

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЗАКИСЛЕНИЯ ПОЧВ В АГРОЛАНДШАФТЕ

Дмитрий Анатольевич Иванов, *член-корреспондент РАН, профессор*
 Мария Владимировна Рублюк, *кандидат сельскохозяйственных наук*
 Ольга Николаевна Анциферова, *кандидат сельскохозяйственных наук*
 ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Россия
 E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Аннотация. Приведены результаты долговременного мониторинга пространственной динамики закисления почв в пределах конечно-моренного холма. Исследования проводили в 1996–2020 годах на агроэкологической трансекте (ВНИИМЗ, Тверская область) – массиве, пересекающем ландшафтные позиции холма, состоящего из десяти полей с индивидуальной историей. Определяли обменную кислотность почв в тридцати точках опробования, регулярно расположенных по каждому полю в 40 м друг от друга. Использованы данные pH_{KCl} за 1996 и 2020 год и показатели закисления, определенные как разница значений обменной кислотности почв в начале и конце наблюдений. Статистическая обработка заключалась в выявлении влияния антропогенных и природных факторов на закисление почв. Установлено, что при экстенсивном земледелии почвы закислились. В 1996–2020 годах средний показатель обменной кислотности снизился на 0,6 (0,023 за год), но для выхода почв из категории слабокислых потребуется еще 10 лет. Существенно уменьшилась пространственная вариабельность pH – из почвенного покрова исчезли сильнокислые и нейтральные почвы. Установлено, что ландшафт определяет 34% пространственной изменчивости закисления почв, антропогенные факторы – 26%. Выделяют четыре группы территорий в агроландшафте, достоверно различающиеся по степени закисления почв, что объясняется неоднородностью рельефа и почвообразующих пород. По разнообразию антропогенной нагрузки определяют пять групп полей, где различия в закислении почв обусловлены их историей. В целом по агроландшафту невозможно выделить антропогенный фактор, достоверно влияющий на степень закисления почв, но на отдельных подурочищах воздействие ощутимо, поэтому необходимо разработать мероприятия по снижению интенсивности этого деградационного фактора. В пределах вершин холмов следует разворачивать плодосменные севообороты и не размещать залежи, сенокосы и выводные поля с козлятником восточным. На средних, нижних частях склонов и в межхолмных депрессиях нежелательно располагать озимые и покровные культуры.

Ключевые слова: агроландшафт, обменная кислотность, закисление почв, история полей, мониторинг, статистический анализ

FEATURES OF THE SOIL ACIDITIFICATION DYNAMICS IN AGRICULTURAL LANDSCAPE

D.A. Ivanov, *Corresponding Member of the RAS, Professor*
 M.V. Rublyuk, *PhD in Agricultural Sciences*
 O.N. Antsiferova, *PhD in Agricultural Sciences*
 FRC “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, Moscow, Russia
 E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Abstract. The results of long-term monitoring of the spatial dynamics of soil acidification within the terminal moraine hill are presented. The studies were carried out in 1996–2020 on the agro-ecological transect (VNIIMZ, Tver region) – an array crossing the landscape positions of the hill, consisting of 10 fields with an individual history. The exchangeable acidity of soils was determined at 30 sampling points, regularly located in each field at 40 m from each other. We used pH_{KCl} data for 1996 and 2020 and acidification indicators determined as the difference in the values of soil exchange acidity at the beginning and end of observations. Statistical processing consisted in revealing the influence of anthropogenic and natural factors on soil acidification. It was found that the soils were significantly acidified during extensive farming. In 1996–2020 the average exchangeable acidity decreased by 0.6 (0.023 per year), but the soils did not move out of the slightly acidic category, which will take another 10 years. The spatial variability of pH significantly decreased: strongly acidic and neutral soils disappeared from the soil cover. It has been established that the landscape determines 34% of the spatial variability of soil acidification, and anthropogenic factors determine 26%. There are 4 groups of territories in the agrolandscape, significantly differing in the degree of soil acidification, which is explained by the heterogeneity of the relief and parent rocks. According to the diversity of anthropogenic impact, 5 groups of fields are distinguished, where differences in soil acidification are due to their history. In general, it is impossible to single out an anthropogenic factor in the agrolandscape that significantly affects the degree of soil acidification, however, the impact is noticeable on individual substowlands, which allows developing measures to reduce the intensity of this degradation factor. It is recommended to develop crop rotations within the tops of the hills and not to place fallows, hayfields and hatching fields with eastern goat's rue. On the middle, lower parts of the slopes and in inter-hill depressions, it is not recommended to place winter and cover crops.

Keywords: agricultural landscape, exchangeable acidity, soil acidification, field history, monitoring, statistical analysis

Кислотность – неотъемлемое свойство почвы, зависит от содержания ионов водорода и алюминия в почвенном растворе и поглощающем комплексе.

Обменная кислотность (pH_{KCl}) – показатель необходимости известкования почв. Она обусловлена наличием в поглощающем комплексе ионов водо-

рода, алюминия, железа и марганца, которые могут вытесняться катионами нейтральных солей, входящих, в том числе, в состав удобрений. В слабокислых почвах обменная кислотность незначительная, щелочных — отсутствует, кислых — переходит в актуальную при взаимодействии твердой фазы почвы с водорастворимыми удобрениями, мелиорантами и солями жидкой фазы. Интервал рН 5,5...7,0 соответствует наиболее агрономически благоприятной структуре почвы, высокому качеству гумуса и оптимальному водному режиму, он больше подходит для роста и развития многих растений. [3, 10]

Защелочивание (понижение рН) — деградационный процесс, приводящий к разрушению почвенной структуры, изменению состава поглощенных катионов, снижению качества гумуса и, как следствие, потере почвенного плодородия. При защелочивании почвы осложняется рост культурных растений и подавляются процессы жизнедеятельности микроорганизмов, увеличивается подвижность тяжелых металлов — медь, цинк и бор могут стать для растений токсичными. В естественных геосистемах защелочивание почв обусловлено, прежде всего, изменением климата и сукцессией растительности — при промывном режиме увеличение суммы осадков приводит к интенсификации потерь щелочных и щелочноземельных элементов из поглощающего комплекса, а при непромывном — происходит заболачивание почв, когда, с неполным разложением органического вещества из нее высвобождаются ионы водорода, много органических кислот и большой объем углекислого газа, реагирующего с водой с образованием угольной кислоты. При смене листовых пород хвойными рН почвенного раствора, как правило, понижается. В агроландшафтах дополнительные факторы защелочивания почв — вынос элементов питания растений с урожаем, а также внесение физиологически кислых минеральных и органических удобрений. В России около 25,5 млн га пахотных земель имеют кислотность менее 5,5, на которых урожайность основных культур снижается до 30%, эффективность внесения азотных удобрений падает на 15...60%, фосфорных — 18...70, калийных — 20...60%. [11]

Изучение временной и пространственной динамики защелочивания почв — актуальная задача с теоретических и практических позиций, так как определение ее основных факторов позволяет судить как о направленности и характере почвообразующих процессов, так и о мероприятиях по поддержанию и увеличению плодородия. [1, 4, 18] Этим вопросом занимаются многие исследователи. [16, 17, 21, 22] В работе А.И. Иванова отмечено, что на Северо-Западе России среднегодовое снижение pH_{KCl} у дерново-подзолистых почв составляет 0,029, высокобуферных дерново-карбонатных — 0,015. Темпы защелочивания резко возрастают в интенсивных овощных севооборотах на фоне орошения, что снижает потенциальную продуктивность почвы с 3,7 до 1,8 т/га зерн. ед. [6]

Наиболее действенный прием борьбы с защелочиванием почв — внесение материалов, содержащих карбонат кальция (мергель, доломит, известь, шлаки), известен с древности. [9] Приемы известкования почв продолжают совершенствоваться. [2, 8, 20, 23]

Новейшее направление — ландшафтно-адаптированное известкование, учитывающее действие на процесс защелочивания почв не только исходных почвообразующих факторов и антропогенных причин, но и ландшафтных условий — геохимического статуса подурочищ, влияющего на характер миграции кальция, окислительно-восстановительные процессы, активность микрофлоры и другие особенности природной среды. [13–15, 19] Наиболее важная задача ландшафтной агрохимии, включающей прецизионное известкование почв, состоит в изучении взаимосвязей почвенных, антропогенных и геохимических процессов при формировании пространственно-временной пестроты плодородия, в том числе кислотности, и разработка на основе полученных результатов мероприятий по повышению почвенного плодородия.

Цель работы — изучение процессов защелочивания почв в различных частях конечно-моренной гряды на полях с разным антропогенным воздействием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен долговременный (1996–2020 годы) мониторинг обменной кислотности пахотных горизонтов почв агрополигона Губино (ВНИИМЗ, Тверская область), расположенного в четырех километрах к востоку от г. Тверь в пределах конечно-моренного холма Московского возраста с относительной высотой 15 м. Холм состоит из двух межхолмных депрессий (северная и южная), двух пологих склонов (северный, крутизной 2...3°, южный — 3...5°) и плоской, слабодренлируемой вершины. Двучленные отложения разной мощности — основные почвообразующие породы на агрополигоне. Его южная часть (депрессия, склон и южная часть вершины) сложена мощными и среднечленными двучленами, образованными горизонтом песчаных и супесчаных флювиогляциальных отложений толщиной от 1 до 1,5 м, подстилаемым легко- и среднесуглинистой закарбонатной карбонатной мореной. В северной части преобладают маломощные двучлены, в которых глубина залегания морены ≈ 0,6 м. В межхолмной депрессии на севере морена местами выходит на поверхность. Почвенный покров представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Почвы на мощных двучленах, как правило, характеризуются более легким песчано-супесчаным гранулометрическим составом, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены, где они супесчано-легкосуглинистые. [7]

Ландшафтное картирование агрополигона (урочища конечно-моренной гряды) показало наличие в нем подурочищ нескольких типов: а) транзитно-аккумулятивные (Т-А) местоположений в межхолмных депрессиях, где, наряду с процессами транзита химических элементов, наблюдается их частичное накопление из грунтовых и намывных вод; б) транзиты (Т) в средних частях склонов с энергичным латеральным перемещением веществ с поверхностным и внутрипочвенным стоком; в) элювиально-транзитные (Э-Т) верхних частей склонов, где на фоне латерального тока веществ происходит их вертикальное перемещение вниз по почвенному профилю; г) элювиально-аккумулятив-

ные (Э-А) природного комплекса плоской вершины, в условиях которого не только интенсивно вымываются питательные вещества из пахотных горизонтов в иллювиальные слои и далее в грунтовые воды, но и локально аккумулируются в микропонижениях.

Каждый микроландшафт обладает индивидуальными чертами. Межхолмные депрессии, несмотря на генетическое сходство, различаются по геологическому устройству почвообразующих пород, гранулометрическому составу почв и близостью к местному базису эрозии. [5] Транзиты на склонах разнятся степенью проявления эрозионных процессов вследствие дифференциации по физическим параметрам почв, крутизне и так далее. Все это определяет особенности закисления почв каждого выдела.

В 1996 году на площади 52 га был проведен уравнивательный посев ячменя (*Hordeum*) сорта *Гонор* и выполнен первый тур агрохимического обследования почв по сетке 40×40 м. На участке в 1997 году был проложен физико-географический профиль-трансекта — узкий, длинный севооборотный массив, пересекающий все основные микроландшафтные позиции холма. Вначале трансекта состояла из семи продольных параллельных полос (со временем их количество возросло до десяти), каждая из которых соответствовала культуре плодосменного севооборота. Ширина полосы — 7,2 м, длина — 1300 м. В ее пределах все антропогенные воздействия были одинаковыми и одновременными, вследствие чего пространственная вариабельность урожайности культур в наибольшей степени отражала влияние на нее природных факторов. Удобрения при выращивании растений, кроме подкормки зерновых в фазе кущения (1 ц/га аммиачной селитры, 30 кг д. в. азота), не применяли.

Каждое поле за четверть века, вследствие экономических, организационных, технологических и научно-исследовательских причин приобрело индивидуальные черты по специализации и степени антропогенного воздействия. На основе этого возникла возможность изучить влияние антропогенных и природных условий на динамику закисления почв при экстенсивном выращивании культур.

За время исследований неоднократно определяли обменную кислотность почв в тридцати точках опробования, расположенных по каждому полю на расстоянии 40 м друг от друга. Результаты позволяют судить о динамике закисления почв. В работе использовали данные pH_{KCl} за 1996 и 2020 годы, а также показатели закисления, определенные как разница между значениями обменной кислотности почв в начале и конце наблюдений. Статистическую обработку данных мониторинга осуществляли с помощью пакетов программ Stratigraphic+, и Excel. Степень влияния изучаемых факторов на закисление почв вычисляли на основе метода Н.А. Плехинского делением частной факториальной суммы квадратов на общую. [12]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За годы наблюдений в режиме экстенсивного земледелия произошло существенное закисление почв агрополигона (1996 год — 5,92, 2020 — 5,32). При расхождении значений в 0,6 единиц pH, раз-

личия достоверны ($НСР_{0,05} = 0,25$). Среднегодовое снижение pH_{KCl} составило 0,023, что согласуется с данными А.И. Иванова. [11] Однако почвы агрополигона могут выйти из разряда слабокислых только через 10 лет (рис. 1, А).

Средние значения pH близки к медианным, что соответствует нормальному распределению данных в начале и конце исследований, но их коэффициенты вариации существенно различаются (1996 год — 10,5, 2020 — 5,7%) и это сказывается на характере гистограмм распределения значений обменной кислотности (рис. 1, Б). В 1996 году значения обменной pH почв агрополигона колебались в широких пределах — от 4,3 до 7,3, наиболее вероятно была кислотность 6,1...6,3 (нейтральные почвы). В 2020 году размах значительно снизился (4,7...6,1), чаще всего встречаются почвы с pH 5,3...5,7 (слабокислые). Анализ гистограмм показывает, что при экстенсивном выращивании культур происходит некоторое уменьшение площадей сильнокислых почв (pH — 4,3...4,5) из-за улучшения аэрации небольших заброшенных заболоченных участков при вовлечении их в севооборот и значительное сокращение территорий со слабокислой и нейтральной реакцией почв вследствие отчуждения кальция с урожаем, активизации процессов выщелачивания почвогрунтов.

Для выяснения влияния характера антропогенного использования земель на кислотность почв необходимо формализовать историю полей в процессе подсчета количества лет эксплуатации конкретного поля в том или ином режиме. Изучение истории полей на трансекте показало, что за четверть века они приобрели индивидуальные черты (табл. 1).

Поля в пределах трансекты различаются по степени и характеру антропогенного воздействия, 1, 9 и 10, включенные в трансекту позднее, испытали

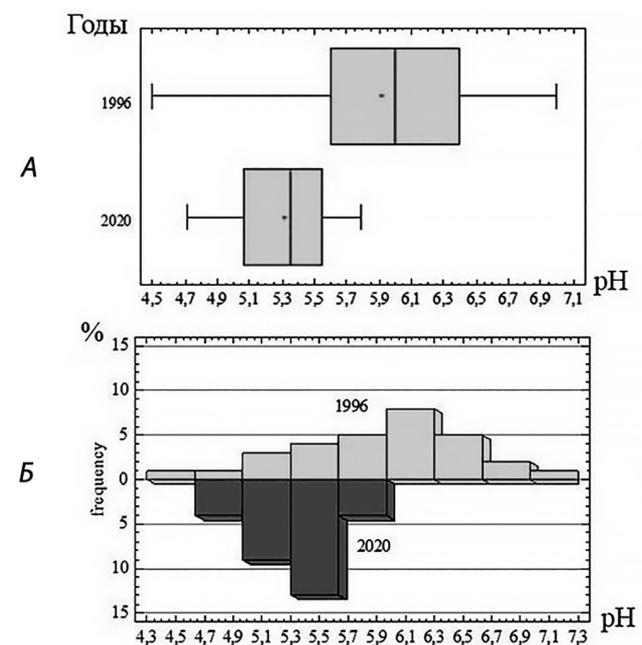


Рис. 1. Результаты долговременного мониторинга обменной кислотности почв агрополигона Губино: А — средние значения; Б — гистограммы распределения значений pH в разные периоды наблюдений.

Таблица 1.

Производственные характеристики полей в пределах трансекты

№ поля	Количество лет под угодьем/культурой													
	пашня	залежь	луг	севооборот*	травы 1 г.п.	травы 2 г.п.	травы 3 г.п.	картофель	озимые	яровые +травы	яровые	лен	промежуточные	однолетние травы
1	3	19	4	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	15	0	11	26	5	4	2	0	2	5	3	0	3	2
3	17	0	9	26	4	3	2	0	3	4	7	1	2	0
4	15	0	11	26	4	4	3	0	2	5	4	1	1	1
5	15	0	11	26	4	4	3	0	1	4	4	2	1	1
6	16	0	10	26	4	3	3	2	1	4	5	2	2	0
7	17	0	9	26	3	3	3	1	2	3	7	2	1	0
8	14	0	12	26	4	4	4	0	1	4	5	1	2	0
9	9	17	0	9	0	0	0	0	1	0	1	0	4	1
10	7	16	3	10	1	1	1	0	1	2	1	0	3	0

Примечание. *В севооборот включен уравнильный посев 1996 года.

незначительную антропогенную нагрузку, так как меньше находились в состоянии севооборота, чем остальные, зато намного больше под залежью. Существенны различия между полями и по характеру чередования культур. Эти обстоятельства позволяют изучить влияние антропогенных особенностей эксплуатации полей в различных ландшафтных условиях на характер изменения кислотности пахотных горизонтов почв. При агрохимическом мониторинге определили уровни закисления пахотных горизонтов (табл. 2).

Дисперсионный анализ показал, что ландшафтные и антропогенные условия достоверно влияют на динамику закисления почв, при этом природные факторы определяют 34% пространственной вариабельности показателей закисления, а антропогенные только 26%. Исходя из того, что НСР_{0,05} по фактору «Подурочища» равен 0,20, можно определить границы достоверного изменения степени закисления почв, располагающиеся поперек трансекты. В пределах агроландшафта конечно-моренного холма выделяют несколько групп подурочищ по степени закисления почв: I включает депрессию на юге агрополигона, а также нижние и средние части склона южной экспозиции, в которой наблюдается незначительное закисление почв (снижение pH на 0,48), вследствие малого содержания щелочноземельных металлов в их поглощающем комплексе и слабого промывания; II состоит из верхней части южного склона и вершины холма, где, из-за сильного развития элювиальных процессов на легких почвах, происходит интенсивное выщелачивание кальция из пахотных горизонтов (кислотность увеличилась на 0,65); III – подурочище верхней части северного склона, где при близком залегании морены элювиальные процессы выражены слабо, что приводит к незначительной трансформации кислотных свойств почв (pH снизилась на 0,37); IV занимает средние и нижние части склона северной экспозиции, а также депрессию на севере полигона, где в условиях близко залегающей морены и часто переувлажнения почв происходит активизация анаэробных процессов, подкисляющих почвенный раствор и мобилизующих кальций и магний, которые выносятся за пределы геокомплекса латераль-

ным током веществ (разница на начало и конец наблюдений – 0,78).

Вдоль трансекты также возможно провести границы, отделяющие поля, достоверно различающиеся по степени закисления почв. НСР_{0,05} по фактору «Поля» равен 0,22, поэтому все поля на трансекте можно объединить в пять групп: I – поле 1, долгое время находившееся под залежью (Козлятник восточный *Galega orientalis* Lam.), pH_{KCL} почв за время наблюдений снизилась на 0,59, вследствие усиления промывания почвенной толщи из-за разрыхления морены корнями козлятника; II – объединяет поля 2...6, эксплуатирующиеся, в основном, в режиме плодосменных севооборотов. В пределах группы, хотя и наблюдаются достоверные различия в степени закисления (поля 2, 5, 6), границы провести нельзя, так как соседние поля достоверно по этому показателю друг от друга не отличаются. Степень закисления – 0,59. Видимо, ее флуктуации в этой группе объясняются не только антропогенными причинами, но и некоторыми различиями природ-

Таблица 2.

Пространственная динамика закисления почв (единицы pH) в различных природных и антропогенных условиях за годы исследований

№ поля	Подурочище*							Среднее	Группа
	Т-Аю	Тю	Э-Тю	Э-А	Э-Тс	Тс	Т-Ас		
1	0,25	0,4	0,82	0,84	0,38	0,76	0,7	0,59	I
2	0,67	0,79	1,09	0,85	0,42	0,98	0,89	0,81	
3	0,54	0,59	0,84	0,25	0,29	1	1,03	0,65	
4	0,55	0,7	0,83	0,36	0,27	0,76	0,89	0,62	II
5	0,28	0,36	0,44	0,2	0,27	0,59	0,86	0,43	
6	0,45	0,41	0,45	0,33	0,25	0,49	0,57	0,42	
7	0,57	0,8	0,97	0,35	0,32	0,86	0,98	0,69	
8	0,53	0,33	0,82	0,91	0,54	0,62	0,8	0,65	III
9	0,28	0,23	0,18	0,77	0,38	0,35	0,55	0,39	IV
10	0,56	0,32	0,54	1,11	0,53	0,72	0,91	0,67	V
Среднее	0,47	0,49	0,7	0,6	0,37	0,71	0,82	0,59	
Группа	I		II		III		IV		

Примечание. *Малыми буквами обозначена экспозиция склона. То же в табл. 3.

ных факторов на микроуровне. Группа III включает поля 7 и 8, в которых относительно велика доля яровых. Она характеризуется высокой степенью закисления – 0,67, IV – поле 9, в пределах которого долгое время произрастала пятикомпонентная злакобобовая травосмесь, один из компонентов которой – люцерна синегибридная (*Medicago sativa* L.), способная благодаря наличию мощной корневой системы «перекачивать» кальций из морены в пахотный горизонт. Поле в наименьшей степени подверглось закислению (0,39). Группа V включает поле 10, большую часть времени находящееся под сенокосом (разнотравье) и за период исследований потерявшее значительное количество карбонатов (0,67). Влияние особенностей полей на характер закисления почв по всему агроландшафту и подурочища определяли с помощью корреляционного анализа (табл. 3).

По агроландшафту конечно-моренного холма не обнаружено достоверной связи степени закисления почв с историей полей, но в пределах отдельных подурочищ заметно влияние антропогенных особенностей угодий на проявление этого деградационного процесса. На вершине холма частая отвальная вспашка, вследствие оборота пласта и создания плужной подошвы, уменьшает вынос кальция в глубокие горизонты почв и задерживает его элювиальное промывание. Посевы яровых и льна в этом геокмлексе также замедляют подкисление почв. Залежи способствуют закислению почв, так как под ними, при отсутствии вспашки, не происходит возврат кальция из нижних слоев пахотных горизонтов на поверхность, а также разрушается плужная подошва корнями трав, что усиливает элювиальные процессы.

Посев озимой ржи в депрессиях и средних частях склонов приводит к ускоренному подкислению почв из-за замедления поверхностного тока талых и дождевых вод, почвы переувлажняются и в них активизируются анаэробные процессы. Такое же действие в пределах депрессии на юге оказывают посевы покровных культур.

Выводы. Результаты долговременного мониторинга показали, что в режиме экстенсивного земледелия произошло существенное закисление почв агрополигона. С 1996 по 2020 год средний показатель обменной кислотности снизился на 0,6 (0,023 за год), но, чтобы почвы вышли из категории слабокислых потребуется еще 10 лет. За годы исследований значительно уменьшилась пространственная вариабельность показателей pH – из почвенного покрова исчезли как сильнокислые, так и нейтральные почвы.

С помощью дисперсионного анализа установили, что влияние ландшафтной среды определяет 34% пространственной изменчивости показателей закисления почв, а антропогенные факторы только 26%. Выделяют четыре группы территорий в пределах агроландшафта, достоверно различающихся по степени закисления почв, что объясняется неоднородностью рельефа и почвообразующих пород. По антропогенному воздействию поля поделены на пять групп, в которых различия в степени закисления почв могут быть связаны с их историей.

Таблица 3.
Результаты корреляционного анализа влияния истории полей на закисление почв в различных ландшафтных условиях

Угодье/культура	Подурочище							Агроландшафт
	Т-Аю	Тю	Э-Тю	Э-А	Э-Тс	Тс	Т-Ас	
	Коэффициент корреляции*							
Пашня	0,51	0,57	0,32	-0,7	-0,48	0,28	0,4	0,17
Залежь	-0,53	-0,57	-0,42	0,63	0,39	-0,32	-0,43	-0,25
Луг	0,48	0,52	0,54	-0,48	-0,26	0,37	0,42	0,32
Севооборот	0,56	0,54	0,36	-0,61	-0,36	0,28	0,43	0,22
Травы 1 г.п.	0,55	0,57	0,53	-0,48	-0,3	0,44	0,42	0,36
Травы 2 г.п.	0,55	0,52	0,45	-0,48	-0,23	0,33	0,47	0,32
Травы 3 г.п.	0,46	0,33	0,31	-0,46	-0,17	0,11	0,34	0,16
Картофель	0,08	0,11	-0,13	-0,39	-0,43	-0,24	-0,34	-0,34
Озимые	0,68	0,69	0,45	-0,47	-0,31	0,62	0,68	0,51
Яровые +травы	0,63	0,59	0,53	-0,43	-0,26	0,46	0,5	0,42
Яровые	0,47	0,51	0,36	-0,69	-0,41	0,34	0,49	0,22
Лен	0,01	0,2	-0,04	-0,8	-0,61	-0,1	0,14	-0,26
Промежуточные	0,22	-0,27	-0,39	0,42	0,39	-0,28	-0,24	-0,1
Однолетние травы	0,12	0,3	0,08	0,02	-0,09	0,07	-0,01	0,09

Примечание. *Достоверны коэффициенты $\geq 0,62$.

Проведя корреляционный анализ, определили, что в целом по агроландшафту моренного холма невозможно выделить антропогенный фактор, достоверно влияющий на степень закисления почв, но на отдельных подурочищах это воздействие ощутимо, что вызывает необходимость в разработке мероприятий по снижению интенсивности этого деградационного фактора. Рекомендуем в пределах плоских, слабодренлируемых вершин холмов разворачивать плодосменные севообороты и не допускать размещения залежей, сенокосов и выводных полей с козлятником восточным. На средних и нижних частях склонов, а также в межхолмных депрессиях нежелательно располагать посевы озимых и покровных культур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Барановский И.Н., Ковалев Н.Г., Иванов Д.А., Рублюк М.В. Баланс элементов питания в разных фациях конечно-моренного холма при выращивании картофеля // Агрохимия. 2006. № 4 С. 51–56.
2. Булатова Н.В., Регорчук Н.В. Плодородие дерново-подзолистой почвы и урожайность многолетних трав при длительном применении минеральных удобрений на фоне известкования // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 5. С. 28–32. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.60.5.28-33>
3. Вильдфлуш И.Р., Лапа В.В., Мишура О.И. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учебно-методическое пособие. Горки: БГСХА, 2019. 405 с.
4. Гогмачадзе Г.Д., Гогмачадзе Л.Г. О некоторых результатах агроэкологического мониторинга почв и земельных ресурсов Российской Федерации в 2019 году // АгроЭкоИнфо. 2021. 4 (46) – 17. DOI: 10.51419/20214410.
5. Иванов Д.А., Абрамов В.А. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод в пределах агроландшафта // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 4. С. 7–9.

6. Иванов А.И., Конашенков А.А., Воробьев В.А. и др. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // *Агрохимический вестник*. 2019. № 6. С. 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081.
7. Иванов Д.А., Корнеева Е.М., Петрова Л.И. и др. Создание ландшафтного полигона нового поколения // *Земледелие*. 1999. № 6. С. 15–16.
8. Известкование кислых почв в России: проблемы и актуальные подходы. Глава агроном. – 2019. [Электронный ресурс]. <https://glavagronom.ru/articles/Izvestkovaniekisllyh-pochv-v-Rossii-problemy-i-aktualnye-podhody>
9. Литвинович А.В. История известкования почв // *Агрофизика*. 2014. № 2. С. 45–51.
10. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. и др. Агрохимия. Учебник. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
11. Новое решение проблемы кислотности почв // *Сельскохозяйственные вести*. 2021. № 2. С. 50–52. <https://agri-news.ru/zhurnal/2021/22021/novoe-reshenie-problemyi-kislotnosti-pochv/>
12. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.
13. Сиротина Е.А., Сорокин И.Б. Влияние разных доз извести на агрохимические показатели серой оподзоленной почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*. 2019. № 4. С. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10052.
14. Смирнов А.А., Иванов Д.А., Анциферова О.Н. и др. Планирование и проведение полевых опытов при разработке ландшафтно-мелиоративных систем земледелия (Методические рекомендации). Тверь: ЧуДо, 2005. 40 с.
15. Сорокин И.Б., Сиротина Е.А. Известкование – один из факторов повышения плодородия почв Томской области // *Агрохимический вестник*. 2019. № 1. С. 7–10. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10002.
16. Суханов П.А., Комаров А.А. Динамика агроресурсного потенциала в хозяйствах Ленинградской области // *Агрохимический вестник*. 2013. № 5. С. 6–7.
17. Сычев В.Г., Лунев М.И., Павлихина А.В. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России // *Плодородие*. 2012. № 4. С. 5–7.
18. Тенденции и динамика состояния и загрязнения природной среды Российской Федерации. М.: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2008–2021. [Электронный ресурс]. <http://dynamic.igce.ru/soil/2019>
19. Филиппова Т.Е., Иванов Д.А. Методика оценки агрохимических показателей плодородия почвы в условиях агроландшафтного стационара / Совершенствование методики проведения длительных полевых опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. М: Агроконсалт, 2003. 276 с. (217–238). <https://elibrary.ru/item.asp?id=21277793>
20. Чеботарёв Н. Т., Броварова О. В. Эффективность минеральных удобрений и извести при возделывании многолетних трав на дерново-подзолистой почве Республики Коми // *Кормопроизводство*. 2022. № 2. С. 29–33. 10.25685/KRM.2022.2.2022.003
21. Чекмарев П.А., Купреев Е.М., Ермаков А.А. К проблеме кислотности почв Нечерноземной зоны Российской Федерации // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 7. С. 14–19.
22. Чекмарёв П.А., Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально Черноземных областей России // *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 11–22.
23. Якушев В.П., Осипов А.И., Миннулин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв в России // *Агрофизика*. 2013. № 2. С. 18–22.

REFERENCES

1. Baranovskij I.N., Kovalev N.G., Ivanov D.A., Rublyuk M.V. Balans elementov pitaniya v raznyh faciyah konechno-morennogo holma pri vyrashchivanii kartofelya // *Agrohimiya*. 2006. № 4 S. 51–56.
2. Bulatova N.V., Regorchuk N.V. Plodorodie derno-vo-podzolistoj pochvy i urozhajnost' mnogoletnih trav pri dlitel'nom primenenii mineral'nyh udobrenij na fone izvestkovaniya // *Agramaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017. № 5. S. 28–32. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.60.5.28-33>
3. Vil'dflush I.R., Lapa V.V., Mishura O.I. Agrohimiya. Udobreniya i ih primenenie v sovremennom zemledelii: uchebno-metodicheskoe posobie. Gorki: BGSKHA, 2019. 405 s.
4. Gogmachadze G.D., Gogmachadze L.G. O nekotoryh rezul'tatah agroekologicheskogo monitoringa pochv i zemel'nyh resursov Rossijskoj Federacii v 2019 godu // *AgroEkoInfo*. 2021. 4 (46) – 17. DOI: 10.51419/20214410.
5. Ivanov D.A., Abramov V.A. Dinamika urovnya pochvenno-gruntovyh vod v predelakh agrolandshafta // *Melioraciya i vodnoe hozyajstvo*. 2014. № 4. S. 7–9.
6. Ivanov A.I., Konashenkov A.A., Vorob'ev V.A. i dr. Aktual'nye voprosy izvestkovaniya kisllyh pochv Nечернозем'ya // *Agrohimicheskij vestnik*. 2019. № 6. S. 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081.
7. Ivanov D.A., Korneeva E.M., Petrova L.I. I dr. Sozdanie landshaftnogo poligona novogo pokoleniya // *Zemledelie*. 1999. № 6. S. 15–16.
8. Izvestkovanie kisllyh pochv v Rossii: problemy i aktual'nye podhody. Glavagronom. – 2019. [Elektronnyj resurs]. <https://glavagronom.ru/articles/Izvestkovaniekisllyh-pochv-v-Rossii-problemy-i-aktualnye-podhody>
9. Litvinovich A.V. Istoriya izvestkovaniya pochv // *Agrofizika*. 2014. № 2. S. 45–51.
10. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzиков G.P. i dr. Agrohimiya. Uchebnik. M.: Izd-vo VNIIA im. D.N. Pryanishnikova, 2017. 854 s.
11. Novoe reshenie problemy kislotnosti pochv // *Sel'skohozyajstvennye vesti*. 2021. № 2. S. 50–52. <https://agri-news.ru/zhurnal/2021/22021/novoe-reshenie-problemyi-kislotnosti-pochv/>
12. Plohinskij N.A. Biometriya. M.: MGU, 1970. 367 s.
13. Sirotnina E.A., Sorokin I.B. Vliyanie raznyh doz izvesti na agrohimicheskie pokazateli seroj opodzolennoj pochvy i urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur // *Agrohimicheskij vestnik*. 2019. № 4. S. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10052
14. Smirnov A.A., Ivanov D.A., Anciferova O.N. I dr. Planirovanie i provedenie polevyh opytov pri razrabotke landshaftno-meliorativnyh sistem zemledeliya (Metodicheskie rekomendacii). Tver': ChuDo, 2005. 40 s.
15. Sorokin I.B., Sirotnina E.A. Izvestkovanie – odin iz faktorov povysheniya plodorodiya pochv Tomskoj oblasti // *Agrohimicheskij vestnik*. 2019. № 1. S. 7–10. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10002.
16. Suhanov P.A., Komarov A.A. Dinamika agroresursnogo potenciala v hozyajstvah Leningradskoj oblasti // *Agrohimicheskij vestnik*. 2013. № 5. S. 6–7.
17. Sychev V.G., Lunev M.I., Pavliхина A.V. Sovremennoe sostoyanie i dinamika plodorodiya pahotnyh pochv Rossii // *Plodorodie*. 2012. № 4. S. 5–7.

18. Tendencii i dinamika sostoyaniya i zagryazneniya prirodnoj sredy Rossijskoj Federacii. M.: Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Yu.A. Izraelya, 2008–2021. [Elektronnyj resurs]. <http://dynamic.igce.ru/soil/2019>
19. Filippova T.E., Ivanov D.A. Metodika ocenki agrohimičeskikh pokazatelej plodorodiya pochvy v usloviyah agrolandschaftnogo stacionara / Sovershenstvovanie metodiki provedeniya dlitel'nyh polevyh opytov i matematicheskie metody obrabotki eksperimental'nyh dannyh. M: Agrokon-salt, 2003. 276 s. (217–238). <https://elibrary.ru/item.asp?id=21277793>
20. Chebotaryov N.T., Brovarova O.V. Effektivnost' mineral'nyh udobrenij i izvesti pri vozdeľyvanii mnogoletnih trav na dernovo-podzolistoj pochve Respubliki Komi // Kormoproizvodstvo. 2022. № 2. S. 29–33. 10.25685/KRM.2022.2.2022.003.
21. Chekmarev P.A., Kupreev E.M., Ermakov A.A. K probleme kislotnosti pochv Nechernozemnoj zony Rossijskoj Federacii // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017. T. 31. № 7. S. 14–19.
22. Chekmaryov P.A., Lukin S.V. Monitoring plodorodiya pahotnyh pochv Central'no Chernozemnyh oblastej Rossii // Agrohimiya. 2013. № 4. S. 11–22.
23. Yakushev V.P., Osipov A.I., Minnulin R.M., Voskresenskij S.V. K voprosu ob izvestkovanii kislyh pochv v Rossii // Agrofizika. 2013. № 2. S. 18–22.

Поступила в редакцию 14.04.2023

Принята к публикации 28.04.2023