

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНУТРИПОЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ НА ПОЛЕ ОАО «КОШЕЛЕВО-АГРО» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ВНЕСЕНИЮ МЕЛИОРАНТОВ

М. В. Воробей, А. Ф. Савко, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, проспект Независимости, 4,
220030, Минск, Беларусь, geo.vorobeyMV@bsu.by*

В статье рассмотрены основные этапы картографирования агрохимических свойств с использованием геостатистического метода на примере почвенной кислотности. Выполнено сравнение классического и геостатистического подходов к картографированию кислотности почв для исследуемой территории. Сравнение основано на следующих критериях: стоимость отбора проб и лабораторного анализа, а также затраты на проведение известкования.

Ключевые слова: геостатистический анализ; точное земледелие; почвенная кислотность; вариограммный анализ; внесение мелиорантов.

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF INTRA-FIELD HETEROGENEITY OF SOIL ACIDITY IN THE FIELD OF JSC «KOSHELEVO-AGRO» FOR AMELIORANT APPLICATION WORKS

M. V. Vorobey, A. F. Savko, A. L. Kindeev

*Belarusian State University, prospect Nezavisimosti, 4,
220030, Minsk, Belarus, geo.vorobeyMV@bsu.by*

The article considers the main stages of mapping of agrochemical properties using geostatistical method on the example of soil acidity. The comparison of classical and geostatistical approaches to soil acidity mapping for the study area is carried out. The comparison is based on the following criteria: the cost of sampling and laboratory analysis, as well as the cost of liming.

Keywords: geostatistical analysis; precision agriculture; soil acidity; variogram analysis; ameliorant application.

Показатель кислотности почвы является важным критерием её плодородия, поскольку оказывает существенное влияние на состояние почвенной среды, рост и развитие сельскохозяйственных культур. Уровень рН напрямую определяет доступность питательных веществ для растений, влияя на усвоение ключевых микро- и макроэлементов. При отклонении

кислотности от оптимального диапазона снижается эффективность использования удобрений, что может негативно сказаться на урожайности [1]. Поэтому управление уровнем кислотности почвы является важным элементом обеспечения стабильной продуктивности сельского хозяйства.

Для анализа пространственной изменчивости агрохимических свойств, включая почвенную кислотность, на локальном уровне одним из передовых решений является применение методов геостатистики, которые входят в арсенал технологий точного земледелия. Геостатистика представляет собой научный подход, базирующийся на теории вероятностей, который позволяет моделировать пространственные и временные процессы, анализировать их структуру и закономерности. Использование этого инструмента даёт возможность создавать более точные прогнозы, классифицировать данные и проводить их интерпретацию с минимальной погрешностью [2].

Объектом для данного исследования выступают почвы рабочего участка, расположенного вблизи деревни Милевцы, на территории ОАО «Кошелево-Агро» Новогрудского района, Гродненской области. Предметом исследования является пространственная неоднородность кислотности почв. Почвенный покров участка отличается значительной сложностью как по типам почв, так и по происхождению почвообразующих пород. Здесь представлены дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы. Большая часть территории имеет моренное происхождение, однако в северо-западной части поля встречается лессовидное подстиление, а также мелко-контурные ареалы дерново-карбонатных почв.

Гранулометрический состав участка представлен преимущественно связно-супесчаными почвами, со средним содержанием гумуса около 1,5 %. Участок характеризуется сложным рельефом с перепадом высот 38 м и расположен на склоне. Общая площадь рабочего участка составляет 180,7 га.

Отбор проб осуществлялся в середине сентября, после завершения уборки урожая тритикале. Пробы почвы отбирались с глубины 0–20 см по заранее разработанной сетке с интервалом 70 м между точками отбора (рис. 1). В общей сложности было отобрано 343 образца, что соответствует плотности пробоотбора около 2 образцов на 1 га. Определение pH солевой вытяжки проводилось в соответствии с методом ЦИНАО (ГОСТ 26483) с использованием pH-метра-милливольтметра pH-150M.

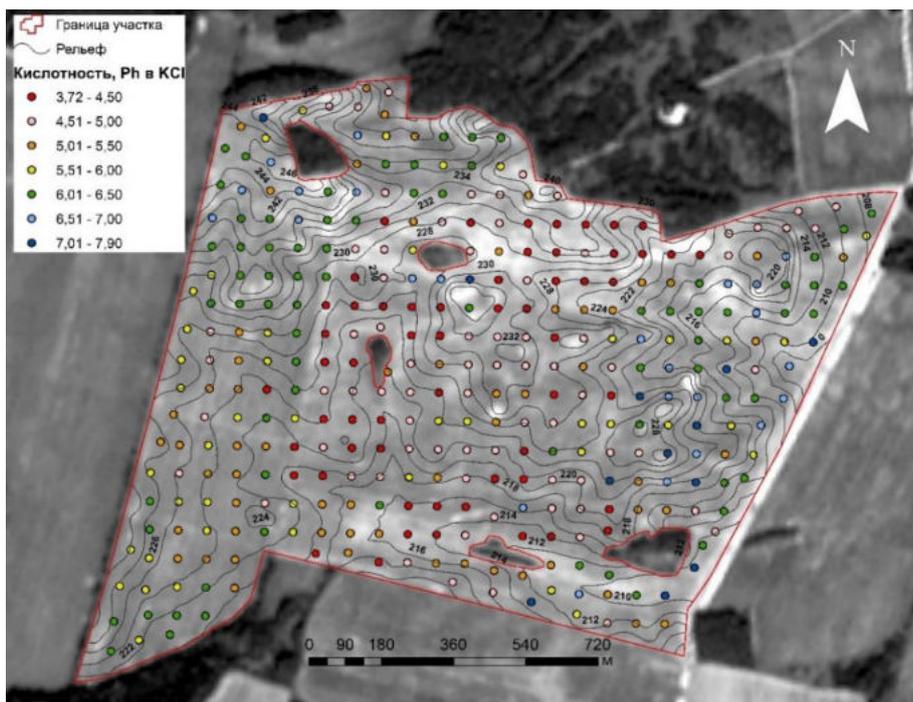


Рис. 1. Сетка точек отобранных образцов

На основании статистической обработки данных была построена гистограмма распределения (рис. 2), которая свидетельствует об отклонении ряда данных от нормального распределения. Глобальные пространственные тренды, представленные на рисунке 2 (справа), демонстрируют закономерности изменения значений кислотности в пределах участка. Гистограмма отражает концентрацию «ядра» данных в диапазоне 4,84–6,60 рН_{KCl}, что указывает на отклонение по эксцессу. Отсутствие островершинных пиков в распределении подтверждает отрицательное значение данного показателя.

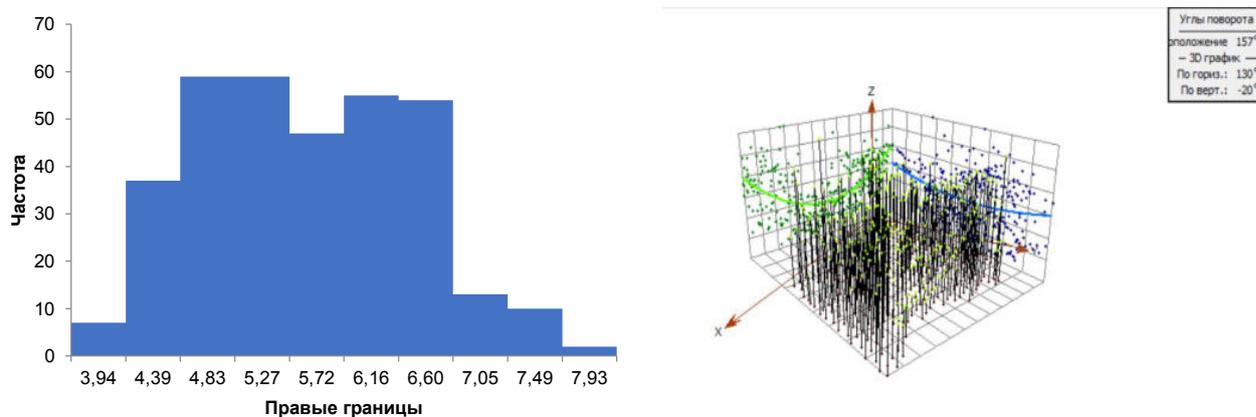


Рис. 2. Слева – гистограмма распределения данных; справа – линии тренда

На основе полученных данных была построена экспериментальная вариограмма, представляющая собой дискретный набор точек, который требует аппроксимации для использования в алгоритмах построения картограмм. Для этой цели используется теоретическая вариограмма — математическая функция, описывающая пространственную зависимость данных [3]. При корректном подборе теоретической вариограммы она точно отражает поведение анализируемых данных, что является ключевым этапом геостатистического моделирования.

В процессе подбора теоретической вариограммы были использованы экспоненциальная модель и модель J-Бесселя (рис. 3). Такой выбор обусловлен сложностью пространственного распределения кислотности почвы, требующей использования нескольких моделей для адекватного описания данных. Комбинированное применение обеих моделей позволяет учитывать как малый, так и большой радиус влияния, что значительно повышает точность интерполяции и качество полученных картографических материалов.

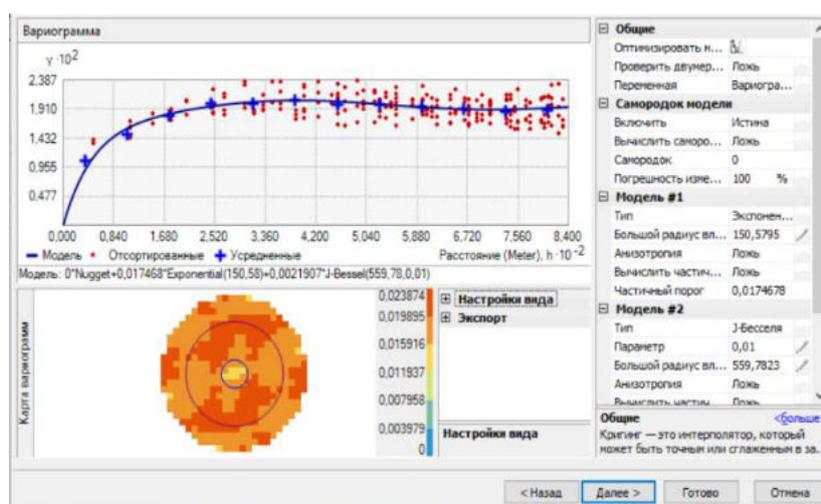


Рис. 3. Теоретическая вариограмма

В результате выполненного анализа была построена картограмма кислотности (рис. 4). Визуально выявлено параболическое распределение кислотности, характеризующееся более нейтральными значениями на периферийных участках и более кислыми почвами в центральной зоне. Эти особенности особенно заметны вдоль направлений юго-запад — северо-восток и северо-запад — юго-восток.

На участке также наблюдаются мелкоконтурные области с нейтральной или даже слегка щелочной реакцией среды, что обусловлено близким залеганием карбонатных пород. Такие локальные вариации демонстри-

руют значительную пространственную неоднородность почвенного покрова. Однако классический метод картографирования сглаживает эти детали, обобщая данные и не учитывая мелкомасштабные изменения, что снижает точность оценки состояния участка.

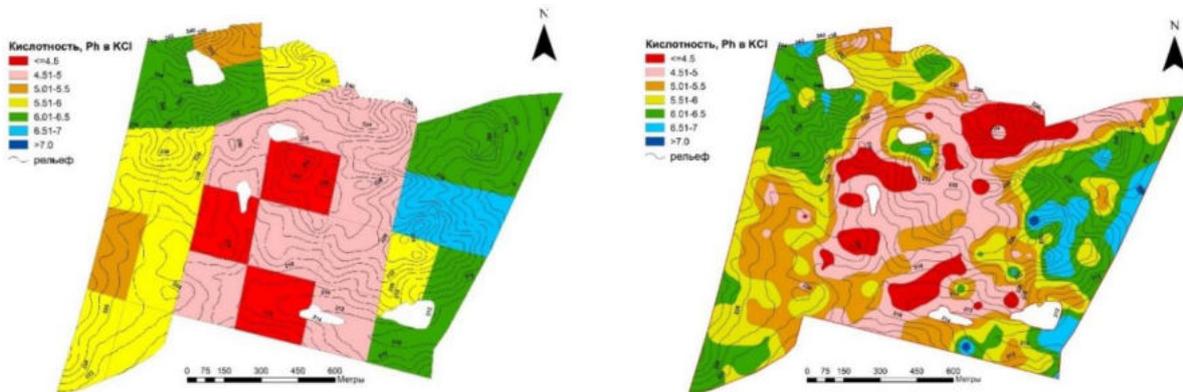


Рис. 4. Картограмма кислотности (слева – построенная классическим методом; справа – с применением методов геостатистики)

Для отбора проб и проведения лабораторных анализов при использовании геостатистического метода было затрачено в 2,75 раза больше средств по сравнению с классическим подходом. Затраты на внесение мелиоранта при применении геостатистического метода увеличились на 457 рублей, что составляет прирост в 1,2 %. При этом обрабатываемая площадь выросла на 6,5 га.

Однако при классическом методе из 461,5 тонны CaCO_3 , внесенных на поле, 127 тонн (27,5 %) были потрачены на переизвесткование, что не только неэффективно, но и может привести к избыточному подщелачиванию почвы. Это может вызвать дефицит микроэлементов, таких как железо, марганец, медь и цинк, поскольку их доступность для растений значительно снижается при повышении pH. Более того, на рабочем участке останутся недообработанные зоны, что приведет к необходимости дополнительного внесения 132,3 тонны мелиоранта для компенсации недостатка. Для проведения известкования на данном рабочем участке, с учетом затрат на отбор проб и лабораторные анализы, потребовалось бы 39 976 руб. по классическому методу и 40 935 руб. по геостатистическому методу. В пересчете на гектар, эти затраты составляют 221 руб./га и 227 руб./га соответственно. Расчеты проводились по инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель [4].

При этом более точный учет кислотности с использованием геостатистического метода позволит выровнять значения pH на участке в тече-

ние нескольких лет, что приведет к увеличению урожайности и, соответственно, прибыли. В случае использования традиционных методов внесения химических средств, различия в значениях кислотности на участке будут только увеличиваться, что приведет к снижению общей урожайности с поля.

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. С. 54–58.

2. *Кынашев С. К., Баранов С. А.* Основные элементы и понятия геостатистики. Республика Казахстан, 2015. 15 с.

3. *Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А.* Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв // Геосферные исследования. 2021. № 3. С. 80–91.

4. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа [и др.]. Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. 31 с.