

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62)

doi: 10.31360/2225-3068-2018-66-160-167

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИЗМЕНЕНИЙ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ СУБТРОПИКОВ РОССИИ В ХОДЕ АГРОГЕННОЙ АЦИДИЗАЦИИ ПОД КУЛЬТУРОЙ ЧАЯ

Козлова Н. В., Керимзаде В. В.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru.*

Проведено изучение сопряжённых изменений показателей кислотного-основного состояния бурых лесных кислых почв, достигших разной степени ацидизации в итоге 27-летнего применения различных доз минеральных удобрений (НПК) в многофакторном полевом опыте на культуре чая, в условиях влажных субтропиков России. Показано, что изучаемые показатели находятся между собой в тесной прямой или обратной взаимосвязи ($r = \pm 0,89-0,99$). Характер взаимосвязанных изменений представлен графически и аппроксимирующими линейными функциями. Установлено, что снижение pH_{KCl} на 0,1 единицу в среднем соответствовало: росту гидролитической и обменной кислотностей на 1,66 и 0,88 мг-экв/100 г, подвижного алюминия на 7,92 мг/100 г; снижению суммы обменных кальция и магния на 0,93 мг-экв/100 г и степени насыщенности оснований на 3,82 %.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайные плантации, кислотно-основные свойства, минеральные удобрения, ацидизация, влажные субтропики России.

Кислотно-основные свойства почв являются определяющими при оценке их чаепригодности и уровня потенциального плодородия для культуры чая [3, 10]. При этом они могут достаточно быстро и существенно изменяться в процессе возделывания чайных плантаций. Подкисление почв (ацидизация) при длительном возделывании чая характерно и проявляется в разной степени на разных типах почв в различных чаепроизводящих регионах мира [2, 4, 6, 11–15], что связано с особенностями технологии возделывания чая. Многими исследованиями показано [4–8, 11, 12, 14], что ведущую роль в этом процессе играют (как напрямую, так и косвенно) азотные удобрения, как правило, физиологически кислые, которые применяются на исходно кислых почвах

без нейтрализации. С точки зрения плодородия почв применительно к культуре чая (типичного ацидо- и алюмофила) ацидизация может рассматриваться положительно. Однако она является признаком нарушения генетически обусловленного равновесия в почве, а в сильной степени может привести к серьезным трансформационным процессам [5, 11, 13]. Поэтому кислотные свойства почв чайных плантаций в первую очередь входят в комплекс критериев оценки агрогенных изменений их общего состояния [9].

Детальное изучение процессов изменения кислотно-основного состояния почв чайных плантаций в зависимости от интенсивности и длительности их эксплуатации в условиях чаепроизводящего региона России (Черноморское побережье Краснодарского края) проведено на базе длительного многофакторного полевого опыта с удобрениями. Опыт заложен на одной из лучших чайных почв – бурой лесной кислой (г. Сочи, пос. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»), на молодой чайной плантации 1983 г. посадки. В период 1986–2012 гг. изучены 16 вариантов различных сочетаний доз NPK в широком диапазоне N 0–600 P 0–180 K 0–150 кг д.в./га. В результате 27-летней эксплуатации с различными схемами применения удобрений варианты опыта представляют собой модельные миниплантации, почвы которых достигли различного уровня плодородия и разной степени ацидизации.

Механизмы развития ацидизации и связанных с ней процессов трансформации комплекса других структурно-функциональных свойств бурых лесных кислых почв чайных плантаций раскрыты в серии работ [5, 8, 11]. Показано, что ацидизация проявляется в существенном повышении их потенциальной (гидролитической) и обменной кислотностей (и, соответственно, снижении показателей pH). При этом рост кислотоопределяющих компонентов происходит за счёт органических компонентов на фоне накопления гумуса и повышения подвижности и агрессивности гумусовых кислот, а также за счёт алюминия (определяющего на 99 % обменную кислотность) в результате его биогенного накопления и повышения подвижности. Это сопровождается снижением содержания обменных кальция и магния, их доли в общей сумме обменных катионов (при соответствующем росте доли алюминия) и степени насыщенности почв основаниями. Итоговые изменения комплекса кислотно-основных показателей за 27-летний период и средняя скорость этих изменений в зависимости от доз и общей нагрузки удобрениями, а также их оценка с точки зрения повышения уровня потенциального плодородия почв и продуктивности чайных плантаций в сопоставлении с целесообразным и экологически безопасным для почв уровнем ацидизации подробно рассмотрены в ранее опубликованных работах [6, 7].

Наличие в пределах одного опытного участка и исходно одного типа почв большой группы модельных миниучастков (вариантов опыта), почва которых, постепенно изменяясь, приобрела в разной степени отличные от исходных (и между собой) кислотно-основные свойства, позволило установить характер взаимосвязи сопряжённых изменений в виде математических функций. Это интересно с теоретической и практической точек зрения, и представлено в данной работе.

Был проведён анализ блока данных, характеризующих кислотно-основные свойства 150 образцов почв модельных чайных плантаций с различной степенью ацидизации, а также почвы леса (фонового участка), охватывающих широкий диапазон значений изучаемых показателей в выборке (табл. 1). Лабораторные исследования почвенных образцов проведены по общепринятым методикам [1]: pH_{KCl} – потенциометрически; гидролитическая кислотность – по Каппену; подвижный алюминий – по Соколову; обменные кальций и магний – трилонометрически; степень насыщенности основаниями – расчётная. Обработка экспериментальных данных проведена в программе Microsoft Excel, для представления взаимосвязей показателей выбраны аппроксимирующие линейные функции и корреляции.

Таблица 1

Диапазоны значений в анализируемой выборке (n = 150)

Показатели	pH_{KCl}	Гидролитическая кислотность	Подвижный алюминий	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями, %
Минимум	2,84	9,52	0,13	1,27	3,95
Максимум	4,61	36,79	14,13	17,47	61,36

Как уже отмечалось ранее, изменения показателей кислотно-основного состояния бурых лесных кислых почв в процессе ацидизации при возделывании чая тесно взаимосвязаны (находятся между собой в прямой или обратной связи), что подтверждает корреляционный анализ выборки данных (табл. 2), а изменения показателей pH_{KCl} являются результатом и отражением изменения всего комплекса кислотно-основных свойств.

Характер связи сопряжённых изменений показателей pH_{KCl} с другими показателями этой группы представлен на рисунке 1. Линии аппроксимации показывают, что снижение pH_{KCl} на 0,1 единицу в среднем соответствовало: росту гидролитической кислотности на 1,66 мг-экв/100 г, обменной кислотности и подвижного алюминия на 0,88 мг-экв/100 г (или 7,92 мг Al/100 г); снижению суммы обменных кальция и магния на 0,93 мг-экв/100 г и степени насыщенности оснований на 3,81 %.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между кислотно-основными показателями бурых лесных кислых почв

Показатели	pH_{KCl}	Гидролитическая кислотность	Подвижный алюминий	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности основаниями
Гидролитическая кислотность	-0,95	1,00			
Подвижный алюминий	-0,91	0,93	1,00		
Сумма обменных оснований	0,89	-0,91	-0,91	1,00	
Степень насыщенности основаниями	0,93	-0,95	-0,95	0,99	1,00

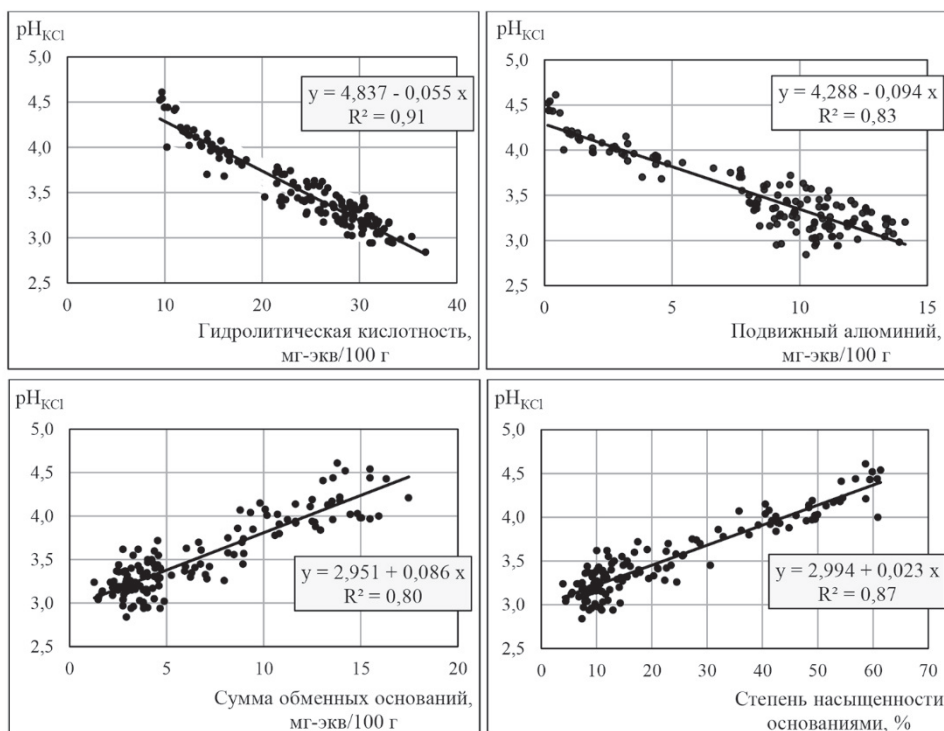


Рис. 1. Связь изменений показателей pH_{KCl} с другими кислотно-основными свойствами бурых лесных кислых почв в ходе ацидизации под культурой чая (R^2 – достоверность аппроксимации)

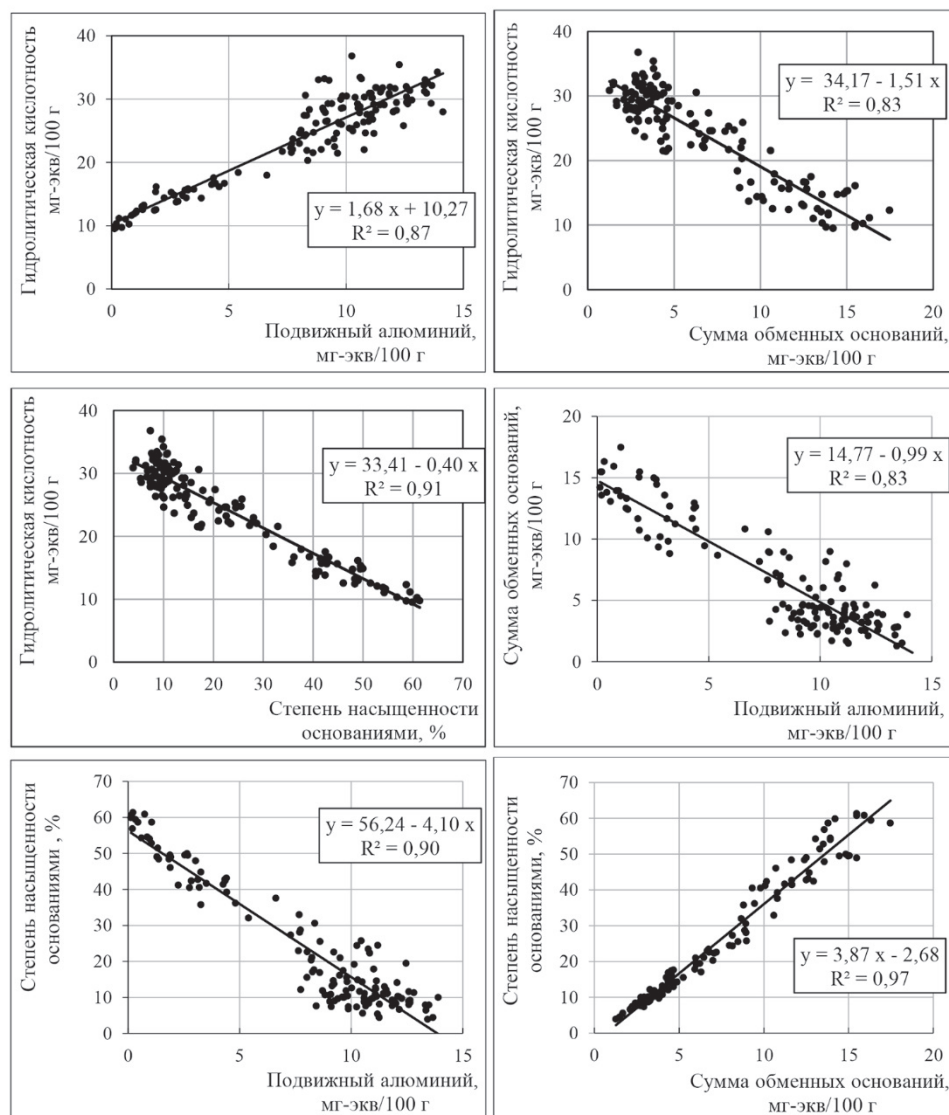


Рис. 2. Взаимосвязи различных пар показателей кислотно-основного состояния бурых лесных кислых почв модельных чайных плантаций (R^2 – достоверность аппроксимации)

Так, к примеру, рост содержания подвижного алюминия в почве на 10 мг-экв/100 г (или 90 мг/100 г) будет соответствовать росту гидролитической кислотности в среднем на 16,8 мг-экв/100 г, снижению pH_{KCl} на 0,94 единицы, снижению суммы обменных оснований на 9,9 мг-экв/100 г и степени насыщенности основаниями на 40,5 %. Кроме того, можно ориентировочно оценить значение любого из показателей, зная значение любого другого. Например, если pH_{KCl} почвы

3 единицы, то гидролитическая кислотность будет близка к 33 мг-экв/100 г, обменный алюминий – около 13 мг-экв/100 г (117 мг/100 г), сумма обменных оснований – около 2 мг-экв/100 г, и т. д. Расчётные значения будут тем ближе к фактическим, чем теснее связь показателей и выше достоверность аппроксимации (R^2).

Хотя формирование и структура кислотно-основных свойств носят общий характер для различных почв, вклад отдельных кислотоопределяющих компонентов и взаимосвязи между показателями по-видимому различны и индивидуальны. В одной из публикаций, посвящённых подкислению почв при выращивании чая в восточном Китае [15], обсуждается взаимосвязь между содержанием обменного (подвижного) алюминия и pH почв, классифицированных авторами как Alfisols (альфисоли) на основе таксономии почв США) (рис. 3а). Алюминий экстрагировали тем же раствором (1,0 моль/л KCl), что и по методу Соколова; pH почвы определяли в суспензии почвы с деионизированной водой в соотношении 1 : 2,5 (в отличие от pH_{KCl} в нашем случае). Это позволяет провести некоторое сравнение со взаимосвязью показателей pH и алюминия в изучаемых нами почвах (рис. 3б). Расчёты показывают, что в случае альфисолей Китая снижение pH на 1 единицу сопровождалось ростом содержания подвижного алюминия на 4,71 мг-экв/100 г (смол/kg), а в случае бурых лесных кислых почв субтропиков России – на 8,76 мг-экв/100 г. Можно предположить, что такие различия связаны с различным вкладом алюминия в формирование общей кислотности сравниваемых почв, по-видимому с большей долей органических кислотоопределяющих компонентов в альфисолях Китая. Хотя данное сравнение в определённой мере условно (из-за разницы методических нюансов), оно показывает, что количественный характер взаимосвязей кислотно-основных показателей зависит от генезиса и типовой принадлежности почвы.

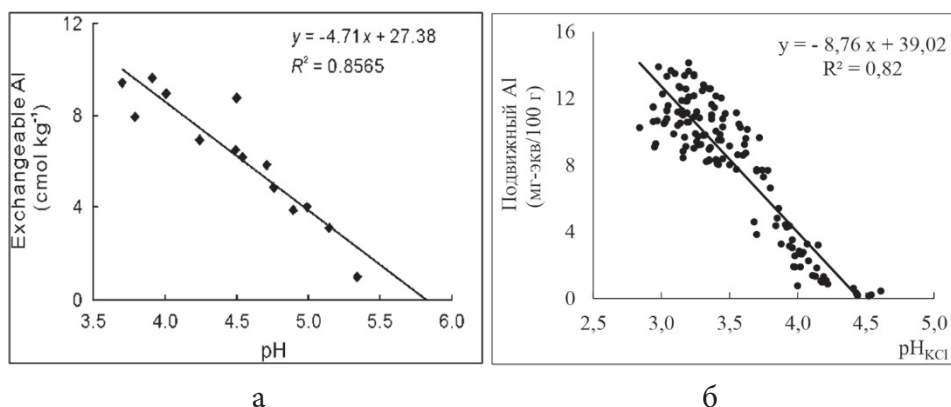


Рис. 3. Взаимосвязь между обменным (подвижным) алюминием и pH в почвах чайных плантаций: а) альфисоли (Alfisols) восточного Китая (рис. взята из [15]); б) бурые лесные кислые почвы влажных субтропиков России

Таким образом, в результате анализа блока сопряжённых данных длительного полевого многофакторного опыта с удобрениями получены графические и аппроксимирующие математические модели, корреляционные зависимости, отражающие характер взаимосвязи показателей кислотно-основного состояния бурых лесных кислых почв и их изменений в ходе агрогенной ацидизации под культурой чая в условиях влажных субтропиков России. Математические взаимозависимости между различными парами показателей позволяют рассчитать их ориентировочные фактические значения, а также фактические или прогнозируемые изменения всего комплекса этих свойств, имея результаты по одному из показателей.

Библиографический список

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры: дис. ... д-ра с.х. наук. – Краснодар, 2004. – 313 с.
3. Бушин П.М., Беседина Т.Д., Копылов С.С. О критериях бонитировки почв чайных плантаций субтропиков России // Цветоводство, субтропические и плодовые культуры на Юге России: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК, 1994. – Т. 38. – С. 128-141.
4. Голетиани Г.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на свойства краснозёмной почвы и урожайность чайных плантаций // Почвоведение. – 1958. – № 2. – С. 23-30. – ISSN: 0032-180X.
5. Козлова Н.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: автореф. дис. ... канд. б. наук. – М., 2008. – 24 с.
6. Козлова Н.В. Культура чая и ацидизация почв в условиях субтропиков России: агрохимические и экологические аспекты // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: матер. XIII Междунар. конф., Сочи, 4-8 июня 2018 г. – М.: РУДН, 2018. – С. 510-515. – ISBN: 978-5-209-08756-4.
7. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной ацидизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 259-267. – ISSN: 2073-4948.
8. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России // Агрохимия. – 2007. – № 9. – С. 1-7. – ISSN: 0002-1881.
9. Козлова Н.В., Малюкова Л.С. Методический подход к оценке бурых лесных кислых почв РФ по степени агрогенных изменений // Актуальные вопросы плодородия и декоративного садоводства в начале XXI века: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – С. 413-421. – ISBN: 978-5-904533-21-2.
10. Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Притула З.В. Система удобрений плантаций чая в субтропиках России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. – 45 с. – ISBN: 978-5-904533-09-0.
11. Малюкова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН. – 2008. – № 4. – С. 26-27. – ISSN: 0869-3730.

12. Ониани Д.И. Влияние длительного удобрения чайных плантаций на некоторые свойства краснозёмных и подзолистых почв // Субтропические культуры. – 1960. – № 2. – С. 47-60.
13. Alekseeva T., Alekseev A., Xu Ren-Kou, Zhao An-Zhen, Kalinin P. Effect of soil acidification induced by a tea plantation on chemical and mineralogical properties of Alfisols in eastern China // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2011. – Vol. 33. – Issue. 2. – P. 137-148. (Китай) – doi: 10.1007/s10653-010-9327-5.
14. Owuor P.O., Othieno C.O., Kamau D.M., Wanyoko J.K. Effects of long-term fertilizer use on a high-yielding tea clone AHPS15/10: soil pH, mature leaf nitrogen, mature leaf and soil phosphorus and potassium // *International Journal of Tea Science*. – 2011-2012. – Vol. 8(1). – P. 15-51. (Кения) – ISSN: 0972-554X.
15. Wang Hui, Xu Ren-Kou, Wang Ning, Li Xing-Hui. Soil Acidification of Alfisols as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China // *Pedosphere*. – 2010. – Vol. 20. – Issue. 6. – P. 799-806. (Китай). – ISSN: 1002-0160/CN 32-1315/P.

**THE INTERRELATION OF CHANGES
IN ACID-BASIC PROPERTIES OF ACID BROWN FOREST SOILS
IN THE RUSSIAN SUBTROPICS DURING AGROGENIC ACIDIZATION
UNDER TEA CULTURE**

Kozlova N. V., Kerimzade V. V.

*Federal State Budgetary Scientific Institution
"Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops",
c. Sochi, Russia, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru*

The paper studied conjugate changes in the acid-base state of acid brown forest soils that have reached a different degree of acidification as a result of a 27-year application of mineral fertilizers (NPK) in various doses in a multifactorial field experiment on tea culture, in the Russian humid subtropics. It is shown that the studied indicators are in close direct or inverse relationship ($r = \pm 0.89-0.99$). The nature of the interrelated changes is represented graphically and by approximating linear functions. It was found that a decrease in pH_{KCl} by 0.1 unit on average corresponded to the following: to the growth of hydrolytic and metabolic acidities by 1.66 and 0.88 mg-eq/100 g, mobile aluminum by 7.92 mg/100 g; to a decrease in the amount of exchangeable calcium and magnesium by 0.93 mg-eq/100 g and to a saturation degree of bases by 3.82 %.

Key words: acid brown forest soils, tea plantations, acid-base properties, mineral fertilizers, acidification, Russian humid subtropics.