

УДК 631.415

КРУПНОМАСШТАБНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М. В. Воробей, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, проспект Независимости, 4, 220030,
Минск, Беларусь, maks.vorobey.2020@mail.ru*

Целью работы является применение геостатистических методов для анализа пространственного распределения кислотности пахотного почвенного покрова. Отобраны образцы почв и проведены лабораторные измерения кислотности. С использованием геостатистических методов проведены расчеты, такие как вариограммный анализ и картирование кислотности почвы. Итогом работы стал сравнительный анализ методов картирования кислотности с учетом экономической выгоды.

Ключевые слова: геостатистический анализ; кислотность почвы; физико-химические свойства почвы; точное земледелие; вариограммный анализ; снижение экономических затрат.

LARGE-SCALE MAPPING OF SOIL ACIDITY BY GEOSTATISTICAL METHODS

M. V. Vorobey, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, prospect Nezavisimosti, 4, 220030, Minsk,
Belarus, maks.vorobey.2020@mail.ru*

The purpose of this paper is to apply geostatistical methods to analyze the spatial distribution of arable soil acidity. Soil samples were collected and laboratory measurements of acidity were made. Using geostatistical methods, calculations such as variogram analysis and soil acidity mapping were carried out. The outcome of the work was a comparative analysis of acidity mapping methods with regard to economic benefits.

Keywords: geostatistical analysis; soil acidity; soil physicochemical properties; precision agriculture; variogram analysis; economic cost reduction.

Физико-химические свойства почвы, такие как кислотность, играют важную роль в определении ее плодородия и способности поддерживать здоровый рост растений. В большинстве развитых странах мира учет неоднородности свойств почвенного покрова применяется при дифференцированном внесении удобрений и является основой точного земледелия [1]. При этом большое количество усилий вкладывается в

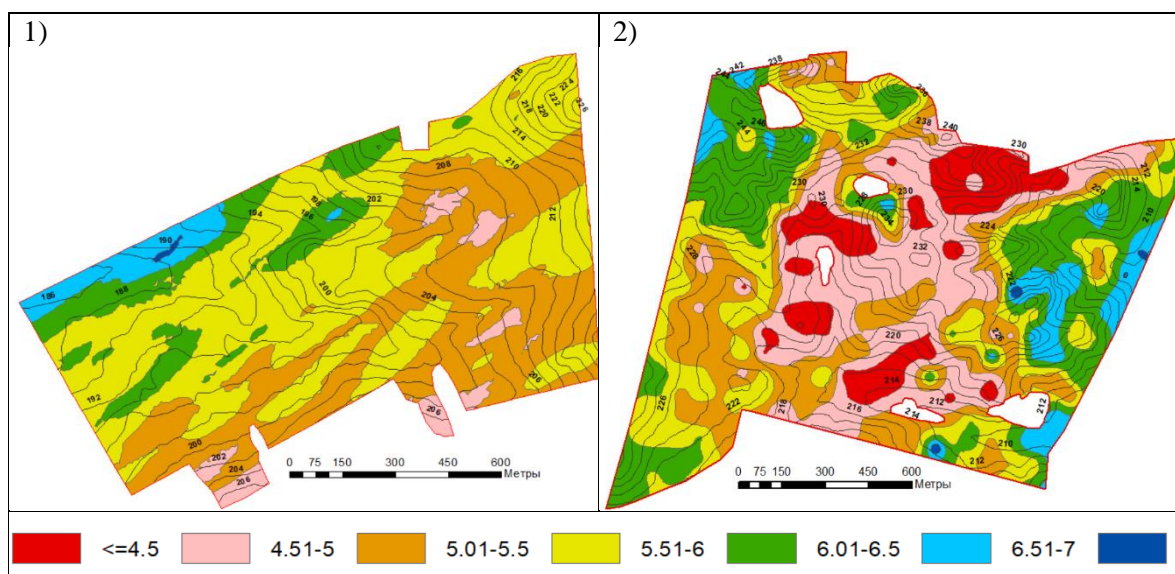
разработку машинно-аналитических комплексов по автоматизированному отбору проб [2]. В свою очередь, в Беларуси при агрохимическом обследовании с/х земель с одного элементарного участка отбираются 30-35 уколов общим весом 0,6 кг, из которых отбирается смешанный образец [3]. Это приводит к абсолютному игнорированию полевых особенностей. Что в свою очередь приводит к понижению уровня эффективного плодородия и последующей частичной гибели урожая.

Использование геостатистического подхода при анализе пространственного распределения кислотности почвы становится все более важным для оптимизации уровня кислотности и повышения урожайности. В современной цифровой почвенной картографии происходит объединение различных методов изучения почвенного покрова и его свойств, а также активное использование машинного обучения для прогностического картографирования почвы.

В качестве контрольных площадок, были выбраны два поля, которые используются для возделывания тритикале, находящихся в хозяйстве ОАО «Кошелево-Агро», Новогрудского района. Поле № 1 имеет площадь 119,7 га и перепады высот 40 метров и располагается близ населенного пункта «Радюки» и поле № 2, площадь 180,6 га, находится близ деревни «Милевцы», перепады высот составляют 38 метров. На обоих полях в сентябре 2023 года был произведен отбор образцов с интервалом в 70 метров и глубиной отбора 0-20 см. На поле № 1 было отобрано 229 образцов, на поле № 2 — 343. В лаборатории пробы прошли первичную обработку, далее были получены значения кислотности почвы потенциометрическим способом.

На поле № 1 преобладают почвы дерново-подзолистые рыхлосупесчаные, развивающиеся на моренных суглинках, среднее содержание гумуса – 2,5 %. Поле № 2 менее однородно по типу почв и генезису почвообразующих пород: почвы — дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные; большая часть поля имеет моренное происхождение, однако северо-западная часть поля имеет лессовидное подстилание, также имеются мелкоконтурные ареалы дерново-карбонатных почв. На большей части территории преобладают связно-супесчаные почвы, с средним содержанием гумуса — 1,5 %.

Полученные данные были проанализированы и преобразованы в программе ArcMap (рис. 1).



Картограммы распределения кислотности, pH_{KCl} поле № 1 и № 2

Для поля № 1 входные данные преобразованы не были, так как у них изначально наблюдается нормальное распределение, также был выбран первый порядок удаления тренда. Лучшим вариантом при вариограммном анализе стала устойчивая модель: самородком (наггет-эффектом) 0, порогом 0,426 и средней стандартной ошибкой 0,604 при минимальном входном значении 4,25 и максимальном 7,82.

Для поля № 2, после анализа входных значений, выбраны логарифмические преобразования и второй порядок удаления тренда, при вариограммного анализе выбраны модели экспоненциальная и J-Бесселя: самородком (наггет-эффектом) 0, частичный порог 0,02 и средней стандартной ошибкой 0,664 при минимальном входном значении 3,72 и максимальном 7,9.

Остаточная дисперсия для обоих полей равна 0, что говорит о сильной автокорреляции между точками и высокой точностью полученных картограмм. Шаг для обоих полей равняется 70 [4]. Результатом геостатистических операций стали полученные картограммы распределения кислотности (рис. 1).

Кислотность почв зависит от большого количества факторов: состав материнской породы, климатические условия, грунтовые воды, растительный покров и т. д., из-за чего сложно установить какую-либо достоверную зависимость и их влияние на распределения кислотности от отдельных факторов [5]. Помимо этого, поле является объектом хозяйственной деятельности человека, что вносит значительные изменения и накладывает дополнительные трудности в установлении зависимости распределения кислотности на с/х землях. Поэтому

выявление закономерностей в распределении кислотности в почвенном покрове в рамках данного исследования является не целесообразным, а также нуждается в гораздо большей выборке данных.

Изучение полученных картограмм полей № 1 и № 2 показывает, что на территории, расположенной ниже по склону от хвойных лесов, наблюдается влияние процесса подкисления почв хвойными породами. Данное влияние можно отметить на южной части поля №1 и северной части поля № 2. Также на поле № 2 можно наблюдать влияние карбонатных отложений на показатели кислотности в сторону понижения кислотности.

Для сравнительного анализа двух способов картографирования кислотности почв: классического агрохимического обследования и геостатистическими методами, был проведен расчет потребности почв в известковании по данным способам. Расчет проводился по инструкции Н. В. Клебановича [6].

На поле № 1 по классическому способу агрохимического обследования площадь, нуждающаяся в известкований составила 47,1 га, а по методу кригинга составили 44,2 га. Разница составила 2,9 га, что является незначительной частью от общей площади поля, менее 2,5 %. При рассмотрении количества тонн CaCO_3 , необходимых для известкования, было установлено, что классический способ требует 202,4 тонны, а метод геостатистических методов — 146,2 тонны. Разница уже является более существенной, а именно в денежном эквиваленте 4833 бел. руб. (табл. 1).

Таблица 1

Затраты на известкование поля № 1, белорусских рублей

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH _{KCl}	CaCO_3 , т/га	Площадь, га	CaCO_3 , тонн	Затраты, бел. руб
Связносупесчаные	1,51-2	4,51-5	5,25	5,8	30,5	2623
Связносупесчаные	2,01-2,5	4,51-5	6,25	6,8	42,5	3655
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,01-5,5	3,75	34,5	129,4	11128
Почвы, не нуждающиеся в известковании				72,6	-	-
Сумма				119,7	202,4	17406
Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов						
Песчаные	2,01-2,5	4,5-4,75	4,5	0,1	0,5	43
Связносупесчаные	1,51-2	4,76-5	5	0,4	2	172

Окончание табл. 1

Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	4,76-5	4	2,5	10	860
Песчаные	1,51-2	4,76-5	3,5	1,7	6	516
Связносупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	4,5	2	9	774
Рыхлосупесчаные	1,51-2	5,01-5,25	3,5	11,4	39,9	3431
Песчаные	2,01-2,5	5,01-5,25	3	1,4	4,2	361
Связносупесчаные	1,51-2	5,26-5,5	4	1,2	4,8	413
Рыхлосупесчаные	2,01-2,5	5,26-5,5	3	22	66	5676
Песчаные	1,51-2	5,26-5,5	2,5	1,5	3,8	327
Почвы, не нуждающиеся в известковании				75,5	-	-
Сумма				119,7	146,2	12573

Наблюдается сходство между показателями поля № 2, полученными с помощью двух различных методов. Эти показатели включают площадь, требующую известкования, а также количество тонн CaCO₃. Однако применение геостатистических методов позволяет не только количественно, но и качественно улучшить внесение CaCO₃ благодаря учету неоднородности в распределении кислотности в почвенном покрове (табл. 2).

Таблица 2

Затраты на известкование поля № 2, белорусских рублей

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH _{KCl}	CaCO ₃ , т/га	Площадь, га	CaCO ₃ , тонн	Затраты, бел. руб
Связносупесчаные	1,01-1,5	≤4,5	6,25	21,5	134,4	11558
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-5	5,25	49,8	261,5	22489
Песчаные	1,01-1,5	4,51-5	3,75	7,2	27	2322
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	4,25	4,5	19,1	1643
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,5	3,25	6	19,5	1677
Почвы, не нуждающиеся в известковании				91,7	-	-
Сумма				180,7	461,5	39689

Затраты на известкование по агрохимическому обследованию с применением геостатистических методов						
Связносупесчаные	1,01-1,5	<4,25	6,5	4,3	28	2408
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	6	12,2	73,2	6295
Песчаные	1,01-1,5	4,25-4,5	4,5	0,8	3,6	310
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	5,5	18,2	100,1	8609
Песчаные	1,01-1,5	4,51-4,75	4	0,5	2	172
Связносупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	5	20,7	103,5	8901
Песчаные	1,01-1,5	4,76-5	4	0,1	0,4	34
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	4,76-5	3,5	0,4	1,4	120
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	4,5	16,5	74,3	6390
Песчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3,5	1,3	4,6	396
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,01-5,25	3	0,7	2,1	181
Связносупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	4	14,4	57,6	4954
Песчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	3	5	15	1290
Рыхлосупесчаные	1,01-1,5	5,26-5,5	2,5	0,4	1	86
Почвы, не нуждающиеся в известковании				85,2	-	-
Сумма				180,7	466,8	40146

Тщательный отбор проб почвы, несмотря на свою трудоемкость по сравнению с традиционными методами, предоставляет более точные и репрезентативные данные о кислотности почвы. Это открывает значительные экономические выгоды:

1. Оптимизированное применение извести: Тщательный отбор проб почвы позволяет точно определить потребность в известковании, экономя средства на ее приобретение и предотвращая чрезмерное известкование.

2. Повышенная урожайность: Точное применение извести создает оптимальные условия для роста растений, что приводит к увеличению урожайности и повышению прибыльности сельскохозяйственных культур.

Библиографические ссылки

1. Плодородие почв — основа продовольственной безопасности государства: Материалы VI съезда Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, Минск, 21 июля 2022 г. / Институт почвоведения и агрохимии, Белорусское общество почвоведов и агрохимиков; редкол.: Ю. К. Шашко [и др.]. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. 360 с.

2. *Киндеев А. Л.* Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 2. С. 59–70.

3. *Клебанович Н. В.* Методы обследований земель: учеб. пособие Минск: БГУ, 2011. 208 с.

4. *Киндеев А. Л.* Стохастическое моделирование кислотности почв. Минск, 2022.

5. Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биогеоценозов среднего Поволжья : науч. ст. / Ю.П. Демаков [и др.]// Вестник ПГТУ. 2019. №1(41).

6. *Клебанович Н. В., Василюк Г. В.* Известкование почв Беларуси. Минск: БГУ, 2003. 322 с.