

УДК 631.415:631.445.4:631.821

АЦИДОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ И АДАПТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ

© 2022 г. А. В. Ивойлов

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
430005 Саранск, ул. Большевикская, 68, Россия

E-mail: ivoilov.av@mail.ru

Поступила в редакцию 08.07.2021 г.

После доработки 08.08.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Рассмотрен вопрос ацидизации черноземных почв и факторов, оказывающих влияние на этот процесс. Показано, что интенсивность подкисления почв в естественных условиях вполне соизмерима с интенсивностью ацидизации почв в результате антропогенной деятельности. Предложены адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв, включающие агрохимические, агротехнические и селекционно-генетические мероприятия.

Ключевые слова: кислотности почв, ацидизация черноземов, адаптивные приемы преодоления кислотности, скрининг растений, устойчивость к рН и Al^{3+} .

DOI: 10.31857/S0002188122010070

ВВЕДЕНИЕ

Кислотность почвы — значимый фактор почвенного плодородия, оказывающий существенное влияние на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур [1]. Это одно из важнейших проявлений процессов почвообразования в гумидной и полугумидной зонах Земли, приводящих к возникновению конкретной организации почвенного профиля и к его разделению на горизонты [2]. Кислотность является одним из основных показателей почвенного плодородия, который сильно влияет на подвижность макро- и микроэлементов в почвах, эффективность удобрений, количество и качество урожая сельскохозяйственных культур. Величина данного параметра зависит от особенностей климата и почвообразовательного процесса, степени развития эрозионных процессов, влияния антропогенных факторов [3, 4].

На территории Российской Федерации общая площадь пашни с избыточной кислотностью составляет ≈35 млн га и охватывает большую часть почв тундровой, таежной и лесостепной зон, бурые лесные почвы, солоды и некоторые другие почвы. За послереформенный период (1990–2019 гг.) доля кислых земель в пахотном фонде страны увеличилась на 2%, что связано с резким уменьшением площади известкования и с естественными процессами ацидизации почв [5]. Без оптимизации реакции среды в почве нельзя создать высокопродуктивное земледелие и лугопастбищное

хозяйство, решить продовольственную и экологическую проблемы, обеспечить эффективность факторов интенсификации земледелия [1, 6–8].

Кислотность, обусловленная наличием ионов водорода в почвенном растворе, а также обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе (ППК), и количественно характеризующие ее агрохимические показатели — кислотность активную, обменную и гидролитическую широко исследуют и обсуждают в научной литературе, т.к. это имеет не только теоретическое, но и практическое значение [8–16]. По мнению специалистов, на кислых почвах уменьшается эффективность внесенных удобрений на 30–40% [8, 16–19].

Настоящий обзор посвящен вопросу подкисления черноземных почв и адаптивным приемам ее преодоления.

АЦИДИЗАЦИЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ

В последние десятилетия в ЦЧО, Поволжье и Волго-Вятском экономическом районе, в Алтайском крае наблюдается подкисление черноземных почв, вызванное как выщелачиванием карбонатов из пахотного слоя почвы и выносом их урожаем культур, так и в результате применения физиологически кислых минеральных удобрений, снижения содержания гумуса в пахотном слое почвы, выпадения кислотных дождей [20–33]. Напри-

мер, в пределах Центрального Черноземья доля кислых почв составляет от 28.2 (в Воронежской обл.) до 76.0% (в Тамбовской обл.) [34].

Для пахотных почв лесостепной зоны России в процессе длительного сельскохозяйственного использования присущ устойчивый тренд к подкислению. Основная естественная причина этого – жизнедеятельность растений и микроорганизмов с продуцированием в процессе метаболизма органических кислот и выделением CO_2 , который в почвенном растворе образует угольную кислоту [14, 35–37], процессы гумификации [38, 39] и выщелачивание (вымывание) осадками кальция и магния из пахотного слоя [33, 40], а главная антропогенная причина – интенсивное использование почв в земледелии: отчуждение урожаем ионов кальция, магния (известно, например, что урожаями злаковых зерновых культур ежегодно отчуждается 20–40 кг СаО, гороха, вики, льна – 40–60 кг, картофеля, сахарной свеклы, кукурузы – 60–120 кг, клевера, люцерны, подсолнечника 120–250 кг, капусты – 300–500 кг) [6], а также применение физиологически кислых минеральных удобрений [41–46]. Известно, например, что на кальциевый режим чернозема выщелоченного влияет агрогенез. Например, длительное использование почвы сопровождается снижением валового содержания кальция, преимущественно в результате сокращения резервных неэкстрагируемых соединений. Применение минеральных удобрений способствует активизации этого процесса, повышению содержания водорастворимых и обменно поглощенных форм элемента, а также активности Ca^{2+} и кальциевого потенциала [47]. Вблизи крупных промышленных центров на подкисление почв может влиять выпадение кислотных осадков (рН 3.0–4.0) [14, 33, 44].

Следует добавить, что интенсивность подкисления почв в естественных условиях вполне соизмерима с интенсивностью ацидизации почв в результате антропогенной деятельности (исключая экстремальные катастрофические ситуации) [14, 48, 49].

Повышение кислотности почв сопровождается ухудшением их физических свойств, состава почвенной биоты и изменением доступности растениям элементов питания (макро- и микроэлементов) [1, 6, 8, 42, 50, 51].

АДАПТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ

Кардинальным способом нейтрализации генетически- и антропогенно обусловленной кислотности почв является их известкование. Теоретические и практические положения известкования

как приема химической мелиорации кислых почв Нечерноземной зоны достаточно хорошо обоснованы [1, 6, 8, 42, 50, 51]. Имеются также многочисленные работы, свидетельствующие о необходимости и целесообразности известкования кислых черноземных почв при систематическом применении минеральных удобрений [45, 52–71].

В то же время опубликованы экспериментальные данные, констатирующие и о слабой результативности химической мелиорации черноземов выщелоченных и оподзоленных, и даже о снижении от известкования продуктивности возделываемых культур [72–84]. Имеются сведения, что незначительное повышение кислотности черноземов под влиянием применения минеральных удобрений не всегда сопровождается ухудшением питательного режима почв и снижением урожайности растений. Подкисляющее действие минеральных удобрений на выщелоченных и оподзоленных черноземах, в отличие от дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв, рассматривают как положительный момент, т.к. при этом нередко увеличивается подвижность фосфорных и азотных соединений почвы [85–90].

Недостаточная самообеспеченность современного сельского хозяйства России материальными и энергетическими ресурсами привела в последние двадцать лет к резкому снижению объемов химической мелиорации кислых почв [91–93]. Это обстоятельство, а также неоднозначность экспериментальных данных эффективности известкования кислых и слабокислых черноземных почв, начиная с работ школы Д.Н. Прянишникова в 1900-х гг. [94], создали условия для широкой проработки и применения в сельскохозяйственном производстве адаптивных приемов преодоления их повышенной кислотности. К тому же еще в 30-х годах XX века высказывали соображения, что решение этой проблемы внесением больших количеств известковых материалов для устранения повышенной кислотности почв нельзя признать единственно правильным путем [95, 96].

Исходя из концепции адаптивной интенсификации сельского хозяйства [97, 98] и позиций системного подхода [99–101], была предложена система адаптивных приемов преодоления повышенной кислотности черноземных почв, включающая комплексное использование агрохимических, агротехнических и селекционно-генетических мероприятий [81, 102–105] (рис. 1).

Блок агрохимических мероприятий по устранению и/или преодолению повышенной кислотности, наряду с внесением известковых удобрений, включает хорошо известные в агрономической практике приемы, увеличивающие устойчивость растений к повышенному содержанию в почве ионов H^+ и Al^{3+} : внесение органических удобрений

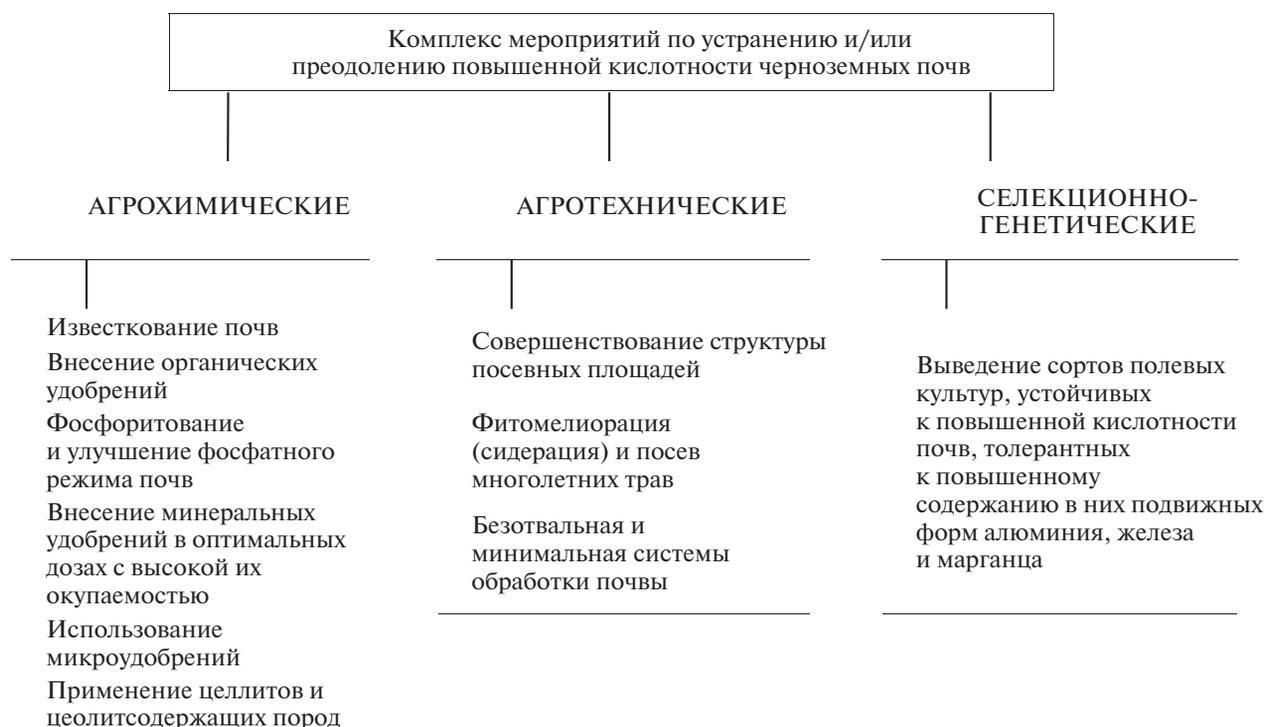


Рис. 1. Комплекс мероприятий по устранению и/или преодолению повышенной кислотности черноземов.

ний в высоких дозах (6–12 т/га севооборотной площади в год), улучшение фосфатного режима почв, применение минеральных удобрений в оптимальных дозах, внесение природных цеолитов, применение микроудобрений.

Известно, что гуминовые кислоты и фульвокислоты играют существенную роль в снижении или полной ликвидации вредного влияния алюминия на растения [106, 107], поэтому применение органических удобрений способствует сдерживанию их вредного влияния на рост и развитие растений. По мере повышения содержания органического вещества в почве, осаждение фитотоксичных соединений сдвигается в более кислый диапазон. Поэтому на высокогумусированных почвах оптимальная величина рН находится в более кислой области [108].

Кроме этого, еще в 80-х гг. XX в. было установлено, что не кальций почвенно-поглощающего комплекса удерживает гумус в соответствующем горизонте почвы, а, напротив, черные гуминовые кислоты, содержащиеся в большом количестве в черноземах (до 35% от общего углерода гумуса), прочно связывают и удерживают Ca^{2+} , тем самым, сдерживая подкисление почвы [109]. При этом процессы подкисления, декальцинации и дегумификации тесно связаны между собой [110]. При повышенном (150–250 мг/кг) содержании подвижных фосфатов в почве оптимум pH_{KCl} для конкретных культур снижается на

0.3–0.5 ед. [44]. На высоких фосфатных фонах при внесении фосфорных удобрений фитотоксичность кислой почвы снижается [108], и известкование не оказывает существенного влияния на продуктивность полевого севооборота [111]. К снижению кислотности почв приводит использование карбонатных цеолитсодержащих пород [112–114].

Блок агротехнических приемов предусматривает для конкретных землепользований совершенствование структуры посевных площадей путем подбора и возделывания культур, сортов и гибридов, устойчивых к повышенной кислотности почв [101], использование безотвальных и минимальной систем обработок почвы, снижающих темпы дегумификации и декальцинации обрабатываемого слоя [115, 116], проведение фитомелиорации (сидерации) и возделывание многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей [101, 117]. Например, под многолетними травами потери кальция, магния, серы, азота снижаются на 30–40% по сравнению с зерновыми и пропашными культурами [40].

Совершенствование структуры посевных площадей в современных условиях является определяющим и организующим моментом комплекса мер по преодолению повышенной кислотности в конкретных хозяйствах, разработки всех звеньев системы земледелия для конкретных землепользований. Общеизвестно, что сельскохозяйствен-

ные культуры имеют различную чувствительность к кислотности почвы, содержанию в почве карбонатов, подвижных форм алюминия и марганца, отзывчивость на известкование [1, 6, 8, 17, 42, 50, 51, 101]. Кроме того, известна сортовая специфичность растений в устойчивости к H^+ и Al^{3+} -ионам, которая нередко более сильная, чем видовая [16, 118–121]. Поэтому улучшение структуры посевных площадей путем подбора и возделывания культур, сортов и гибридов, устойчивых к повышенной кислотности, проведение внутрихозяйственного землеустройства, выделение и организация севооборотов должны базироваться на дифференцированном размещении культивируемых видов и сортов в агроландшафтах и с учетом кислотности почвы. Например, на участках с повышенной кислотностью целесообразно размещать и возделывать сельскохозяйственные растения, устойчивые к повышенной кислотности почвы, вводить и осваивать севообороты, насыщенные рожью, овсом, просом, гречихой, картофелем и др.

Селекционно-генетический блок направлен на скрининг и выведение сортов и гибридов полевых культур, устойчивых к кислотности почв и толерантных к повышенному содержанию в них подвижного алюминия [122–132]. Этому способствует наличие как огромных площадей кислых почв в России, так и удорожание работ по известкованию почв. Получение сортов с комплексной устойчивостью к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям возделывания актуально особенно в селекции зерновых культур и альтернативно к химической мелиорации для преодоления алюмотоксичности кислых почв [133].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный комплекс взаимосвязанных мероприятий отвечает требованиям экономической целесообразности, технической осуществимости, социальной оправданности и экологической допустимости.

Устранение вредного влияния повышенной кислотности черноземных почв комплексом взаимосвязанных агрохимических, агротехнических и селекционно-генетических мер будет способствовать сохранению и росту эффективного плодородия почв, снижению энергетических и материальных затрат на проведение известкования (экономию известковых материалов до 20–40% и более).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шильников И.А., Сычёв В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как

фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 339 с.

2. Кокотов Ю.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф. Анализ показателей кислотности почвенного профиля и их связи с процессом почвообразования // Почвоведение. 2016. № 1. С. 3–10.
3. Плодородие черноземов России / Под ред. Н.З. Милашенко. М.: Агроконсалт, 1998. 688 с.
4. Аbrukова В.В., Букреев Д.А., Васенев И.И., Васенева Э.Г., Володин В.М., Дайнеко Е.К., Дудкин В.М., Ермаков В.В., Козловский Ф.И., Коновалов С.Н., Крупеников И.А., Лобков В.Т., Масютенко Н.П., Овечкин С.В., Панина Н.А., Проценко А.А., Рожков А.Г., Савин И.Ю., Сотников И.Н., Хижняк Т.А., Шульга П.С., Шульга С.А., Щеглов Д.И., Щербаков А.П. Агроэкологическое состояние почв ЦЧО / Под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск: ВНИИЗЗПЭ, 1996. 326 с.
5. Иванов А.Л., Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К., Петросян Р.Д., Шилов П.М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168–187.
6. Известкование кислых почв / Под ред. Н.С. Авдонина, А.В. Петербургского, С.Г. Шедерова. М.: Колос, 1976. 304 с.
7. Юлушев И.Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП. М.: Академический проект; Киров: Константа, 2005. 368 с.
8. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
9. Чернов В.А. О природе почвенной кислотности. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 187 с.
10. Thomas G.W., Hargrove W.L. The Chemistry of soil acidity. in soil acidity and liming / Ed. F. Adams. Madison: Agronomy Monograph. Am. Soc. Of Agronomy, 1984. 274 p.
11. Donald L. Environmental soil chemistry. Elsevier: Academic Press. 2003. 352 p.
12. Handbook of Soil Acidity / Ed: Zelenko Rengel. CRC Press, Marsel Dekker, 2003. 496 p.
13. Воробьева Л.А., Авдонькин А.А. Потенциальная кислотность. Понятия и показатели // Почвоведение. 2006. № 4. С. 421–431.
14. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.
15. Khan Towhid Osman. Forest Soils. Properties and Management. Springer, 2013. 217 p.
16. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ЛНИИСХ РАСХН, 2010. 254 с.
17. Шильников И.А., Аканова Н.И. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях // Агрохим. вестн. 2008. № 6. С. 28–31.

18. Якушев В.П., Осипов А.И., Миннулин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв России // *Агрофизика*. 2013. № 2 (10). С. 18–22.
19. Державин Л.М. Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях при модернизации земледелия // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 18–29.
20. Кузнецов А.В., Павлихина А.В. Кислотность пахотных почв Российской Федерации // *Вопросы известкования почв* / Под ред. И.А. Шильникова, Н.И. Акановой. М.: Агроконсалт, 2002. С. 109–112.
21. Алиев Ш.А., Нуриев С.Ш., Шакиров В.З. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан // *Там же*. С. 21–22.
22. Ивойлов А.В. Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов Республики Мордовия // *Вопросы известкования почв* / Под ред. И.А. Шильникова и Н.И. Акановой. М.: Агроконсалт, 2002. С. 74–78.
23. Соловichenко В.Д., Азаров В.Б., Авраменко П.М., Смык А.В., Акулов П.Г., Азаров Б.Ф., Шелганов И.И. Кислотно-основное состояние черноземов юго-западной части ЦЧЗ и факторы, ее определяющие // *Там же*. С. 175–180.
24. Лукин С.В., Авраменко П.М. Изменение кислотности почв Белгородской области в процессе сельскохозяйственного использования // *Агрохимия*. 2006. № 12. С. 11–15.
25. Есаулко А.Н. Пути оптимизации систем удобрений в севооборотах Центрального Предкавказья. Ставрополь: Агрус, 2006. 304 с.
26. Сискевич Ю.И. Мониторинг кислотности сельхозугодий Липецкой области // *Плодородие*. 2007. № 1. С. 4–5.
27. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг кислотности пахотных почв Центрально-Черноземного района // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2011. № 7. С. 6–8.
28. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 11–22.
29. Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Порошков И.Ф. Известкование кислых почв Воронежской области // *Земледелие*. 2014. № 6. С. 5–7.
30. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв ЦЧО России // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2015. № 9. С. 17–20.
31. Назарова И.В., Даммер В.А. Динамика плодородия пахотных почв Алтайского края // *Земледелие*. 2017. № 8. С. 11–14.
32. Корчагин В.И., Куницин Д.А., Кошелев Ю.А., Мишуков С.В., Зэфирис В.К., Фирсов А.В., Жабин М.А. Эколого-агрохимический мониторинг плодородия почв Воронежской области // *Земледелие*. 2017. № 7. С. 10–15.
33. Сискевич Р.Ю., Корчагин Е.В., Косикова Н.А. Химическая мелиорация земель сельскохозяйственного назначения // *Земледелие*. 2021. № 2. С. 14–17.
34. Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв юго-западной части Центрально-Черноземного района России // *Агрохимия*. 2021. № 3. С. 3–14.
35. Добровольская Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. М.: Академкнига, 2002. 283 с.
36. Ehrlich H.L. Geomicrobiology. N.Y., Basel: Marcel Dekker Inc., 2002. 768 p.
37. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
38. Орлов Д.С. Гуминовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
39. Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты / пер. с англ. О.Д. Масаловой, Д.С. Орлова. М.: Мир, 1991. 400 с.
40. Шильников И.А., Сычѳв В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н., Кизинѳк С.В. Потери элементов питания растений в агробиологическом круговороте веществ и способы их минимизации. М.: ВНИИА, 2012. 351 с.
41. Жукова Л.М. Влияние систематического применения удобрений на физико-химические свойства различных почв // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: Колос, 1980. С. 41–60.
42. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 171 с.
43. Мартынович Л.И., Мартынович Н.Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного в центральной лесостепи Правобережья Украины. Сообщ. 5. Влияние систематического применения удобрений в зерносевообороте на некоторые агрохимические свойства почвы // *Агрохимия*. 1992. № 9. С. 53–62.
44. Хомяков Д.М. Изменение кислотности природной среды и известкование почв в регионах с гумидным климатом // *Агрохимия*. 2000. № 3. С. 81–91.
45. Надежкин С.М., Лебедева Т.Б., Надежкина Е.В. Экологические аспекты известкования черноземов. М.: Агроконсалт, 2005. 276 с.
46. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Исупова Ю.А. Плодородие и физикохимические свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при длительном применении минеральных удобрений // *Почвовед. и агрохим.* 2012. № 2 (49). С. 233–239.
47. Шеуджен А.Х., Бочко Т.Ф., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // *Научн. журн. КубГАУ*. 2015. № 105 (01). С. 1–12. <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/035.pdf>
48. De Vries W., Breeuwsma A. Relative importance of natural and anthropogenic proton sources in soils in the Netherlands // *Water Air Soil Pollut.* 1986. № 28. P. 173–184.
49. De Vries W., Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling // *Water Air Soil Pollut.* 1987. № 35. P. 293–310.
50. Корнилов М.Ф., Небольсин А.Н., Семенов В.А., Козловский Е.В., Зяблов В.А. Известкование кислых

- почв Нечерноземной полосы СССР / Под ред. Н.А. Сапожникова. Л.: Колос, 1971. 256 с.
51. *Козловский Е.В., Небольсин А.Н., Алексеев Ю.В., Чуриков П.А.* Известкование почв. Л.: Колос, 1983. 286 с.
 52. *Бровкина Е.А.* Известкование почв в Лесостепи УССР и Центрально-Черноземной полосе РСФСР: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Киев: ВНИИС, 1967. 40 с.
 53. *Бровкина Е.А.* Известкование почв в районах свеклосеяния. Киев: Урожай, 1976. 88 с.
 54. *Бесков И.Х.* Известкование черноземов и серых лесных почв. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1967. 67 с.
 55. *Бесков И.Х.* Об эффективности известкования черноземных почв // Вестн. сел.-хоз. наук. 1970. № 3. С. 11–17.
 56. *Мещанов В.Н.* Известкование кислых почв: Из опыта передовых хозяйств и агрохимической службы ТАССР. М.: Россельхозиздат, 1982. 64 с.
 57. *Андрюанов А.А.* Эффективность сочетания доз извести и минеральных удобрений на дерново-подзолистых, серых лесных и черноземных почвах Чувашской АССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1985. 26 с.
 58. *Ивойлов А.В.* Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и плодородие выщелоченного чернозема: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1988. 20 с.
 59. *Богомазов Н.П.* Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном черноземе: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВИУА, 1988. 20 с.
 60. *Вислобокова Л.Н., Бодров В.П.* Известкование чернозема и урожайность ячменя // Земледелие. 1988. № 7. С. 41.
 61. *Бодров В.П., Вислобокова Л.Н.* Эффективность известкования средневщелоченного чернозема // Химизация сел. хоз-ва. 1988. № 3. С. 66–68.
 62. *Вислобокова Л.Н.* Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном черноземе: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1993. 22 с.
 63. *Бурганов Ф.Г.* Оптимизация известкования дерново-подзолистых, серых лесных, выщелоченных и оподзоленных черноземов в условиях Татарстана: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., ВИУА, 1993. 27 с.
 64. *Гришин Г.Е.* Эффективность известкования выщелоченных и оподзоленных черноземов в сочетании с минеральными удобрениями в условиях лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВИУА, 1995. 22 с.
 65. *Лебедева Т.Б., Гришин Г.Е.* Влияние доломитовой муки и минеральных удобрений на кислотность черноземов выщелоченного и оподзоленного лесостепи Среднего Поволжья // Агрохимия. 1996. № 10. С. 65–69.
 66. *Мязин Н.Г.* Влияние применения удобрений и мелиорантов на показатели почвенного плодородия // Агрохимия. 1997. № 2. С. 26–30.
 67. *Надежкин С.М., Лебедева Т.Б., Арефьева М.В.* Влияние известкования и применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность зернопропашного севооборота // Агрохимия. 2006. № 10. С. 5–14.
 68. *Лукманов А.А., Нуриев С.Ш., Гайров Р.Р., Муратов М.Р.* Эффективность известкования черноземов Республики Татарстан // Пробл. агрохим. и агроэкол. 2011. № 4. С. 3–7.
 69. *Нечаев Л.А., Коротеев В.И.* Известкование почв в Орловской области // Земледелие. 2012. № 7. С. 11–13.
 70. *Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Порошков И.Ф.* Известкование кислых почв Воронежской области // Земледелие. 2014. № 6. С. 5–7.
 71. *Абдуллин М.М., Мустафина Л.Р.* Влияние известкования выщелоченных черноземов на продуктивность люцерны // Аграрн. наука. 2016. № 10. С. 2–5.
 72. *Орлов В.П., Князева Л.Д.* Влияние известкования на подвижность фосфатов в выщелоченном черноземе // Бюл. НТИ ВНИИ зернооб. и круп. культур. Т. 20. Орел, 1978. С. 63–67.
 73. *Орлов В.П., Князева Л.Д.* Влияние известкования выщелоченного чернозема на подвижность фосфатов в почве и урожай растений // Агрохимия. 1980. № 1. С. 35–38.
 74. *Леплявченко Л.П.* Влияние систематического применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема Кубани: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 1985. 25 с.
 75. *Бровкин В.И.* Влияние извести на урожай культур на выщелоченных черноземах северной лесостепи европейской части СССР // Агрохимия. 1985. № 5. С. 67–72.
 76. *Бровкин В.И.* Применение извести и фосфоритной муки на черноземах северной лесостепи // Химия в сел. хоз-ве. 1985. № 5. С. 11–12.
 77. *Ивойлов А.В., Бессонова М.Н.* Сравнительная эффективность различных систем удобрения в полевом севообороте на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом // Агрохимия. 1992. № 11. С. 50–57.
 78. *Богомазов Н.П.* Эколого-агрохимическая эффективность удобрений на выщелоченных черноземах: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1994. 45 с.
 79. *Бровкин В.И.* Влияние удобрений на продуктивность культур и свойства почвы в третьей ротации зернового севооборота на выщелоченном черноземе Тульской области // Агрохимия. 1996. № 11. С. 61–68.
 80. *Нетребенко Н.Н.* Эффективность удобрений на выщелоченных черноземах юго-западной части ПЧЗ России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1996. 23 с.
 81. *Ивойлов А.В.* Эколого-агрохимическая оценка удобрений на выщелоченных черноземах лесостепи: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1997. 44 с.
 82. *Бровкин В.И.* Влияние известкования на урожай сельскохозяйственных культур и свойства чернозема выщелоченного Тульской области // Агрохимия. 2000. № 2. С. 54–58.

83. *Небытов В.Г.* Влияние известкования на агрохимические показатели чернозема выщелоченного, урожайность культур в севообороте при применении минеральных удобрений // *Агрохимия*. 2004. № 9. С. 48–55.
84. *Бровкин В.И.* Влияние удобрений на продуктивность культур в пятой ротации зернового севооборота на выщелоченном черноземе Тульской области // *Агрохимия*. 2008. № 4. С. 52–58.
85. *Соболев Ф.Е., Чернецкий А.И.* Действие различных доз и сочетаний навоза и минеральных удобрений в свекловичном севообороте // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборота. Вып. 1. М.: Сельхозгиз, 1960. С. 126–143.
86. *Гупало М.Г., Кудзин Ю.К., Ремесло В.Н., Сухобрус С.В.* Влияние длительного применения удобрений на продуктивность некоторых культур при бесменном посеве и на агрохимические свойства черноземной почвы лесостепи УССР // Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: Колос, 1964. Вып. II. С. 251–281.
87. *Кудзин Ю.К., Губенко В.А.* Влияние 55-летнего систематического применения удобрений на запасы и формы минеральных фосфатов в черноземной почве // *Агрохимия*. 1968. № 10. С. 3–8.
88. *Адерихин П.Г.* Фосфор в почвах и земледелии ЦЧЗ. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970. 248 с.
89. *Кудзин Ю.К., Губенко В.А., Попова В.Т., Ярошевич И.В.* Мобилизация запасов фосфора в черноземе и зафосфачивание при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 1970. № 7. С. 31–37.
90. *Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н.* Изменение физикохимических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // *Агрохимия*. 2021. № 2. С. 37–46.
91. *Державин Л.М.* Современное состояние использования удобрений в России // *Агрохимия*. 1998. № 1. С. 5–12.
92. *Державин Л.М.* Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации // *Агрохимия*. 2010. № 9. С. 3–18.
93. *Сычев В.Г., Шафран С.Г., Виноградова С.Б.* Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
94. *Прянишников Д.Н.* К вопросу об известковании (по данным вегетационных опытов) // *Избр. произвед.* В 3-х тт. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. М.: Колос, 1965. С. 593–605.
95. *Люддегорд Г.* Влияние климата и почвы на жизнь растений / пер. с нем. М.: Сельхозгиз, 1937. 387 с.
96. *Вильямс В.Р.* Основы земледелия. М.: Сельхозгиз, 1945. С. 168–170.
97. *Жученко А.А.* Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. 148 с.
98. *Жученко А.А.* Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 274 с.
99. *Образцов А.С.* Системный метод: применение в земледелии. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
100. *Литвак Ш.И.* Системный подход к агрохимическим исследованиям. М.: Агропромиздат, 1990. 220 с.
101. *Кирюшин В.И.* Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
102. *Ивойлов А.В.* Адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв // XXVI Огаревские чтения: Тез. докл. науч. конф. Саранск, 1997. С. 27.
103. *Ивойлов А.В.* Преодоление повышенной кислотности почв в условиях адаптивного земледелия // Современные аспекты адаптивного земледелия: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Йошкар-Ола, 1998. С. 201–203.
104. *Ивойлов А.В.* Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов Республики Мордовия // 60 лет Географической сети опытов с удобрениями. Бюл. ВИУА. № 114. М., 2001. С. 98–99.
105. *Ивойлов А.В.* Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов: Монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 264 с.
106. *Тотев Т.П.* К вопросу о токсичности Al, Mn и Fe в светло-серой лесной (псевдоподзолистой) почве // *Агрохимия*. 1979. № 1. С. 95–102.
107. *Палавеев Т., Тотев Т.* Кислотность почв и методы ее устранения / перевод с болг. Е.И. Григорьева, А.П. Смирнова. М.: Колос, 1983. 165 с.
108. *Осипов А.И., Минин В.Б., Небольсин А.Н.* Как выбрать оптимальную дозу известки // *Агрохим. вестн.* 1998. № 5–6. С. 35–36.
109. *Пономарева В.В.* Некоторые свойства гуминовых кислот, их значение для земледелия и мелиорации // *Агрохимия*. 1979. № 1. С. 77–84.
110. *Алексеева Т.Н., Безденежных Л.А.* Повышение кислотности почв сельскохозяйственных земель // *Экологічна безпека*. 2010. № 1 (9). С. 43–46.
111. *Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н.* Действие и последствия фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования // *Агрохимия*. 2007. № 10. С. 14–23.
112. *Ахметов Ш.И., Ивойлов А.В., Новиков В.В.* Изменение основных агрохимических показателей чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого под влиянием возрастающих доз цеолита // XXVIII Огаревские чтения (Естественные и технические науки). Саранск, 1999. С. 181–182.
113. *Ахметов Ш.И., Ивойлов А.В., Новиков В.В.* Влияние возрастающих доз цеолита на физико-химические показатели чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого // Критические технологии в регионах с недостатком природных ресурсов: Мат-лы регион. научн.-практ. конф. Саранск, 2000. С. 93–94.
114. *Ахметов Ш.И., Новиков В.В., Ивойлов А.В.* Результаты агрохимической и экологической оценки

- природных цеолитов Мордовии // Проблемы фосфора и комплексное использование нетрадиционного минерального сырья в земледелии: сб. науч. тр. М.: ВНИПТИХИМ, 2000. С. 357–363.
115. *Ивоилов А.В.* Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого под влиянием удобрений и различных способов основной обработки почвы // *Агрохимия*. 1992. № 4. С. 64–68.
 116. *Рогожин Д.О.* Состояние органического вещества и физические свойства черноземов обыкновенных и южных при переходе от традиционной к нулевой обработке: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2020. 21 с.
 117. *Чуян О.Г.* Комплексное влияние агрогенных факторов на кислотность чернозема типичного на склонах // 60 лет Географической сети опытов с удобрениями. Бюл. ВИУА. № 114. М., 2001. С. 181–182.
 118. *Климашевский Э.Л.* О неодинаковой устойчивости разных сортов кукурузы к кислотности питательного раствора // *Агрохимия*. 1966. № 4. С. 98–106.
 119. *Климашевский Э.Л.* О некоторых аспектах повышения эффективности удобрений // *Агрохимия*. 1976. № 10. С. 141–150.
 120. *Климашевский Э.Л.* Теория агрохимической эффективности растений // *Агрохимия*. 1990. № 1. С. 131–148.
 121. *Климашевский Э.Л.* Генетический аспект минерального питания растений. М.: Агропромиздат, 1991. 415 с.
 122. *Южанина Е.Н., Лисицин Е.М., Рубцова Н.Е.* Оценка относительной кислотоустойчивости сортов овса и ячменя методом водной культуры // Эколого-агрохимические, технологические аспекты развития земледелия Среднего Поволжья и Урала: тез. докл. конф. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1995. С. 117.
 123. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Результаты клеточной селекции ячменя на устойчивость к алюмокислородному стрессу // Пути решения проблем повышения адаптивности, продуктивности и качества зерновых и кормовых культур: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Самара, 2003. С. 12–13.
 124. *Баталова Г.А.* Адаптивная селекция зерновых культур на Евро-Северо-Востоке России // Там же. С. 16–17.
 125. *Щенникова И.Н., Шуплецова О.Н., Бутакова О.И.* Оценка сортов ярового ячменя на кислотоустойчивость (Al^{3+}) // Тр. по прикл. бот., ген. и селекции. 2009. Т. 165. С. 174–177.
 126. *Широких И.Г., Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Получение *in vitro* форм ячменя, устойчивых к токсическому действию алюминия в кислых почвах // Биотехнология. 2009. № 3. С. 40–48.
 127. *Баталова Г.А., Широких И.Г., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Русакова И.И., Абубакирова Р.И., Жуйкова О.А.* Некоторые результаты и вопросы методологии селекции овса на устойчивость к эдафическому стрессу // *Аграрн. наука Евро-Северо-Востока*. 2015. № 4 (47). С. 9–15.
 128. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе // *Вавилонский журн. генет. и селекции*. 2016. № 20 (5). С. 623–628.
 129. *Широких И.Г., Ашихмина Т.Я.* Повышение толерантности к алюминию на кислых почвах методами биотехнологии (обзор) // *Теор. и прикл. техн.* 2016. № 2. С. 12–19.
 130. *Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н.* Средаобразующая активность корневой системы регенерантов ячменя в условиях токсичности кислых почв // *Аграрн. наука Евро-Северо-Востока*. 2018. № 4 (65). С. 42–48.
 131. *Шуплецова О.Н.* Селективные системы *in vitro* для получения генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к почвенным стрессовым факторам: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2019. 46 с.
 132. *Носкова Е.Н., Зайцева И.Ю.* Оценка устойчивости сортов ярового ячменя к токсичности алюминия // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V Международ. научн.-практ. конф.* Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 105–108.
 133. *Неттевич Э.Д.* Избр. тр. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур. М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2008. 348 с.

Acidogenic Degradation of Black Carth Soils and Adaptive Methods of Its Overcoming

A. V. Ivoilov

Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya ul. 68, Saransk 430005, Russia

E-mail: ivoilov.av@mail.ru

The review considers the issue of acidization of chernozem soils and factors that influence this process. It is shown that the intensity of soil acidification under natural conditions is quite comparable with the intensity of soil acidification as a result of anthropogenic activity. Adaptive methods of overcoming the increased acidity of chernozem soils are proposed, including agrochemical, agrotechnical and selection-genetic measures.

Key words: soil acidity, acidization of chernozems, adaptive methods for overcoming acidity, screening of plants, resistance to pH and Al^{3+} .