УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62) DOI: 10.26178/AE.2020.46.87.002

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНО-ОСНОВНОЙ БУФЕРНОСТИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ АГРОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Козлова Наталья Васильевна [1], Керимзаде Вадим Вагифович [2]

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» 354002, Россия, Краснодарский край, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28

[1] – к. б. н., ведущ. науч. сотр., зав. лаб. агрохимии и почвоведения; e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru
[2] – мл. науч. сотр.; e-mail: kerimzadevadim@yandex.ru

Комплекс показателей кислотно-основной буферности дополнил оценку агрогенного изменения бурых лесных кислых почв длительно эксплуатируемых чайных плантаций Сочинского Черноморского побережья. Анализировали почву ряда вариантов полевого опыта с NPK-удобрениями степень подкисления которой, связанная с дозами и общим количеством внесенных азотных удобрений, была различной. Для почв с сильной степенью подкисления (снижение pH_{KCl} на 0,8–1,2 ед.) в результате 26-летнего применения двойных и тройных доз удобрений (всего внесено 7,6 и 11,4 т N/га) площадь буферности и степень приведенной буферной способности в кислотном интервале снизились в 2–2,5 раза. При этом именно эти почвы имели более высокую (в среднем в 1,3–1,4 раза) буферную емкость относительно кислотной нагрузки – для сдвига pH на 2 единицы потребовалось в 1,7 раза большее количество HCl (около 12,5 смоль(экв)/кг почвы), чем для почв контроля (без удобрений) и фона (лес). Однако увеличение буферной емкости обеспечивалось активизацией железистой буферной зоны при pH<3,2 (резервной для почвы леса), при частичном исчерпании буферной емкости алюминиевой зоны. Почва со средней степенью подкисления (снижение pH_{KCl} на 0,3–0,6 ед.) в результате применения одинарных доз удобрений (всего внесено 3,8 т N/га) занимала промежуточное положение по всем показателям кислотно-основной буферности.

Ключевые слова: *бурые лесные кислые почвы, чайные плантации, агрогенные изменения, подкисление, кислотно-основные свойства, площадь буферности, буферная емкость, степень буферной способности.*

Возможность использования показателей кислотно-основной буферности в качестве диагностических физико-химических параметров почвы и объективных критериев оценки ее общего экологического состояния является предметом постоянного изучения. Исследуется буферность различных по генезису почв в связи с их базовыми свойствами; ведется поиск наиболее информативных показателей, их количественных параметров и эталонных величин [1–3]. Различные показатели кислотно-основной буферности используются для оценки устойчивости, а также степени техногенной или агрогенной трансформации (деградации) почв, в т.ч. под влиянием длительного применения различных систем удобрения и возделываемых культур [4–6]. Особое внимание изучению кислотно-основной буферности уделяется в связи с глобальной проблемой подкисления почв, в том числе вызванного интенсивными методами ведения сельского хозяйства (особенно использованием азотных удобрений) [6, 7]. Ей отводят ключевую роль в оценке риска подкисления почв, прогнозировании его скорости и количественной оценке его степени.

Сочинское Черноморское побережье (влажно-субтропическая зона) – единственный регион промышленного производства чая в России. Управлению плодородием почв чайных плантаций и всестороннему изучению их состояния в зависимости от интенсивности и длительности эксплуатации уделено большое внимание [8–11]. Возделывание многолетней ацидо- и алюмофильной монокультуры чая, требующее применения удобрений, в первую очередь азотных, сопровождается подкислением почв (исходно кислых), нейтрализация которых, исходя из биологических особенностей чая, технологией не предусматривается. В определенной мере подкисление способствует повышению плодородия почв и продуктивности чая, однако в сильной степени проявления оно становится причиной существенных изменений структурно-функциональных свойств почвы, отклонения от ее генетически обусловленного состояния, вплоть до смены классификационной принадлежности [9, 10]. В связи с этим именно степень подкисления (ацидизации) почв является базовым критерием в системе комплексной оценки почв чайных плантаций по степени их агроген-

ной трансформации [12]. Согласно разработанной методике степень подкисления почвы оценивается относительно фона (почвы естественного ценоза) по изменению группы кислотно-основных показателей: pH_{KCl}; гидролитическая и обменная кислотности; содержание обменных Al, Ca, Mg; степень насыщенности основаниями. Безусловный интерес представляет оценка состояния таких агрогенно-измененных почв (и их устойчивости к дальнейшим нагрузкам) по показателям кислотно-основной буферности.

Методика. Для исследования были выбраны широко распространенные на Черноморском побережье Западного Кавказа бурые лесные почвы (буроземы), а именно бурые лесные кислые (малогумусные легкоглинистые на элюво-делювии аргиллитов) – основные чаепригодные почвы региона. Изучали нативные почвы под буково-грабовым лесом (фоновый участок) и в разной степени агрогенно-трансформированные в результате длительной эксплуатации под культурой чая. Последние были выбраны в пределах многофакторного полевого опыта с удобрениями, варианты которого представляют собой модельные мини-плантации, сформированные в строго контролируемых условиях возделывания.

Опыт был заложен в 1986 г. на молодой чайной плантации 1983 г. посадки (г. Сочи, п. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»). В схеме опыта 16 вариантов различных комбинаций доз NPK в четырех градациях (0, 1, 2, 3 одинарные дозы), в том числе контрольный без применения удобрений; повторность 2-кратная, размер опытных делянок 50 м^2. Для обозначения вариантов использовали код по количеству одинарных доз соответствующих элементов. Одинарные дозы азотных удобрений по мере развития растений увеличивали в 1986–1989–1993–2000 гг. до 70–90–120–200 кг д.в./га, соответственно); одинарные дозы фосфорных и калийных удобрений были постоянными – 60 и 50 кг д.в./га, соответственно. Внесение удобрений осуществлялось ежегодно в течение 1986–2011 гг.; за этот период на вариантах с 1–2–3 дозами всего было внесено 3,8–7,6–11,4 т N/га, соответственно. В 2012 г. опыт был законсервирован, внесение удобрений прекращено, исследования переориентированы на изучение динамики изменения почв в отсутствии нагрузки удобрениями. Состояние почв, зафиксированное по вариантам опыта в 2012 г. путем послойного отбора проб в ранневесенний период, является важным рубежом для оценки результатов агрогенных изменений при активной эксплуатации с применением удобрений и отправной точкой для постагрогенного мониторинга.

Анализировали пробы наиболее подверженного изменениям верхнего слоя почв (0–20 см), отобранные на ряде опытных мини-плантаций и в лесу (в 6-кратной повторности): pH_{KCl} потенциометрически; гидролитическая кислотность по Каппену; обменная кислотность и подвижный Al по Соколову; обменные Ca и Mg трилонометрически (в вытяжке 1,0 н. NaCl); степень насыщенности основаниями – расчетная [13]. Данные обработали в модуле описательной статистики пакета Microsoft Excel (при уровне надежности 95%).

Определение кислотно-основной буферности почв провели в смешанных образцах, составленных из 6 индивидуальных проб каждый. Анализ выполнили по модифицированной методике Аррениуса [14], основанной на определении pH почвенных суспензий с растворами HCl и NaOH в возрастающих концентрациях (0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 н., что соответствует 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 смоль(экв)/кг почвы), при соотношение «почва : раствор = 1 : 2,5». Диапазон pH используемых растворов составил 1,3–12,7 единиц. По результатам измерений строили кривые зависимости pH суспензий и растворов от концентраций HCl (кислотный интервал) и NaOH (щелочной интервал). Затем вычисляли следующие показатели кислотно-основной буферности (согласно методике [1–3, 14]): площади кислотной и щелочной буферности – площади между кривой зависимости pH растворов HCl и NaOH от изменения их концентрации (эталон с нулевой буферностью) и кривой зависимости pH почвенных суспензий от концентрации кислоты и щелочи (1 см осей координат = 0,01 н. и 1 ед. pH); степень кислотной и щелочной буферной способности приведенная (СБСп) – доля (%) площади буферности абсолютно буферного эталона (pH=7, площади кислотной и щелочной буферности одинаковы – 26,32 см^2), занятая площадью буферности исследуемой почвы; индекс кислотно-основного равновесия (КОР) – соотношение кислотной и щелочной СБСп; показатель нейтрализации (ПН) – количество щелочи, необходимое для достижения pH 7; буферная емкость – количество HCl или NaOH, необходимое для сдвига pH на единицу.

Результаты и обсуждение. Особенности изменения кислотно-основной буферности почв в связи с различным уровнем нагрузки (дозами и общим количеством применявшихся удобрений) и степенью агрогенного подкисления были рассмотрены на примере почв нескольких модельных плантаций (вариантов опыта). Динамика изменения кислотности данной выборки почв в процессе длительного полевого эксперимента представлена на примере показателей pH_{KCl} в слое 0–20 см (рис. 1), а достигнутое к 2012 г. итоговое состояние было охарактеризовано комплексом показателей (табл. 1).

Для почвы контрольного варианта (000 – без удобрений) показатели pH варьировали без выраженных тенденций к изменениям в узком диа-

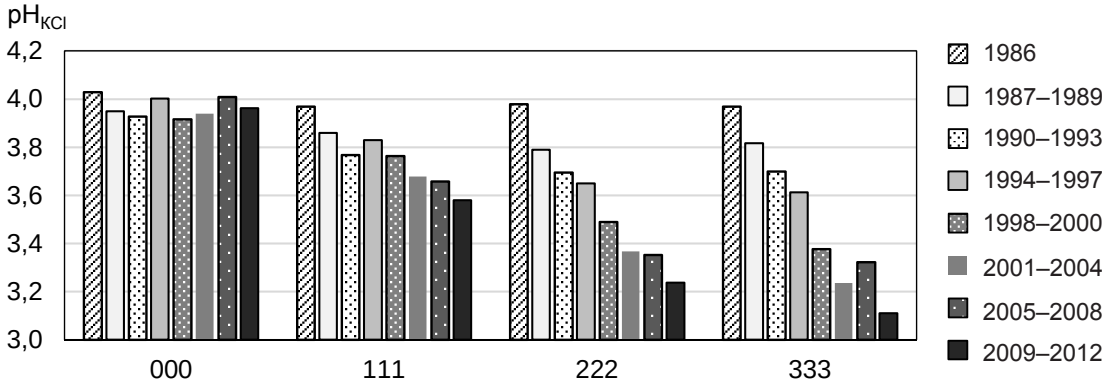

Рис. 1. Многолетняя динамика изменения кислотности почвы по вариантам опыта (средние показатели по периодам исследования, слой 0–20 см)

пазоне значений, которые были сопоставимы с фоновыми (лес) или чуть ниже их (рис. 1, табл. 1). В результате длительного применения одинарных доз удобрений pH_{KCl} снизился на 0,3–0,6 ед. по отношению к контролю и фону, с соответствующим изменением других кислотно-основных свойств (рис. 1, табл. 1), что оценено как средняя степень подкисления почв (согласно [12]). Длительное применение двойных и тройных доз удобрений привело к снижению pH_{KCl} на 0,8–1,2 ед., что в совокупности с изменением других показателей следует рассматривать как сильную степень подкисления. Итоговые значения pH_{KCl} представленной выборки почв находились в диапазоне 2,97–4,24 ед., что характеризовало их как сильнокислые и очень сильнокислые.

Результаты определения кислотно-основной буферности исследованных почв представлены графически (рис. 2, на примере 3 контрастных образцов) и комплексом расчетных показателей (табл. 2). Было установлено, что бурые лесные кислые почвы леса (фон) и чайной плантации без внесения удобрений (000-контроль), близкие между собой по показателям кислотности (табл. 1), имели наибольшие площади буферности (ПБ), а также степени приведенной буферной способности (СБСп) в кислотном интервале. В ряду «лес – 000 – 111 – 222 – 333», т.е. по мере роста общей нагрузки удобрениями и степени подкисления почв, данные показатели с определенным шагом снижались (табл. 2). Наиболее подкисленные в результате длительного применения высоких доз

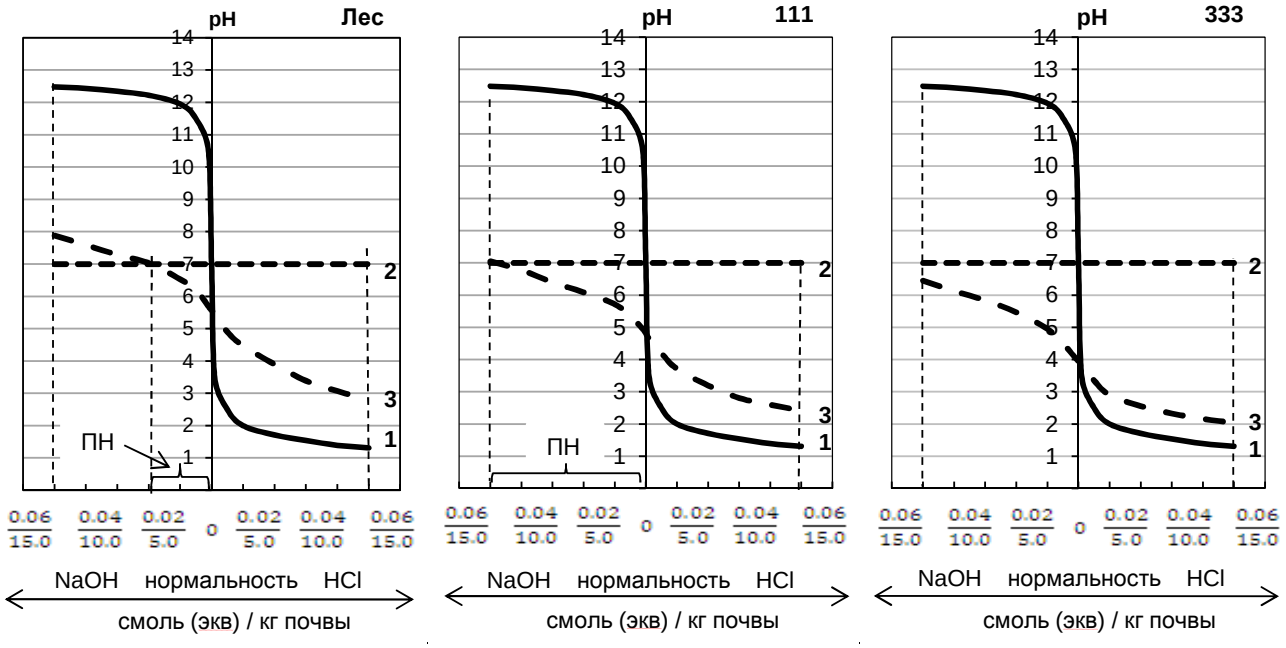

Рис. 2. Графическое отображение кислотно-основной буферности исследованных почв:
1 – кривая зависимости pH растворов HCl и NaOH от их концентрации (эталон – с нулевой буферностью);
2 – линия буферности абсолютно буферного эталона (pH 7);
3 – кривая зависимости pH почвенных суспензий от концентрации растворов HCl и NaOH.

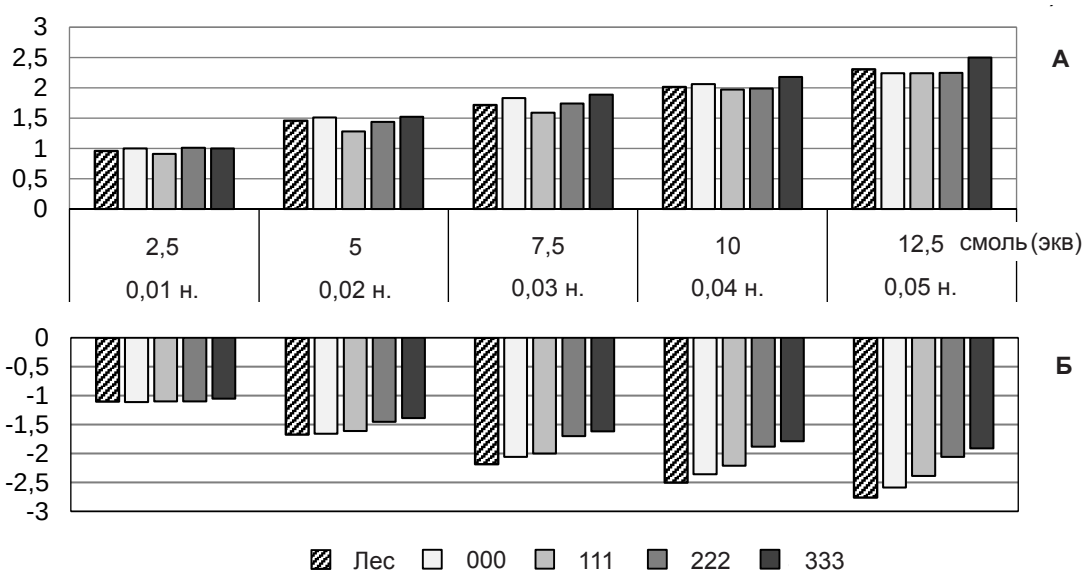

Рис. 3. Смещение pH суспензий исследованных образцов почв в зависимости от гидроксильной (А, NaOH) и протонной (Б, HCl) нагрузок (относительно pH суспензий с дистиллированной водой).

удобрений почвы (варианты 222 и 333) отличались в 2–2,5 раза меньшими ПБ и СБСп в кислотном интервале; средне подкисленные почвы (вариант 111) – только в 1,3–1,5 раза (относительно контроля и фона). СБСп изменялась в ряду «лес – 000 – 111 – 222 –333» от низкой к очень низкой (согласно шкале оценки [1, 14]).

Показатель нейтрализации (ПН) был самым низким для почв леса и неудобряемой чайной плантации (000–контроль). Для почвы варианта с одинарными дозами удобрений (111) он был в 2–2,7 раза выше и соответствовал использованному в эксперименте максимальному количеству NaOH (12,5 смоль(экв)/кг); в случае очень сильнокислых почв чайных плантаций (варианты 222 и 333) для нейтрализации было необходимо еще большее количество щелочи (табл. 2, рис. 2).

Площади щелочной буферности всех исследуемых почв были больше, чем кислотной (в 2,5–8,5 раз), а самые высокие значения показали наиболее подкисленные почвы вариантов 222 и 333 (на 25–30 % выше контроля и фона). СБСп в щелочном интервале для всех образцов оценивалась как очень высокая (согласно градаций [1, 14]); различия между ними были незначительными – 3–5 % (табл. 2).

Соотношение степеней кислотной и щелочной буферных способностей (индекс кислотно-основного равновесия – КОР) предложено рассматривать как дополнительный критерий устойчивости функционирования агроэкосистемы: чем ближе значения к единице, тем она более устойчива [1]. В ряду образцов «лес – 000 – 111 – 222 – 333» значения КОР постепенно снижались; для вариантов 111 и 333 они оказались соответственно в 1,5 и 2,7 раза ниже фоновых (табл. 2).

Оценка буферной емкости исследованных почв по величине сдвига pH почвенных суспензий под воздействием возрастающих концентраций кислоты или щелочи (рис. 3) показала одинаковую их устойчивость к щелочной (гидроксильной) нагрузке. Введение растворов NaOH в любой из концентраций вызывало примерно одинаковый сдвиг pH для всех образцов почв; в пределах одной концентрации различия между образцами не превышали 0,1–0,3 ед. pH (рис. 3 А).

В то же время буферная емкость при возрастающей кислотной (протонной) нагрузке у исследованных почв оказалась различной. Прослеживался ее поступательный рост в ряду «лес – 000 – 111 – 222 – 333» (рис. 3 Б). Так сдвиг pH при максимальной протонной нагрузке (12,5 смоль(экв)/кг) для наиболее кислых почв вариантов 222 и 333 оказался в 1,3–1,4 раза слабее, чем для почв леса и контроля (000–без удобрений), а рассчитанная из его величины средняя буферная емкость (в исследованном диапазоне pH) – соответственно в 1,3–1,4 раза выше, чем у почв леса и контроля (табл. 3). Почвы модельных чайных плантаций с высокой степенью подкисления (222, 333) требовали введения в 1,7 раза большего количества HCl (около 12,5 смоль(экв)/кг) для сдвига pH суспензий на 2 единицы по сравнению с другими (лес, 000, 111 – около 7,5 смоль(экв)/кг). При этом различия между почвами по величине сдвига pH усиливались по мере роста концентрации HCl (между почвами леса и варианта 333 – от 0,28 до 0,85 ед. pH при переходе от 0,02 н. к 0,05 н. HCl) (рис. 3 Б). К тому же, судя по сдвигу pH, устойчивость почв вари-

1. Кислотно-основные свойства исследованных бурых лесных кислых почв по окончании этапа активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.)

Показатель	Лес (фон)	Чайная плантация, варианты опыта (код NPK)			
		000 (контроль)	111	222	333
pH_{KCl}	4,24 ± 0,24	3,96 ± 0,05	3,69 ± 0,09	3,17 ± 0,02	2,97 ± 0,04
Гидролитическая кислотность, смоль(экв)/кг	12,2 ± 2,0	16,0 ± 1,0	23,2 ± 1,9	30,9 ± 0,7	31,1 ± 1,8
Обменная кислотность, смоль(экв)/кг	1,5 ± 1,2	3,9 ± 0,9	8,7 ± 1,4	11,6 ± 0,5	10,7 ± 1,0
Подвижный алюминий, смоль(экв)/кг	1,4 ± 1,2	3,8 ± 0,9	8,5 ± 1,4	11,4 ± 0,5	10,4 ± 1,0
Сумма обменных Ca и Mg, смоль(экв)/кг	12,4 ± 2,3	12,8 ± 1,6	9,0 ± 0,9	3,6 ± 0,4	4,1 ± 0,6
Степень насыщенности основаниями, %	50,3 ± 8,7	44,4 ± 4,4	27,9 ± 3,0	10,5 ± 1,1	11,5 ± 1,8

Примечание: представлено среднее + стандартное отклонение.

антов 222 и 333 к кислотным нагрузкам выше, чем к щелочным; почвы леса, вариантов 000 и 111, наоборот, устойчивее к щелочным нагрузкам (рис. 3).

Следует отметить, что если сдвиг pH относительно исходного значения $pH_{водн.}$ на единицу для всех почв происходил при кислотной нагрузке около 2,5 смоль(экв)/кг, то сдвиг еще на единицу pH для одной группы (лес, 000, 111) достигался при дополнительной нагрузке около 5 смоль(экв)/кг, а для другой группы (222, 333) – около 10 смоль(экв)/кг. При этом, если рассматривать буферную емкость различных почв примерно в одинаковом диапазоне pH 4–3, то оказывается, что для снижения на единицу для почв вариантов 222 и 333 требуется гораздо меньшая протонная нагрузка (около 2,5 смоль(экв)/кг) по сравнению почвой леса и контроля (около 5 смол(экв)/кг (табл. 3). Это свидетельствует о частичном исчерпании буферной емкости алюминиевой зоны у почв чайной плантации с высокой степенью подкисления. Повышенная же в целом буферная емкость таких почв относительно кислотной нагрузки связана с активизацией высокоемкой железистой зоны при переходе в диапазон pH<3,2 (при нагрузке HCl менее 2,5 смоль(экв)/кг), а в почве леса и контроля (без удобрений) данная зона буферности задействована гораздо в меньшей степени (табл. 3). Кроме того, по данным Т.А. Соколовой с соавторами [15], для наиболее кислых почв в области самых низких значений pH большую роль в обеспечении буферности к кислотным нагрузкам играют оксалатнорастворимый алюминий и хлоритизированные структуры с межпакетными прослойками гидроксида Al в составе илистой фракции.

Повышение устойчивости исследованных почв к кислотным нагрузкам по мере их подкисления, выявленное по показателям буферной емкости, хорошо согласуется со снижением скорости подкисления почв при длительном возделывании чая. Так, в нашем опыте с удобрениями было установлено [16], что чем выше суммарная нагрузка азотными удобрениями и степень подкисления почв, тем меньше средняя скорость подкисления почвы на единицу нагрузки: 0,10–0,08–0,07 ед. pH на каждую тонну N/га для верхнего слоя почв (0–20 см) вариантов с одинарными-двойными-тройными дозами азота (где всего внесено 3,8–7,6–11,4 т N/га, соответственно). Китайскими коллегами установлено, что средняя скорость подкисления почв в первые 13 лет выращивания чая была более чем в 5 раз выше, чем в последующие 20 лет (4,4 и 0,84 кмоль H^+/га в год, соответственно), а в возрасте плантации 35–54 года она снизилась еще вдвое, при одинаковых ежегодных дозах удобрений [17].

2. Показатели кислотно-основной буферности исследованных почв (0–20 см)

Варианты	$pH_{водн.}$	Площадь буферности (ПБ), см²		$ПБ_1/ПБ_2$	Показатель нейтрализации, смоль(экв) NaOH/кг	Степень буферной способности приведенная (СБСп), %		КОР ($СБСп_1$/ $СБСп_2$)
		1	2			1	2	
Лес (фон)	5,57	9,8 (100 %)	25,4 (100 %)	0,39	4,6	38,2 (100 %)	95,5 (100 %)	0,40
000 (контроль)	5,28	9,0 (91 %)	26,8 (105 %)	0,33	6,3	34,9 (91 %)	98,2 (103 %)	0,36
111	4,81	6,8 (69 %)	29,7 (117 %)	0,23	12,5	26,5 (69 %)	100,0 (105 %)	0,26
222	4,14	4,3 (44 %)	32,6 (128 %)	0,13	> 12,5	16,9 (44 %)	100,0 (105 %)	0,17
333	3,95	3,8 (39 %)	33,3 (131 %)	0,12	> 12,5	14,9 (39 %)	100,0 (105 %)	0,15

Примечания: 1 – кислотная, 2 – щелочная; (%) – рассчитаны относительно показателей фона (лес).

3. Значения pH почвенных суспензий в зависимости от протонной нагрузки, итоговый сдвиг pH и средняя буферная емкость почв

Варианты	HCl, смоль(экв)/кг						Итоговый сдвиг pH*	Средняя буферная емкость**
	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		
Лес (фон)	5,57	4,47	3,90	3,39	3,07	2,81	2,76	4,5
000 (контроль)	5,28	4,17	3,62	3,22	2,92	2,69	2,53	4,8
111	4,81	3,71	3,20	2,81	2,60	2,42	2,39	5,2
222	4,14	3,04	2,69	2,44	2,26	2,08	2,06	6,1
333	3,95	2,90	2,56	2,33	2,16	2,04	1,91	6,5

*Примечание: * – смещение pH суспензий при максимальной нагрузке HCl относительно $pH_{водн.}$;*
*** – количество HCl для смещения pH на единицу, в среднем для исследованного диапазона.*

Полученные результаты демонстрируют целесообразность использования всего комплекса показателей кислотно-основной буферности для объективной оценки степени выраженности агрогенных изменений почв, связанных с прогрессирующим подкислением, и резерва их устойчивости. В связи с высокой информативностью показателей изучение кислотно-основной буферности является одной из задач текущих исследований на базе законсервированного опыта, для выявления изменений состояния почв за 8–9-летний период отсутствия удобрений.

Заключение. Таким образом, комплекс показателей кислотно-основной буферности позволил дополнить оценку состояния бурых лесных кислых почв Черноморского побережья РФ, в разной степени агрогенно-измененных в результате длительного возделывания чая при различной нагрузке удобрениями. Для почв с сильной степенью подкисления в результате многолетнего применения высоких (двойных и тройных) доз минеральных удобрений было выявлено снижение в 2–2,5 раза площади буферности и степени приведенной буферной способности в кислотном интервале. При этом именно эти почвы имели наиболее высокую буферную емкость относительно протонной нагрузки – в среднем в 1,3–1,4 раза выше, чем у почв леса и контроля (в 1,7 раз большее количество HCl для сдвига pH на 2 ед., чем для почв контроля и леса), что объясняет повышение устойчивости почв к кислотным нагрузкам по мере их подкисления, выявленное по снижению скорости подкисления. Однако повышение буферной емкости происходило за счет включения в работу железистой буферной зоны, при частичном исчерпании буферной емкости алюминиевой зоны, что отражает неблагоприятные изменения состояния сильно подкисленных почв с экологической точки зрения. В почве леса и контроля резервы железистой буферной зоны были слабо задействованы. Почвы со средней степенью агрогенного подкисления в результате применения одинарных доз удобрений занимали промежуточное положение по всем показателям кислотно-основной буферности.

Литература:

1. *Надточий П.П.* Кислотно-основная буферность почвы – критерий оценки её качественного состояния // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1094–1102.
2. *Надточий П.П., Мыслыва Т.Н.* Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 83–89.
3. *Позняк С.П., Гамкало М.З.* Кислотно-основная буферность буроземов украинских Карпат // Почвоведение. – 2001. – № 6. – С. 660–669.
4. *Дыдышко С.В., Азаренок Т.Н., Шульгина С.В.* Кислотно-основная буферность дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв разной степени агрогенной трансформации // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 14–25.
5. *Ozhovan O.O., Mikhaylyuk V.I.* Soil acid-base buffering in the step agriculture lands // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. – № 9(3). – P. 259–266.
6. *Zhang Sh., Wang R., Cai J., Zhang Y., Li H., Huang Sh., Jiang Y.* Impacts of fertilization practices on pH and the pH buffering capacity of calcareous soil // Soil Science and Plant Nutrition. – 2016. – № 62(5–6). – P. 432–439.
7. *Sokolova T.A.* Soil Acidity and the Acid-Base Buffering of Soils. – M.: Университетская книга, 2016. – 64 p.
8. *Беседина Т.Д.* Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. – Краснодар, 2004. – 169 с.
9. *Козлова Н.В.* Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: Дис. … канд. биол. наук. – М., 2008. – 200 с.
10. *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.
11. *Малюкова Л.С.* Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с.
12. *Козлова Н.В., Малюкова Л.С.* Методический подход к оценке бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков РФ по степени агрогенных изменений // Актуальные вопросы плодоводства и декоративного садоводства в начале XXI века: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию основания института и 80-ле-

тию сада-музея «Дерево Дружбы», Сочи, 22–26 сентября 2014 г. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – С. 413–422.
13. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
14. *Надточий П.П.* Определение кислотно-основной буферности почв // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 34–39.
15. *Соколова Т.А., Мотузова Г.В., Малинина М.С., Обуховская Т.Д.* Химические основы буферности почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 108 с.
16. *Козлова Н.В., Керимзаде В.В.* Скорость агрогенной ацидизации бурых лесных почв чайных плантаций в условия влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – № 51. – С. 259–267.
17. *Wang H., Xu R.-K., Wang N., Li X.-H.* Soil Acidification of Alfisols as Influenced by Tea Cultivation in Eastern China // Pedosphere. – 2010. – № 20(6). – P. 799–806.

Kozlova N.V., Kerimzade V.V.

THE USE OF INDICATORS OF ACID-BASIC BUFFERING CAPACITY IN THE ASSESSMENT OF THE STATE OF AGROGENE-CHANGED BROWN FOREST SOILS ON THE BLACK SEA COAST OF THE WEST CAUCASUS

A set of indicators of acid-base buffering complemented the assessment of agrogenic changes of brown forest acidic soils of long-maintained tea plantations on the Sochi Black Sea coast. The soil was analyzed for several options for field experiment with NPK-fertilizers with different degrees of acidification, associated with annual doses of nitrogen fertilizers and their total amount over 26 years of use. For strong-acidificated soils (the decrease in pH_{KCl} of 0.8–1.2 units) as a result of long-term use ×2 or ×3 of standard doses of fertilizers (a total of 7.6 and 11.4 t N/ha added), the buffer area and the degree of buffer abilities in the acid interval decreased by 2–2.5 times. At the same time, these soils had a higher (on average, 1.3–1.4 times) buffer capacity relative to the acid load – for a pH shift of 2 units, it required 1.7 times more HCl (about 12.5 cmol(eq)/kg of soil) than for control (without fertilizers) and background (forest) soils. However, this was accompanied by activation of the iron buffer zone at pH <3.2 (which is the reserve for the forest soil), with partial exhaustion of the buffer capacity of the aluminum buffer zone. Soil with average acidification degree (decrease in pH_{KCl} of 0.3–0.6 units) as a result of the use of standart doses of fertilizers (total amount contributed 3.8 tons N/ha) occupied the intermediate position in all indicators of acid-base buffering.

Keywords: *brown forest acid soils, tea plantations, agrogenic changes, acidification, acid-base properties, buffer area, buffer capacity, degree of buffer abilities.*