

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ

М. В. Воробей

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

Научный руководитель - А. С. Семенюк, кандидат географических наук, доцент

Целью данной работы является применение геостатистических методов для анализа пространственного распределения кислотности пахотного почвенного покрова. Были отобраны образцы почв и проведены лабораторные измерения кислотности. С использованием геостатистических методов были проведены расчеты, такие как вариограммный анализ и картографирование 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.

ВВЕДЕНИЕ

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.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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).

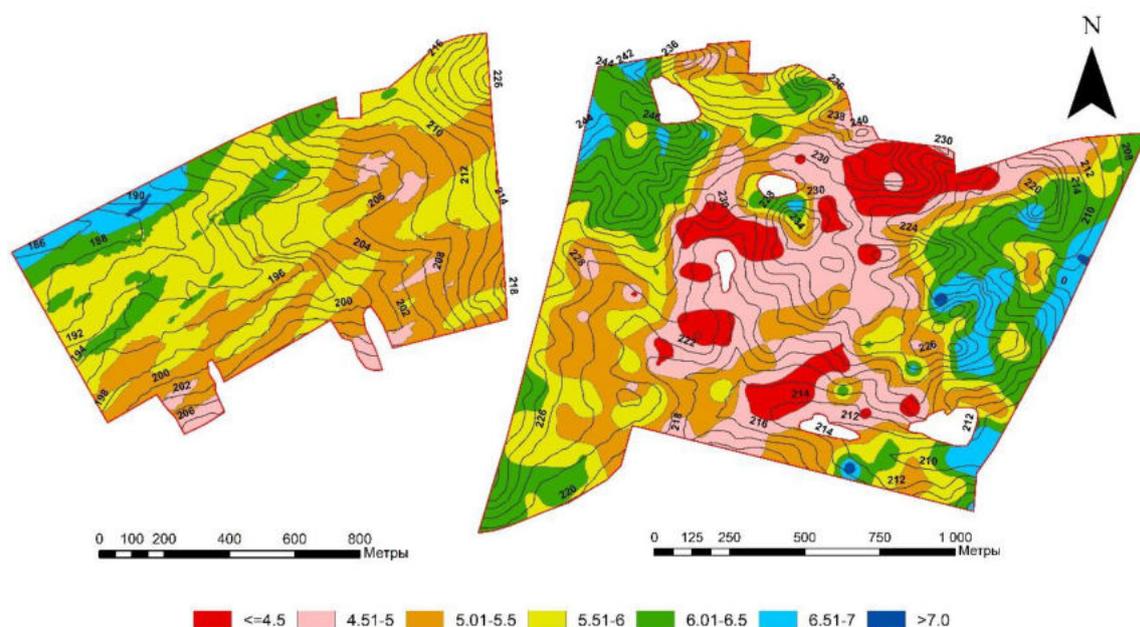


Рис. 1. Картограммы распределения кислотности, рН_{KCl} поле № 1 и № 2, составлено авторами

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для поля № 1 входные данные преобразованы не были, так как у них изначально наблюдается нормально 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, были выбраны логарифмические преобразования и второй порядок удаления тренда, при вариограммного анализе были 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 обеих полей равна 0, что говорит о сильной автокорреляции между точками и высокой точностью полученных картограмм. Шаг для обеих 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 тд., 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 CaCO₃, 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,
составлено авторами по [6]**

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
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 учёту неоднородности в распределении кислотности в почвенном покрове (таблица 2).

Таблица 2

**Затраты на известкование поля №2, Белорусских рублей,
составлено авторами по [6]**

Затраты на известкование по классическому способу агрохимического обследования						
Группа почв	Гумус, %	pH _{KCl}	CaCO ₃ , т/га	Пло- щадь, 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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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:

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

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. ISBN 978-985-7149-83-4.

2. Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии: сб. науч. ст./ Вестник Москва, сер. 17, Почвоведение - А.Л. Киндеев. 2022 г., №2

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

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

5. Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биогеоценозов среднего Поволжья: науч. ст./ Вестник ПГТУ. Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.И. Митякова, Н.Б. Нуреев. 2019 г., №1(41)

6. Клебанович Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. Мн.: БГУ, 2003. 322с. ISBN 985-445-947-0