

# ГИС-АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ

Ф. С. Гутько<sup>1)</sup>, А. Л. Киндеев<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, email: [gytko.filip12@gmail.com](mailto:gytko.filip12@gmail.com)

В настоящем исследовании рассматриваются вопросы анализа изменения пространственной структуры кислотности почв при помощи геостатистических показателей, ее пространственного распределения на пахотных и лесных землях. Изучено влияние антропогенной нагрузки на кислотность почв. Был апробирован новый относительный показатель – вариация на метр.

**Ключевые слова:** геостатистический анализ; точное земледелие; кислотность почв; сельское хозяйство; экономические издержки; известкование.

## GIS ANALYSIS OF CHANGES IN THE SPATIAL STRUCTURE OF SOIL ACIDITY AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE EXAMPLE OF KEY SITES

F. S. Gutko<sup>1)</sup>, A. L. Kindeev<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Belarusian State University, Independence Ave., 4, 2203030, Belarus, email: [gytko.filip12@gmail.com](mailto:gytko.filip12@gmail.com)

This study examines the issues of analyzing changes in the spatial structure of soil acidity using geostatistical indicators, its spatial distribution on arable and forest lands. The influence of anthropogenic load on soil acidity has been studied. A new relative indicator was tested – variation per meter.

**Keywords:** geostatistical analysis, precision agriculture, soil acidity, agriculture, economic costs, liming.

Геостатистический анализ неоднородности отдельных свойств почв занимает особое место в современном этапе развития цифровой почвенной картографии. Данный метод используется как основной инструмент прямых методов картографирования почвенного покрова и отдельных его свойств [1]. При этом геостатистика является важной частью в новейших подходах обследования земель в системе точного земледелия [2]. Также это действенный инструмент, применяемый для оценки экологического состояния почв.

Кислотность, с одной стороны, является одним из важнейших свойств почвы, с другой – характеризуется простотой химического анализа. Кислотность почвы – важный экологический фактор, определяющий условия жизнедеятельности почвенных организмов и высших растений, а также аккумуляцию и подвижность загрязнителей в почве (в первую очередь металлов).

Кислотность почвы влияет не только на урожайность, но и на почвообразовательные процессы. От нее зависит эффективность использования удобрений, развитие заболеваний культурных растений. В свою очередь вид растительности также влияет на показатель кислотности.

В зависимости от вида растительного покрова различаются химический состав и характер локализации опада. Почвы под хвойной растительностью при невысокой гумусированности содержат больше фульвокислот и низкомолекулярных соединений, так как в опаде много лигнина, смол и других трудноминерализуемых соединений, которые закисляют почву. В свою очередь, почвы под листовыми породами более гумусированные и имеют менее кислую среду [3].

Также показатель кислотности почв применяется для оценки экологического состояния почв, в том числе как индикатора подвижности тяжелых металлов в почве. Наличие сдвига реакции почвенной среды в сторону подщелачивания является признаком загрязнения почв тяжелыми металлами. В то же время поступление в почву тяжелых металлов связано с попаданием в почву строительного и бытового мусора, золы от сгорания топлива или выбросов промышленных предприятий и транспорта [4].

Для анализа изменения пространственной структуры кислотности почв в результате антропогенного воздействия были заложены 2 опытных участка на лесных и пахотных землях на территории Барановичского района Брестской области.

Участок № 1 (пахотные земли) имеет площадь 20 га, на нем преобладают дерново-подзолистые супесчаные почвы, данный участок используется для выращивания преимущественно зерновых культур, но долгое время на нем размещалась пастбище.

Участок № 2 (лесные земли) имеет площадь 15 га, на нем преобладают дерново-подзолистые супесчаные почвы, также представлены дерново-подзолистые супесчаные временно избыточно увлажненные почвы.

Данные участки имеют различную площадь, исходя из этой особенности, была разработана сетка пробоотбора с шагом в 50 м для участка № 1, в свою очередь для лесного участка точки располагались по нерегулярной сетке со средним расстоянием между точками в 30 м.

На опытном участке № 1 было отобрано 96 почвенных образцов, на участке № 2 – 82 почвенных образца. Отбор проб производился с глубины 0–20 см. для измерения кислотности.

Значения  $pH_{KCl}$  были получены в лаборатории потенциометрическим методом. Геостатистический анализ проводился по стандартной методике: после проверки на нормальность распределения вычленились глобальные тренд [5]. Путем вариограммного анализа определяется оптимальная модель вариограммы для каждого участка, и рассчитываются такие показатели как наггет, порог, ранг и остаточная дисперсия.

Качество вариограммного анализа оценивается по значению средней ошибки прогноза, среднеквадратичной ошибки и среднеквадратической нормированной погрешности, а также по визуальному сходству математической и эмпирической моделей. В связи с тем, что между участками есть различия по площади, для сравнения геостатистических величин был использовался новый показатель – «вариация на метр».

Известно, что порог вариограммы отражает дисперсию, а ранг – расстояние, исходя из чего, можно рассчитать дисперсию, приходящуюся на одну единицу расстояния. Данный показатель позволяет перейти от сравнения абсолютных величин к относительным, тем самым вынеся за скобки размеры сравниваемых участков [6].

Новый показатель, вместе с классическими параметрами вариограмм приведен в таблице ниже.

**Параметры вариограмм ключевых участков**

Параметры	Лесной участок	Пахотный участок
N	96	82
$e(r)$	0,356	0,752
$s(r)$	0,126	0,566
$s(r)+e(r)$	0,931	0,642
L, м	31	50
R, м	113	600
D, %	0,01	13,40
M	5,19	5,54
$s(r)+e(r)/R$	0,00824248	0,00107000
ср.кв.откл/R	0,09078809	0,03271085
V/R,%	1,750	0,590

Сразу определяются основные геостатистические различия участков. В первую очередь стоит отметить, что среднее расстояние между точками (L) участков одной группы отличается не сильно, что позволяет сопоставлять полученные результаты.

Показатель остаточной дисперсии ( $D$ ) у всех участков менее 13,4 %, что говорит о сильной пространственной взаимозависимости показателей кислотности.

Показатель ранга ( $R$ ) на лесных землях равен 113 м, а на пашне – 600 м, что говорит о том, что на лесных землях точки перестают коррелировать между собой раньше, чем на пашне. Выделяется Порог ( $s(r)+e(r)$ ) – порядок цифр для лесных земель составляет порядка 0,9, для пахотных – 0,6. Полученные значения нового показателя ( $V/R$ ) подтверждают описанные выше различия – у лесных земель вариация на метр колеблется в районе 1,8 процентов, у пахотных – 0,6 процента.

Заключительным этапом геостатистического анализа является построение картограмм кислотности почв исследуемых участков при помощи инструментов интерполяции (рис.1).

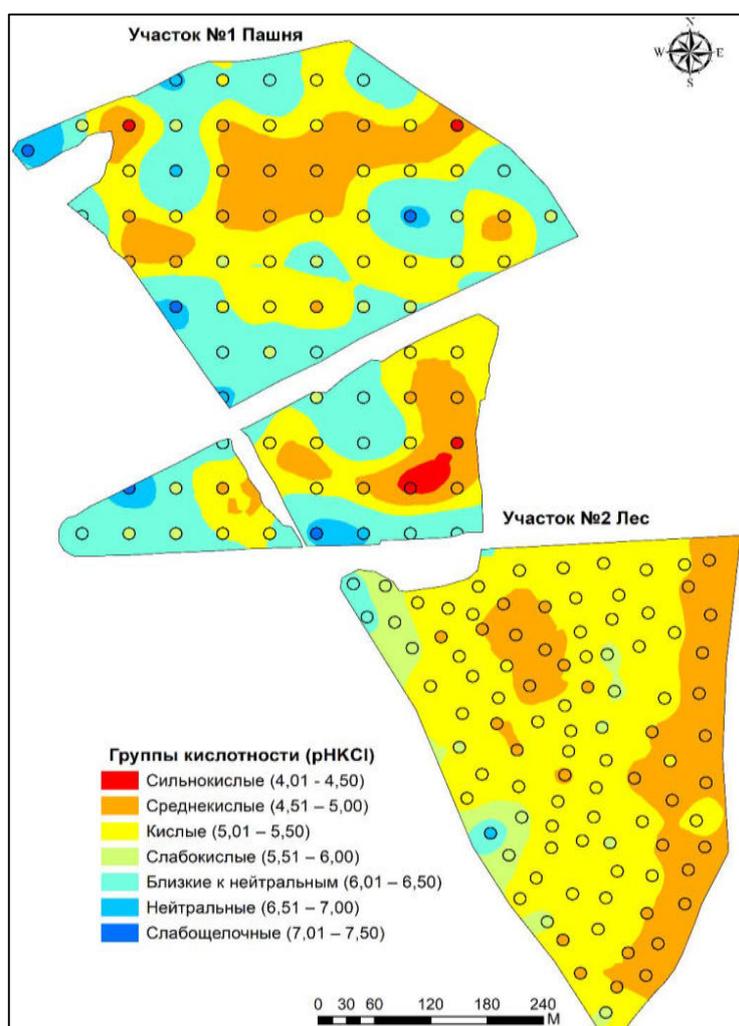


Рис. 1. Картограмма кислотности опытных участков

На пахотных землях значения кислотности имеют широкий диапазон от сильнокислых почв до слабощелочных, но в основном преобладают почвы с кислотностью от среднекислых до близких к нейтральным. На данном участке наблюдается подкисление почв, что связано с тем, что на нем на протяжении 20 лет было пастбище и давно не проводилось известкование. Уменьшение антропогенной нагрузки на данном участке привело к естественному подкислению почв.

Также обнаруженные микроконтура слабощелочных и сильнокислых почв не будут учтены при проведении стандартного агрохимического обследования негативно отразится на урожайности и неэффективным затратам.

На лесных землях неоднородность кислотности обусловлена совокупной гетерогенностью растительности и рельефа. На западной части исследуемого участка преобладают среднекислые почвы, что связано с преобладание в той части леса хвойных пород, преимущественно сосны, что подтверждается спутниковым снимком данного участка зимой (рис. 2).



Рис. 2. Спутниковый снимок участка № 2

В целом на участке № 2 преобладают кислые почвы, которые характерны для лиственных пород, которые там преобладают. Также имеются ареалы слабощелочных и слабокислых почв. Первый расположен на северо-востоке участка – эта территория являлась частью пахотных земель участка № 1, до прокладки до 1980-х годов автомобильной асфальтированной дороги. Также она размещается возле перекрестка, что способствует загрязнению почв как тяжелыми металлами от выхлопа транспорта, так и бытовым мусором, что способствует подщелачиванию почв.

Второй ареал слабощелочных почв размещается в юго-восточной части леса, где при отборе проб были обнаружены следы несанкционированной свалки, которую в последствии ликвидировали. Следовательно, подщелачивание почвы связано с загрязнением данной территории, на что и указывает показатель кислотности.

Результаты данного исследования показывают, что геостатистический анализ позволяет максимально точно и научно обоснованно строить картограммы кислотности почв с помощью инструментов интерполяции. Гис анализ позволяет обнаружить и изучить изменения пространственной структуры кислотности почв в результате антропогенного воздействия, что было доказано на примере ключевых участков. Также геостатистика позволяет улучшить качество и эффективность земледельческой деятельности, оптимизировать использование ресурсов и повысить урожайность.

### Библиографические ссылки

1. *Красильников П. В., Таргульян В. О.* На пути к «новой географии почв» вызовы и решения (обзор) // Почвоведение, 2019, № 2. С. 131–139.

2. *Гутько Ф. С., Киндеев А. Л.* Геостатистический анализ кислотности почвы с учетом экономических издержек при точном земледелии // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. С. 61–64.

3. География почв Беларуси : учеб. пособие / Н. В. Клебанович [и др.]. Минск: БГУ, 2011.

4. *Метлицкий И. В., Киндеев А. Л., Карпиченко А. А.* Определение степени антропогенной нагрузки на урболандшафты г. Жабинка // Земля Беларусь. 2024. № 3. С. 38–49.

5. *Киндеев А. Л.* Перспективные направления геостатистического анализа и стохастического моделирования с учетом экономических издержек при точном земледелии // Вестник Московского ун-та. Сер 17. Почвоведение. 2022. № 2. С. 59–70.

6. *Киндеев А. Л., Сазонов А. А., Яскельчик В. В.* Геостатистическая интерпретация неоднородности кислотности почвенного покрова основных видов земель Республики Беларусь // Почвенные и земельные ресурсы: традиционные и инновационные подходы к изучению и управлению: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию образования каф. почвоведения и геоинформ. систем БГУ и 85-летию со дня рождения д-ра геогр. наук, проф. В. С. Аношко, Минск, 21–24 сент. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. Минск : БГУ, 2023. С. 395–400.