

УДК 608.2

UDC 608.2

**РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ**

**HUMUS CONTENT CALCULATION THE
METHOD WITH USE OF REMOTE SENSING
OF THE EARTH**

Малышевский Василий Алексеевич
Нач. ОИС, ОАО «Сатурн», Россия;
ведущий научный сотрудник отдела науки

Maleychevskiy Vasiliy Alekseevich
Saturn open joint stock company;
leading researcher of the Department of science

Федулов Юрий Петрович
д.б.н., профессор

Fedulov Yriy Petrovich
Dr.Sci.Biol., professor

Островский Николай Вячеславович
к.т.н.

Ostrovskiy Nikolay Vacheslavovich
Cand.Techn.Sci.

Лебедевский Иван Анатольевич
к.с.-х.н.

Lebedovskiy Ivan Anatolievich
Cand.Agr.Sci.

*Кубанский государственный аграрный
университет, Россия*

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Приведены результаты исследований по использованию данных дистанционного зондирования земли для моделирования содержания гумуса в верхнем пахотном слое почв. Установлено, что если на период проведения космической съемки состояние почвы соответствует ряду условий (влажность, комковатость, отсутствие растительности), то для расчета содержания гумуса возможно использование простейших регрессионных моделей. Для их получения необходимо провести предварительный анализ состояния полей, в том числе с использованием архивных данных дистанционного зондирования земли для определения точек отбора проб почвы. Далее произвести космическую съемку, а также выполнить агрохимический анализ отобранных образцов почв на содержание гумуса. Рассчитанные на основе полученных данных регрессионные модели, описывающие содержание гумуса показали высокую адекватность. Созданные модели позволяют моделировать содержание гумуса на всей площади обследованных полей

In the article, we have made an attempt to develop and calculate a model of humus content estimation in the black leached soil according to remote sensing of the ground. We have presented the model which has a number of restrictions for its continuous use when carrying out soil environmental monitoring of land grounds. It is established, that for calculation of similar model it is necessary to perform the cameral works including selection and the preliminary analysis of fields, including using of contemporary records of Remote sensing of the ground for definition of sampling points, to carry out an assessment of space photo shooting and sampling of soils in optimum terms with the maximum synchronism (cameral work and soil and agrochemical inspection), to make the analysis of the selected samples of soils for humus content with traditional methods, and finally to calculate regression models with use of data of the carried-out space shooting and the agrochemical analysis of soil samples

Ключевые слова: ГУМУС, МОНИТОРИНГ,
МОДЕЛЬ, РЕГРЕССИЯ, ПОЧВА,
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

Keywords: HUMUS, MONITORING, MODEL,
REGRESSION, SOIL, REMOTE SENSING OF
GROUND

Содержание гумуса в почве является основным показателем ее плодородия, поэтому оценка его количества и состава необходима при проведении почвенно-экологического мониторинга и последующих

агротехнических мероприятий по сохранению и восстановлению почвенного плодородия.

Агрохимический метод оценки пространственного распределения гумуса является довольно трудоемким. Поэтому для решения этой проблемы предлагается использовать результаты дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), как в сочетании с выборочным отбором почвенных образцов для определения содержания гумуса, так и без него. Однако, для проведения этой работы необходимо установление математической зависимости между спектральной отражательной способностью почвы и количеством в ней гумуса. В видимой и ближней инфракрасной (ИК) областях спектра (0,4–1,2 мкм) значение коэффициента отражения хорошо коррелирует и уменьшается с ростом концентрации гумуса [3, 4]. Наибольшие различия значений коэффициента отражения между почвами с высокой концентрацией гумуса и его практически отсутствием наблюдаются в красной области спектра (0,68–0,70 мкм), сравнительно высокий контраст между ними (более 0,2–0,3) прослеживается во всем диапазоне 0,48–0,86 мкм и т.д. Коэффициенты отражения зависят от нескольких факторов. В порядке убывания их значимости они располагаются в следующей последовательности: поверхностная влажность; комковатость почвы; содержание окрашивающих компонентов (обычно соединений железа).

Таким образом, с учетом конкретной почвенно-экологической обстановки в каждой агроклиматической зоне необходимо рассчитывать математические модели для определения содержания гумуса в почве.

К настоящему времени известен ряд методов моделирования содержания гумуса в верхнем воздушно-сухом слое почвы по данным ДЗЗ с применением парных и множественных, линейных и нелинейных регрессий [1-2]. При этом используются GPS-приемники с точным фиксированием мест отбора проб, количество которых должно быть

статистически значимым. В данной работе использовались 2 основных вида регрессионных зависимостей:

А) линейная: $G = B1 * X1 + B2 * X2 + B3 * X3 + B4 * X4 + \dots + A$

В) нелинейная (на основе почвенной линии): $G = B1 * NIR/RED + A$

где: G – концентрация гумуса;

$B1 - B4, A$ – параметры модели (регрессии);

$X1 - X4$ – спектральные яркости в соответствующих спектральных диапазонах (каналах).

В частности, для данных ДЗЗ спутника SPOT 5 $X1$ будет соответствовать ближнему инфракрасному (NIR); $X2$ – красному (RED); $X3$ – зеленому (GREEN) и $X4$ – среднему инфракрасному (SWIR) диапазонам.

Задача определения функциональной зависимости, наилучшим образом описывающей экспериментальные данные (ЭД), связана с преодолением ряда принципиальных трудностей. В общем случае функциональную зависимость показателя от факторов можно представить в виде [2]:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + e \quad (3)$$

где: f – функция подлежащая определению; e – ошибка аппроксимации.

Выбранный класс функций должен обладать некоторой "гладкостью", т.е. "небольшие" изменения значений аргументов должны вызывать "небольшие" изменения значений функции. Сама функция должна выбираться из условия минимума ошибки e методом наименьших квадратов. Кроме того, для оценки адекватности регрессионной модели ЭД используются такие статистические характеристики как коэффициент детерминации модели (R^2), вероятность (P) адекватности модели, стандартная ошибка аппроксимации (D) и т.д.[3]. Коэффициент детерминации R^2 определяет долю дисперсии показателя (G), объясненную

регрессией. Чем ближе значение R^2 к 1, тем выше степень адекватности модели ЭД. Обычно считается, что необходимым условием высокого качества модели являются значения коэффициента детерминации больше 0,6 [2,5]. Таким образом, чем ближе значения R^2 и R к 1 тем точнее регрессионная модель описывает экспериментальные данные.

При этом следует учитывать, что уравнение регрессии является всего лишь статистическим описанием ЭД, а не физическим законом, жестко устанавливающим взаимосвязи факторов и показателя. Это уравнение применяют для расчета значений показателя в заданном диапазоне изменения факторов. Оно ограничено пригодно для расчета вне этого диапазона, т.е. его можно применять для решения задач интерполяции и в ограниченной степени для экстраполяции. Но главной причиной неточности «прогноза» является не столько неопределенность вида функциональной зависимости, сколько значительная вариация показателя за счет неучтенных в модели факторов. Так в нашем случае, при постоянстве других факторов с уменьшением размера частиц поверхность почвы становится более гладкой и отражает больше падающей солнечной радиации. При увеличении размера частиц (гранул) от 0,022 до 2,65 мм, поглощение солнечного излучения увеличивается на 14% (при одном и том же содержании гумуса в поверхностном слое почвы). Содержание влаги в почве также уменьшает коэффициент отражения равномерно по всему спектру солнечной радиации. Поэтому, для исключения влияния содержания влаги, съемка должна выполняться в сухое без дождей время. Более высокое содержание влаги вызывает ошибочное завышение оценки концентрации гумуса, особенно в ложбинках и низинах, где ее содержание выше даже в сухое время года. Естественно, на поле должна отсутствовать растительность или ее прошлогодние остатки.

Таким образом, для проведения съемки с целью моделирования содержания гумуса в почве, поле должно удовлетворять следующим условиям:

- воздушно-сухое состояние почвы, отсутствие корки;
- размер гранул (комковатость) почвы не более двух см.;
- отсутствие зеленой и сухой растительности;
- отсутствие окрашивающих элементов в почве, таких как соединения железа и т.п.

Наилучшим периодом для проведения съемки является осень (после основной обработки почвы, например, под посев озимых) и предпочтительны паровые поля.

Для разработки модели содержания гумуса на основе ДЗЗ нами предлагаются 4 основных этапа:

1) подготовка (подбор) полей с требуемыми агрофизическими характеристиками и предварительный анализ выбранных полей, в том числе с использованием архивных данных ДЗЗ для определения точек отбора почв (камеральная работа);

2) проведение космической съемки и отбор образцов почв в оптимальные сроки с максимальной синхронностью (камеральная работа и почвенно-агрохимическое обследование);

3) анализ отобранных образцов почв на содержание гумуса традиционными методами;

4) расчет и построение регрессионных моделей с использованием данных проведенной космической съемки и агрохимического анализа почвенных образцов.

Последний этап включает следующие подэтапы:

- предварительную обработку данных ДЗЗ (радиометрическую, геометрическую и атмосферную коррекцию, геопривязку снимков в заданной системе координат (WGS-84) и т.д.);

- выбор вида уравнения регрессии;
- вычисление параметров регрессии (A, B_1, B_2, \dots);
- проверка адекватности полученной модели результатам наблюдений (ЭД).

Эти положения были нами реализованы при моделировании гумуса на примере опытного хозяйства Кубанского ГАУ, «Краснодарское».

По архивным данным ДЗЗ и данным полевых наблюдений были выбраны типичные поля и точки отбора почв, представленные на рис. 1.



Рис. 1. RGB-изображение исследуемого поля по данным сверхвысокого пространственного разрешения (0.5 м.) КА Quick Bird (2011-03-14).

Далее была проведена заказная съемка (КА Spot 5, 12 октября), отбор и агрохимический анализ 12 образцов почв. При этом каждый образец получался в результате смешивания 5 индивидуальных проб с площадок радиусом 5 м. Таким образом обеспечивалось согласование точности

определения координат точек отбора почв и геопривязки данных ДЗЗ на уровне 10 м (в таблице 1 представлена статистическая характеристика исследуемой выборки).

Из данных таблицы 1 следует, что средний показатель содержания гумуса (4,4%) получен в интервале экспериментальных значений от 2,8 % до 5,1 %.

Таблица 1 – Статистическая характеристика выборки данных для расчета модели определения содержания гумуса в почве

Статистический показатель	Значение, %
Среднее	4,408333333
Стандартная ошибка	0,193632866
Медиана	4,45
Мода	4,3
Стандартное отклонение	0,670763925
Дисперсия выборки	0,449924242
Эксцесс	1,975967161
Асимметричность	-1,350017477
Интервал	2,3
Минимум	2,8
Максимум	5,1
Сумма	52,9
Уровень надежности(95,0%)	0,426183065

При этом дисперсия выборки составляет 0,45%, стандартное отклонение 0,67%, коэффициенты эксцесса и асимметрии имеют значения

1,97 и -1,35 ед. соответственно при уровне надежности эксперимента 0,42 при 95% доверительной вероятности. Таким образом, полученные в ходе химического анализа результаты определения гумуса в почве имеют характерные для чернозема выщелоченного значения, большинство точек находится в типичном интервале для данной почвенно-климатической зоны, характеризую почву как мало – и слабогумусную.

На рис. 2. приведено цветное RGB-изображение исследуемых полей с указанием точек отбора почв. В Табл. 1. представлены данные агрохимического анализа образцов почв на содержание гумуса G и смоделированные значения гумуса G^* в тех же точках (в %).



Рис. 2. RGB-изображение исследуемого поля по данным высокого пространственного разрешения (5 м.) КА Spot 5 (2012-10-15).

В табл. 2. приведены основные статистические характеристики полученных моделей, свидетельствующие о явном преимуществе линейной модели. Это неудивительно, так как в линейной модели используется 4 частотных диапазона вместо 2-х в нелинейной. На рисунке 3 приведены результаты моделирования гумуса с использованием линейной множественной регрессии и представленной ниже шкалы:

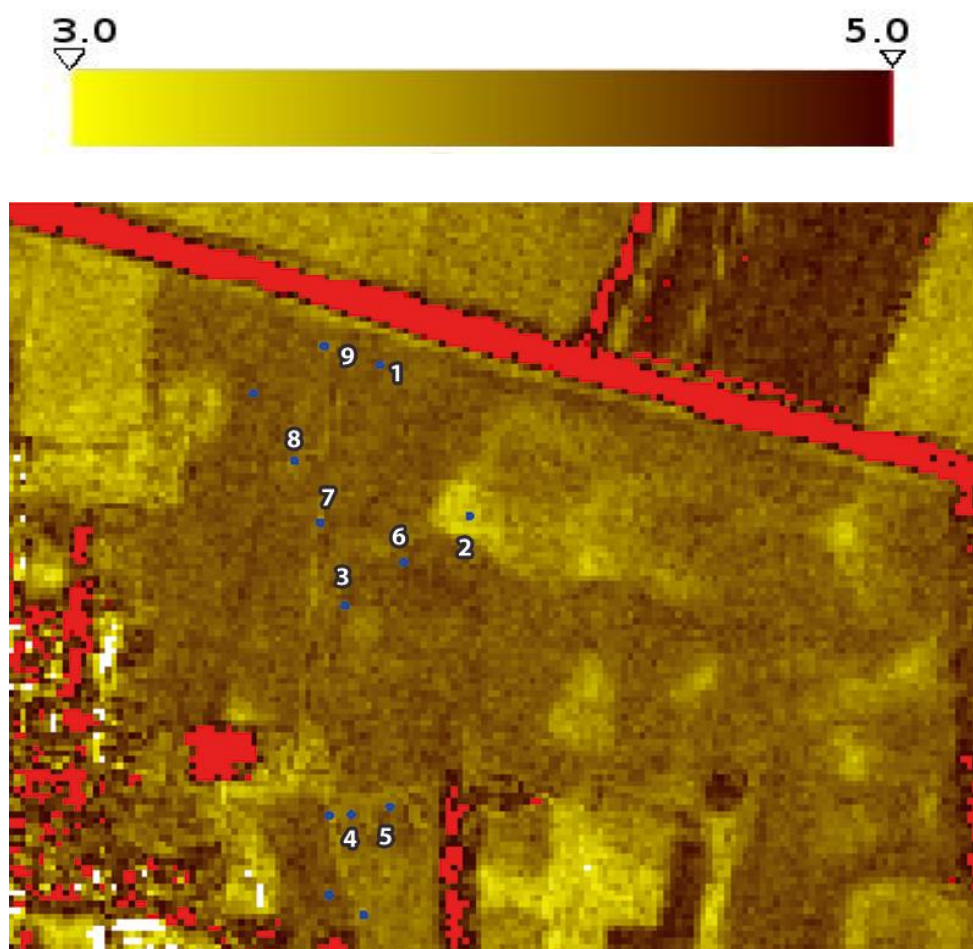


Рис. 3. Изображение результатов моделирования гумуса с использованием линейной модели (пространственное разрешение 10 м.).

Таблица 1 – Расчетные (G*) и фактические (G) значения содержания гумуса в исследуемой почве (%).

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G	4,8	2,8	5,1	4,3	4,3	4,2	4,6	4,9	4,3
G*	4,85	2,65	5,37	4,0	4,5	4,65	4,7	5,2	4,2

Таблица 2 – Коэффициенты и статистические характеристики регрессионных зависимостей между содержанием гумуса в почве и спектральными данными ДЗЗ

Модель	A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	R ²	P	D
Линейная	15,45	-0,13	0,29	-0,24	-0,06	0,74	0,98	0,41
Нелинейная	29,67	-27,9	-	-	-	0,47	0,99	0,49

Таким образом, для моделирования гумуса использовались следующие линейное уравнение:

$$G = 15,45 - 0,13 X_1 + 0,29 X_2 - 0,24 X_3 - 0,06 X_4$$

Где:

G – содержание гумуса в почве, %

X₁ – спектральная яркость, соответствующая ближнему инфракрасному диапазону (NIR);

X₂ – красному (RED),

X₃ – зеленому (GREEN);

X₄ – среднему инфракрасному (SWIR) диапазонам.

Точность определения содержания гумуса в почве на данном поле была ± 0,41%, что соответствует точности лабораторных анализов на том же уровне доверительной вероятности (0,98). Тем не менее, для уточнения полученных результатов, необходимо продолжить проведение исследований с отбором дополнительных образцов почв и учетом пространственной неоднородности плодородия почв в пределах поля.

Таким образом, представленная технология дает возможность моделировать содержание гумуса в пахотном слое почвы при соблюдении определенных требований к ее состоянию на момент съемки. При этом снижается количество лабораторных агрохимических анализов, что существенно позволяет снизить трудоемкость агрохимической оценки почвы на содержание гумуса конкретного поля. Полученная модель может быть использована для выравнивания плодородия почвы в конкретном поле путем дифференцированного внесения органических удобрений.

Литература

1. Лабутин И.А. Дешифрование аэрокосмических снимков. – Москва, 2004 г.
2. Халфин А.А. Статистический анализ данных. – Краснодар, 2005.
3. Кравцов С.Л., Орешкина Л.В. Оценка концентрации органических веществ в почве методом дистанционного зондирования Земли // Информатика, №4, 2009.
4. Горчаков В.М. Фаустова Е.В. Тымбаев В.Г. Количественный подход к комплексной агрофизической оценке почвенного покрова // Вестник томского госуниверситета, № 315, Октябрь, 2008 г.
5. Островский Н.В., Попов В.А., Малышевский В.А. К вопросу организации прецизионного производства риса на Кубани на основе спутниковых технологий // УНИВЕРСИТЕТ: Наука, Идеи и Решения, №1, 2011 г.

References

1. Labutin I.A. Deshifrovanie ajerokosmicheskikh snimkov. – Moskva, 2004 g.
2. Halfin A.A. Statisticheskij analiz dannyh. – Krasnodar, 2005.
3. Kravcov S.L., Oreshkina L.V. Ocenka koncentracii organicheskikh veshhestv v pochve metodom distancionnogo zondirovaniya Zemli // Informatika, №4, 2009.
4. Gorchakov V.M. Faustova E.V. Tymbaev V.G. Kolichestvennyj podhod k kompleksnoj agrofizicheskoj ocenke pochvennogo pokrova // Vestnik tomskogo gosuniversiteta, № 315, Oktjabr', 2008 g.
5. Ostrovskij N.V., Popov V.A., Malyshevskij V.A. K voprosu organizacii precizionnogo proizvodstva risa na Kubani na osnove sputnikovyh tehnologij // UNIVERSITET: Nauka, Idei i Reshenija, №1, 2011 g.