

Soybean and millet yield ranges were established for 11 soil varieties of sod-podzolic soils with different particle size distributions and underlying conditions. The highest average long-term soybean yield was observed on deep sod-podzolic medium- and light loamy soils – 28,4 c/ha, the lowest – on deep cohesive sandy soils and soils transitioning to loose – 9,5 c/ha. The highest average millet grain yield was obtained on deep sod-podzolic cohesive sandy loam soils underlain by light and medium loams – 38,6 c/ha, the lowest – on deep cohesive sandy soils transitioning to loose – 14,7 c/ha.

Based on the obtained yield data for soybeans and millet on sod-podzolic soils with light loam, cohesive, loose sandy loam, and cohesive sand textures and statistical processing, a qualitative assessment of these soils was conducted and their fertility scores were calculated. The highest soil quality score for soybeans was obtained for medium and light loamy deep soils – 63, while the lowest – 21 – was obtained for cohesive sandy deep soils and soils transitioning to loose soils. For millet, the highest score was assigned to cohesive sandy loam soils with a deep base of light and medium loams – 60, while the lowest score was assigned to cohesive sandy soils with a deep base of soils transitioning to loose soils – 23. The scores obtained are the initial ones, and to determine the actual score for a specific field or working area, if necessary, correction factors must be applied.

Поступила 18.03.2026

УДК 631.415

РАСЧЕТНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕШТКОВАНИЯ ПАХОТНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**А. Л. Киндеев^{1,2}, М. В. Воробей², Н. В. Архипова²,
Ю. С. Давыдович², А. А. Якушев²**

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

*²Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Подкисление почвы является одним из основных видов деградации почвенных ресурсов. В настоящее время по разным оценкам кислые почвы занимают от 30 до 40 % сельскохозяйственных земель в мире [1, 2]. В Латинской Америке доля кислых почв достигает 31 %, Восточной Азии – 20 %, а в странах Африки к югу от Сахары – 51 %, также значительная доля кислых почв наблюдается на востоке Северной Америки [3]. Площади кислых почв в Российской Федерации достигают 55–56 млн га (44 % пахотных земель), что связано с генетическими особеннос-

тями почвенного покрова, климатом и интенсивностью сельскохозяйственного использования [4]. Несмотря на то, что кислотность является довольно устойчивым во времени показателем, а влияние однократного внесения CaCO_3 в ряде случаев наблюдается на протяжении 5–10 [5], а иногда – 15 лет [6], исследования показывают, что среднегодовое снижение pH_{KCl} у дерново-подзолистых почв составляет 0,029, у дерново-карбонатных – 0,015 [7], что наблюдается также и во многих районах Беларуси.

В Республике Беларусь работы по известкованию почв (83,0 % пахотных земель) начались в 1966–1970 гг. За последующие 40 лет в почвы Беларуси внесено примерно 150 млн т CaCO_3 , что составляет в среднем 15–20 т/га, и к концу 2010 г. только 5,2 % пашни имели pH менее 5,0. После этого государственное финансирование химической мелиорации снизилось и за 10–15 лет начали проявляться признаки подкисления почв и на сегодняшний день около 9,8 % пашни имеют pH_{KCl} менее 5 [8]. При этом, стоит учитывать, что аналитика по доле кислых почв в структуре сельскохозяйственных земель обобщена по административным районам Беларуси, а минимальной операционной единицей учета является элементарный участок средней площадью 10 га. В связи с этим можно предположить, что при рассмотрении внутрипольных различий доля кислых почв в значительной степени возрастет.

С другой стороны, при интенсивном известковании на протяжении 50-ти лет на территории Беларуси сформировались территории, занимаемые нейтральными (10,2 % пахотных и 14,0 % луговых земель) и слабощелочными (2,6 % пахотных и 6,0 % луговых) почвами, где также происходит снижение эффективности минеральных удобрений [9]. При этом указывается необходимость восстановления требуемых ежегодных объемов внесения до 2,2 млн т CaCO_3 [9], что несомненно снизит степень подкисления почвы, однако при этом возрастет доля переизвесткованных почв, так как эксперименты показывают, что известкование по элементарным участкам не может в полной мере гарантировать внесение мелиорантов «там, где нужно» [10, 11].

Решением этой двойной проблемы может являться проведение работ по известкованию на более современном технологическом и методологическом уровне, с помощью современных технологий, основанных на методах точного земледелия (с учетом внутрипольных различий), данных дистанционного зондирования и использования геоинформационных систем. В связи с этим целью настоящего исследования является обоснование учета неоднородности кислотности почв при проведении работ по известкованию на легкосуглинистых почвах с использованием методов геостатистики и сравнение методов точечного отбора проб по грид сетке с установленными методами агрохимического обследования земель Республики Беларусь.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Участки исследования представлены двумя сельскохозяйственными полями площадью 18,9 и 30,0 га в Витебском районе Республики Беларусь (рис. 1). На обоих участках преимущественно представлены дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на легких водно-ледниковых суглинках, подстилаемых средними и тяжелыми суглинками с глубины 0,5–1,0 м. На участке 1 в северо-восточной

части, где наблюдается понижение рельефа, присутствуют слабogleеватые и глееватые почвы. На участке 2 аналогичные почвы наблюдаются в локальных понижениях площадью от 0,2 до 0,5 га, представленные в центральной части поля.

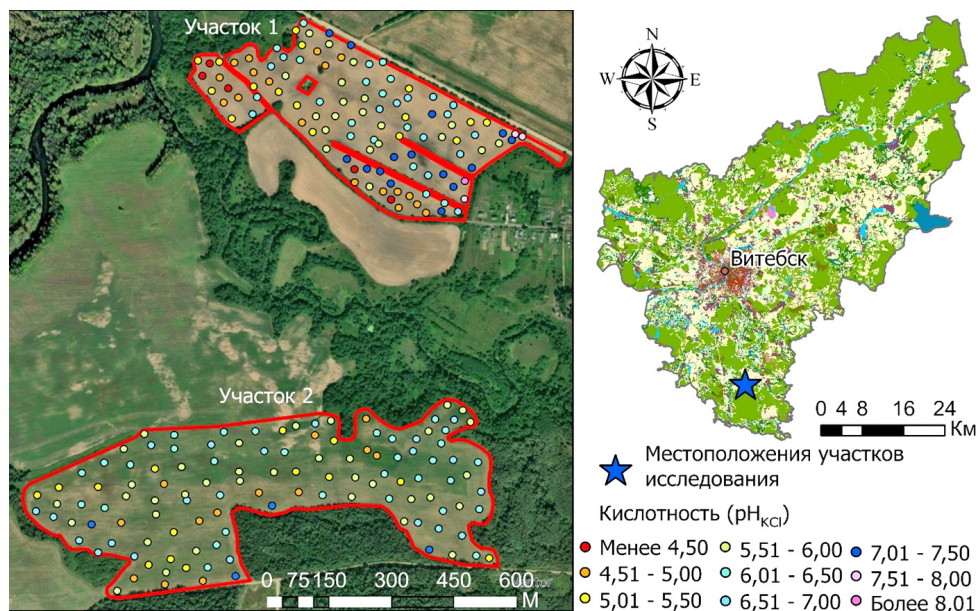


Рис. 1. Обзорная карта участков исследования

С участка 1 было отобрано 109 образцов со средним расстоянием между точками в 30 м, а с участка 2 – 119 образцов с расстоянием в 40 м. При составлении сетки пробоотбора были соблюдены два основных правила для использования геостатистики: 1) генеральная совокупность должна составлять минимум около 100 образцов [12] (в ряде случаев данное число может быть незначительно уменьшено); 2) сетка не должна быть равномерной (систематической) [13], но при этом покрывать исследуемую территорию не образуя кластеризации данных. Данный способ отбора почвенных образцов применяется в большинстве западных стран, где внедрены технологии точного земледелия и называется методом точечного отбора проб по грид сетке (англ. grid point sampling) [14]. Точечный отбор проб лучше подходит для выявления закономерностей изменчивости почвы на участке, поскольку все образцы отбираются вблизи геопривязанных точек, а не разбросаны по всей ячейке (элементарному участку). Агрохимические свойства почвы между точками отбора проб рассчитываются с помощью современных геоинформационных методов. Важно учитывать, что многие исследователи считают, что чем меньше расстояние между точками отбора проб, тем надежнее интерполяция [15], однако, при слишком плотной сетке пробоотбора зачастую в модель падают высокочастотные колебания изучаемого свойства, являющиеся «шумом», который значительно уменьшает качество итоговых картограмм, поэтому много дискуссий ведется вокруг соответствующего шага пробоотбора. Исходя из недавних исследований, проводимых в Республике Беларусь, было установлено, что оптимальное среднее расстояние между точками пробоотбора для центральной части Беларуси составляет 60–70 м [16].

Последующий геостатистический анализ кислотности почв исследуемых полей проводился в программном продукте ArcGIS Pro по уже устоявшейся методике, подробно описанной в работах [17, 18]. Здесь стоит указать, что область геостатистики включает в себя работу исключительно с континуально распределенными данными, описывая их с помощью специальных формул и показателей, характеризующих случайное, а не определённое явление в пространстве и не может включать в себя операции, применяемые к дискретным объектам. Являясь наилучшим линейным несмещенным оценителем (НЛНО), кригинг, как основной метод интерполяции в геостатистике, уже на протяжении 70 лет успешно применяется для моделирования почвенных свойств, а с 2018 г. закреплён на законодательном уровне в инструкции по агрохимическому обследованию земель в США [19].

Расчет экономической эффективности работ по известкованию с учетом внутрипольной неоднородности распределения кислотности почв проводился на основании работ Н. В. Клебановича и инструкции по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель [5, 20]. Прибавка урожая рассчитывалась исходя из средних значений по основным культурам, которые составляют для очень кислых почв (рН менее 4,50) 5,9 кормовых единиц (к. ед.), среднекислых (4,51–5,00) – 3,7 к. ед. и для кислых (5,01–5,50) – 2,1 к. ед. [5]. Средняя цена к. ед. по основным культурам составила 328,56 бел. руб., или 111,60 долл. США по курсу на январь 2026 г. и рассчитывалась по Постановлению Минсельхозпрода от 25 марта 2025 г. № 25 «Об установлении фиксированных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2025 года, закупаемую для республиканских государственных нужд» и установленных коэффициентов пересчета продукции в к. ед. [21]. Точных нормативов за уборку 1 т к. ед. в Республике Беларусь не установлено, однако, основываясь на данных Минсельхозпрода по расчету заработной платы работников, можно рассчитать, что 1 т к. ед. составляет 53,16 бел. руб., или 18,05 долл. США на январь 2026 г. [22], что сопоставимо с нормативными данными приведенных в монографии Н. В. Клебановича [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные о кислотности почвы исследуемых участков прошли традиционную статистическую обработку, исходя из которой было определено, что преобразование данных к нормальному распределению не требуется. При непосредственном использовании простого кригинга были подобраны вариограммы и рассчитаны их основные параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика вариограмм исследуемых участков

Показатель	Вариограмма	Наггет-эффект	Порог	Ранг, м	Остаточная дисперсия, %
Участок 1	Экспоненциальная	0,00	0,615	62,3	0,00
Участок 2	J-Бесселя-J-Бесселя-Экспоненциальная	0,056	0,406	115,6/443,9/480	13,7

При анализе вариограмм для первого участка была установлена экспоненциальная модель, показавшая наилучшие результаты и позволившая снизить наггет-

эффект до нуля, и, как следствие, нивелировать долю не учтенной дисперсии на картограмме. Ранг составил 62,3 м, что примерно равняется площади отдельных ареалов кислых либо нейтральных и слабощелочных почв, что говорит о резкой смене реакции среды. Также повышение значения дисперсии (0,720) наблюдается на расстояниях 110–120 м, после чего дисперсия выходит на уровень порога и не изменяется.

Второй участок имеет разительные отличия в распределении кислотности. Чередование кислых и нейтральных почв формирует пятнистую пространственную структуру, которую трудно описать только одной моделью. В данном случае применяется сочетание трех вариограмм (двух J-Бесселя и одной экспоненциальной), которые позволяют снизить уровень остаточной дисперсии до 13,7 %, что считается сильной пространственной корреляцией исследуемого показателя. Первая вариограмма J-Бесселя характеризует высокочастотные колебания на малых расстояниях до 115,6 м и включает в себя анизотропию. Анизотропия на данном участке отражает более резкие изменения кислотности с севера на юг, нежели с востока на запад, что вызвано преимущественным направлением движения сельскохозяйственной техники. Последующие вариограммы описывают распределение кислотности на больших расстояниях – резкое увеличение дисперсии хорошо описывается экспоненциальной вариограммой, а колебания – вариограммой J-Бесселя.

Наличие сильной автокорреляции между точками и малые значения наггет-эффекта, позволяют говорить о высокой точности модели и репрезентативности итоговых картограмм, представленных на рисунке 2.

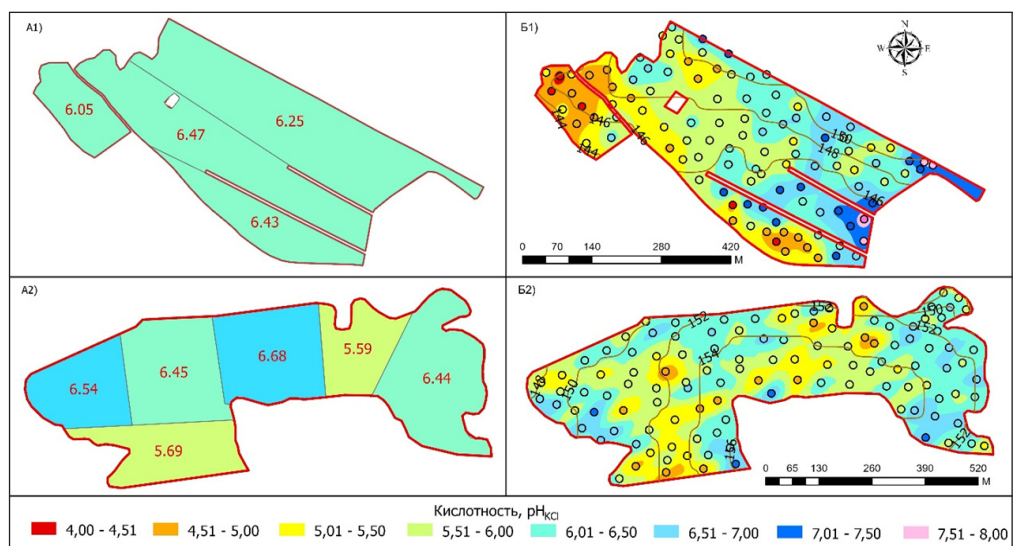


Рис 2. Картограммы кислотности почв построенные по методике:
А) агрохимического обследования; Б) точечного отбора проб по grid сетке

Реальное пространственное распределение кислотности на участке 1 позволяет выделить 4 основные зоны: 1) кислые (pH_{KCl} 5,01–5,50) и среднекислые (pH_{KCl} 4,51–5,50) почвы на юго-западе с незначительными ареалами сильнокислых почв (pH_{KCl} 4,00–4,50) на относительной ровной части участка с перепадом

высот 1–2 м, где требуются высокие дозы извести; 2) центральная часть участка представленная слабокислыми (pH_{KCl} 5,51–6,00) и близкими к нейтральным почвами (pH_{KCl} 6,01–6,50), с малыми дозами CaCO_3 на пологом склоне с перепадами высот 4–6 м; 3) ареалы нейтральных (pH_{KCl} 7,01–7,50) и слабощелочных (pH_{KCl} 7,51–8,00) почв на северо-востоке у подножья склона, где наблюдается переизвесткование, что вызвано смывом и аккумуляцией питательных веществ, а также влиянием мелиоративных каналов; 4) ареал среднекислых и кислых почв на юге территории, в относительном отдалении от мелиоративного канала, где происходят процессы заболачивания.

Сопоставляя полученные результаты с картограммой элементарных участков, можно отметить полное несоответствие действительности, что вызвано не только смешиванием почвенных образцов, но и конфигурацией самих участков. Так как элементарные участки вытянуты с северо-запада на юго-восток, каждый из них включает как территории очень кислых почв, так и слабощелочных, что в среднем дает кислотность близкую к нейтральной, что и наблюдается на соответствующий картограмме.

Второй участок характеризуется меньшим разбросом значений кислотности (pH_{KCl} от 4,51 до 7,01), однако ареалы кислых почв чередуются с ареалами близких к нейтральным и нейтральным почвам, что делает пространственную структуру сложнее, что было отражено в показателях вариограмм. Незначительные по площади ареалы среднекислых почв приурочены к локальным понижениям с признаками заболачиваемости, кислые почвы, напротив, сосредоточены на повышенных участках, а территории между ними имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию.

Как и в первом случае, картограммы элементарных участков в значительной степени не соответствует реальной картине распределения кислотности. Можно выделить только самый восточный ЭУ, где среднее значение (pH_{KCl} 6,44) соответствует внутрипольной дифференциации кислотности (pH_{KCl} от 6,00 до 7,00), в остальных участках игнорируются ареалы среднекислых и кислых почв, требующих внесения значительных доз извести.

На основании полученных картограмм кислотности были получены карты-задания по внесению CaCO_3 , представленных на рисунке 3. При построении карт-заданий полученные ареалы были генерализированы в ячейки площадью 6 м², для которых были рассчитаны дозы CaCO_3 в кг/6 м², для более точного учета необходимого мелиоранта для каждого отдельно взятого квадрата на поле. Данной размер был взят исходя из захвата устройств в 12 м, а, как известно, для описания того или иного явления необходимо иметь 2 значения в экстремумах функции, т. е. половину целевого расстояния, равняющиеся в данном случае 6 м.

Очевидно, что при детальном учете распределения кислотности почв затраты на известкования значительно возрастут для обоих полей и составят 340,08 долл. США для первого участка и 397,68 долл. США для второго, в связи с этим была рассчитана экономическая эффективность проведения данного агротехнического приема (табл. 2). Кроме агрономического и экономического эффекта проведения работ по известкованию имеет экологический эффект, предотвращая подкисление почвы. На участке 1 при установленном агрохимическом обследовании почвы будут подкисляться на всей территории. В свою очередь на участке 2 известкованию будет подвержено только 2 элементарных участка из 6, причем на трех из них будут проигнорированы значительные площади кислых почв

(26,7 % от общей площади поля или 56,3 % от площади этих элементарных участков (8,3 га). Также при внесении мелиоранта на двух элементарных участках, часть CaCO_3 будет внесена на территории, где известкование не требуется, усиливая подщелачивание почв, что способствует снижению продуктивности земель, а территории, нуждающиеся в известковании, недополучат необходимого количества извести.

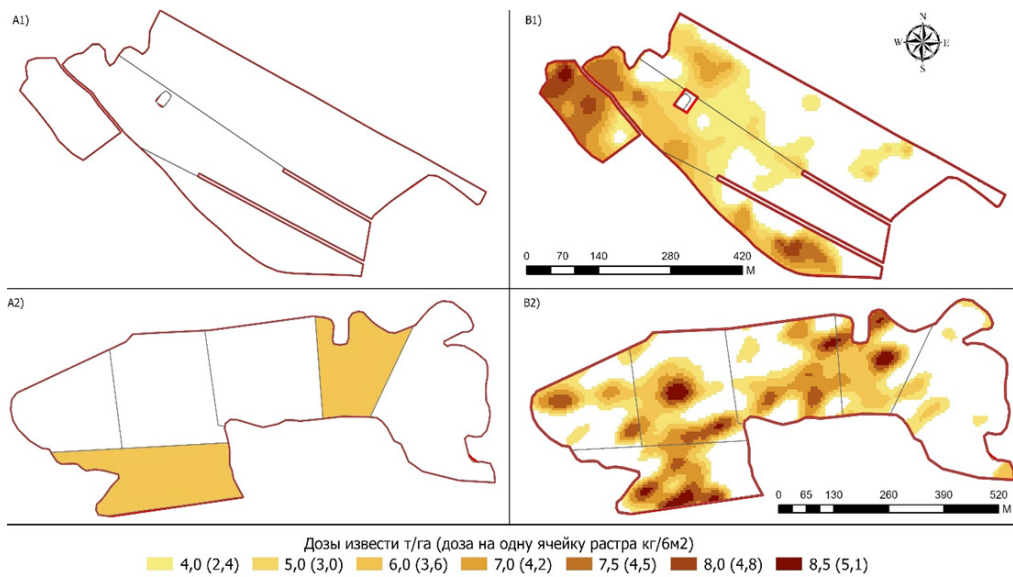


Рис. 3. Карты-задания по известкованию на основе картограмм кислотности

Приведенные расчеты показывают, что средняя рентабельность проведения известкования на исследуемых полях составляет 55,0 и 40,4 % с доходом 249,8 и 208,6 долл. США для первого и второго участка соответственно (13,7 и 6,75 долл. США/га). При рассмотрении отдельных групп кислотности можно заметить высокую рентабельность при известковании I и II групп кислотности – на первом участке эффективность внесения извести на почвах с pH_{KCl} 4,25–4,50 практически в 2 раза выше (135,6 %), чем для почв с pH_{KCl} 4,51–5,00. Значительно падает рентабельность известкования почв III группы кислотности (pH_{KCl} 5,01–5,51), при этом на обоих полях заметно, что снижение дозы извести на 1 т для почв с кислотностью 5,26–5,50 увеличивает рентабельность на 6,6 % при одинаковой прибавке урожая. В связи с этим важно подчеркнуть, что разработанные дозы известкования в начале 21 века были направлены на повсеместное решение проблемы подкисления почв. На сегодняшний день в страновом масштабе данная задача была решена, однако сокращение объемов известкования приводит к появлению отдельных ареалов кислых почв, которые не могли быть учтены при установленном агрохимическом обследовании. Поэтому предполагается, что при переходе на внутрипольный учет распределения кислотности дозы известкования для III группы кислотности на легкосуглинистых почвах могут быть пересмотрены в сторону уменьшения на 1,0–1,5 т/га. Такое снижение сократит расходы на внесение извести, без потери экологического эффекта (предотвращение подкисления почв) и повысит экономическую и энергетическую эффективность.

Таблица 2

Рентабельность известкования кислых почв на исследуемых участках

pH _{KCl}	Пло- щадь, га	Доза известки, т/га	Прибавка урожая, к. ед. в год	Прибавка за 5лет, ц/га	Прибавка за 5 лет, т/га	Стоимость извест- кования, долл. США	Франко- почва, долл. США	Стоимость прибавки за 5 лет, долл. США	Стоимость уборки за 5 лет, долл. США	Всего затрат	Доход	Рента- бель- ность, %
Поле 1												
4,25–4,50	0,05	8,5	5,9	29,5	3,0	3,3	4,0	15,3	2,5	6,5	8,8	135,6
4,5–4,75	0,4	8,0	3,7	18,5	1,9	25,0	30,8	77,2	12,5	43,2	33,9	78,5
4,75–5,00	1,3	7,5	3,7	18,5	1,9	81,0	101,0	267,0	43,2	144,2	122,8	85,1
5,00–5,25	1,4	7,0	2,1	10,5	1,1	80,9	102,3	162,2	26,2	128,6	33,6	26,1
5,25–5,50	1,6	6,0	2,1	10,5	1,1	77,9	102,0	182,1	29,5	131,4	50,7	38,6
5,50–5,75	2,0	5,0										
5,75–6,00	3,3	4,0										
Более 6,00	8,4	0,0										
Сумма	18,3	46,0	17,5	87,5		268,0	340,1	703,7	113,8	453,9	249,8	55,0
Поле 2												
4,75–5,00	0,6	7,5	3,7	18,5	1,9	36,3	45,3	119,7	19,4	64,7	55,1	85,1
5,00–5,25	1,7	7,0	2,1	10,5	1,1	101,7	128,7	203,9	33,0	161,7	42,2	26,1
5,25–5,50	3,4	6,0	2,1	10,5	1,1	170,8	223,7	399,6	64,6	288,3	111,3	38,6
5,50–5,75	5,0	5										
5,75–6,00	5,1	4										
Более 6,00	15,1	0										
Сумма	30,9	29,5	7,9	39,5		308,9	397,7	723,2	116,9	514,6	208,6	40,5

ВЫВОДЫ

Вектор задач в последние десятилетие изменился с общей проблемы подкисления почв на применение дифференцированных доз удобрений с учетом потребностей возделываемых культур и агрохимических свойств (особенно кислотности) почв каждого поля [8]. Целесообразно составление сетки пробоотбора для учета неоднородности кислотности и других почвенных свойств, необходимо использовать метод точечного отбора проб по грид сетке (англ. grid point sampling), а построение итоговых картограмм и карт-заданий должно осуществляться не присвоением единого усредненного значения элементарному участку, а путем создания интерполяционных поверхностей методами гео-статистики, которые позволяют учесть пространственные взаимосвязи между переменными.

Выявленные расстояния автокорреляции (ранг) отражают территории, где присутствуют связь между переменными в точках пробоотбора, т. е. однородные ареалы заданной площади – 62 м² для первого участка и 115 м² для второго. Предполагается, что в контексте агрохимического обследования, значения ранга может являться критерием для снижения размерности выборки при последующих работах – достаточно будет взять 1 образец в квадрате обозначенной площади и с учетом предыдущего обследования экстраполировать новые показатели. Однако данная гипотеза требует подтверждения, что является целью последующих исследований.

Локальные особенности распределения кислотности почв показали, что на участках присутствуют ареалы переизвесткованных почв (рН более 7,01), что по ранее проведенным исследованиям также негативно сказывается на урожайности большинства культур. На таких землях ежегодно недобирается 0,41 т к. ед. с га [23].

Вместе с тем, использование современных сортов, адаптированных под конкретные условия, точечное позиционирование сельскохозяйственной техники, использование геоинформационных систем в технологическом процессе, является неотъемлемой составляющей перехода на технологии точного земледелия наряду с учетом внутрипольной неоднородности кислотности почвы. Совокупное использование вышеперечисленных факторов вместе с корректировкой доз внесения извести для III группы кислотности позволит предотвращать подкисление почв, повысить продуктивность земель и, как следствие экономическую и агро-номическую рентабельность известкования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Von Uexküll, H. R. E. Global extent, development and economic impact of acid soils / H. R. E. Von Uexküll, E. Mutert // Plant and soil. – 1995. – Т. 171. – №. 1. – P. 1–15.
2. Alemu, E. Effect of lime on selected soil chemical properties, maize (*Zea mays* L.) yield and determination of rate and method of its application in Northwestern Ethiopia / E. Alemu, Y. G. Selassie, B. Yitafaru // Heliyon. – 2022. – Т. 8. – № 1. – 10 p.
3. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants / M. Bian, M. Zhou, D. Cun [at all.] // The Crop Journal. – 2013. – № 1(2). – P. 91–104.

4. Окорков, В. В. К теории химической мелиорации кислых почв / В. В. Окорков // *Агрохимия*. – 2019. – № 9. – С. 3–17.
5. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василук. – Известкование. – 2003. – 323 с.
6. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis / R. Enesi O [et al.] // *Frontiers in Agronomy*. – 2023. – Т. 5. – Р. 1194896.
7. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья / А. И. Иванов [и др.] // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 6. – С. 3–9.
8. Богдевич, И. М. Итоги и перспективы оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных почв Беларуси / И. М. Богдевич // *Известия Нац. академии наук Беларуси. Сер. аграрных наук*. – 2023. – Т. 61, № 1. – С. 22–33.
9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.] ; под общ. ред. И. М. Богдевича ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
10. Воробей, М. В. Геостатистический анализ внутрипольной неоднородности почвенной кислотности для проведения работ по известкованию / М. В. Воробей, А. Л. Киндеев // *Почвоведения и агрохимия*. – 2024. – № 1(72). – С. 27–34.
11. Киндеев, А. Л. Оптимизация севооборотов на основе геостатистического анализа кислотности почвы и данных дистанционного зондирования земель с учетом финансовых издержек / А. Л. Киндеев, Ф. С. Гутько // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. – 2025. – № 123. – С. 179–212.
12. Oliver, V. A. Sampling in Precision Agriculture / V. A. Oliver, R. Kerry, Z. L. Frogbrook // *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. – 2010. – Р. 35–63.
13. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении: учебник для вузов / науч. ред. Ю. Н. Благовещенский. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. – 326 с.
14. Dawson, A. To grid or not to grid – a review of soil sampling strategies. / A. Dawson, O. Knowles // *Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand*, 2018. – 10 p.
15. Flowers, M. Yield-based management zones and grid sampling strategies: describing soil test and nutrient variability / M. Flowers, R. Weisz, J. G. White // *Agronomy Journal*. – 2005. – № 97 – Р. 968–982.
16. Киндеев, А. Л. Геостатистическая оценка пространственной дифференциации свойств почв Ошмянско-Минского почвенно-экологического района: дис. ... канд. геогр. наук: 25.03.01 / Аркадий Леонидович Киндеев; Белорусский государственный университет. – Минск, 2024. – 191 л.
17. Клебанович, Н. В. Геостатистическая оценка вариабельности свойств почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев // *Вестник УдГУ*. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 91–102.
18. Клебанович, Н. В. Геостатистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев, А. А. Сазонов // *Геосферные исследования*. – 2021. – № 3. – С. 80–91.
19. Ditzler, C. Soil survey manual – Washington: United States Dep. of Agriculture / C. Ditzler, K. Scheffe, H. C. Monger. – United States, 2017. – 604 p.

20. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2019. – 31 с.

21. Справочника агрохимика / В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.

22. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [электронный ресурс] Примерное Положение об оплате труда работников. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/commercial-ru/view/primernoe-polozhenie-ob-oplate-truda-rabotnikov-2929/> (дата обращения: 26.01.2026).

23. Агрохимия: учебник для сельхоз. специальностей вузов / И. Р. Вильдфлуш, С. П. Кукреш, В. А. Ионас [и др.]. – Мн.: Ураджай, 1995. – 480 с.

ESTIMATED ECONOMIC EFFICIENCY OF LIMING OF SOD-PODZOLIC SOD-PODZOLIC SOILS DURING TRANSITION TO PRECISION FARMING SYSTEMS

**A. L. Kindeev, M. V. Vorobey, N. V. Arkhipova,
Yu. S. Davydovich, A. A. Yakushev**

Summary

This study examines the need to consider in-field soil acidity distribution characteristics during liming, using two agricultural fields (18,6 and 30 hectares) with sod-podzolic light loamy soils as an example. A rationale is provided for transitioning to a more modern methodological and technological level of CaCO_3 application, based on modern methods of processing and analyzing geodata and geostatistics. The features of grid point sampling and its advantages over the elementary plot method are described. Calculations show that the average profitability of liming in the studied fields is 55,0 and 40,4 %, with an income of \$249,8 and \$208,6 for the first and second plots, respectively (\$13,7 and \$6,75/ha). Based on the calculations, it is suggested that it is necessary to reduce the liming doses when taking into account the spatial distribution of soil acidity in the field for acidity group III.

Поступила 16.02.2026