

3. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и техническая политика. Москва: Изд-во МСХА, 2000. 473 с.

4. Айдаров И.П. Экологические основы мелиорации земель. Москва: ФГОУ ВПО МГУП, 2012. 161с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

А.Л. Киндеев, Н.В. Клебанович

Белорусский государственный университет, Минск

Исследование пространственных закономерностей при помощи геостатистики подразумевает определение пространственной корреляционной структуры (расстояния, на которых взаимосвязь показателей между собой пропадает) исследуемых данных. Для этого используется один из самых популярных методов в геостатистике – вариография, которая позволяет получить количественную оценку варьирования данных на основе различных математических моделей. Кроме того, вариография является основой кригинга – при неправильном выборе модели и ненадлежащем предварительном анализе данных конечный продукт интерполяции – картограмма, не будет отражать реальной картины распределения интерполируемых данных.

Цели данного исследования заключаются в получении нового знания об особенностях пространственной неоднородности кислотности и содержания отдельных элементов питания в почве на ключевых участках и обосновании необходимости использования вариографии при изучении пространственных закономерностей отдельных свойств почвы.

Объектом исследований послужили почвы окрестностей геостанции «Западная Березина» БГУ в Воложинском районе под разными видами земель (лесными, луговыми, пахотными) и почвы СПК «Першаи». На участках вблизи геостанции «Западная Березина» образцы отбирались с помощью случайной системы пробоотбора, а на участках, заложенных на пашне и лугу СПК «Першаи» использовалось регулярная сетка наблюдений с расстоянием между контрольными точками в 14 и 6 м соответственно. В свою очередь предметом изучения являются агрохимические свойства почвенной среды на заложенных участках.

Опытные участки возле УГС «Западная Березина» представлены лесом, поймой и полем. Площадь лесного участка – 16,7 га, с которых было отобрано 78 образцов. Почвы – дерново-подзолистые автоморфные и дерново-подзолистые полугидроморфные. На пойменном участке были обнаружены преимущественно аллювиальные дерновые заболоченные

почвы, на гривах (повышениях) – аллювиальные дерновые оподзоленные почвы. Растительность – пойменно-луговая на большей части территории, на гривах встречается сосняк; площадь участка – 14,5 га; количество отобранных образцов – 42. С опытного участка на поле площадью 6,2 га с дерново-подзолистыми супесчаными почвами на посевах многолетних трав было взято 59 образцов.

Ключевой участок № 4 возле СПК «Першаи» имеет пахотные дерново-подзолистые супесчаные почвы. Площадь участка составила 0,7 га, с которых было отобрано 88 образцов и получены данные по четырем показателям свойств почв (рН в KCl, K₂O, P₂O₅, Cs-137). С участка 5, расположенного на луговых землях недалеко от участка 4, площадью 0,5 га, было отобрано 168 образцов. На этом участке анализ образцов был проведен по таким агрохимическим показателям свойств почв, как рН в KCl, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg и Cs-137.

В рамках геостатистического подхода закономерности пространственной вариабельности исследуются путем расчета полудисперсии (semivariance) изучаемого фактора, которая зависит от расстояния между точками и рассчитывается по формуле:

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

где z – варьирующая величина;

$z(x_i) - z(x_i + h)$ – результаты измерений в точках x_i и $x_i + h$;

$N(h)$ – количество пар точек, разделенных расстоянием h (которое обычно называется лагом).

Величина $\gamma(h)$ является средней мерой сходства значений признака в точках, разделенных расстоянием h . Таким образом, дисперсия для каждого h рассчитывается как половина среднего квадрата разности значений показателя, измеренных на расстоянии h друг от друга. Значения дисперсии не зависят от положения точек в пространстве, а зависят только от расстояния h между ними.

Для интерпретации математических величин в географии необходимо понимать, что значит вариограмма для почвоведов, геологов и т.д. Вариограмма – графическое отображение вариации, но главным ее отличием является отражение взаимосвязей внутри одного массива данных между собой в зависимости от расстояния между точками пробоотбора. Таким образом, мы можем говорить, что при анализе вариации с помощью вариограмм взаимосвязь оценивается между двумя величинами – непосредственно полученными данными (x_i) и расстоянием между точками пробо-

отбора (x_i+h). На основании этого мы можем говорить – на сколько сходятся наши показатели на определенном расстоянии и на сколько коррелируют наши значения от его увеличения.

Основные параметры моделей вариограмм – самородок (наггет), порог и ранг. Самородок (наггет) – это значение полудисперсии при шаге, равном 0. Теоретически, в идеальных условиях, значение самородка должно равняться 0, т.к. при нулевом расстоянии вариация между двумя значениями должна отсутствовать (на практике это условие редко соблюдается). Порог (самородок+частичный порог) – постоянное значение, к которому стремится полудисперсия с возрастанием шага. Можно сказать, что порог – это «высота» вариограммы, отражающая силу взаимосвязи между парами точек. Ранг – расстояние, на котором значения переменной становятся независимыми от дистанции, т.е. расстояние, на котором точки перестают коррелировать между собой [1].

Поскольку перечень моделей при построении вариограмм достаточно широк, становится актуальным вопрос о наиболее репрезентативной из них. Сложность выбора обуславливается тем, что, представляя свойства почвы как набор случайных переменных, подразумевается, что на каждой конкретной делянке и участке пространственное распределение данных будет различным. По этой причине и модель, с помощью которой они будут описаны, должна подходить к конкретному случаю. Уделение внимания этому этапу обусловлено чувствительностью вариограммы к описываемым ею данным.

Набор инструментов Geostatistical Analyst программы ArcMap ArcGiS, с помощью которого проводилось исследование, предлагает обширный выбор различных математических моделей, наиболее популярными из которых являются гауссова, экспоненциальная и сферическая. С помощью перекрёстной проверки для всех агрохимических свойств почвы, полученных с опытных участков, были определены наиболее подходящие модели. Для каждой из выбранных моделей были определены основные параметры вариограммы (табл. 1).

Чтобы объяснить эти параметры в терминах географии почв, используется эмпирический критерий, предложенный К.А. Камбарделлой с соавторами: если процентное отношение наггета к порогу, составляет менее 25 %, то пространственная корреляция оценивается как высокая, если от 25 до 75 % – то как средняя, если же более 75 % – как низкая [2].

Анализируя пространственную корреляцию на опытных участках, можно заметить значительные различия между ними. Кислотность исследуемого участка под лесом имеет слабую пространственную зависимость (остаточная дисперсия – 94 %), в свою очередь на пойме ярко выражена

высокая пространственная корреляция (4 %), а участок на поле можно отнести к средней группе по данному критерию (30 %). Ранг у участков 1 и 3 составляет 276 м и 143 м соответственно, это говорит об отсутствии пространственной автокорреляции между контрольными точками, находящимися на большом расстоянии. На пойменном участке это значение составляет 333 м, отражая сильную взаимосвязь между контрольными точками на всем участке.

Таблица 1

Параметры моделей вариограмм опытных участков

Участок	Показатель	Модель	Лаг, м	Наггет, C_0	Порог, C_0+C	Ранг, м.	Остаточная дисперсия $C_0(C_0+C)$, %
Лес	pH	Сферическая	23	0,17	0,18	276	94
Пойма	pH	Экспоненциальная	31	0,06	1,48	333	4
Поле	pH	Гауссова	15	0,30	0,98	143	30
Участок 4	pH	Экспоненциальная	14	0,01	0,04	93,8	25
	P ₂ O ₅	Гауссова	14	0,1	1,18	21,8 4	8
	K ₂ O	Гауссова	14	0,1	1,17	20,0 2	8
	Cs-137	Сферическая	14	0,96	1,22	25,2	78
Участок 5	pH	Экспоненциальная	6	0,2	0,6	31,2	33
	P ₂ O ₅	Экспоненциальная	6	0,3	1,06	23,7 6	28
	K ₂ O	Сферическая	6	0,8	2,12	47,7 6	38
	Mg	Гауссова	6	0,14	0,84	20,0 4	17
	Ca	Гауссова	6	1,7	4,1	24,8 4	41
	Cs-137	Экспоненциальная	6	0,53	0,87	11,4	60

На участке 4 значения, отражающие корреляцию для анализируемых агрохимических свойств, различны. Так, самая высокая пространственная корреляция наблюдается у фосфора и калия (8 %), однако наименьшие показатели ранга (21,8 и 20,0 м) среди других почвенных свойств участка № 4 говорят, что коррелируют значения на незначительном расстоянии. Значения кислотности можно отнести к группе среднекоррелируемых (25 %), но корреляция прослеживается на значительном расстоянии между

точками пробоотбора (93,8 м). Слабо коррелирует между собой значения Cs-137 (78 %) при расстоянии корреляции 25,2 м, что возможно, связано с тем, что загрязнение почв радионуклидами на территории Беларуси носит техногенный характер, а не природный.

Участок 5 характеризуется более схожими значениями пространственной корреляции – рН, P_2O_5 , K_2O и Са можно отнести к группе среднекоррелирующих показателей (остаточная дисперсия колеблется от 28 до 41 %). К сильнокоррелирующим можно отнести только Mg (17 %), а к слабо – Cs-137 (60 %). Максимальное значение ранга корреляция у K_2O (47,7 м) и рН (31,2м), минимальное – у Cs 137 (11,4 м), у остальных показателей ранг находится в диапазоне 20–25 м.

На значения ранга имеет сильное влияние масштаб исследования, поэтому сравнение этого показателя в данном случае возможно только между агрохимическими свойствами внутри участков 4 и 5.

Таким образом, анализ параметров вариограммы способен дать углубленное представление о пространственной корреляционной структуре данных. При использовании кригинга для построения высокоточных и репрезентативных картограмм неотъемлемым является подбор аналитической функции (вариограммы), описывающей пространственное распределение данных.

Предполагается, что параметры вариограммы могут быть существенным дополнением к классической классификации и диагностике почвы, как это уже сделано в геологии, где эмпирически доказано, что значения самородка у золота и драгоценных металлов обычно значительно выше 0,5, а у черных металлов, например, ниже 0.5. Основной проблемой для выявления закономерностей распределения этих показателей в первую очередь является необходимость огромного количества эмпирических наблюдений и совместная работа почвоведов разных стран мира.

Библиографические ссылки

1. Сахабиев И.А., Рязонов С.С. Исследование пространственной изменчивости свойств почв с использованием геостатистического подхода // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 2. С. 32–37.
2. Cambardella C.A. and etc. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils // Soil Science Society of America journal. Sept/Oct 1994. Vol. 58. P. 1501–1511.