

Глава 7.

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 633.72:631.816 (213.1:470.62)

doi: 10.31360/2225-3068-2021-78-157-169

**ИЗМЕНЕНИЕ БУФЕРНОЙ ЁМКОСТИ ПОЧВ
АГРОЦЕНОЗОВ ЧАЯ ПОСЛЕ СНЯТИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ
НАГРУЗКИ УДОБРЕНИЯМИ**

Керимзаде В.В., Козлова Н.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук».
г. Сочи, Россия, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru.*

В условиях влажно-субтропической зоны России (Сочинское Черноморское побережье) проведено изучение буферных свойств бурых лесных кислых почв, получивших разную степень агрогенного подкисления под культурой чая, и их изменения в постагрогенный период. По вариантам многофакторного полевого опыта с удобрениями сравнили буферную ёмкость почв при длительном применении НРК-удобрений в различных дозах и через 7–8 лет после их полной отмены при консервации опыта. Для сильно подкисленных почв, ранее длительно удобрявшихся двойными (N240-400 P120 K100) и тройными (N360-600 P180 K150) дозами удобрений, в постагрогенной фазе выявлено: ослабление кислотности на 0,46 и 0,52 единицы рН; повышение средней буферной ёмкости к щелочным нагрузкам и сопоставимое снижение к кислотным (на 0,4 и 1,0 мг-экв/100 г или в 1,1 и 1,2 раза), при сокращении различий с показателями контроля (N0P0K0) и фона (лес); повышение ёмкости алюминиевой буферной зоны и сохранение резервов железистой буферной зоны. Почва, ранее удобрявшаяся допустимыми по нагрузке одинарными дозами удобрений (N120-200 P60 K50) и получившая средний уровень подкисления, после снятия агрогенной нагрузки показала наиболее близкие к контролю и фону показатели буферной ёмкости. Сокращение различий с фоновыми и контрольными показателями свидетельствовали о начавшемся процессе самовосстановления даже сильно агрогенно-изменённых почв, что оценивалось положительно с точки зрения экологии.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, агрогенное подкисление, постагрогенные изменения, кислотная и щелочная буферность.

Кислотно-основная буферность (способность почв противостоять изменению значений рН при кислотной или щелочной нагрузке) является важной составляющей общей буферной способности почв, определяющей устойчивость почв к различного рода природным и антропогенным

воздействиям. Она определяется свойствами и составом твёрдых фаз, почвенного раствора и биоты и поэтому рассматривается в качестве интегрального диагностического критерия оценки общего экологического состояния почв [12]. Различные показатели кислотности широко используются в связи с глобальной проблемой подкисления почв (в прогнозировании риска и скорости, количественной оценке степени), в том числе вызванного интенсивной химизацией сельского хозяйства [20, 22]. Ведётся поиск эталонных величин в связи с базовыми свойствами различных по генезису почв, а также наиболее информативных показателей и их количественных параметров для оценки устойчивости, а также степени техногенной или агрогенной трансформации почв [2, 14, 15, 19].

Возделывание чайных плантаций и производство чая в промышленных масштабах в России осуществляется в единственном регионе страны с подходящими для этого почвенно-климатическими условиями – Сочинское Черноморское побережье (влажно-субтропическая зона). Многолетнее возделывание чая на исходно кислых почвах с применением физиологически кислых минеральных удобрений (в связи с биологическими и технологическими особенностями культуры) сопровождается дальнейшим подкислением почв. Особенности этого процесса (причины, механизмы, степень проявления и скорость) в почвах чайных плантаций влажных субтропиков России достаточно глубоко изучены [1, 7, 9]. Проблема подкисления почв при длительном возделывании чая характерна для различных чаепроизводящих регионов мира (Китай [16, 21], Кения [18], и др.). По общему мнению исследователей оно связано в первую очередь с влиянием азотных удобрений, как прямым (их физиологическая кислотность), так и косвенным (биогенное накопление алюминия и рост содержания гумуса в результате повышения урожайности плантаций) [9, 18, 21]. В определённой мере подкисление способствует повышению плодородия почв и продуктивности ацидо- и алюмофильной культуры чая, однако прогрессируя, оно провоцирует развитие процессов, приводящих к существенной трансформации почв [1, 11].

Изучение кислотности почв, в разной степени агрогенно-изменённых в результате длительной эксплуатации под культурой чая в условиях влажно-субтропической зоны России, показало целесообразность использования показателей кислотности для объективной оценки изменений, связанных с подкислением, а также оценки оставшегося резерва устойчивости почв [5, 6].

Отдельный блок исследований посвящён изучению особенностей постагрогенных изменений состояния почв чайных плантаций после

прекращения их эксплуатации и применения удобрений [4, 8, 17]. Было выявлено существенное уменьшение степени подкисления почв [17] и повышение их угнетенной дыхательной активности (в среднем в 1,6 раза) [4] за 7–8-летний период снятия нагрузки удобрениями, что отражало тенденцию самовосстановления агрогенно-измененных почв. В связи с высокой информативностью показателей, изучение кислотности почв, в сравнении с показателями при агрогенном воздействии, являлось **целью текущих исследований**.

Объекты и методы исследования. Исследования проведены на базе многофакторного полевого опыта с удобрениями, заложенного в 1986 г. на молодой плантации чая сорта Колхида. Опытный участок расположен на территории ЗАО «Дагомысчай», пос. Уч-Дере, агломерация Сочи; почва бурая лесная кислая – основная чаепригодная почва региона. Схема опыта включала 16 различных сочетаний доз NPK в градациях 0, 1, 2, 3 одинарные дозы; повторность 2-кратная, площадь опытных делянок – 50 м². Внесение удобрений согласно схемы опыта осуществлялось ежегодно в течение 1986–2011 гг. (т. е. 26 лет). Одинарные дозы азотных удобрений увеличивали по мере развития растений с шагом 70-90-120-200 кг д.в./га в 1986–1989–1993–2000 гг.; в итоге изучаемый диапазон составил 0-600 кг д.в./га; всего было внесено 3,8–7,6–11,4 т д.в./га (при 1–2–3 дозах, соответственно). Одинарные дозы фосфорных и калийных удобрений были постоянными – 60 и 50 кг д.в./га, соответственно; их диапазон в опыте составил 0-180 и 0-150 кг д.в./га; всего было внесено 1,6–3,1–4,7 и 1,3–2,6–3,9 т д.в./га (при 1–2–3 дозах, соответственно). В результате в пределах опытного участка были сформированы модельные мини-плантации (варианты опыта), почвы которых имели различный уровень плодородия и степень выраженности агрогенных изменений, в том числе оказались в разной степени подкисленными в результате длительного применения различных доз азотных удобрений в сочетании с РК-удобрениями.

В 2012 г. опыт был законсервирован, внесение удобрений прекращено, исследования переориентированы на изучение динамики изменения агрогенно-преобразованных почв в отсутствие нагрузки удобрениями. Для оценки состояния почв и получения репрезентативной выборки данных были проведены повариантные 6-точечные отборы образцов почвы (в слое 0–20 и 20–40 см), которые в дальнейшем были подвергнуты различным видам почвенно-агрохимического анализа, в том числе и определению кислотности почв [5, 6]. Состояние почв в этот период являлось результатом агрогенных изменений при активной эксплуатации с применением удобрений и начальным рубежом для постагрогенного мониторинга.

В 2019–2020 гг. на большинстве вариантов законсервированного опыта были повторены отборы проб почвы, аналогичные отборам 2012 г. В качестве эталона сравнения, как и в 2012 г., брали почву буково-грабового леса (фоновый участок), образцы которой также отбирали в 6-кратной повторности. Для изучения кислотно-основной буферности были выбраны образцы почвы нескольких вариантов, наиболее контрастных по нагрузке удобрениями: 111 (со средней степенью агрогенного подкисления), 222 и 333 (с сильной и еще более сильной степенью подкисления), а также контрольный вариант (000 – без удобрений) и фон (буково-грабовый лес). Здесь и далее в тексте, диаграммах, таблице использованы условные коды вариантов по количеству одинарных доз NPK (0, 1, 2, 3) в период внесения удобрений.

Анализировали образцы наиболее подверженного изменениям верхнего слоя почв (0–20 см). Из 6 индивидуальных проб для каждого варианта составили смешанные образцы, в которых и провели определение кислотно-основной буферности. Анализ (как и ранее) выполнили по модифицированной методике Аррениуса, предложенной П. П. Надточим [13]: определение pH почвенных суспензий с растворами NaOH и HCl 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 мг-экв/100 г почвы) при соотношении «почва : раствор = 1 : 2,5». По результатам измерений pH суспензий вычисляли следующие показатели: буферная ёмкость – количество NaOH или HCl, необходимое для сдвига pH на единицу по конкретным диапазонам pH (2–3, 3–4, 4–5, и т. д.); итоговый сдвиг pH – смещение pH суспензий при максимальной нагрузке NaOH/HCl (12,5 мг-экв/100 г почвы) относительно pH водной суспензии; средняя буферная ёмкость – количество NaOH/HCl (мг-экв/100 г) необходимое для смещения pH на единицу, в среднем для всего исследованного щелочного/кислотного диапазона pH.

Полученные результаты сравнивали по соответствующим показателям с результатами изучения образцов почв 2012 г. отбора, тех же вариантов опыта [5, 6].

Результаты и их обсуждение. Ослабление степени подкисления агрогенно-подкисленных почв модельных мини-плантаций чая (вариантов опыта), выявленное [17] в результате 7–8-летнего периода консервации опыта, демонстрировало повышение показателей pH и сокращение ранее достигнутых различий с контролем (рис. 1). Так после длительного применения азотных удобрений (основной фактор подкисления) в одинарных, двойных или тройных дозах (в различных сочетаниях с РК-удобрениями) показатели pH_{KCl} оказались достоверно ниже относительно не изменившего кислотность контроля-000 на 0,44/0,25, 0,68/0,43 и 0,85/0,55 единицы (в слоях 0–20/20–40 см, соответственно) (рис. 1,

2010–2012 гг.). В отсутствие непосредственного влияния удобрений в период консервации опыта показатели pH_{KCl} поднялись к 2019–2020 гг. относительно ранее достигнутого уровня в среднем на 0,18–0,24/0,12–0,20 единицы (в слоях 0–20/20–40 см, соответственно).

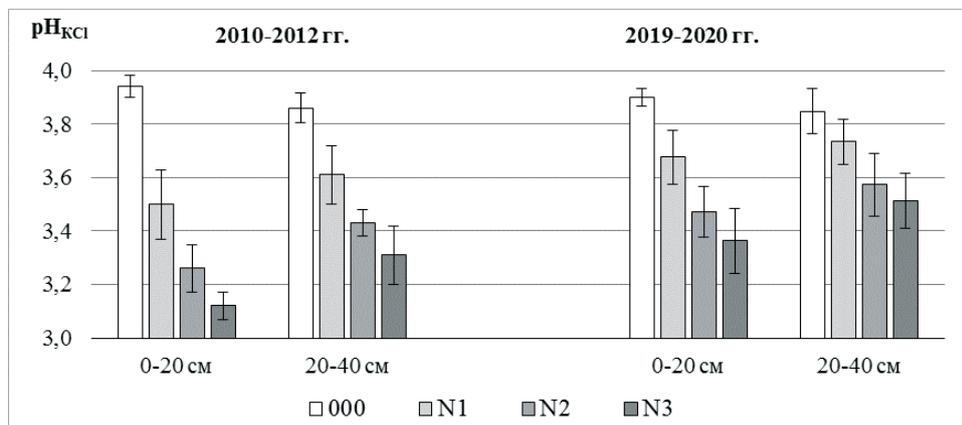


Рис. 1. Кислотность почв с разной степенью агрогенного подкисления, связанного с нагрузкой азотными удобрениями, до и после консервации опыта (среднее \pm стандартное отклонение при $P = 0,95$, по группам вариантов с 1–2–3 дозами N)

Оценка буферной ёмкости исследованных образцов почв чайной плантации по вариантам опыта на заключительном этапе активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.) показала примерно одинаковую их устойчивость к возрастающей щелочной нагрузке. Введение растворов NaOH в любой из концентраций вызывало сопоставимые сдвиги pH для всех образцов почв с разницей не более 0,10–0,30 ед. pH в пределах одной концентрации (рис. 2А). Итоговый сдвиг pH суспензий (сдвиг при максимальной нагрузке NaOH – 12,5 мг-экв/100 г почвы) составлял 2,24–2,50 единицы, а средняя щелочная буферная ёмкость колебалась в пределах 5,00–5,58 мг-экв/100 г почвы (табл. 1). Более низкую буферную ёмкость можно отметить для наиболее сильнокислой почвы варианта с максимальными дозами NPK-удобрений (333).

Образцы почвы, отобранные на тех же вариантах спустя 7–8 лет (2019–2020 гг.) после консервации опыта и отмены применения удобрений также характеризовались в целом близкими между собой показателями щелочной буферности. Различия между образцами почв по величине сдвига pH почвенных суспензий в пределах одной концентрации NaOH составляли не более 0,13–0,25 единицы (рис. 2А). Итоговый сдвиг pH суспензий составлял 2,09–2,28 единицы, а средняя буферная ёмкость – 5,48–5,98 мг-экв/100 г почвы (табл. 1).

Таблица 1

**Значения рН почвенных суспензий
в зависимости от щелочной и кислотной нагрузок, итоговый
сдвиг рН и средняя буферная ёмкость исследованных почв
в агрогенный и постагрогенный периоды**

Варианты	NaOH/HCl, мг-экв/100 г почвы						Итого- вый сдвиг рН*	Средняя буферная ёмкость**
	0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5		
В зависимости от щелочной (NaOH) нагрузки								
По окончании этапа активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.)								
Лес (фон)	5,57	6,53	7,03	7,29	7,59	7,88	2,31	5,41
000-контроль	5,28	6,28	6,79	7,11	7,34	7,52	2,24	5,58
111	4,81	5,72	6,09	6,4	6,78	7,05	2,24	5,58
222	4,14	5,15	5,58	5,88	6,13	6,39	2,25	5,56
333	3,95	4,95	5,47	5,84	6,13	6,45	2,50	5,00
Через несколько лет после снятия нагрузки удобрениями (2019–2020 гг.)								
Лес (фон)	5,45	6,39	6,83	7,14	7,35	7,59	2,14	5,84
000-контроль	5,23	6,19	6,65	7,00	7,21	7,51	2,28	5,48
111	5,03	5,96	6,31	6,56	6,90	7,23	2,20	5,68
222	4,60	5,60	5,90	6,12	6,37	6,70	2,10	5,95
333	4,47	5,53	5,78	6,01	6,22	6,56	2,09	5,98
В зависимости от кислотной (HCl) нагрузки								
По окончании этапа активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.)								
Лес (фон)	5,57	4,47	3,90	3,39	3,07	2,81	2,76	4,53
000-контроль	5,28	4,17	3,62	3,22	2,92	2,69	2,53	4,83
111	4,81	3,71	3,20	2,81	2,60	2,42	2,39	5,23
222	4,14	3,04	2,69	2,44	2,26	2,08	2,06	6,07
333	3,95	2,90	2,56	2,33	2,16	2,04	1,91	6,54
Через несколько лет после снятия нагрузки удобрениями (2019–2020 гг.)								
Лес (фон)	5,45	4,25	3,75	3,33	3,03	2,79	2,66	4,70
000-контроль	5,23	4,02	3,53	3,19	2,90	2,69	2,54	4,92
111	5,03	3,74	3,26	2,96	2,69	2,52	2,51	4,98
222	4,60	3,36	2,99	2,74	2,56	2,39	2,21	5,66
333	4,47	3,17	2,81	2,57	2,37	2,23	2,24	5,58

Примечания: * – смещение рН суспензий при максимальной нагрузке NaOH/HCl (12,5 мг-экв/100 г почвы) относительно рНводн.;

** – количество NaOH/HCl (мг-экв/100 г почвы) для смещения рН на единицу, в среднем для исследованного диапазона рН

При незначительных различиях показателей щелочной буферности изучаемых почв в пределах каждого из этапов исследования, повариантное сравнение показателей разных этапов между собой позволило выявить определенные постагрогенные изменения. Для почвы чайной плантации контрольного варианта опыта (без удобрений – 000), все показатели разных лет близки между собой и с показателями почвы фонового участка естественного лесного ценоза (табл. 1). В тоже время для почв чайных мини-плантаций, ранее длительно удобрявшихся высокими дозами NPK-удобрений (варианты опыта 222 и 333), в результате 7–8-летнего их отсутствия выявлено повышение значений $pH_{\text{водн}}$ на 0,46 и 0,52 единицы (соответственно), а средней буферной ёмкости к щелочным нагрузкам на 0,39 и 0,98 мг-экв/100 г почвы (или в 1,1 и 1,2 раза) (табл. 1). Несмотря на некоторое ослабление кислотности (повышение pH на 0,22 ед.) почвы варианта 111, ранее удобрявшейся относительно невысокими дозами NPK-удобрений и имевшей невысокий уровень агрогенного подкисления, средняя щелочная буферная ёмкость практически не изменилась; как и в 2012 г. показатели были близки к контролю (табл. 1).

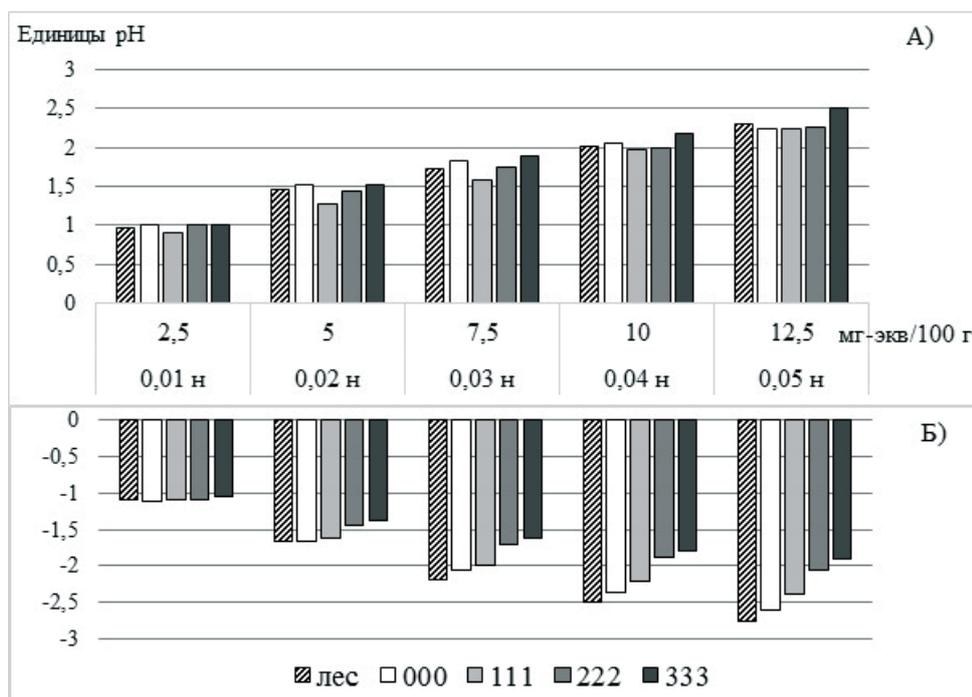


Рис. 2. Сдвиг pH почвенных суспензий под влиянием возрастающих щелочной (А, NaOH) и кислотной (Б, HCl) нагрузок (относительно $pH_{\text{водн}}$), по вариантам опыта в агрогенный период (2012 г.)

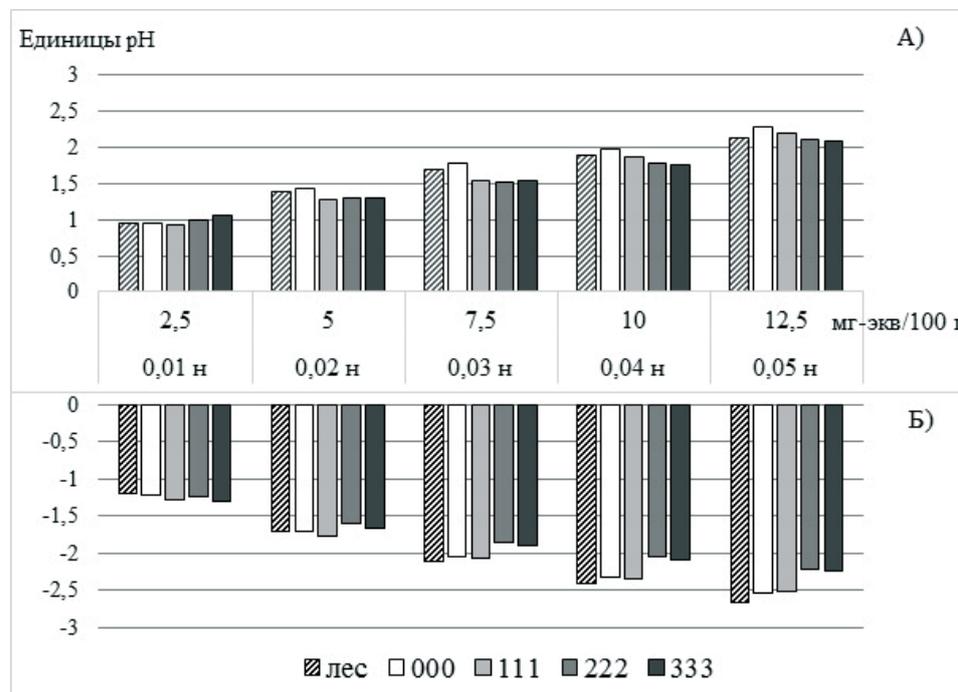


Рис. 3. Сдвиг pH почвенных суспензий в зависимости от щелочной (А, NaOH) и кислотной (Б, HCl) нагрузок (относительно $pH_{\text{водн}}$), по вариантам опыта в постагрогенный период (2019–2020 гг.)

Буферная ёмкость исследованных почв относительно возрастающей кислотной нагрузки в 2012 г. оказалась различной и показывала связь со степенью агрогенного подкисления почв в ряду «лес–000–111–222–333» (рис. 2Б, табл. 1). Различия по величине сдвига pH между почвами усиливались в данном ряду по мере роста концентрации HCl (между почвой леса и варианта 333 – от 0,28 до 0,85 единиц pH) (рис. 2Б). Итоговый сдвиг pH при максимальной нагрузке (12,5 мг-экв/100 г почвы) для наиболее подкисленных почв вариантов 222 и 333 оказался в 1,3–1,4 раза слабее, а средняя кислотная буферная ёмкость – соответственно в 1,3–1,4 раза выше, чем у почв леса и контроля-000 (табл. 1). Почва варианта 111 занимала промежуточное положение между почвой неизменного контроля и сильно подкисленными почвами вариантов 222 и 333; её средняя кислотная буферная ёмкость была лишь в 1,1 раза выше показателей контрольного варианта. При этом почвы вариантов 222 и 333 имели более высокую среднюю буферную ёмкость к кислотным нагрузкам, чем к щелочным; а почвы леса, вариантов 000 и 111, наоборот – к щелочным нагрузкам выше, чем к кислотным (табл. 1).

Повышение буферной ёмкости почв к кислотным нагрузкам по мере их подкисления (как в случае вариантов 222 и 333) объясняет снижение скорости подкисления почв чайных плантаций при их длительном возделывании, выявленное в результате наших исследований на базе данного опыта [7], а также отмеченное для почв чайных плантаций в других регионах мира (например, Китай) [21]. Однако повышение буферной ёмкости почв вариантов 222 и 333 происходило за счёт активизации высокоёмкой железистой буферной зоны при $pH < 3,2$, переход в данный диапазон осуществлялся при нагрузке HCl 1,5–2 мг-экв/100 г почвы; в почве леса и контроля эта буферная зона задействовалась гораздо слабее, только при нагрузке HCl больше 7,5 мг-экв/100 г (табл. 1). При этом буферная ёмкость алюминиевой зоны почв вариантов 222 и 333 оказалась частично исчерпана – для снижения на единицу в диапазоне pH 4–3 потребовалась в 2 раза меньше HCl (около 2–2,5 мг-экв/100 г почвы), чем почве леса и контроля (около 5 мг-экв/100 г почвы). Это отражало неблагоприятные изменения состояния сильно подкисленных почв с экологической точки зрения.

В связи с выявленными существенными изменениями кислотной буферности исследованных почв в результате агрогенного подкисления, её возможные изменения в результате постагрогенного «раскисления» представляют особый интерес. Результаты исследования образцов 2019–2020 гг. показали, что при ослаблении кислотности почвы варианта 111 (повышение pH на 0,22 ед. и соответствующее сокращение разницы с контролем, составлявшей в 2012 г. 0,47 ед.) её средняя кислотная буферная ёмкость снизилась относительно 2012 г. незначительно – на 0,25 мг-экв/100 г почвы или в 1,05 раза, ещё больше сблизившись с показателями почвы контрольного варианта 000 и леса (табл. 1). Сдвиг pH при введении растворов HCl в различных концентрациях (особенно в повышенных) оказался практически одинаков с контролем (рис. 3Б).

Достаточно быстрое возвращение к исходным (контрольным и фоновым) показателям у почвы варианта 111 при снятии нагрузки удобрениями подтверждает ранее сделанные выводы об эффективности и безопасности таких доз удобрений в режиме многолетнего применения на чайных плантациях влажно-субтропического региона России, с учётом урожайности культуры, качества чайного сырья, плодородия почв и её экологического состояния [3, 10].

Отсутствие непосредственного воздействия высоких доз NPK -удобрений в течении нескольких лет способствовало ослаблению кислотности почвы вариантов 222 и 333. Если в результате длительного

применения удобрений отличия от контроля по показателям $pH_{\text{водн}}$ в 2012 г. составляли 1,14 и 1,33 единицы, то к 2019–2020 году они сократились на 0,46 и 0,52 единицы, соответственно (табл. 1). При этом средняя буферная ёмкость почв этих вариантов к кислотным нагрузкам снизилась относительно 2012 г. на 0,41 и 0,96 мг-экв/100 г (или в 1,1 и 1,2 раза), показывая чёткую тенденцию сокращения различий с показателями контроля и фона (табл. 1). Включение в работу высокоёмкой железистой буферной зоны (при переходе в диапазон $pH < 3,2$) осуществлялось уже при несколько более высокой (на 1 мг-экв/100 г), чем в 2012 г. нагрузке НС1 – около 3 и 2,5 мг-экв/100 г почвы (для 222 и 333, соответственно). Для снижения на единицу в диапазоне $pH 4–3$ (алюминиевая буферная зона) почве варианта 222 потребовалась уже в 2 раза больше НС1 (около 4,5 мг-экв/100 г почвы), чем в 2012 г., а для наиболее кислой почвы варианта 333 – около 2,5 мг-экв/100 г почвы, т. е. только немногим более, чем в 2012 г. (табл. 1). Сокращение использования резервов высокоёмкой железистой буферной зоны и повышение буферной ёмкости алюминиевой буферной зоны (в особенности в почве варианта 222) свидетельствовало о положительных изменениях состояния почв с экологической точки зрения.

В результате повышения щелочной и снижения кислотной буферной ёмкости почвы вариантов 222 и 333 в отсутствие нагрузки удобрениями приобрели (в отличие от 2012 г.) в целом более высокую среднюю буферную ёмкость к щелочным нагрузкам, чем к кислотным, что характерно для почвы леса, вариантов 000 и 111 (табл. 1).

Заключение. Таким образом, изучение кислотно-основной буферности в разной степени агрогенно-подкисленных почв чайной плантации спустя 7–8 лет после снятия многолетней нагрузки удобрениями позволило выявить следующие постагрогенные изменения:

– для почв, ранее длительно удобрявшихся высокими двойными и тройными дозами NPK-удобрений (222 и 333) и получивших подкисление в сильной степени, выявлено: ослабление кислотности на 0,46 и 0,52 единицы pH ; повышение средней буферной ёмкости к щелочным нагрузкам на 0,39 и 0,98 мг-экв/100 г почвы (или в 1,1 и 1,2 раза) при сопоставимом снижении к кислотным (на 0,41 и 0,96 мг-экв/100 г или в 1,1 и 1,2 раза), в целом при сокращении различий с показателями контроля (000 – без удобрений) и фона (лес); повышение буферной ёмкости алюминиевой буферной зоны, наиболее выраженное на варианте 222, ограниченное использования резервов железистой буферной зоны, свидетельствовало о положительных изменениях экологического состояния почв;

– для почвы, ранее удобрявшейся относительно невысокими одинарными дозами НРК-удобрений (111) и имевшей средний уровень агрогенного подкисления, выявлено ослабление кислотности на 0,22 единицы рН и незначительное изменение (на 0,10–0,25 мг-экв/100 г почвы) показателей средней щелочной и кислотной буферной ёмкости, которые привели к ещё большему сближению с показателями контроля и фона.

Выявленные изменения буферных свойств свидетельствовали об определённом сближении состояния в разной степени агрогенно-изменённых почв чайной плантации с мало изменённой почвой контроля и нативной лесной почвой за прошедший 7–8-летний постагрогенный период. Достаточно быстрое самовосстановление (возвращение к исходным показателям) свидетельствовало о допустимом уровне нагрузки в данном варианте применения удобрений для исследованного зонального подтипа почвы – бурой лесной кислотой.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ СЦ РАН № 0492-2021-0010.*

Библиографический список

1. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. – Краснодар: Куб ГАУ, 2004. – 169 с.
2. 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. – ISSN 0130-8475.
3. Козлова Н.В. Оптимизация применения азотных удобрений при многолетнем возделывании чая в субтропиках России // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 69. – С. 173-183. – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-69-173-183>.
4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Дыхательная активность агрогенно-изменённых почв чайных плантаций в постэксплуатационный период // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 69. – С. 192-200. – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-69-192-200>.
5. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Использование показателей кислотно-основной буферности в оценке состояния агрогенно-изменённых бурых лесных почв Черноморского побережья Западного Кавказа // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 3. – С. 44-50. – <https://doi.org/10.26178/AE.2020.46.87.002>.
6. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Кислотно-основная буферность почв в связи с их агрогенной ацидизацией при возделывании чая в субтропиках России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Т. 59. – С. 322-329. – <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-59-322-329>.
7. 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. – ISSN 2073-4948.
8. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций в постагрогенный период // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 44. – С. 174-181. – ISSN 2073-4948.

9. 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. 3-9. – ISSN 0002-1881.
10. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Динамика плодородия бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении различных видов и доз минеральных удобрений // *Агрохимия*. – 2018. – № 2. – С. 34-41. – <https://doi.org/10.7868/S0002188118020035>.
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. Надточий П.П. Кислотно-основная буферность почвы – критерий оценки её качественного состояния // *Почвоведение*. – 1998. – № 9. – С. 1094-1102. – ISSN 0032-180X.
13. Надточий П.П. Определение кислотно-основной буферности почв // *Почвоведение*. – 1993. – № 4. – С. 34-39. – ISSN 0032-180X.
14. Надточий П.П., Мыслыва Т.Н. Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга // *Агрохимия*. – 2014. – № 3. – С. 83-89.
15. Позняк С.П., Гамкало М.З. Кислотно-основная буферность буроземов украинских Карпат // *Почвоведение*. – 2001. – № 6. – С. 660-669. – ISSN 0032-180X.
16. 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. – <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9327-5>.
17. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agrocenoses in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humid subtropical zone of Russia // *E3S Web of Conferences* 254 (FARBA 2021). – 2021. – 05009. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125405009>.
18. 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. – <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123079622>
19. 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.
20. Sokolova T.A. Soil Acidity and the Acid-Base Buffering of Soils. – М.: Университетская книга, 2016. – 64 p.
21. 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. – [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(10\)60070-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(10)60070-7).
22. 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. – <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1226685>.

CHANGING THE BUFFER CAPACITY OF SOILS OF TEA AGROCENOSES AFTER REMOVING THE LONG-TERM FERTILIZER LOAD

Kerimzade V.V., Kozlova N.V.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru*

In the conditions of the humid-subtropical zone of Russia (Sochi Black Sea coast), the buffer properties of acid brown forest soils, which received different degrees of agrogenic acidification under tea culture, and their changes in the post-agrogenic period were studied. According to the variants of the multifactorial field experiment, the buffer capacity of soils was compared with fertilizers within the prolonged use of NPK fertilizers in various doses, as well as 7–8 years after their complete cancellation during the conservation of the experiment. For highly acidified soils, previously fertilized for a long time with double (N240-400 P120 K100) and triple (N360-600 P180 K150) doses of fertilizers, in the postagrogenic phase it has been revealed the following: a decrease in acidity by 0.46 and 0.52 pH units; an increase in the average buffer capacity to alkaline loads and a comparable decrease to acidic loads (by 0.4 and 1.0 mg-eq/100 g or 1.1 and 1.2 times), while reducing differences with the control (NOP0K0) and background indicators (forest); increased capacity of the aluminum buffer zone and preserved reserves of the ferruginous buffer zone. The soil which had been previously fertilized with single doses of fertilizers permissible by load (N120-200 P60 K50) and which had received an average level of acidification, after removing the agrogenic load, showed the buffer capacity indicators closest to the control and background. The reduction of differences with background and control indicators testified to the beginning of the process of self-healing even in highly agrogenically altered soils, which was evaluated positively from the ecological point of view.

Key words: acid brown forest soils, tea plantation, agrogenic acidification, postagrogenic changes, acid and alkaline buffering.