

## EFFECT OF IRRIGATION WITH LIVESTOCK WASTEWATER ON THE YIELD OF CORN GREEN MASS

S.Ya. Semenenko<sup>1</sup>, O.M. Ageenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Volga Research Institute of Ecological and Reclamation Technologies ul. Trekhgornaya 21, Volgograd, 100012 Russia

E-mail: pniiemt@yandex.ru

<sup>2</sup>Volgograd State Agricultural University pr. Universitetsky 26, Volgograd, 400002 Russia, E-mail: geometrygis@mail.ru

Results of studies to determine the optimal combination of natural water and livestock wastewater for the irrigation of green mass corn are discussed. The actual values of irrigation rates in the experimental treatments, the input of organic matter into the soil from livestock wastewater, and their interrelation and impact on corn yield are presented.

Keywords: irrigation technology, corn, livestock waste, crop yields, soil, water, fertility, mineral fertilizer.

УДК 631.41. – 631.48.

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Н.В. Минаев, Н.Л. Поветкина, к.б.н., Д.В. Мусенова, РГАУ-МСХА

Показано закономерное изменение цветовой гаммы почв и космических снимков в зависимости от степени гидроморфности, гумусированности, породы, применения органических удобрений, покрытия поверхности растительностью, расположения почв в катене. Предлагается использование для агроэкологической оценки серых лесных почв цветовой гаммы, в цветовых системах СМΥΚ, Lab, RGB, определяемой методами компьютерной диагностики.

Рассматривается пример создания цифровой карты агроэкологических групп земель на территорию землепользования хозяйства Ярославской области с предположением интерпретации на территорию со схожими условиями. Подходы цифровой почвенной картографии могут быть использованы при проектировании и помочь автоматизировать и формализовать процесс создания карты агроэкологических групп земель с контролем ее достоверности.

Ключевые слова: цифровая почвенная картография, плодородие, цветовая гамма почв и космических снимков.

**Объекты исследования и методика.** Объектом исследования выбраны серые лесные почвы хозяйства «Дружба» Владимирского ополя Ярославской области. Краткая характеристика почв приводится в таблице 1 [7].

**1. Физико-химическая характеристика серых лесных среднесуглинистых почв**

Горизонт, глубина, см	Гумус, %	рН <sub>KCl</sub>	S	Hг
			мг-экв/100 г почвы	
Целинная				
A <sub>1</sub> , 10-27	3,3	5,7	25,9	2,9
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> , 27-38	3,2	5,3	27,3	1,7
A <sub>2</sub> B, 38-59	0,7	5,8	23,1	1,2
Поверхностно-глееватая пахотная				
A <sub>п</sub> , 0-35	4,5	5,7	33,8	1,6
A <sub>2</sub> B <sub>п</sub> , 35-55	0,4	5,8	24,3	1,2
Пахотная				
A <sub>п</sub> , 0-35	3,0	5,7	23,4	2,6
A <sub>2</sub> B, 35-55	0,6	5,9	27,0	1,2
Смытая пахотная				
A <sub>п</sub> , 0-28	2,5	5,4	25,5	3,5
A <sub>2</sub> B, 28-58	0,4	6,4	25,8	0,6

По почвенно-географическому районированию территория землепользования относится к подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги, но специфика Ополя привела к формированию других почв, чаще классифицируемых как серые лесные.

Рельеф территории сформировался в московскую ледниковую эпоху среднего плейстоцена. Основной почвообразующей породой выступают покровные суглинки.

Факторы, ограничивающие сельскохозяйственное использование земель на исследуемой территории – эрозия и переувлажнение. Поэтому наличие и долевое участие в структуре почвенного покрова эродированных и оглеенных почв является основанием для типизации почвенных комбинаций и выделения агроэкологических групп земель [7, 9].

В процессе картографирования использовали традиционную почвенную карту, составленную в рамках проекта АЛСЗ для учхоза «Дружба». Критерии выделения и типизация земель с учетом почвенного покрова разработаны ранее, с учетом местных условий [9]. Выделены следующие группы земель: автоморфные, слабоэрозионные, среднеэрозионные, сильноэрозионные, полугидроморфно-эрозионные, полугидроморфно-зональные, слабопереувлажненные, среднереувлажненные, сильнопереувлажненные и пойменные [3].

Таким образом, цифровой подход картографирования применялся непосредственно к агроэкологическим группам земель по основным лимитирующим факторам. Были построены карта агроэкологических групп земель по 10 категориям и карта неопределенности прогноза агроэкологической группы в каждой точке матрицы.

Для получения свежих почвенных данных провели уточняющие полевые почвенные изыскания. На территории был выбран ключевой участок, охватывающий максимальное разнообразие элементов рельефа для формирования эталонов распространения агроэкологических групп (обучающая выборка), на основе которых в дальнейшем проводили дискриминантный анализ.

По топографической карте масштаба 1:10000 с заложением горизонталей через 1 м была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) [5].

Далее использовали методы цифрового картографирования структуры почвенного покрова: морфометрический анализ цифровой модели рельефа [7] и вероятностно-статистическое моделирование на базе аппарата нечетких множеств [8]. Ряд морфометрических характеристик рельефа задавали факторно-индикационную основу. Сама принципиальная схема цифрового подхода к картографированию рассматривается в работе [11].

Функции принадлежности агроэкологических групп рассчитывали по обучающей выборке в соответствии с нормальным законом распределения средствами пошагового дискриминантного анализа [8]. Метод позволяет выявить наиболее информативные индикационные признаки и оценить степень изолированности каждой группы в пространстве этих признаков.

Для оценки цветовой гаммы почв устанавливают их спектральную отражательную способность (СОС). Полученные экспериментальные данные показывают, что цветовая гамма почвы и космических снимков, определяемая методом компьютерной диагностики [4, 10], позволяет идентифицировать подтип серых лесных почв и степень их гумусированности.

Увеличение степени окультуренности почв приводит к росту интенсивности черного цвета (К) в цветовой системе СМЮК (С – голубой, М – пурпурный, Y – желтый, К – черный) от 34,2 в слабо окультуренной почве до 42,0 в хорошо окультуренной.

В серой почве по сравнению со светло-серой, величина К изменяется в  $A_n$  от  $21,5 \pm 0,5$  до  $24,0 \pm 1,5$ , в  $A_1A_2$  от  $20,6 \pm 0,4$  до  $23,3 \pm 3,1$ .

При этом по шкале Манселла цвет в  $A_n$  изменяется от 2,5Y для Н, 6,0 для V, 2 для С до 7,5YR для Н, 6 для V, 4 для С, где Н – тон по шкале Мансела, V – светлота, С – насыщенность.

Цветовая характеристика почв варьирует по рельефу, что в значительной степени обусловлено изменением в катене содержания водорастворимых Fe, Mn, гумуса, влажности почв. Так, по полученным данным, в катене серых лесных почв в  $A_n$  верхней части склона содержание подвижного железа составляет  $5,2 \pm 2,3$  мг/100 г почвы, в середине склона –  $1,3 \pm 1,8$ , в нижней трети склона –  $56,4 \pm 24,0$  мг/100 г почвы. При Eh серых лесных почв 295 мВ содержание железа в  $A_n$  составляет в вытяжке  $H_2O$  – 2,1 мг/100 г почвы; в вытяжке Тамма 48,3, в вытяжке  $NH_4OH$  – 10,7, а при потенциале 400 мВ, соответственно, 0,1; 36,7; 3,8 мг/100 г почвы.

Содержание закисного железа коррелировано с интенсивностью голубого цвета (С), окисного – с интенсивностью пурпурного (М) и желтого (Y) цветов.

Таким образом, цветовая гамма почв и космических снимков, оцениваемая методами компьютерной диагностики, позволяет идентифицировать степень оглеения почв. Степень увлажнения почв коррелирована с увеличением интенсивности цвета от  $C = 27,3 \pm 0,6$ ;  $M = 40,7 \pm 2,7$ ;  $Y = 59,2 \pm 2,9$ ;  $K = 3,4 \pm 0,9$  в сухих образцах до  $C = 46,5 \pm 0,8$ ;  $M = 58,7 \pm 1,5$ ;  $Y = 72 \pm 0,6$ ;  $K = 31,3 \pm 1,3$  во влажных образцах.

Увеличение интенсивности черного цвета при увлажнении и оструктуривании, при увеличении доли длинноволновой солнечной радиации отмечают Д.С. Орлов с соавторами [6], В.И. Савич, Д.Н. Егоров с соавторами [10].

По полученным данным, на цветовую гамму почв и космических снимков в значительной степени влияет внесение больших доз органических удобрений. Так, цветовая гамма космического снимка не загрязненной пометом почвы составила в цветовой системе СМЮК:  $C = 40,7 \pm 1,8$ ,  $M = 39,7 \pm 0,7$ ,  $Y = 48,7 \pm 0,6$ ,  $K = 5,0 \pm 0,6$ , а при загрязнении пометом, соответственно,  $46,5 \pm 0,7$ ;  $47,5 \pm 1,2$ ;  $49,7 \pm 2,0$ ;  $11,0 \pm 0,6$ . В модельном опыте без внесения помета гамма почвы в системе СМЮК составила:  $C = 53,7 \pm 1,8$ ,  $M = 37,2 \pm 1,4$ ,  $Y = 70,2 \pm 2,7$ ,  $K = 13,7 \pm 1,9$ , а при внесении 500 т/га помета, соответственно,  $71,2 \pm 8,2$ ;  $50,2 \pm 6,9$ ;  $95,7 \pm 2,2$ ;  $30,3 \pm 3,8$  [10].

Цветовая гамма почв и космических снимков, оцениваемая методом компьютерной диагностики, позволяет идентифицировать степень развития эрозии серых лесных почв.

По изученным данным, цветовая гамма почв зависит от доли горизонтов  $A_1A_2$ ,  $A_2B$ , В в смеси в почвах разной степени смытости. Для определения степени развития эрозии оценивают цветовую гамму смеси горизонтов  $A_1$ ,  $A_2B$ , В с разным их соотношением. Это дает возможность рассчитать в дальнейшем степень эродированности почв по уравнению регрессии на основе цветовой гаммы почв и космических снимков. Однако, данная закономерность различна для сухих и влажных образцов.

Почвообразующие породы влияют на цветовую гамму верхних горизонтов почв, так на морене горизонт ВС имеет цветовую гамму в системе RGB (R – красный, G – зеленый, B – голубой), соответственно,  $R = 130,3 \pm 7,8$ ;  $G = 90,6 \pm 6,7$ ;  $B = 76,4 \pm 4,9$ , а на покровном суглинке  $R = 160,8 \pm 2,2$ ;  $G = 161,3 \pm 2,9$ ;  $B = 163,6 \pm 7,0$ . Очевидно, что при интерпретации цветовой гаммы почв и космических снимков необходимо учитывать цветовую гамму почвообразующих пород.

Для построения карты использовали один набор индикационных характеристик, т.е. была сделана попытка смоделировать распространение 10 разных агроэкологических групп в один момент, а не совмещая построенные отдельно модели лимитирующих факторов.

В получившейся модели наибольшую значимость имеет фактор крутизны, а также, хоть и существенно меньше по значению, глубина понижений. Близки по значимости топографический индекс влажности (TWI), фактор длины/крутизны склона (LSF), превышение над водотоком и замкнутые понижения. Экспозиция и индексы топографической позиции в данной модели имеют малую значимость.

В полученной картографической модели наиболее обоснованно выделены группы: слабоэрозионные, сильноэрозионные, полугидроморфно-зональные, слабопереувлажненные и пойменные. Совсем недостоверно выделение группы полугидроморфно-эрозионные.

Общая обоснованность карты агроэкологических групп земель составила 40,9%, что не очень высоко. Однако, при экспертном анализе полученной карты можно отметить, что выделенные группы не лишены ландшафтной логики. Так, автоморфные категории приурочены к выпуклым водоразделам и вершинам холмов, эрозионные структуры – к различным склонам, что связано, по-видимому, с высокой ролью крутизны в данной модели при выявлении различной степени эрозионной опасности. Хорошо выделены пойменные участки, которые совпадают с долинами рек, протекающих на данной территории. Сильнопереувлажненные земли

заметно коррелируют с замкнутыми понижениями. Хорошо выделены полугидроморфно-зональные группы, которые ввиду специфики территории представлены комбинациями автоморфных почв с некоторым участием слабogleеватых, и группа слабопереувлажненных, в которых доля глееватых почв, приуроченных к вогнутым поверхностям с небольшим уклоном и водосборными площадкам оврагов возрастает.

Более того, почвы и агроэкологические группы почв при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия идентифицируются при совместном анализе цветовой гаммы почв и растительных ассоциаций исследуемых территорий. При этом биопродуктивность угодий на почвах разной степени удобренности и окультуренности, оцениваемая по космическим снимкам, различается при выращивании разных сельскохозяйственных культур. Это иллюстрируют для исследуемого хозяйства данные Е.М. Калининского [2] (табл. 2).

**2. Урожайность культур на серых лесных почвах, т/га**

Культура	Контроль	N <sub>53</sub> P <sub>64</sub> K <sub>64</sub>
Многолетние травы 2-го г.п.	5,0	7,2
Картофель	14,6	26,9
Озимая пшеница	2,3	4,3

Аналогичные материалы получены и другими авторами. Так, согласно исследованиями И.С. Шатилова [1], на плохо окультуренных почвах была больше биологическая продуктивность многолетних трав, а на хорошо окультуренных – пшеницы. Состояние растений, их биомассы и цветовая гамма зависят от плодородия почв и обеспеченности растений элементами питания. Так в контрольном варианте интенсивность цветов с системе СМЫК составила: С = 61,2±0,5, М = 37,2±1,3, Y = 58,8±1,5, К = 45,5±2,0, а при дефиците азота С = 15,2±1,1; М = 323,7±0,9; Y = 80,2±0,8; К = 5,0±0,4[10].

Для более точной оценки состояния растительного покрова предлагают определять отражательную способность листьев по индексу отражения (ИНО). Индекс отражения равен соотношению спектральных коэффициентов яркости в инфракрасном (0,78-0,82 мкм) и красном (0,68-0,68 мкм) спектральных диапазонах. Так в плохо окультуренной почве ИНО<sub>max</sub> был 5,0, а в хорошо окультуренной – при внесении удобрений и использовании 3% фотосинтетически активной радиации – 14,2 [1]. По полученным данным, для более точной оценки плодородия почв необходима совместная характеристика цветовой гаммы почв и растений; космических снимков почв и посевов сельскохозяйственных культур.

**Заключение.** Следует отметить, что в сравнении с существующей картой была получена вполне удовлетворительная цифровая карта агроэкологических групп земель. Так как общая обоснованность полученной карты невелика, стоит пересмотреть набор свойств рельефа для построения факторно-индикационной модели, а также подход к группировке структур почвенного покрова.

Полученные конкретные результаты картографирования нельзя считать окончательными, еще требуются исследования в этой области применительно к схожим территориальным условиям для проверки на воспроизводимость.

С учетом все еще стоящих вопросов и затруднений в процессе такого картографирования, рассмотренный подход представляет собой научный интерес и может эффективно использоваться при построении картографической основы для проектирования агроландшафтов.

#### Литература

1. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч.2 «Баланс вещества, энергии и информации в звене полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах». – М.: ВНИИА, 2005. – 336 с.
2. Калининский Е.М. Продуктивность полевого севооборота на темно-серой лесной почве Ярославской области при разных системах удобрения // Дис. канд. с.-х. н.: 06.01.04. – М., 2006. – 200 с.
3. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.
4. Кирюшин В. И., Савин И. Ю., Савич В.И. и др. Использование дистанционных методов исследований при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия: учеб. пособие – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. – 180 с.
5. Минаев Н.В. Цифровое почвенно-агроэкологическое картографирование Владимирского Ополья на примере уххоа «Дружба» // Материалы Международной научной конференции. XIX Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского ГУ, 2016. – С. 125-126.
6. Орлов Д.С. и др. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов / Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 176 с.
7. Поветкина Н.Л. Состояние и резервы фосфора и калия серых лесных почв Владимирского ополья // Автореф. дисс. канд. б. н. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2008. – 20 с.
8. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Академия, 2004. – 416 с.
9. Савастру Н.Т. Агроэкологическая оценка почвенного покрова Владимирского Ополья для проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Дисс. к.б.н., 1999. – 167 с.
10. Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Егоров Д.Н. и др. Агрономическая оценка отражательной способности системой почва-растение методом компьютерной диагностики. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2006. – 214 с.
11. Сорокина Н.П., Козлов Д.Н. Методы цифровой почвенной картографии в задачах агроэкологической оценки земель // В сб.: «Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования». – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2012 – 350 с.
12. Advances in Digital Terrain Analysis / Zhou, Qiming; Lees, Brian; Tang, Guo-an (Eds.). 2008, XIV, – 462 p.
13. Zhu, A.X., Band, L.E., Dutton, B., Nimlos, T.J., 1996. Automated soil inference under fuzzy logic. Ecological Modelling. 90, 123-145.

## AGRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE VLADIMIR OPOLYE'S GRAY FOREST SOILS BY REMOTE SENSING

N.V. Minaev, N.L. Povetkina, D.V. Musenova, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
Listvennichnaya alleya 3, Moscow, 127550 Russia E-mail: Arjuna@yandex.ru, nl-povetkina@mail.ru, darya.musenova@mail.ru

Regular changes in the color scale of soils and satellite-based images depending on the degree of hydromorphism and the humus content of rocks, organic fertilization, plant cover, and soil position in the catena are shown. The color scale in the CMYK, Lab, and RGB systems determined by computer-aided diagnosis methods is proposed for the agroecological estimation of gray forest soils. The creation of a digital map for an agroecological group of lands in a farm of the Yaroslavl oblast, with an approach to the interpretation for areas with similar conditions, is considered as an example. Approaches of digital soil mapping can be used for planning; they can contribute to the automation and formalization of the map for an agroecological group of lands and the control of its reliability.

Keywords: digital soil mapping, soil fertility, color scale of soils and satellite-based images.