

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ЭМПИРИЧЕСКОГО БАЙЕСОВСКОГО КРИГИНГА

Ю. А. Мацель, А. Л. Киндеев

*Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, Минск,
ул. Ленинградская, д. 16*

В данной статье апробирована интерполяция значений обменной кислотности почвы с помощью эмпирического байесовского кригинга. Полученная трехмерная модель распределения кислотности опытного участка на территории ГПУ «Беловежская пушча» была проверена методом перекрестной проверки. По результатам проверки была доказана высокая точность построенной трехмерной модели.

Ключевые слова: байесовский кригинг; распределение кислотности; трехмерное моделирование.

THREE-DIMENSIONAL SOIL MODELING USING EMPIRICAL BAYESIAN KRIGING

Yu. Matsel, A. Kindeev

Belarusian State University, 220030, Republic of Belarus, Minsk, Leningradskaya St., 16

This article tests the interpolation of exchangeable soil acidity values using empirical Bayesian kriging. The resulting three-dimensional model of acidity distribution of the experimental plot on the territory of the Belovezhskaya Pushcha State Nature Reserve was tested using the cross-validation method. The results of the test proved the high accuracy of the constructed three-dimensional model.

Keywords: Bayesian kriging; acidity distribution; three-dimensional modeling.

Почвы особо охраняемых территорий до сих пор остаются недостаточно изученными, особенно это касается почв под лесными массивами. Геохимические процессы, распределение элементов, кислотность почв ООПТ напрямую влияют на растительность, часть которой относится к краснокнижной. Большая часть Беловежской пушчи относится к одному из старейших лесных массивов Европы [1]. Изучение почв данной территории способствует сохранению разнообразия её флоры [2].

Развитие технологий позволяет использовать новые инструменты для исследования кислотности почвы. В отличие от инструментов интерполяции обратно взвешенных расстояний и сплайна, которые являются детерминированными методами интерполяции, геостатистические методы основываются на статистических моделях, включающих автокорреляцию

[3]. В результате этого геостатистические методы не только имеют возможность создавать поверхность прогнозируемых значений, но также предоставляют некоторые измерения достоверности или точности прогнозируемых значений.

Одной из достаточно новых разновидностей кригинга является трехмерный эмпирический байесовский кригинг (ЭБК, 3D Empirical Bayesian kriging), который также учитывает z-значение. Данный вид кригинга автоматизирует наиболее трудоемкие аспекты построения корректной модели кригинга. Другие методы кригинга в модуле Geostatistical Analyst требуют ручного изменения параметров для достижения точных результатов, в то время как метод ЭБК автоматически вычисляет эти параметры путем разбиения данных на поднаборы и моделирования данных [4].

Объектом исследования является распределение кислотности почв опытного участка. На территории данного национального парка в 2023 году были отобраны пробы из почвенных разрезов (рис. 1).

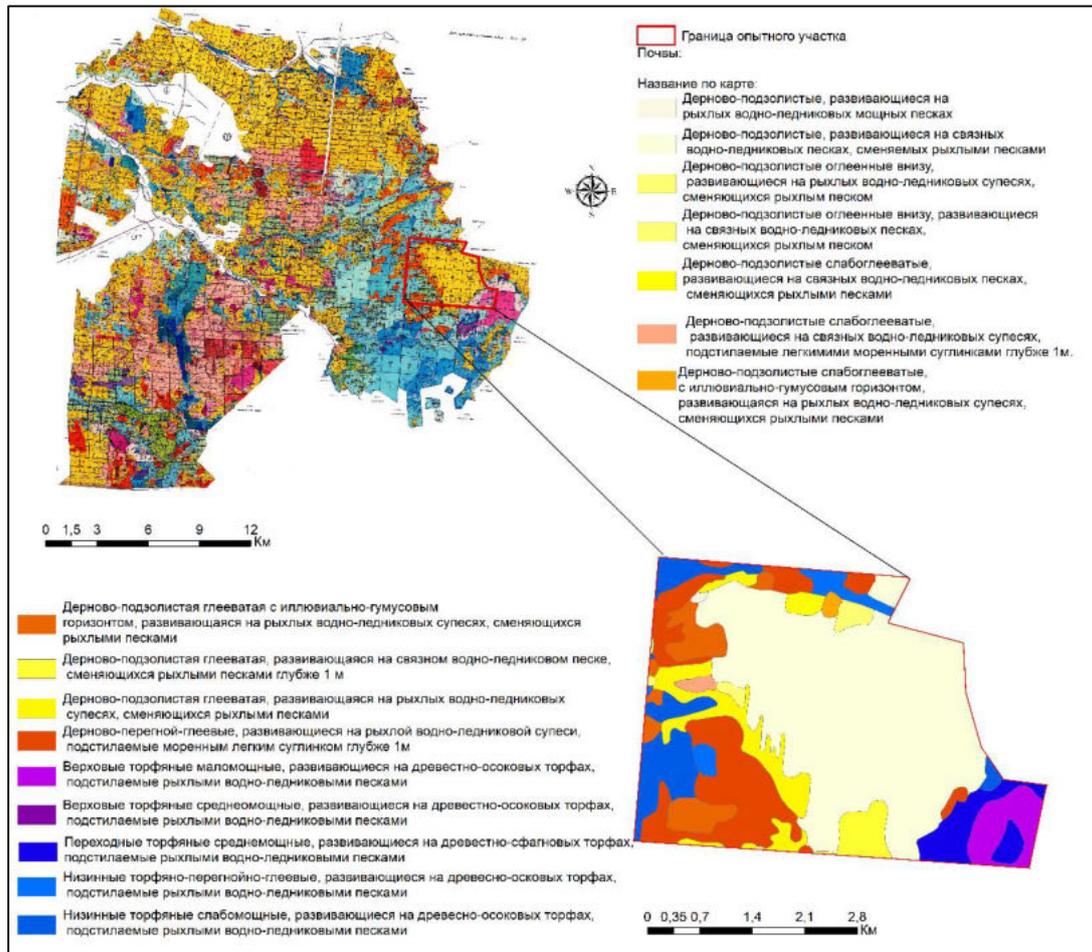


Рис. 1. Карта почв опытного участка в Беловежской пушче

На большей части территории преобладают дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на рыхлых и связных водно-ледниковых песках. На западе почвенный покров преимущественно представлен дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми почвами. В юго-восточной части располагается верховое болото с торфяными среднетощими почвами, развивающимися на древесно-осоковых торфах.

Всего было заложено 15 разрезов, описывающих все почвы, представленные на карте. Отбор образцов проводился с каждого почвенного горизонта.

Далее было определена обменная кислотность каждого образца с помощью рН-метра рН-150М с использованием солевой вытяжки.

На основании полученных данных были составлены картограммы горизонтального распределения кислотности.

При построении трехмерной модели распределения кислотности была следующая последовательность действий: 1) создание точечного shp-файла, где точки соответствуют разрезам, а в таблице атрибутов представлены поля рН и z; 2) интерполяция полученных значений с помощью инструмента «Эмпирический байесовский кригинг»; 3) Экспорт полученной модели в NetCDF.

Аналогичным образом была создана модель стандартных ошибок. Проверка точности была выполнена с помощью перекрестной проверки (рис. 2).

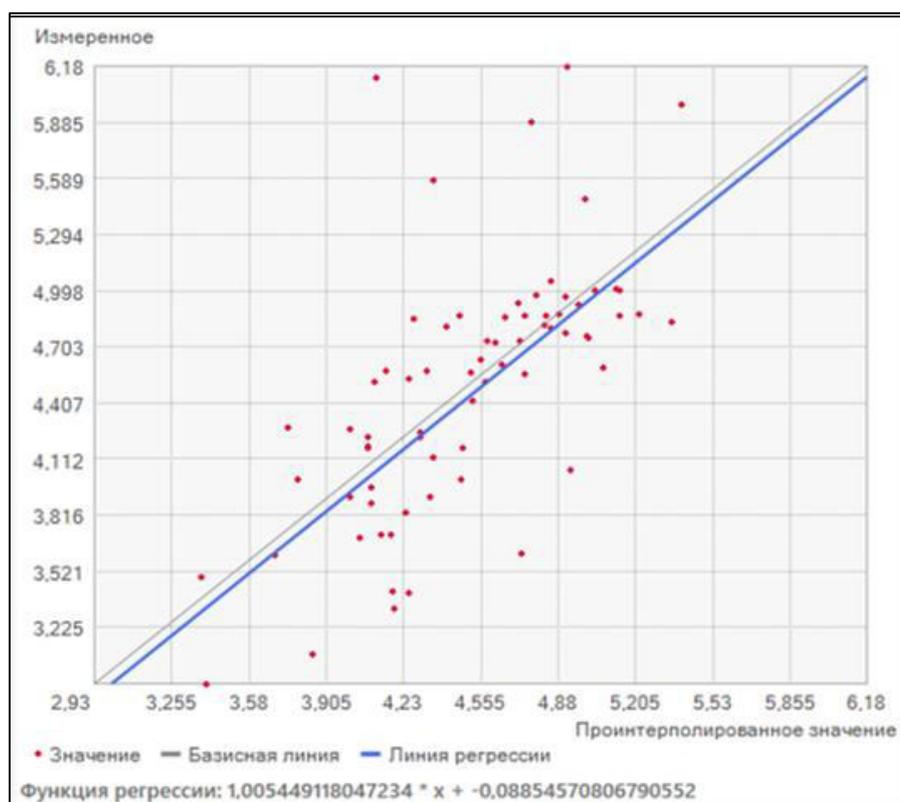


Рис 2. Перекрестная проверка

Средняя и средняя нормированная ошибки стремятся к нулю (-0.004 и -0.0009 соответственно), что указывает на крайне малое смещение модели. Значение среднеквадратичной ошибки (0.5) указывает, насколько в среднем прогнозируемые значения рН отличаются от измеренных. Значение среднеквадратичной нормированной ошибки (1.008) приближается к идеальному (1), а средняя стандартная ошибка (0.48) примерно совпадает со среднеквадратичной ошибкой. Это говорит о том, что вариабельность прогнозирования оценивается корректно. В пределах интервала 90/95 процентов оба значения (87.32 и 97.18) приближаются к идеальным 90 и 95, что указывает на согласованность между прогнозируемыми значениями и неопределенностью прогнозов.

В результате моделирования были получены трехмерные модели пространственного распределения кислотности почв (рис. 3) и среднеквадратичной ошибки (рис. 4).

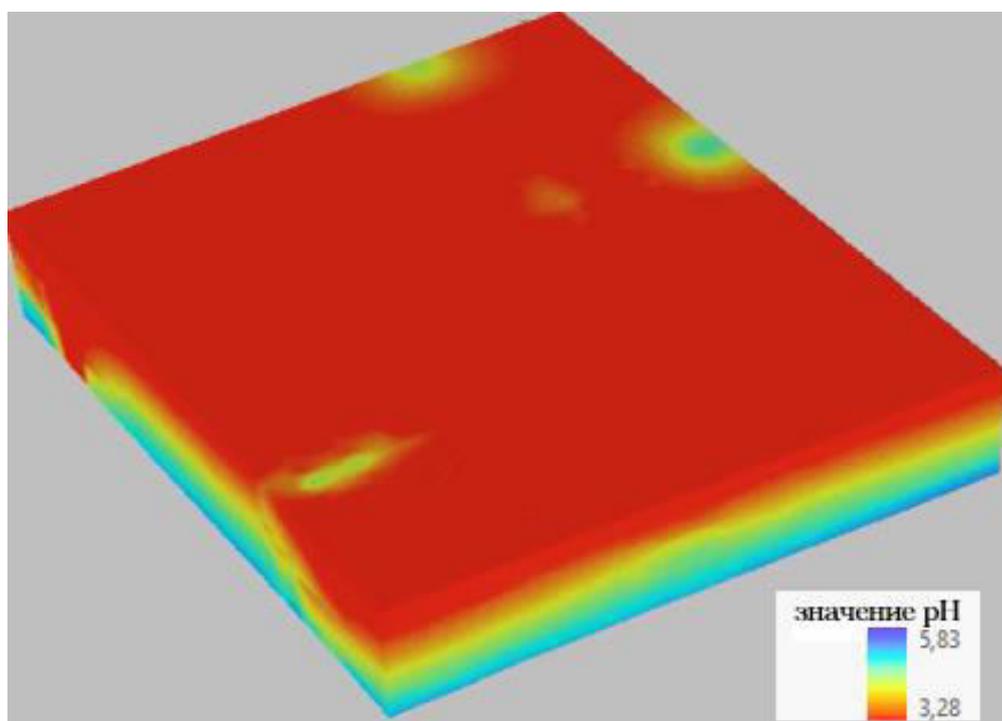


Рис. 3. Трехмерная модель распределения рН

Практически на всем участке сохраняется тенденция к снижению кислотности с увеличением глубины, что связано с нивелированием внешних факторов подкисления почвы, таких как хвойный опад, и близким уровнем грунтовых вод, подщелачивающих нижележащие почвенные горизонты. Стоит отметить выброс в северо-западной части участка, где на поверхности сохраняется кислотность, близкая к нейтральной, что вызвано лесным пожаром на данной территории.

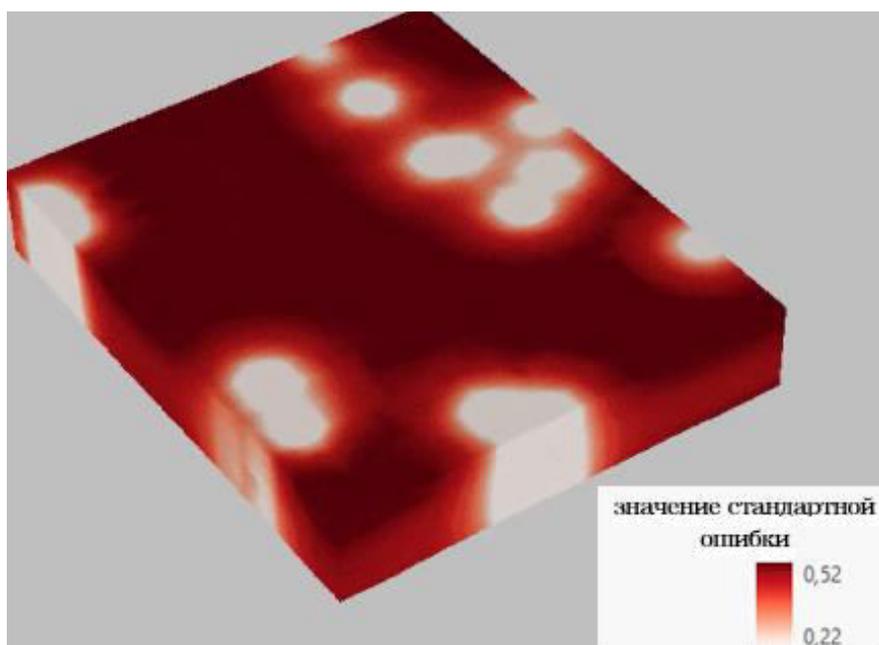


Рис. 4. Трехмерная модель стандартной ошибки показателя рН

В ходе проведения исследования можно сформулировать ряд выводов:

1) Трехмерный кригинг позволяет построить модели с учетом всей выборки на всех глубинах, на которых отобраны образцы, в то время как построение карт по отдельным глубинам учитывает только автокорреляционные связи между отдельными выборками на определенной глубине.

2) Точность данной модели достаточно высока. Значение стандартных ошибок увеличивается по мере удаления от скопления разрезов, что хорошо демонстрирует трехмерная модель распределения стандартных ошибок.

3) Кислотность почв снижается с глубиной. Это обусловлено преобладанием хвойных пород деревьев, которые способствуют процессу подкисления почвы.

Библиографические ссылки

1. Научное обоснование плана управления Национальным парком «Беловежская пуца» (заключительный) / Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси; научный руководитель Ермохин М.В. 2021. 147 с.

2. *Роговский Н. М., Груммо Д. Г.* Геопространственное моделирование биоразнообразия на примере национального парка «Беловежская пуца» / Вестник Тульского Государственного университета. 2023. С. 325–339.

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. ArcGIS Pro [Электронный ресурс] Что такое Эмпирический байесовский кригинг 3D? URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-3d.htm> (дата обращения: 15.11.2024).