

9. Арефьев Н.В., Wenkel К.О., Mirschel W., Баденко В.Л., Терлеев В.В., Волк Ю.В. Комплексная оценка агро-мелиоративных систем для планирования их реконструкции // Математическое моделирование, информационные технологии, измерительные системы и методы точного земледелия / Труды АФИ-2012. - С. 468.
10. Щедрин В.Н., Васильев С.М., Слабунов В.В. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. - Новочеркасск: Геликон, 2013. - 657 с.
11. Бандурин М.А. Совершенствование методов продления жизненного цикла технического состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дон, 2013, № 1. - С. 28.
12. Юрченко И.Ф., Фомин Г.И., Морковин В.Т. и др. Методические указания по эксплуатации орошаемых агроландшафтов, обеспечивающей экологическую безопасность, экономию ресурсов и оптимальное управление технологиями выращивания программируемого урожая. Рукопись деп. 1997.03.17 № 29 ВС-97. - М. - 181 с. Рубрики ГРН-ТИ: 68.35.01.94.
13. Юрченко И.Ф. Информационные системы управления водохозяйственным мелиоративным комплексом // Вестник Российской сельскохозяйственной науки, 2016, № 1. — С. 12-15.
14. Юрченко И.Ф., Носов А.К. Нормативно правовая база обеспечения безопасности гидротехнических сооружений // Научный журнал Российского НИИ Проблем мелиорации, 2015, № 4(20). - С. 262-277.
15. Юрченко И.Ф., Трунин В.В. Автоматизированное управление водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2012, № 2. - С. 178-184.
16. Мирцхулава Ц.Е. Расчет целесообразного срока эксплуатации почв // Доклады РАСХН, 1995, № 1. - С. 20.
17. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. - М., 1987. - 187 с.
18. Пегов С.А., Хомяков П.М. Моделирование развития экологических систем. -Л.: Гидрометеиздат, 1991. -222 с.
19. Балакай Г.Т., Юрченко И.Ф., Лентяева Е.А., Ялалова Г.Х. Повышение ответственности сельхозтоваропроизводителей за воспроизводство почвенного плодородия мелиорируемых земель // Агрехимический вестник, 2015, № 2.-С. 29-33.
20. Пранкевич Д.А. Популярные методы оценки эффективности внедрения ИТ-проектов / Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, г. Юрга, 7-9 апреля 2016 г. Т. 1. - Томск, 2016. - Изд-во ТПУ, 2016, Т. 1. - С. 395-397.

УДК 631.4:528.88

СВЯЗЬ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ГУМУСА В ПАХОТНОМ ГОРИЗОНТЕ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ И ЯРКОСТЬЮ В КРАСНОМ КАНАЛЕ СПУТНИКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

¹Д.Г. Кротов, к.с.-х.н., ²В.П. Самсонова, д.б.н., *Е.А. Кротова, ¹Е.Ю. Лавринова

¹Брянский государственный аграрный университет, e-mail: krotovd@mail.ru, katerina.lavrinova514@maU.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, e-mail: vkbun@mail.ru

Установлена нелинейная связь между яркостью красного канала при дистанционном зондировании Земли и содержанием гумуса в пахотном горизонте серой лесной почвы. Коэффициент детерминации для уравнения оказался очень высоким ($R^2 = 0,965$). Расчеты содержания гумуса с его использованием практически совпали со средними значениями, полученными при независимом определении содержания гумуса в смешанных образцах. Результаты могут быть использованы не только для целей оконтуривания, но и для размещения фиксированных точек для мониторинга содержания гумуса наугодье.

Ключевые слова: серая лесная почва, содержание гумуса, дистанционное зондирование, красный канал, нелинейная связь.

RELATIONSHIP BETWEEN THE HUMUS CONTENT IN ARABLE HORIZON OF GRAYZEMS AND THE BRIGHTNESS OF THE RED CHANNEL OF SATELLITE IMAGES

^xPhD. D.G. Krotov, ²Dr. Sci. V.P. Samsonova, ¹E.A. Krotova, ¹E.Yu. Lavrinova

¹Bryansk State Agrarian University, e-mail: krotovd@mail.ru, katerina.lavrinova514@mail.ru

²Lomonosov Moscow State University, e-mail: vkbun@mail.ru

The non-linear equation that connect the brightness of the red channel of remote sensing image and the content of humus in arable horizon of Grayzems in the Bryansk Opole region. The coefficient of determination for the equation proved to be very high ($R^2 = 0.965$). The calculations using it almost coincided with the average values obtained from an independent determination of the humus content in the mixed samples taken from the elementary plots into which the territory field was divided. The results can be used not only for the purpose of contouring but also to embed fixed points for monitoring the content of humus in the field.

Keywords: greyzems, organic matter content, remote sensing, red channel, non-linear relationship.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 16-44-320069X16.

Оценка качества сельскохозяйственных угодий требует отбора значительного количества почвенных проб и их анализа. Особенно это необходимо при точном земледелии, когда учитывается неоднородность поля для последующего внесения удобрений, проведения мелиорации и т.п. [1, 2]. Исходная пространственная неоднородность распределения почвенных свойств в пределах поля может заметно влиять на результаты опробования. Однако часто эта неоднородность в силу разных обстоятельств (наличие стерни, растительный покров и т.п.) не выражена в момент пробоотбора. Данные дистанционного зондирования могут в этом случае стать инструментом для выявления неоднородностей и быть использованы для оптимизации пробоотбора.

Некоторые почвенные свойства могут тесно коррелировать с яркостью изображения в отдельных каналах или их комбинациями. Известно, что третий (красный) и четвертый (инфракрасный) каналы снимков Landsat хорошо коррелируют с со-

держанием гумуса и влажностью [3, 4]. В настоящее время имеется большой архив доступных космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения. Для анализа единичных объектов могут быть использованы и снимки, представленные службами Google Earth, Яндекс и другими. Это открывает возможность использовать эти данные для оценки распределения почвенных свойств в пределах поля.

Цель исследования - оценка связи яркости отдельных каналов общедоступных космических снимков, полученных с сайта Яндекс, для определения содержания гумуса в пахотном слое сельскохозяйственных угодий.

Объекты и методы. Исследования проводили на территории Стародубского ополья Брянской области. Почвы - агросерые и агросерые лесные со вторым гумусовым горизонтом [5]. Рельеф равнинный, перепад высот около 2 м на 400 м. На поле проводили агрохимическое обследование. Объединенные образцы отбирали из пахотного слоя примерно равных по площади участков (рис. 1).

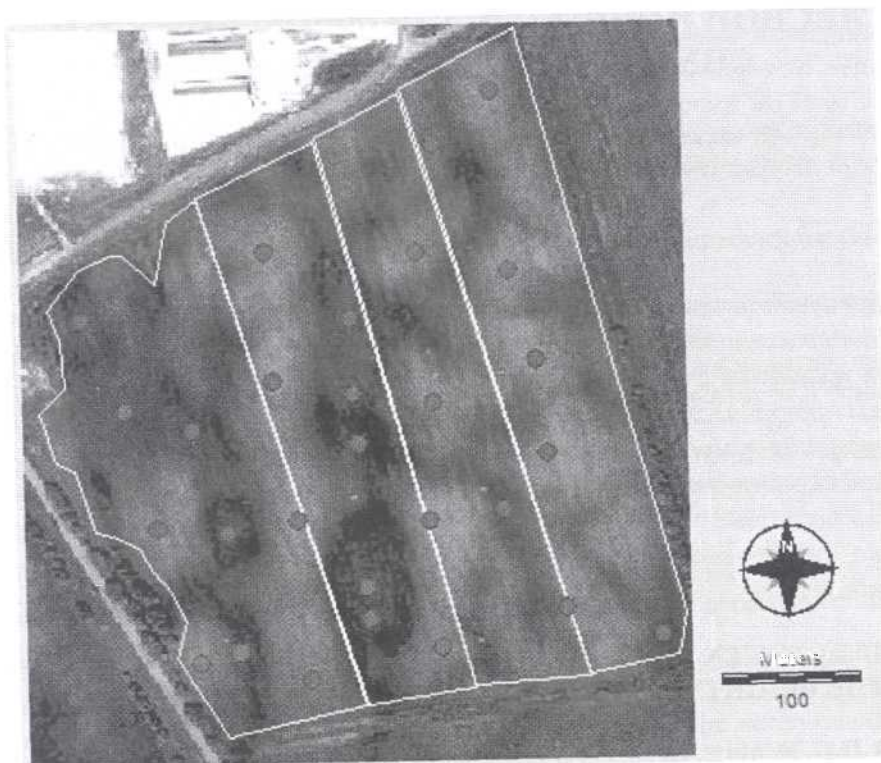


Рис. 1. Космический снимок поля и размещение точек опробования. Слева направо участки 1, 2, 3, 4.

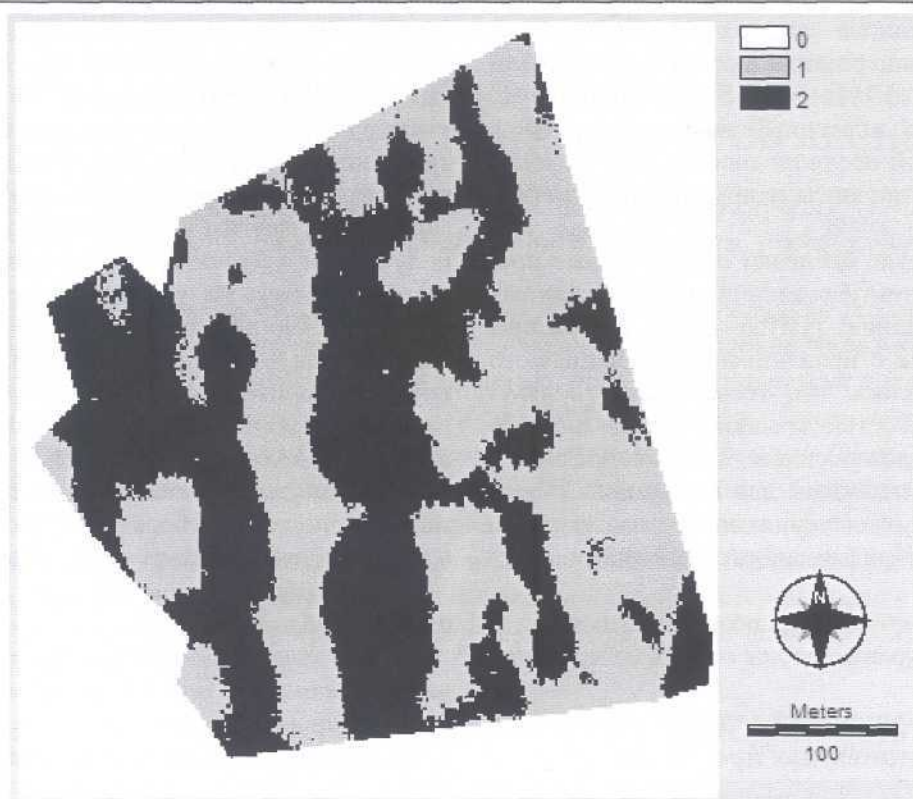


Рис. 2. Картграмма содержания гумуса, полученная путем расчета по уравнению

- 1 - содержание гумуса < 2%
2 - содержание гумуса > 2%

Космический снимок поля был взят с сайта Яндекса, привязку снимка проводили по наземным наблюдениям (приемник GARMENT GPSmap 78s). Поскольку поле в момент съемки было распаханно, отчетливо были видны темно-серые и светлые участки. Темный цвет почвы в первую очередь определяется содержанием гумуса [4], было решено проверить, насколько цвет почвы и содержание гумуса коррелированы. Индивидуальные пробы (28 штук) отбирали из пахотного слоя в заранее определенных точках, расположенных на темных и светлых участках (рис. 2). Содержание гумуса определяли методом Тюринга по ГОСТ 26213-91 в Центре коллективного пользования приборным и научным оборудованием Брянского ГАУ.

Анализ связей проводили при помощи пакета обработки Idrisi Selva. Линейный размер пиксела - 2 м. Каналы RGB изображения были разделены и из каждого из них были получены значения яркости. Подбор уравнений связи (линейная, логарифмическая, экспоненциальная) осуществляли при помощи пакета Excel.

Результаты и обсуждение. Наилучшая связь в виде нелинейного уравнения была получена для красного канала (коэффициент детерминации $R^2 = 0,965$):

$$y = -3,8166 B(x) + 21,067,$$

где y - содержание гумуса, %, x - яркость.

Это уравнение, в отличие от других, позволяет удовлетворительно предсказывать значения содер-

жания гумуса не только в диапазоне яркостей снимка, но и в области максимальных значений яркости (практически безгумусная почва) и малых значений (содержание гумуса более 6%). В последнем случае почва имеет почти черный цвет.

Сильная корреляция позволяет определить содержание гумуса в каждом пикселе и получить карту, отражающую распределение гумуса в пространстве поля.

Поскольку граничное значение между удовлетворительным и неудовлетворительным содержанием гумуса равно 2%, карта была переклассифицирована (рис. 2). За вычетом защитной зоны площадь участка составила 14 га, из которых 7,4 га - имели неудовлетворительное содержание гумуса, а 6,8 - имели содержание гумуса больше 2%.

Можно видеть, что расположение участков с пониженным и повышенным содержанием гумуса вытянутое, с разветвлением в отдельных точках. Казалось бы, подобная полосчатость связана с эрозионными процессами, обусловленными рельефом, однако углы наклонов на участке не превышают 1 градуса, что не позволяет отнести территорию к эрозионно опасной. Скорее всего, мы здесь сталкиваемся с проявлениями развития почвенного покрова территории в голоцене, когда происходило отступление ледника, оттаивала почвенная мерзлота и морозобойные трещины заполнялись мелкоземом. Мы не будем подробно обсуждать процессы почвообразования, приведшие к образованию

структуры почвенного покрова подобного типа, они глубоко и полно развиты в работах [6-9]. Отметим только, что эти палеопроцессы, сформировавшие современный почвенный покров территории, привели к скрытой неоднородности, явно проявляющейся лишь тогда, когда почву подвергали обработке.

Для участков, где отбирали объединенные пробы, в которых путем усреднения смоделированных значений содержания гумуса были рассчитаны средние величины с использованием нелинейного уравнения. Оказалось, что тесная связь, обнаруженная между яркостью красного канала и содержанием гумуса, дает значения, практически совпадающие с аналитическими для смешанных образцов. Небольшие отклонения вполне могут быть объяснены неизбежными аналитическими ошибками (таблица).

Полученные результаты позволяют использовать нелинейное уравнение для оценки содержания

Сопоставление значений содержания гумуса в объединенных пробах, %

Номер участка	Горизонт, см	Содержание гумуса	
		Смешанные пробы	Усреднение смоделированных значений
2/2	A _n , 0-25	1,65	1,63
2/1	A _n , 0-25	2,02	1,98
1/2	A _h , 0-25	2,31	2,28
1/1	A _n , 0-25	2,68	2,63

гумуса и на других участках. Однако не стоит забывать, что яркость спектрального отражения зависит от многих причин, таких как состояние поверхности почвы, ее влажности, степени развития растительности, состояния атмосферы и т.п. Уравнение связи между яркостью и содержанием органики может быть другим на снимке данной территории, полученном в разное время. Поэтому не приходится рассчитывать на универсальность полученного уравнения. Но тот факт, что, используя космический снимок, удалось детально выявить участки с неудовлетворительным и удовлетворительным количеством гумуса, позволяет оптимизировать внесение органических удобрений и предложить оптимальную схему мониторинга состояния поля, заключающуюся в отборе небольшого числа проб в пространственно фиксированных точках.

Таким образом, территория Стародубского ополья обладает специфической пространственной структурой распределения гумуса, обнаруживающейся на космических снимках недавно распаханых площадей. Связь между яркостью красного канала (длина волны 630-690 нм) и содержанием гумуса очень сильная, коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,965$. Использование нелинейного уравнения связи позволило оконтурить участки с удовлетворительным и неудовлетворительным содержанием гумуса, что может быть использовано для оптимизации внесения органических удобрений.

Литература

1. Якушев В.П., Воропаев В.В., Конев А.В., Лекомцев П.В., Матвеев Д.А., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. Использование тестовых площадок и данных аэрофотосъемки для выделения зон однородностей в системе точного земледелия. Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве. - М.: ВНИИ механизации сельского хозяйства, 2010; Ч. 2. - С. 656-662.
2. Robert P.C. Precision Agriculture: Status and Research Needs / Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture. Ed. J Stafford. 12-15 July 1999. - Odense, Denmark. SCI, London, UK.
3. Савельев А.А., Григорян Б.Р., Добрынин Д.В., Мухарамова С.С., Кулагина В.И., Сахабиев И.А. Оценка почвенного плодородия по данным дистанционного зондирования Земли // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки, 2012, т. 154, кн. 3. - С. 158-172.
4. Барталев С.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А. Опыт и перспективы разработки автоматизированных методов обработки спутниковых данных дистанционного зондирования для решения задач мониторинга сельского хозяйства / Материалы Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) «Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве». - СПб.: АФИ, 2015. - С. 15-19.
5. Классификация и диагностика почв России / Авт.-сост.: Шишов Л.Л. и др. - М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Ойкумена, 2004. — 341 с.
6. Величко А.А., Морозова Т.Д. Палеопедологический подход к оценке реакции почв на антропогенное потепление климата // Почвоведение, 1996, № 1. — С. 48-53.
7. Макеев А.О. Агрогенная эволюция почв ополей Русской равнины. Роль почв в биосфере / Ин-т экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. - М., 2007; Вып. 8; Экология почв. Почвенные ресурсы. Модели почвообразования. — С. 38-76.
8. Рулинский В.И. Палеогеографические особенности формирования почв на лессах юго-запада России: автореф. дисс. к.г.н. - М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1998. - 25 с.
9. Кротов Д.Г., Початкова Т.Н., Самсонова В.П., Чепурных А.Д. Влияние разных уровней сельскохозяйственных нагрузок на физические свойства агросерой почвы // Агрехимический вестник, 2015, № 5. - С. 32-34.