

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНДИКАЦИИ ХАРАКТЕРА ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ И ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОРОД ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПО ЦВЕТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. ЧИНИЛИН<sup>1</sup>, И.Ю. САВИН<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

<sup>2</sup>Почвенный институт имени В.В. Докучаева)

*Появление компьютерных технологий (геоинформационных, спутниковых) создает хорошие предпосылки для более детального изучения материнских пород (их состава, свойств, распространения), повышения объективности получаемой информации. Изучение почвенного покрова на основе спутниковых данных базируется на связи спектральной отражательной способности почв с ее составом. Спектральные характеристики образцов почв преимущественно определяются содержанием гумуса и его качественным составом, минералогическим и гранулометрическим составом. Целью настоящей статьи является анализ связи спектральной отражательной способности поверхности черноземных почв с особенностями почвообразующих и подстилающих пород с целью определения возможностей их дешифрирования по данным дистанционного дешифрирования. В данной работе проведен анализ связи кривых спектральной отражательной способности почв с особенностями почвообразующих и подстилающих пород на примере нескольких тестовых участков в черноземной зоне. Получены регрессионные модели и выявлены наиболее информативные участки спектра и спектральные индексы для картографирования минералов-индикаторов пород. Установлено, что наиболее информативными характеристиками для картирования содержания каолинита (минерала-индикатора неогеновых песчаных отложений) являются средние значения отражения в диапазонах 400–450 нм, 500–550 нм, 650–700 нм и следующие спектральные индексы:  $NIR\backslash R$ ,  $G\backslash R$ , а также нормализованное разностное отношение синего и инфракрасного каналов. Наиболее информативными характеристиками для картирования содержания смектита (минерала-индикатора неогеновых глинистых отложений) на территории тестовых участков являются средние значения в диапазонах 450–500 нм, 850–890 нм и спектральные индексы:  $NIR\backslash B$  и  $G\backslash R$ . Найденные закономерности могут служить основой для построения автоматизированных алгоритмов дешифрирования характера почвообразующих пород почв региона по изображению их открытой поверхности по данным дистанционного зондирования.*

**Ключевые слова:** спектральная отражательная способность почв, минералогический анализ, пошаговая регрессия.

Почвообразующие породы – начальное состояние почвенной системы, почва в нулевой момент времени [8, 19]. Состав и свойства почвообразующих пород определяют направление того или иного почвообразовательного процесса, вещественный состав, физико-химические свойства, сложение и структуру формирующихся на них почвах. Информация о почвообразующих или материнских породах чрезвы-

чайно важна при оценке потенциала лесного и сельского хозяйства, характеристики гидрологического режима, оценке эрозии почв, оценке устойчивости ландшафтов, пригодности территории под строительство. Кроме того, информация о почвообразующих породах широко используется для целей прогнозного экосистемного картирования [22] и цифровой почвенной картографии [23].

Появление компьютерных технологий (геоинформационных, спутниковых) создает хорошие предпосылки для более детального изучения материнских пород (их состава, свойств, распространения), повышения объективности получаемой информации.

Изучение почвенного покрова на основе спутниковых данных базируется на связи спектральной отражательной способности (СОС) почв с ее составом [11, 12, 26]. Спектральные характеристики образцов почв преимущественно определяются содержанием гумуса и его качественным составом, минералогическим и гранулометрическим составом [4, 5, 7, 26]. Очевидно, что минералогически разные почвообразующие породы отличаются по цвету [10, 18, 24]. Следовательно, небольшие нюансы в различном составе пород будут предопределять неоднородности в кривых СОС почв.

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) давно и широко используются для дешифрирования почв и их отдельных свойств. В ряде работ [13, 15, 18, 20, 21, 25] показываются потенциальные возможности дешифрирования различных почвообразующих и подстилающих пород (в основном в региональном масштабе). Существуют подходы к изучению почвообразующих и подстилающих пород на основе гамма-спектральной съёмки, которая позволяет по составу радиоактивных изотопов разделять породы [9, 17].

Для черноземной зоны этот вопрос практически не изучен. Целью настоящей статьи является анализ связи СОС поверхности черноземных почв с особенностями почвообразующих и подстилающих пород с целью определения возможностей их дешифрирования по ДДЗ.

### **Объект исследования**

Объектом исследования выступают почвенный покров, почвообразующие и подстилающие породы тестовых участков СХП «Белогорье» ЗАО «Агрофирма Апротек–Подгоренская» Подгоренского района Воронежской области.

Отделение СХП «Белогорье» ЗАО «Агрофирма Апротек–Подгоренская» расположено на юго-западе Воронежской области (рис. 1А) в восточной части Подгоренского района (рис. 1В). Центральная усадьба расположена в с. Белогорье.

Территория исследования расположена в южной части Среднерусской возвышенности на правобережье р. Дон в пределах Калитвянского волнисто-балочного южно-лесостепного района [2, 3]. Почти все землепользование представлено межбалочными водоразделами р. Дон со склонами различной крутизны, и только небольшая восточная его часть расположена в пойме реки. Абсолютные отметки высот водоразделов находятся в пределах 250–330 м.

На большей части СХП преобладающие формы мезорельефа – холмы и увалы, между которыми располагается разветвленная овражно-балочная сеть. Территория землепользования характеризуется сильной расчлененностью, с коэффициентами горизонтальной расчлененности достигающими 1,1–1,15 км/км<sup>2</sup>. Степень вертикального расчленения территории (средние относительные превышения водоразделов над днищами долин) составляет 50–80 м (5-я ступень – высшая для равнинного рельефа). Средняя длина склонов 0,35–0,5 км. Коэффициент расчленения территории оврагами 1,7–1,8 км/км<sup>2</sup>.

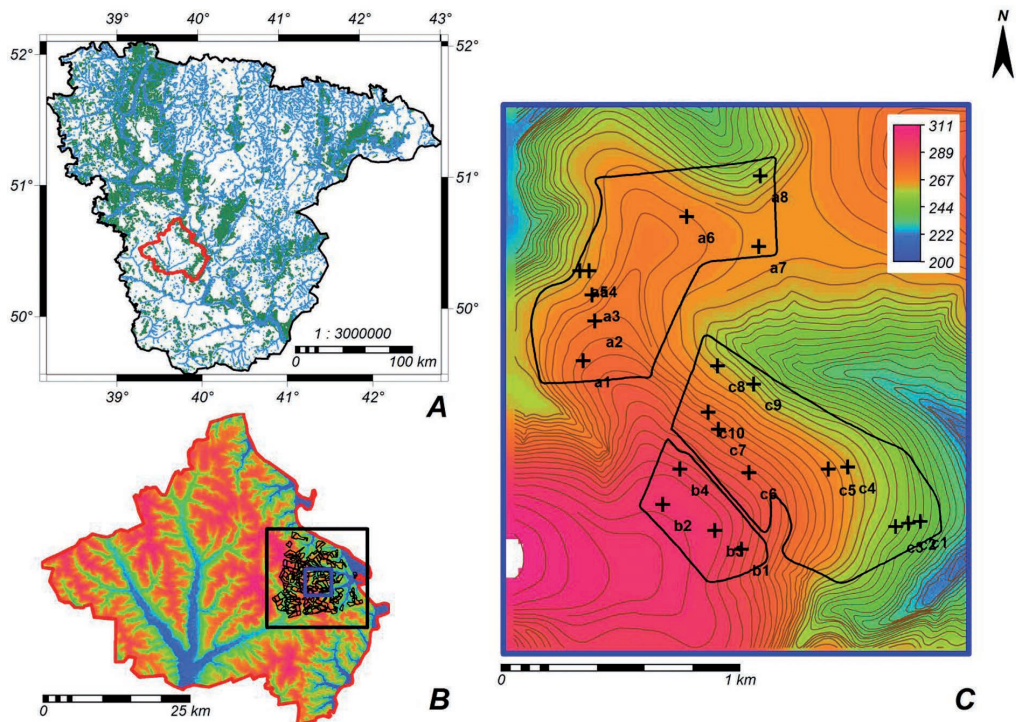


Рис. 1. Расположение объекта исследования

Тестовые участки расположены в западном направлении от с. Белогорье, в центральной части хозяйства. В состав тестовых участков входят три поля площадью 55 га, 16 га и 57 га (рис. 1С).

Территория характеризуется умеренно-континентальным климатом с жарким и сухим летом, прохладной зимой и устойчивым снежным покровом, продолжительным вегетационным периодом, умеренным дефицитом и неустойчивостью атмосферного увлажнения [16]. Среднегодовая сумма осадков составляет 517 мм, но они выпадают неравномерно по годам, колеблясь от 600–700 до 200–250 мм.

Согласно почвенно-географическому районированию, территория объекта исследования входит в Центральную лесостепную и степную область, зону обыкновенных и южных черноземов, Южно-Русскую провинцию [1]. На большей части территории исследования распространены черноземы обыкновенные (Haplick Chernozems Glossic в классификации WRB [14], сегрегационные агрочерноземы в “КиДПР”), которые представлены большим количеством разностей по гранулометрическому составу – от супесчаного до глинистого и, соответственно, по структурности и водоудерживающей способности.

В пределах тестовых участков установлено формирование следующих родов обыкновенных черноземов: обычных, карбонатных, остаточо-карбонатных и бескарбонатных.

По пониженным элементам рельефа – неглубоким ложбинам и депрессиям водоразделов, выположенным участкам вогнутых склонов формируются лугово-черноземные почвы (гидрометаморфизованные агрочерноземы в “КиДПР”, Voronic Chernozems Pachic в классификации WRB).

Почвообразующие и подстилающие породы представлены покровными отложениями, элюво-делювием коренных меловых пород, неогеновыми песчаными и

неогеновыми глинистыми отложениями. Особо выделяются почвы на двучленных породах, где покровные отложения подстилаются неогеновыми песчаными отложениями (глубина подстилания варьирует от 40 до 80 см), неогеновыми глинистыми отложениями (глубина подстилания от 150 см и более). Из-за сложного геологического строения и маломощного чехла четвертичных отложений территория исследования характеризуется сложным и комплексным почвенным покровом, представленным по большей части контрастными комбинациями.

### Методы исследования

Полевое почвенно-ландшафтное обследование проводилось в два этапа: июнь 2014 г. и апрель 2015 г. В ходе обследования было заложено 22 опорных разреза и отобрано 44 образца поверхности почв и материнских пород. Каждый разрез был зарегистрирован прибором GPS, описан в полевом дневнике и сфотографирован.

Отбор почвенных образцов для анализа СОС проводился на тестовых участках с поверхностного слоя 0–5 см и горизонтов почвообразующих и подстилающих пород. Образцы были отобраны на местах заложения опорных разрезов. После отбора образцов они были высушены и была проведена съемка СОС высушенных образцов в их естественном сложении спектрометрическим прибором FieldSpec® HandHeld 2. Спектрометр проводит измерение в диапазоне длин волн от 325 до 1075 нм (видимая и инфракрасная области спектра). Съемка проводилась в дневное время, в солнечную погоду. Перед съемкой кривых СОС проводилась калибровка прибора, а также при съемке почвенных образцов каждые 10 минут проводилась калибровка. Во время съемки спектрометр располагался в надири поверхности образца на высоте 10 см.

После съемки кривых СОС почвенные образцы были очищены от остатков растительности, мелких камней и просеяны через сито диаметром 1 мм. После этого была проведена съемка кривых СОС растертых образцов таким же образом, как это было описано выше.

Далее проводился анализ кривых СОС образцов в их естественном сложении и растертых образцов. Анализ заключался в следующем. Участки менее 400 нм и более 900 нм оказались зашумлены и были отброшены из анализа, далее кривые СОС были сглажены скользящим средним и затем поступали на обработку. Здесь, надо отметить, что мы исходили из двух возможных сценариев: первый случай, когда мы обрабатывали данные без какой-либо привязки к съемочной аппаратуре спутниковых систем и рассчитывали средние значения отражения на определенных участках длин волн (400–450 нм, 450–500 нм, 500–550 нм и т.д.), а также их возможные комбинации; второй случай, когда мы обрабатывали данные с учетом спектрального диапазона сенсора ТМ семейства спутников Landsat и рассчитывали спектральные индексы (отношение одного канала к другому, нормализованное разностное отношение). Спутник Landsat был выбран по нескольким причинам: огромный архив данных, который пополняется и в настоящее время, открытый доступ к данным, обширный охват территории.

Отмучивание фракций для дальнейшего минералогического анализа проводилось в лаборатории кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Определение минералогии полученных фракций проходило в лаборатории минералогии и микроморфологии почв Почвенного института имени В.В. Докучаева. Препараты фракций исследовали рентген-дифрактометрическим методом на аппаратуре фирмы Carl Zeiss Jena (Германия). Режим работы универсального дифрактомера марки XZG-4A: напряжение на трубке – 30кВ, анодный ток – 20мА, скорость вращения гониометра – 2°/мин., излучение – медное, фильтрованное никелем. Рентген-дифрактограммы получали для воздушно-сухих образцов, насыщенных

этиленгликолем и прокаленных при  $t\ 550^{\circ}\text{C}$  в течение 2 часов. Ориентированные препараты готовили осаждением водной суспензии на покровное стекло. Полуколичественное содержание минералов определяли по методике Х. Кука и др.

Затем проводился множественный пошаговый регрессионный анализ (вычислительная среда R) и сравнивались результаты регрессионного анализа растертых и нерастертых образцов и определялись потенциально наиболее информативные диапазоны спектра для дешифрирования почвообразующих и подстилающих пород.

### Результаты и обсуждение

После проведения минералогического анализа перед нами стояла задача описать, как имеющиеся на тестовых участках почвообразующие и подстилающие породы отличаются по минералогическому составу и можно ли по содержанию того или иного минерала или их комбинации предсказать породу. При этом следует сказать, что мы отталкивались от минералогии илистой фракции, так как, по-нашему мнению, именно она (наряду с органическим веществом) определяет цвет поверхности почв.

По результатам минералогического анализа фракции менее 1 мкм образцов почвообразующих и подстилающих пород тестового участка “b” (рис. 1С) было выявлено следующее: образцы b1 и b2 (подстиление неогеновыми песчаными отложениями с глубины 40 и 80 см соответственно) характеризуются более высоким содержанием совершенного по оси “с” каолинита, меньшим содержанием гидрослюд (табл. 1). Такая ассоциация минералов характерна для отложений неогенового возраста –  $N_2$ . Напротив, образец b4 фракции менее 1 мкм, выделенной из покровного суглинка, существенно отличается по минералогии по следующим показателям: значительно меньшим содержанием каолинита, наличием магнезиально-железистого хлорита и более высоким содержанием гидрослюд. Из вышесказанного можно сделать вывод, что на данном тестовом участке высокое содержание каолинита является индикатором неогеновых песчаных отложений.

Таблица 1

#### Соотношение основных минеральных фаз фракции <1 мкм, выделенной из образцов пород тестового участка “b”

Образец	% фракции ила	Содержание во фракции ила, %			Содержание в почве, %		
		Смешано- слойные образования	Гидро- слюды	Каолинит+ хлорит	Смешано- слойные образования	Гидро- слюды	Каолинит+ хлорит
b1	4.99	45.14	27.21	27.65*	2.25	1.36	1.38
b2	6.00	45.57	26.30	28.13*	2.73	1.58	1.69
b4	18.15	56.37	31.69	11.94	10.23	5.75	2.17

Примечание: \* – доминирует каолинит

По результатам минералогического анализа фракции менее 1 мкм образцов почвообразующих и подстилающих пород тестового участка “a” были выявлены следующие особенности: образцы a2, a3 и a4 содержат единую парагенетическую ассоциацию, в которой доминируют образования с монтмориллонитовым пакетом, сопровождаемые небольшим количеством гидрослюд, каолинита и их отличительной особенностью является наличие цеолита клиноптилолитовой группы (табл. 2). Здесь высокое содержание смектита является индикатором неогеновых глинистых

отложений. Образцы a1 и a6 представляют собой некую переходную зону от образцов тестового участка “b” (высокое содержание каолинита) к зоне образцов a2, a3 и a4, где этот каолинит находится в минимуме.

Таблица 2

**Соотношение основных минеральных фаз фракции <1 мкм, выделенной из образцов пород тестового участка “a”**

Образец	% фракции ила	Содержание во фракции ила, %				Содержание в почве, %			
		Смешанослойные образования	Гидро-слюды	Клиноптилолит	Каолинит+хлорит	Смешанослойные образования	Гидро-слюды	Клиноптилолит	Каолинит+хлорит
a1	18.03	58.85	28.05	1.71	11.39	10.61	5.06	0.31	2.05
a2	19.01	59.63	30.87	3.32	6.18	11.33	5.87	0.63	1.17
a3	26.93	65.21	26.17	2.32	6.30	17.56	7.05	0.63	1.70
a4	5.58	50.03	40.04	2.48	7.44	2.79	2.23	0.14	0.42
a6	20.23	58.76	30.30	1.44	9.50	11.89	6.13	0.29	1.92

Минералогический состав фракции < 1 мкм, выделенной из почвообразующих и подстилающих пород участка “с”, можно разделить по кристаллохимии компонентов на следующие части: в образцах с2, с3 и с4 доминирует смектитовая фаза, представленная в основном смектитовыми пакетами в смешанослойном слюда-смектитовом образовании (табл. 3). Для этих образцов характерна незначительная примесь гидрослюды и каолинита. Образцы различаются по наличию минерала цеолита клиноптилолитовой группы. Наибольшее количество этого минерала отмечается в образце с3, наименьшее – в образцах с2 и с4, последний из которых фактически мономинерален и состоит только из смектита. Можно построить следующий ряд по доминирующей фазе: с4 ° → с3 (смектит + гидрослюды + цеолит) .

Таблица 3

**Соотношение основных минеральных фаз фракции <1 мкм, выделенной из образцов пород тестового участка “с”**

Образец	% фракции ила	Содержание во фракции ила, %				Содержание в почве, %			
		Смешанослойные образования	Гидро-слюды	Клиноптилолит	Каолинит+хлорит	Смешанослойные образования	Гидро-слюды	Клиноптилолит	Каолинит+хлорит
с2	6.46	69.07	22.97	2.86	5.11	4.46	1.48	0.19	0.33
с3	1.89	48.24	28.20	18.20	5.35	0.91	0.53	0.34	0.10
с4	7.71	59.60	34.41	2.97	3.02	4.60	2.65	0.22	0.23
с5	19.73	59.90	29.74	-	10.36	11.82	5.87	-	2.04
с6	13.00	57.42	29.82	-	12.76	7.46	3.88	-	1.66
с7	20.24	53.74	34.02	-	12.25	10.87	6.88	-	2.48
с9	17.80	52.92	31.93	-	15.15	9.42	5.68	-	2.70
с10	17.74	54.54	34.59	-	10.88	9.67	6.14	-	1.93

Образец с5 можно считать переходным от образцов с наличием цеолита, принадлежащих к элювию неогеновых отложений, к делювиальным покровным отложениям, минералогия которых отличается по ряду кристаллохимических параметров:

1) по увеличению количества каолинита можно построить следующий ряд: с10→с6→с9;

2) по наличию хлорита: с7→с10→с6→с5;

3) по более высокому содержанию гидрослюд, различающихся по ди- и триоктаэдрическому типу.

Таким образом, профили черноземов, сформированных на покровных отложениях, отличаются от профилей черноземов, подстилаемых неогеновыми глинистыми и песчаными отложениями, по следующим минералогическим показателям: наличию хлорита, большому количеству гидрослюд, отсутствию цеолитов. Неогеновые глинистые отложения фактически мономинеральны, в них резко доминируют смектиты с примесью цеолитов. Неогеновые песчаные отложения отличаются высоким содержанием каолинита.

Следующим шагом было построение моделей множественной пошаговой регрессии на основе анализа кривых СОС нерастертых и растертых образцов для каждого из анализируемых минералов-индикаторов (каолинита и смектита). Связь между параметрами оценки кривых, полученных по данным СОС *растертых* образцов и исследуемыми минералами, выражена слабее, чем в случае нерастертых образцов: так, коэффициенты детерминации моделей для содержания каолинита для исходных спектров и спектральных индексов составили 0,35 и 0,24 соответственно; коэффициенты детерминации моделей для содержания смектита для исходных спектров и спектральных индексов составили 0,56 и 0,60 соответственно. Таким образом, подтверждается вывод о том, что при анализе связей необходимо учитывать состояние поверхности почв и анализировать СОС непосредственно в поле [6].

Модели для картографирования анализируемых свойств, полученные на основе анализа кривых СОС *нерастертых* образцов представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Модели для картографирования**  
(на основе анализа кривых СОС нерастертых образцов)

Параметр	Возможный сценарий	Общий вид модели	R <sup>2</sup> модели	Ошибка	RMSE (CV)
Содержание каолинита	исходные спектры	$-0,991 - 104,6*(400-450) - 587,5*(500-550) + 882,6*(450-500) + 301,3*(650-700) - 413,7*(550-600) \pm 0,33$	0,80	0,33	0,7
	спектральные индексы	$81,3 + 5,1*(NIR\backslash R) - 81,5*(G\backslash R) + 56,8*(B-NIR\backslash B+NIR) \pm 0,25$	0,85	0,25	0,3
Содержание смектита	исходные спектры	$1,0 - 324,2*(850-890) + 978,7*(450-500) \pm 2,9$	0,65	2,90	3,3
	спектральные индексы	$200,4 - 31,3*(NIR\backslash B) - 152,6*(G\backslash R) \pm 3,1$	0,6	3,10	3,3

Как видно из таблицы 4, модели для содержания каолинита показывают более надежные результаты (как для исходных спектров, так и для спектральных индексов). Несколько низкие значения коэффициента детерминации (и большие значения ошибки) для моделей содержания смектита могут быть связаны, по всей видимости, с влиянием на СОС (маскированием) других минералов и органического вещества почв. Стоит отметить, что для полученных моделей содержания каолинита и смектита, в целом, оказываются значимыми различные участки спектра и спектральные индексы.

Далее полученные уравнения оценивались с помощью метода перекрестной проверки (jackknife cross-validation). Для каждой модели были получены значения корня среднеквадратичной ошибки (RMSE). Как видно из таблицы 4, по результатам перекрестной проверки, модели для содержания каолинита показывают большую устойчивость (RMSE близка к 0). Напротив же, модели для содержания смектита показывают удовлетворительную устойчивость (RMSE = 3,3), что связано с большей ошибкой регрессионной зависимости.

Перспективными для дальнейшего картографирования содержания минералов по полученным моделям являются данные серии спутников Landsat, поскольку они последовательно совершенствуются, что позволяет использовать огромный архив с 1970-х годов.

В результате проведенных исследований установлено, что:

1. связь между параметрами оценки кривых, полученных по данным СОС *растертых* образцов и исследуемыми минералами, выражена несколько слабее, чем в случае *нерастертых* образцов;

2. наиболее информативными характеристиками для картирования содержания каолинита (минерала-индикатора неогеновых песчаных отложений) на территории тестовых участков являются: средние значения отражения в диапазонах 400-450 нм, 500-550 нм, 650-700 нм и следующие спектральные индексы: NIR\R, G\R, нормализованное разностное отношение синего и инфракрасного каналов;

3. наиболее информативными характеристиками для картирования содержания смектита (минерала-индикатора неогеновых глинистых отложений) на территории тестовых участков являются: средние значения в диапазонах 450-500 нм, 850-890 нм и следующие спектральные индексы: NIR\B и G\R;

4. найденные закономерности могут служить основой для построения автоматизированных алгоритмов дешифрирования характера почвообразующих пород почв региона по изображению их открытой поверхности по данным дистанционного зондирования.

### Библиографический список

1. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская, 3-е изд.-е изд., Москва: МГУ, 2015. 458 с.
2. Ежов И.Н. Рельеф под ред. С.И. Костин, Воронеж: Областное книгоизд-во, 1952.
3. Ежов И.Н. Геоморфологические районы Центральных черноземных областей // Труды ВГУ. 1957. (XXXVII). С. 67-111.
4. Карманов И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв как показатель их свойств / И.И. Карманов, Москва: Колос, 1974. 351 с.
5. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов / Н.А. Михайлова, Д.С. Орлов, Москва: Наука, 1986. 118 с.
6. Савин И.Ю. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Чернозёмного района по среднемасштабным космическим снимкам: дис.канд. геогр. наук / И.Ю. Савин, под ред. И.Ю. Савин, Москва:, 1990. 300 с.



7. Савин И.Ю., Столбовой В.С. Спектрально-отражательная способность красноватых почв Сирии // Почвоведение. 1997. № 4. С. 427–434.
8. Самойлова Е.М. Почвообразующие породы / Е.М. Самойлова, Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 173 с.
9. *Andrades-Filho C. de O. [u др.]*. Mapping Neogene and Quaternary sedimentary deposits in northeastern Brazil by integrating geophysics, remote sensing and geological field data // *Journal of South American Earth Sciences*. 2014. (56). С. 316–327.
10. *Bedini E.* Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data // *Advances in Space Research*. 2011. № 1 (47). С. 60–73.
11. *Ben-Dor E., Banin A.* Near infrared analysis (NIRA) as a method to simultaneously evaluate spectral featureless constituents in soils // *Soil Science*. 1995. № 4 (159). С. 259–270.
12. *Ben-Dor E., Irons J.R., Epema G.F.* Soil reflectance 1999. 111–118 с.
13. *Dobos E. [и др.]*. Soil parent material deliniation using MODIS and SRTM data // *Hungarian Geographical Bulletin*. 2013. № 2 (62). С. 133–156.
14. FAO World reference base for soil resources 2006: a framework for international classification, correlation and communication / FAO, 2006. 145 с.
15. *Fornaciai A. [u др.]*. Landsat 5 TM images and DEM in lithologic mapping of Payen Volcanic Field (Mendoza Province, Argentina) // *Italian Journal of Remote Sensing*. 2009. С. 11–24.
16. *Hijmans R.J. [u др.]*. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2005. № 15 (25). С. 1965–1978.
17. *Huang J. [u др.]*. Scope to predict soil properties at within-field scale from small samples using proximally sensed  $\gamma$ -ray spectrometer and EM induction data // *Geoderma*. 2014. (232–234). С. 69–80.
18. *Hubbard B.E., Crowley J.K.* Mineral mapping on the Chilean–Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions // *Remote Sensing of Environment*. 2005. № 1–2 (99). С. 173–186.
19. *Jenny H.* Factors of Soil Formation // *Soil Science*. 1941. № 5 (52). С. 415.
20. *Kumar C. [u др.]*. Lithological Discrimination and Mapping using ASTER SWIR Data in the Udaipur area of Rajasthan, India // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015. (11). С. 180–188.
21. *Leverington D.W., Moon W.M.* Landsat-TM-Based Discrimination of Lithological Units Associated with the Purtuniqu Ophiolite, Quebec, Canada // *Remote Sensing*. 2012. № 12 (4). С. 1208–1231.
22. *MacMillan R.A., Moon D.E., Coupé R.A.* Automated predictive ecological mapping in a Forest Region of B.C., Canada, 2001–2005 // *Geoderma*. 2007. № 4 (140). С. 353–373.
23. *McBratney A., Mendonça Santos M., Minasny B.* On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. № 1–2 (117). С. 3–52.
24. *Molan Y.E., Refahi D., Tarashti A.H.* Mineral mapping in the Maherabad area, eastern Iran, using the HyMap remote sensing data // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. (27). С. 117–127.
25. *Nield S.J., Boettinger J.L., Ramsey R.D.* Digitally Mapping Gypsic and Natric Soil Areas Using Landsat ETM Data // *Soil Science Society of America Journal*. 2007. № 1 (71). С. 245.
26. *Stoner E.R., Baumgardner M.F.* Characteristic Variations in Reflectance of Surface Soils // *Soil Science Society of America Journal*. 1981. № 6 (45). С. 1161.

# POTENTIAL POSSIBILITIES FOR REMOTE DELINEATION OF CHERNOZEMS PARENT ROCK MATERIALS BASED ON COLOR OF THEIR SURFACE

A.V. CHINILIN<sup>1</sup>, I. Yu. SAVIN<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Russian Timiryazev State Agrarian University;

<sup>2</sup> Dokuchayev Soil Science Institute)

*The introduction of computer technologies (GIS and remote sensing) provides good preconditions for a more detailed study of parent rock material (their composition, properties, and distribution). The study of soil cover by means of remote sensing is based on the relationship between soil spectral reflectance and its chemical composition. Spectral characteristics of soil samples are mainly determined by the content of organic matter in soil and its qualitative composition, as well as mineralogical and grain size composition. The main aim of the present paper is to analyze the relationship between soil spectral reflectance and soil-forming and underlying rocks features in order to determine possibilities for their delineation based on remote sensing. This paper describes the results of an analysis of the relationship between the curves of the spectral reflectance of soils with the features of soil-forming and underlying rocks as exemplified by several test sites in the chernozems zone. The authors have obtained regression models and revealed the most significant spectrum parts (ranges) and spectral indices for mapping minerals-rock indicators. The most significant characteristics for mapping kaolinit (a mineral used as an indicator of neogene sand deposits) content are the average values of reflection in 400-450 nm, 500-550 nm, and 650-700 nm ranges, spectral indices -  $NIR/R$ ,  $G/R$ ,  $B-NIR/B+NIR$ . The most significant characteristics for mapping smectite (a mineral used as an indicator of neogene clay deposits) are the average values of reflection in 450-500 nm and 850-890 nm ranges, spectral indices -  $NIR/B$ ,  $G/R$ . The determined patterns can serve as a basis for developing automated algorithms of the delineation of soil parent rock materials by means of remote sensing.*

**Key words:** soil spectral reflectance, mineralogical analysis, stepwise regression.

## References

1. Dobrovolskiy G.V., Urusevskaya I.S. Geografiya pochv [Soil geography] / G.V. Dobrovolskiy, I.S. Urusevskaya, 3<sup>rd</sup> edition. – M: MGU, 2015. 458 p.
2. Yezhov I.N. Rel'yef [Relief]. Ed. by S.I. Kostin, Voronezh: Oblastnoye knigoizd-vo, 1952.
3. Yezhov I.N. Geomorfologicheskiye rayony Tsentral'nykh chernozemnykh oblastey [Geomorphological regions of the Central Chernozem regions] // Trudy VGU. 1957. (XXXVII). P. 67–111.
4. Karmanov I.I. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' i tsvet pochv kak pokazatel' ikh svoystv [Spectral reflectivity and colour of soils as an indicator of their properties] / I.I. Karmanov. – M.: Kolos, 1974. 351 p.
5. Mikhaylova N.A., Orlov D.S. Opticheskiye svoystva pochv i pochvennykh komponentov [Optical properties of soils and soil components] / N.A. Mikhaylova, D.S. Orlov, Moskva: Nauka, 1986. 118 p.
6. Savin I.Yu., Stolbovoy V.S. Spektral'no-otrazhatel'naya sposobnost' krasnotsvetnykh pochv Sirii [Spectral reflectivity of red-colored soils of Syria] // Pochvovedeniye. 1997. No. 4. P. 427–434.
7. Savin I.Yu. Deshifirovaniye pochvennogo pokrova lesostepi Tsentral'no-

Chernozomnogo rayona po srednemashtabnym kosmicheskim snimkam [Deciphering the soil cover of the forest-steppe of the Central Chernozem region by medium-scale satellite imagery]: PhD (Geo) thesis / I.Yu. Savin, ed. by I.Yu. Savin. – M. 1990. 300 p.

8. *Samoylova Ye.M.* Pochvoobrazuyushchiye porody [Soil-forming rocks] / Ye.M. Samoylova. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1983. 173 p.

9. *Andrades-Filho C. de O.* [et al.]. Mapping Neogene and Quaternary sedimentary deposits in northeastern Brazil by integrating geophysics, remote sensing and geological field data // *Journal of South American Earth Sciences*. 2014. (56). P. 316–327.

10. *Bedini E.* Mineral mapping in the Kap Simpson complex, central East Greenland, using HyMap and ASTER remote sensing data // *Advances in Space Research*. 2011. No. 1 (47). P. 60–73.

11. *Ben-Dor E., Banin A.* Near infrared analysis (NIRA) as a method to simultaneously evaluate spectral featureless constituents in soils // *Soil Science*. 1995. No. 4 (159). P. 259–270.

12. *Ben-Dor E., Irons J.R., Epema G.F.* Soil reflectance 1999. P. 111–118.

13. *Dobos E.* [et al.]. Soil parent material deliniation using MODIS and SRTM data // *Hungarian Geographical Bulletin*. 2013. No. 2 (62). P. 133–156.

14. FAO World reference base for soil resources 2006: a framework for international classification, correlation and communication / FAO, 2006. 145 p.

15. *Fornaciari A.* [et al.]. Landsat 5 TM images and DEM in lithologic mapping of Payen Volcanic Field (Mendoza Province, Argentina) // *Italian Journal of Remote Sensing*. 2009. P. 11–24.

16. *Hijmans R.J.* [et al.]. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2005. No. 15 (25). P. 1965–1978.

17. *Huang J.* [et al.]. Scope to predict soil properties at within-field scale from small samples using proximally sensed  $\gamma$ -ray spectrometer and EM induction data // *Geoderma*. 2014. (232–234). P. 69–80.

18. *Hubbard B.E., Crowley J.K.* Mineral mapping on the Chilean–Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions // *Remote Sensing of Environment*. 2005. No. 1–2 (99). P. 173–186.

19. *Jenny H.* Factors of Soil Formation // *Soil Science*. 1941. No. 5 (52). 415 p.

20. *Kumar C.* [et al.]. Lithological Discrimination and Mapping using ASTER SWIR Data in the Udaipur area of Rajasthan, India // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2015. (11). P. 180–188.

21. *Leverington D.W., Moon W.M.* Landsat-TM-Based Discrimination of Lithological Units Associated with the Purtuniqu Ophiolite, Quebec, Canada // *Remote Sensing*. 2012. No. 12 (4). P. 1208–1231.

22. *MacMillan R.A., Moon D.E., Coupé R.A.* Automated predictive ecological mapping in a Forest Region of B.C., Canada, 2001–2005 // *Geoderma*. 2007. No. 4 (140). P. 353–373.

23. *McBratney A., Mendonça Santos M., Minasny B.* On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. No. 1–2 (117). P. 3–52.

24. *Molan Y.E., Refahi D., Tarashti A.H.* Mineral mapping in the Maherabad area, eastern Iran, using the HyMap remote sensing data // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014. (27). P. 117–127.

25. *Nield S.J., Boettinger J.L., Ramsey R.D.* Digitally Mapping Gypsic and Natric Soil Areas Using Landsat ETM Data // *Soil Science Society of America Journal*. 2007. No. 1 (71). P. 245.

26. *Stoner E.R., Baumgardner M.F.* Characteristic variations in reflectance of surface soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1981. No. 6 (45). P. 1161–1165.

**Чинилин Андрей Владимирович** – асп., асс. кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-08-97; e-mail: achinilin@rgau-msha.ru).

**Савин Игорь Юрьевич** – д. с.-х. н., чл.-корр. РАН, ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (119017, г. Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2, тел.: (495) 951-50-39; e-mail: savigory@gmail.com).

**Andrey V. Chinilin** – a postgraduate student, Assistant Professor of the Soil Science, Geology and Landscape Study Department, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-08-97; e-mail: achinilin@rgau-msha.ru).

**Igor Yu. Savin** – DSc (Ag), Corresponding Member of RAS, Dokuchayev Soil Science Institute (119017, Moscow, Pyzhevsky lane, 7; phone: (495) 951-50-39; e-mail: savigory@gmail.com).