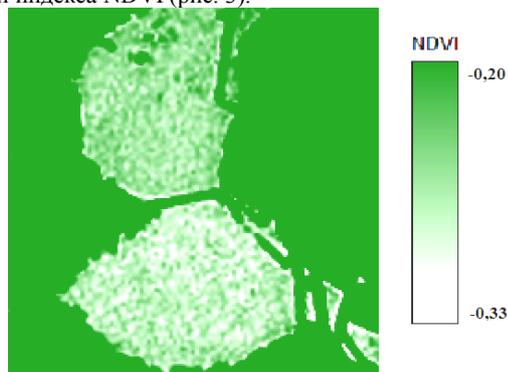


Рис.3. Изменение индекса NDVI при увеличении численности цианобактерий в воде

Изменение индекса NDVI при увеличении концентрации цианобактерий в воде показано ниже.

Водоем	NDVI
Пруд 1 (высокая численность цианобактерий)	-0,21 ± 0,04
Пруд 2 (прозрачный)	-0,27 ± 0,05

Как видно, увеличение численности цианобактерий приводило к повышению индекса NDVI. Однако интенсивность отражения в красной области, а значит и индекс NDVI сильно зависят от глубины водоема, а также от содержания взвесей в воде. Поэтому для точной оценки численности цианобактерий по индексу NDVI эти данные необходимы.

Следует отметить, что интенсивному развитию цианобактерий или зарастанию поверхности водоема ряской могут

способствовать и другие причины, например, попадание в воду бытовых стоков или смыв минеральных удобрений с полей. Поэтому при дистанционном мониторинге загрязнения почв и водоемов отходами птицеводства наиболее полную информацию дает изучение всех диагностических признаков.

**Выводы.** 1. Загрязнение почв птичьим пометом влияет на спектральную отражательную способность растительного покрова. Смыв помета или продуктов его разложения вместе со стоками изменяет спектральную отражательную способность близлежащих водоемов за счет развития цианобактерий и водной флоры.

2. Листья молодых растений лебеды раскидистой и полыни обыкновенной имеют более высокие коэффициенты спектральной яркости в диапазоне 400-700 нм в сравнении со старыми.

3. Согласно полученным данным, увеличение концентрации азота, фосфора и калия в почве приводит к снижению спектральных коэффициентов яркости листьев лебеды раскидистой в видимом и ближнем инфракрасном свете.

4. Увеличение проективного покрытия на дерново-подзолистых почвах способствует снижению коэффициентов отражения в области 400-700 нм и повышению их в области 800-1000 нм.

5. Увеличение численности цианобактерий или развитие водной растительности увеличивает спектральные коэффициенты отражения водоемов в зеленой и красной областях. Изменение отражения водоема в ближней инфракрасной области зависит от типа зарастания: цианобактерии не оказывают на него заметного влияния, при развитии ряски малой на поверхности отражение в ближней инфракрасной области существенно увеличивается.

#### Литература

1. Галяс А.В. К вопросу об экологической характеристике некоторых малых водоемов Курской области. Актуальные проблемы агропочвоведения, земледелия и экологии: Материалы научно-практической конференции, 20 апреля 2010 г. – Курск, 2010.
2. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. -М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
3. Малинников В.А., Стеценко А.Ф., Алтынов А.Е., Попов С.М. Спектрометрия аэроландшафта. Учебное пособие для студентов.- М.: Изд-во МИИГАиК. УПП «Репрография», 2008. – 120 с.
4. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. – 360 с.
5. Седых В.А., Савич В.И., Балабоко П.Н. Почвенно-экологический мониторинг.- М.: Изд-во ВНИИА, 2013.-584 с.
6. Седых В.А., Савич В.И., Поветкина Н.Л. Оценка влияния птичьего помета на состояние почв, воздушной и водной среды// Агрехимический вестник.- 2013.- № 1. – С. 33-36.
7. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур.- М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
8. Brannan K.M., Mostaghimi S., McClellan P.W., Inamdar S. Animal waste BMP impacts on sediment and nutrient losses in runoff from the owl run watershed. Trans.ASAE. – St. Joseph (Mich.), 2000; Vol.43,N 5. – P. 1155-1166.
9. Muller A. Landwirtschaft in Feuchtgebieten. ASG-Kleine Reihe – Agrarsoziale Ges, 1987; T. 32. – S. 14-23.
10. Schindler D.W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes // Proc. R. Soc. B. 2012. 4322-4333.
11. Strien A.J van, Melman T.C.P., Heiden J.L.H de. Extensification of dairy farming and floristic richness of peat grassland. Netherl. J. agr. Sc, 1988; T. 36. N 4. – p. 339-355.
12. Walker S.E., Younos T.M. A laboratory-scale aquaculture system for treatment of diluted manure. St. Joseph, Mich, 1987. – 13 с. 13. <http://gis-lab.info/projects/spectra/>

#### USE OF INDIRECT INTERPRETATION SIGNS IN THE REMOTE MONITORING OF SOIL CONTAMINATION WITH BIRD DROPPINGS

A.A. Ustyuzhanin<sup>1</sup>, K. Dammer<sup>2</sup>, J. Intreb<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University–Moscow Agricultural Academy, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia, E-mail: a.ustyuzhanin@mail.ru

<sup>2</sup>Leibniz Institute for Agricultural Engineering, Potsdam-Bornim, Max-Eyth al. 100, Potsdam, Germany, 14469

It has been shown that soil contamination with bird droppings affects the spectral reflectance of plant cover. Drains with bird droppings have influence on the spectral reflectance of water bodies.

Keywords: indirect interpretation signs, remote monitoring, soil contamination, bird droppings.