

минеральных удобрений на фоне известкования // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 5. – С. 28-32.

2. Волошин, Е.И. Руководство по удобрению многолетних бобовых трав (люцерна, клевер, донник, эспарцет): метод. рекомендации [Электронный ресурс] / Е.И. Волошин, А.Т. Аветисян; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2017. – 31 с.

3. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном внесении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 71-77.

4. Игнатъев С.А., Грязева Т.В., Игнатъева Н.Г. Влияние сроков скашивания зеленой массы люцерны на продуктивность и её кормовую ценность // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С.55-59.

5. Корнышев Д.С., Карасева Т.Н. Многолетние бобово-злаковые травы как источник повышения почвенного плодородия. В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ, 2017. – С. 421-424.

6. Митюкова Я.А., Руденко Н.В., Поддубная Е.В. Влияние многолетних трав на плодородие почв Западной Сибири В сб.: Достижения вузовской науки 2018. Сборник статей VI Международного научно-исследовательского конкурса, 2018. – С. 69-71.

7. Никулин А.Б. Эффективность возделывания бобовых и бобово-злаковых травостоев с козлятником восточным в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. – 2015. – № 41. – С.21-24.

8. Сабитов М.М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности зерновых культур // Агрохимический вестник. – 2019. – № 5. – С. 50-54.

9. Станков Н.З. Корневая система полевых культур. – М.: Колос, 1964.

10. Токарева С.П. Создание высокопродуктивных травосмесей с козлятником восточным. В сборнике: Вклад ученых в повышении эффективности агропромышленного комплекса России. Международная научно-практическая конференция, посвященная 20-летию создания ассоциации «Аграрное образование и наука», 2018. – С. 57-60.

11. Трусов В.И., Дронова Н.В. Пути сохранения плодородия почв в адаптивно ландшафтных системах земледелия с использованием многолетних трав. В сб.: Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. Сборник научных трудов. – М., 2020. – С. 120-124.

12. Тягугин Е.А., Коновалова Н.Ю., Калабакин П.Н., Коновалова С.С. Продуктивность фестулолиума в чистых и смешанных посевах в условиях Европейского севера России // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – №5. – С. 24-27.

13. Фигурин В.А., Кислицина А.П. Фестулолиум в травосмесях с клевером луговым // Кормопроизводство. – 2018. – №7. – С. 15-19.

14. Эседуллаев С.Т. Продуктивность и кормовая ценность травосмесей на основе фестулолиума в Верхневолжье // Кормление с.-х. животных и кормопроизводство. – 2020. – № 8. – С. 68-75.

15. Эседуллаев С.Т. Изменение состава поливидовых посевов кормовых культур по годам и их продуктивное долголетие в условиях Верхневолжья // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 1. – С. 45-62.

# PERMANENT GRASSES AND THEIR MIXTURES – IMPORTANT FACTOR OF INCREASING THE FERTILITY OF SODDY-PODZOLIC SOILS AND THE PRODUCTIVITY ARABLE LAND IN THE UPPER VOLGA REGION

*Esedullaev S.T., Candidate of Agricultural Sciences, Ivanovo Research Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Verkhnevolzhsky FANTS", 153506, Ivanovo Region, Ivanovsky District, s. Bogorodskoe, st. Centralnaya, 2, E-mail: [ivniicx@mail.ru](mailto:ivniicx@mail.ru)*

*The article presents the results of many years of research study on the productivity of perennial legumes and cereal grasses in single-species and mixed crops, their influence on the fertility of soddy-podzolic soil. Changes in soil fertility were studied by determining the accumulation of stubble and root residues (SRR), humus, total and symbiotic nitrogen, as well as the balance of basic nutrients. It has been established that the accumulation of SRR was directly dependent on the productivity of grasses, and the yield of humus closely correlated with their quantity. In single-species crops, the largest amount of SRR (11.3 and 12.3 t/ha in the control and background of mineral nutrition, respectively), humus (2.83 and 3.08 t/ha), as well as total nitrogen (249 and 271 kg/ha) and symbiotic (149 and 163 kg/ha) were accumulated by alfalfa is changeable, and in mixed crops, grass mixtures of alfalfa and clover with festulolium had the greatest impact on the fertility of soddy-podzolic soil. After them, 13.1 and 13.4 t/ha of FQS, 2.95 and 3.08 t/ha of humus, 262 and 268 kg/ha of nitrogen remained in the soil, 78.6-80.4 kg/ha of which is symbiotic. The calculation of the balance of nutrients and humus showed that the balance of humus, nitrogen and phosphorus turned out to be positive, and potassium – negative. The excess in nitrogen accumulation ranged from 20.8 to 110 kg/ha, phosphorus – from 43.1 to 73.6 kg/ha, the humus content increased by 0.64 – 0.89% compared to the initial value, depending on the grass variant. The potassium balance was negative by 4.0-46.4 kg/ha. The high productivity of grasses contributed to an increase in soil fertility. In single-species crops on both agrophones, the maximum yields of green mass and dry matter were provided by alfalfa – 42.7 and 8.73 t/ha in the control, 44.4 and 9.14 t/ha against the background of mineral nutrition. The most productive mixture of alfalfa with festulolium turned out to be the most productive on both agrophones, which provided high yields of fodder units and protein – 7.19 thousand/ha fodder units 1069 kg/ha of protein in the control and 8.53 thousand/ha and 1194 kg/ha, respectively, against the background of mineral nutrition.*

*Key words: perennial grasses, legumes, cereals, soddy-podzolic soil, fertility, productivity.*

УДК 633.72:631.816 (213.1:470.62)

DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.17

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ БУФЕРНЫХ СВОЙСТВ АГРОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ В ОТСУТСТВИИ ПОДКИСЛЯЮЩЕЙ НАГРУЗКИ УДОБРЕНИЯМИ

*Н.В. Козлова, к.б.н., Л.С. Малюкова, д.б.н., В.В. Керимзаде, ФГБУН ФИЦ «Субтропический научный центр Российской академии наук»  
354002, Россия, г. Сочи, ул. Я.Фабрициуса, 2/28, e-mail: [kozlovanvagro@yandex.ru](mailto:kozlovanvagro@yandex.ru)*

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

*В условиях влажно-субтропической зоны России (сочинское Черноморское побережье) в многофакторном полевом опыте проведено изучение кислотно-основной буферности бурых лесных кислых почв многолетних модельных агроценозов чая. Сравнили показатели почв разной степени подкисления в результате 25-летнего (1986-2011 г.) применения НРК-удобрений и после 8-9 лет их отмены (с 2012 г.). Почва, получившая средний уровень подкисления (снижение pH на 0,5-0,7 ед.) при удобрении одинарными дозами (N<sub>120-200</sub> P<sub>60</sub> K<sub>50</sub>), имела*

наименее выраженные отличия от контроля ( $N_0P_0K_0$ ) и фона (лес). В отсутствие удобрений она еще более приблизилась к ним по всем показателям, при ослаблении кислотности на 0,2 ед. pH. Это свидетельствует о допустимом уровне такой нагрузки. Сильно подкисленные почвы (снижение pH на 1,1-1,3 и 1,3-1,5 ед.) в результате длительного внесения двойных и тройных доз NPK-удобрений значительно отличались от контроля и фона. В кислотном интервале площадь буферности и степень приведенной буферной способности снизились в 2-2,5 раза, а средняя буферная емкость, напротив, выросла в 1,3-1,4 раза за счет активизации высокоемкой железистой при истощении алюминиевой буферной зоны. После снятия нагрузки удобрениями произошли: ослабление кислотности на 0,4-0,5 ед. pH; увеличение площади кислотной буферности на 25-30 %, рост в 1,3 раза степени кислотной приведенной буферной способности и индекса кислотно-основного равновесия, повышение средней буферной емкости к щелочным нагрузкам при снижении к кислотным нагрузкам (на 10-20 %); повышение емкости алюминиевой буферной зоны при сохранении резервов железистой зоны буферности. Постепенное возвращение к исходным характеристикам, свойственным нативным почвам (фону), свидетельствовало о способности самовосстановления даже сильно подкисленных почв после снятия агрогенного прессинга.

**Ключевые слова:** бурые лесные кислые почвы, агроценозы чая, минеральные удобрения, агрогенное подкисление, постагрогенные изменения, кислотно-основная буферность, площадь буферности, буферная емкость, степень буферной способности, кислотно-основное равновесие, показатель нейтрализации.

Для цитирования: Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Восстановление буферных свойств агрогенно-измененных почв в отсутствие подкисляющей нагрузки удобрениями// Плодородие. – 2022. – №6. – С. 63-69.  
DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.17:

Устойчивость почв к различного рода природным и антропогенным (техногенным, агрогенным) воздействиям определяется их буферными свойствами. Важной составляющей общей буферной способности почв служит способность противостоять изменению значений pH при кислотной или щелочной нагрузке – кислотно-основная буферность. Она широко изучается в связи с глобальной проблемой подкисления почв (прогнозирование риска и скорости, оценка степени), в том числе вызванного интенсивной химизацией сельского хозяйства, а также в целом с точки зрения диагностики общего экологического состояния почв и поиска наиболее информативных критериев [2, 10, 11, 14].

Для исходно кислых почв, используемых для возделывания многолетней монокультуры чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) – выраженного ацидо- и алюмофила, дальнейшее их подкисление в процессе длительной эксплуатации плантаций является характерным трендом в разных чаепроизводящих регионах мира [1, 12, 15]. В силу биологических особенностей культуры нейтрализация кислотности почв технологией возделывания не предполагается. Однако, в зависимости от буферных свойств почвы и интенсивности использования минеральных удобрений (прямой и косвенный фактор ацидизации), подкисление может быть очень существенным в верхнем слое (на 1,5-2 [15] и даже на 2,5-2,8 ед. pH [12] в слое 0-10/20 см) и проследиваться на большую глубину (до 70 см). При этом почвы переходят в разряд очень сильнокислых, например почвы длительно возделываемых плантаций Западной Грузии с  $pH_{KCl}$  2,6-3,0. Столь выраженные изменения кислотности почв безусловно сопряжены с нарушением целостности комплекса почвенных свойств, сформированного в процессе естественного генезиса.

Комплексная оценка состояния почв длительно возделываемых чайных плантаций влажно-субтропической зоны России показала существенные агрогенные изменения их вещественно-структурных и биофункциональных свойств, связанные с выраженным подкислением на фоне высокой нагрузки удобрениями [1, 8, 9]. Были выявлены [6] в том числе существенные изменения показателей кислотно-основной буферности относительно нативных зо-

нальных почв, дополнившие понимание механизмов и динамики процесса подкисления.

Возможность восстановления исходных свойств таких агрогенно-измененных почв после снятия агрогенного прессинга (многолетней нагрузки минеральными удобрениями) представляет научно-практический интерес и изучается. Полученные результаты показывают, что в отсутствие удобрений (и дополнительного поступления с ними кислотоопределяющих компонентов) идет раскисление почв, причем пропорционально уровню подкисления [5]. При этом отмечена нормализация угнетенного функционального состояния ранее интенсивно удобрявшихся почв [4]. Содержание доступных питательных элементов (N, P, K) и гумуса, повышенное на фоне длительного применения удобрений, без удобрений снижается, стремясь к естественному уровню почв лесных экосистем [7, 13]. Это, безусловно, неблагоприятно с точки зрения сельскохозяйственного использования. Но в целом тенденция возвращения к генетически обусловленным характеристикам может оцениваться положительно с точки зрения экологического состояния почв.

В связи с выявленным ослаблением кислотности (раскислением) почв чайных плантаций после снятия стрессового агрогенного фактора, актуально изучение возможных изменений их кислотно-основной буферности по ряду диагностических показателей.

**Методика.** Исследования проведены в условиях сочинского Черноморского побережья (ЗАО «Дагомысчай», пос. Уч-Дере.) на базе многофакторного полевого опыта с удобрениями на культуре чая (№ 023 в реестре Географической сети опытов РФ). Почва бурая лесная кислая (на элюво-делювии аргиллитов) [3] – основная чаепригодная в регионе (влажно-субтропическая зона). В схеме опыта 16 различных сочетаний доз NPK (в градациях 0, 1, 2, 3 одинарные дозы), повторность 2-кратная, размер опытных делянок 50 м<sup>2</sup>. Удобрения по схеме опыта вносили ежегодно в 1986-2011 г. При этом одинарная доза азотных удобрений увеличивалась по мере роста растений с шагом 70-90-120-200 кг д.в./га в 1986-1989-1993-2000 г.; соответственно максимальная из изучаемых доз азота (3N) достигала 600 кг д.в./га. Для фосфорных и калийных удобрений одинарные до-

зы не изменялись и составляли 60 и 50 кг д.в/га (соответственно), а тройные – 180 и 150 кг д.в/га. В процессе длительного (более 25 лет) модельного эксперимента, начатого на третий год после закладки плантации, сформировались мини-плантации (варианты опыта), различающиеся по габитусу чайных шпалер и продуктивности, плодородию почв и проявлению агрогенных изменений (в т.ч. степени подкисления).

В 2012 г. опыт был законсервирован и полностью прекращено внесение удобрений, но мониторинг состояния почв по вариантам опыта (согласно ранее наложенной схеме) был продолжен. Показатели состояния почв на рубеже 2012 г. являются итоговыми для оценки агрогенных изменений в период применения удобрений, и в то же время – исходными для изучения возможных постагрогенных изменений и последствий удобрений. В ранневесенний период 2012 г. по вариантам опыта в 6-кратной повторности отобрали образцы почвы (в слое 0-20 и 20-40 см). В дальнейшем их анализировали индивидуально по всему комплексу показателей, в том числе кислотно-основных свойств, а для ряда вариантов изучали также агрогенные изменения кислотно-основной буферности по комплексу показателей в смешанных образцах [6].

В 2019 и 2020 г. отборы проб почвы по вариантам законсервированного опыта были повторены (по аналогии с отборами 2012 г.). Для сравнительного изучения кислотно-основной буферности почв в агрогенной и постагрогенной фазах были выбраны образцы наиболее измененного верхнего слоя (0-20 см) почв, представляющих ряд по возрастанию произведенной нагрузки удобрениями и полученной степени агрогенного подкисления, а также постагрогенного раскисления после снятия нагрузки. В него вошли почвы модельных чайных плантаций: 000 (контроль) – без применения удобрений, слабо измененная; 111 – одинарные дозы NPK-удобрений, средняя степень подкисления и раскисления; 222 – двойные дозы, сильное подкисление и раскисление; 333 – тройные дозы, еще более сильное подкисление и раскисление. Также взяли образцы эталонной нативной почвы в лесном массиве (фоновый участок), граничащем с плантацией. Определение показателей кислотно-основной буферности выполнили по модифицированной методике Аррениуса [10] в смешанных образцах, составленных из 5-6 индивидуальных проб для каждого варианта (аналогично ранее проведенному для образцов 2012 г.) [6].

Определяли pH почвенных суспензий (почва : раствор = 1 : 2,5) в зависимости от возрастающих концентраций (0-0,05 н. или 0-12,5 смоль(экв)/кг почвы) растворов HCl (кислотный интервал) и NaOH (щелочной интервал). Затем вычисляли следующие показатели кислотно-основной буферности (согласно [11, 12]): площади кислотной и щелочной буферности (ПБ) – площади между кривой зависимости pH растворов HCl и NaOH от 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 единица pH); степень кислотной и щелочной приведенной буферной способности (СБСП) – доля (%) ПБ исследуемой почвы от ПБ абсолютно буферного эталона с pH 7 (по 26 см<sup>2</sup> в кислотном и щелочном диапазонах); 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.

Обработка данных, а также их визуализация (графики и диаграммы) выполнены в программе Microsoft Excel. Варианты опыта закодированы в соответствии с количеством одинарных доз элементов (NPK) в период применения удобрений.

**Результаты и их обсуждение.** Изучение кислотно-основной буферности длительно удобрявшихся почв чайных мини-плантаций опыта по состоянию на 2012 г. (окончание активной фазы опыта, начало консервации) позволило установить изменения показателей в сравнении с нативной бурой лесной кислой почвой леса (фон) и малоизмененной почвой контрольного варианта (000 – без удобрений) [6]. Выявленные изменения усиливались в ряду: лес – 000 – 111 – 222 – 333, т.е. в зависимости от уровня нагрузки удобрениями и подкисления почв (табл. 1 и рис. 1, 2012 г.). Так у среднеподкисленных почв варианта 111 (снижение на 0,5-0,7 ед. pH от фона и контроля) площадь буферности (ПБ) и степень приведенной буферной способности (СБСП) в кислотном интервале снизились в 1,3-1,5 раза; у сильноподкисленных почв вариантов 222 и 333 (снижение на 1,1-1,3 и 1,3-1,5 ед. pH от фона и контроля) – в 2-2,5 раза. Площадь щелочной буферности у наиболее кислых почв (варианты 222 и 333) повысилась на 25-30 % относительно контроля и фона, где она была в 2,5-3 раза выше площади кислотной буферности. Соотношение площадей кислотной и щелочной буферности (ПБ1/ПБ2) для вариантов 111 и 222, 333 оказались соответственно в 1,7 и 3,2 раза ниже фонового (лес), а индекс кислотно-основного равновесия (КОР) – дополнительный показатель устойчивости почв [11]), соответственно, в 1,5 и 2,7 раза ниже фонового. Для нейтрализации кислотности (ПН) среднеподкисленной почвы варианта 111 пошло максимальное в эксперименте количество NaOH (12,5 смоль(экв)/кг), что было в 2-2,7 раза выше, чем для почвы контроля и фона; для сильнокислых почв (варианты 222 и 333) щелочи нужно было еще больше (табл. 1 и рис. 1, 2012 г.).

**1. Кислотно-основная буферность исследованных почв в агрогенный и постагрогенный периоды (слой 0-20 см)**

Вариант	pH <sub>H2O</sub>	Площадь буферности (ПБ), см <sup>2</sup>		ПБ1/ ПБ2	Показатель нейтрализации, смоль(экв) NaOH/кг	Степень буферной способности, приведенная (СБСП), %		КОР (СБСП1/ СБСП2)
		1	2			1	2	
		Участок естественного лесного экосистема (фон, эталон)						
Лес	5,57	9,8	25,4	0,39	4,6	38,2	95,5	0,40
Агроценозы чая по окончании активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.)								
000	5,28	9,0	26,8	0,33	6,3	34,9	98,2	0,36
111	4,81	6,8	29,7	0,23	12,5	26,5	100	0,26
222	4,14	4,3	32,6	0,13	> 12,5	16,9	100	0,17
333	3,95	3,8	33,3	0,12	> 12,5	14,9	100	0,15
Агроценозы чая через несколько лет после снятия нагрузки удобрениями (2019-2020 г.)								
000	5,23	8,8	27,1	0,33	7,3	34,4	98,8	0,35
111	5,03	7,0	28,9	0,24	10,9	27,2	99,7	0,27
222	4,60	5,6	31,2	0,18	> 12,5	21,8	100	0,22
333	4,47	4,8	32,0	0,15	> 12,5	18,9	100	0,19

*Примечание.* 1 – кислотная, 2 – щелочная почва.

Оценка состояния почв спустя 8-9 лет отсутствия удобрений показала (табл. 1 и рис. 1), что наряду с

выраженным (на 0,46 и 0,52 ед. рН) ослаблением кислотности – раскислением сильно подкисленных почв чайных плантаций, ранее удобрявшихся двойными и тройными дозами NPK-удобрений (варианты 222 и 333), произошли определенные изменения их буферных свойств относительно показателей 2012 г. Так, площадь кислотной буферности увеличилась на 25-30 %, что сопоставимо по абсолютным значениям с сокращением площади щелочной буферности (на 1,0-1,4 см<sup>2</sup>). Степень приведенной кислотной буферной способности (СБСП) и соотношение площадей кислотной и

щелочной буферности (ПБ1/ПБ2) выросли в 1,3 раза. Также отмечен рост индекса КОР в 1,3 раза, что свидетельствовало о повышении устойчивости функционирования данных агроэкосистем. При ослаблении кислотности почвы варианта 111 на 0,22 единицы рН относительно 2012 г. показатель нейтрализации снизился почти на 2 смоль(экв)NaOH/кг, или в 1,2 раза; постагрогенные изменения других показателей буферности были незначительными, однако направленными на сближение с почвой фона (лес) и контроля (000) (см. рис. 1 и табл. 1).

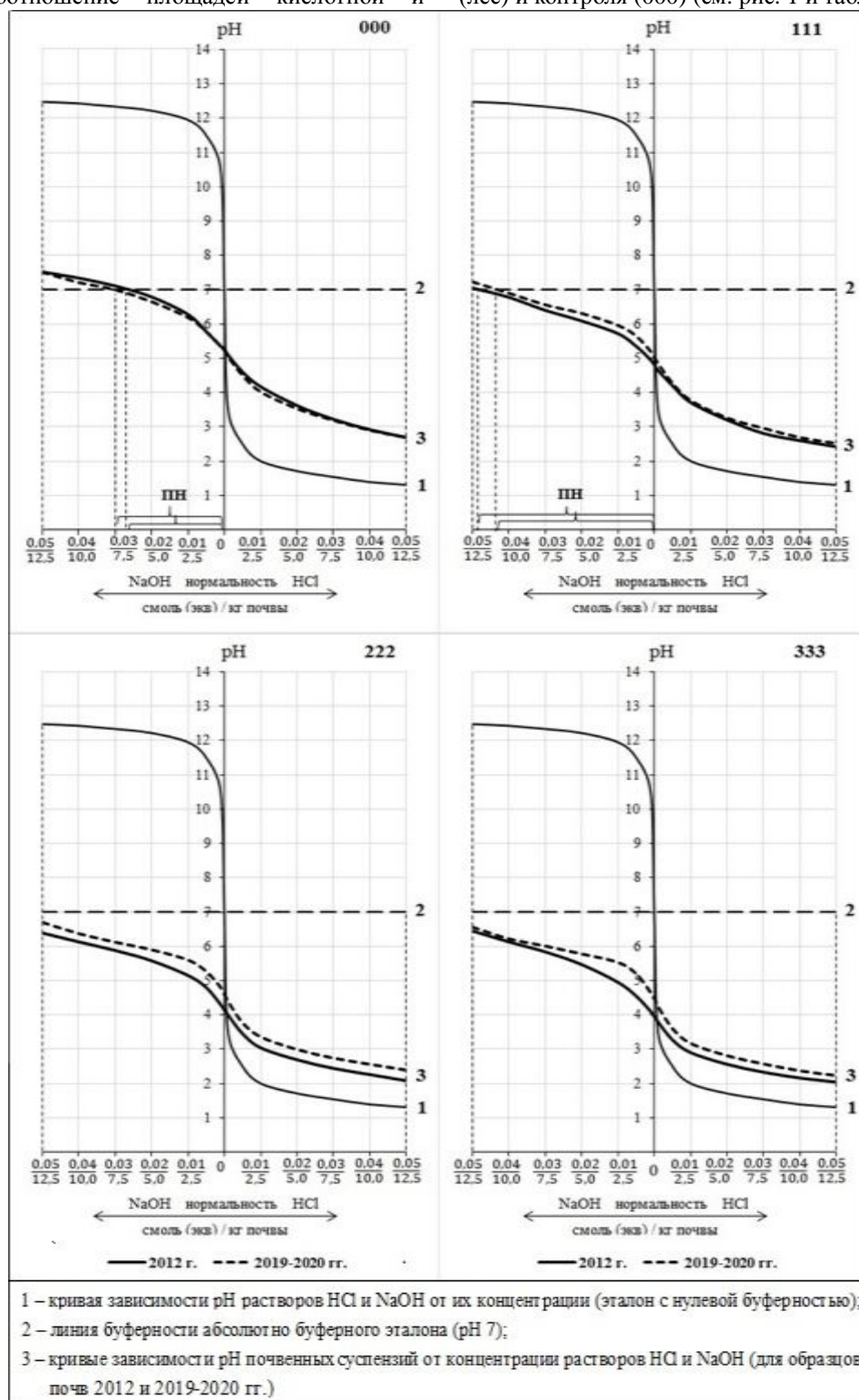


Рис. 1. Графическое отображение изменения кислотно-основной буферности почв модельных чайных плантаций после снятия нагрузки удобрениями

Результаты изучения буферной емкости агрогенно-измененных почв чайных плантаций на рубеже 2012 г. [6] показали прямую связь их устойчивости к возрастающей кислотной нагрузке (HCl) со степенью агрогенного подкисления. Так, различия между почвами по величине сдвига pH постепенно увеличивались в ряду: лес – 000 – 111 – 222 – 333 по мере увеличения концентрации HCl, достигнув при максимальной нагрузке (12,5 смоль(экв) HCl/кг почвы) разницы в 0,85 единицы между лесом и 333 (рис. 2 Б, 2012 г.). В итоге максимальный сдвиг pH у наиболее подкисленных почв (варианты 222 и 333) оказался в 1,3-1,4 раза слабее, а средняя кислотная буферная емкость, соответственно, в 1,3-1,4 раза выше, чем у почв леса и контроля (000). У среднеподкисленных

почв варианта 111 эти показатели лишь в 1,1 раза отличались от контроля (табл. 2, 2012 г.).

Буферная емкость всех исследованных почв к щелочной нагрузке была примерно одинаковой (несколько более низкая отмечена для сильно подкисленной почвы варианта 333), о чем говорят сопоставимые сдвиги pH при любой из концентраций NaOH (рис. 2 А, 2012 г.). При этом, если у нативной почвы леса, мало измененной (000-контроль) и средне-подкисленной (111) почвы чайной плантации средняя буферная емкость к щелочным нагрузкам была выше, чем к кислотным, то у сильноподкисленных почв (222 и 333), наоборот – к кислотным выше, чем к щелочным (см. табл. 2, 2012 г.).

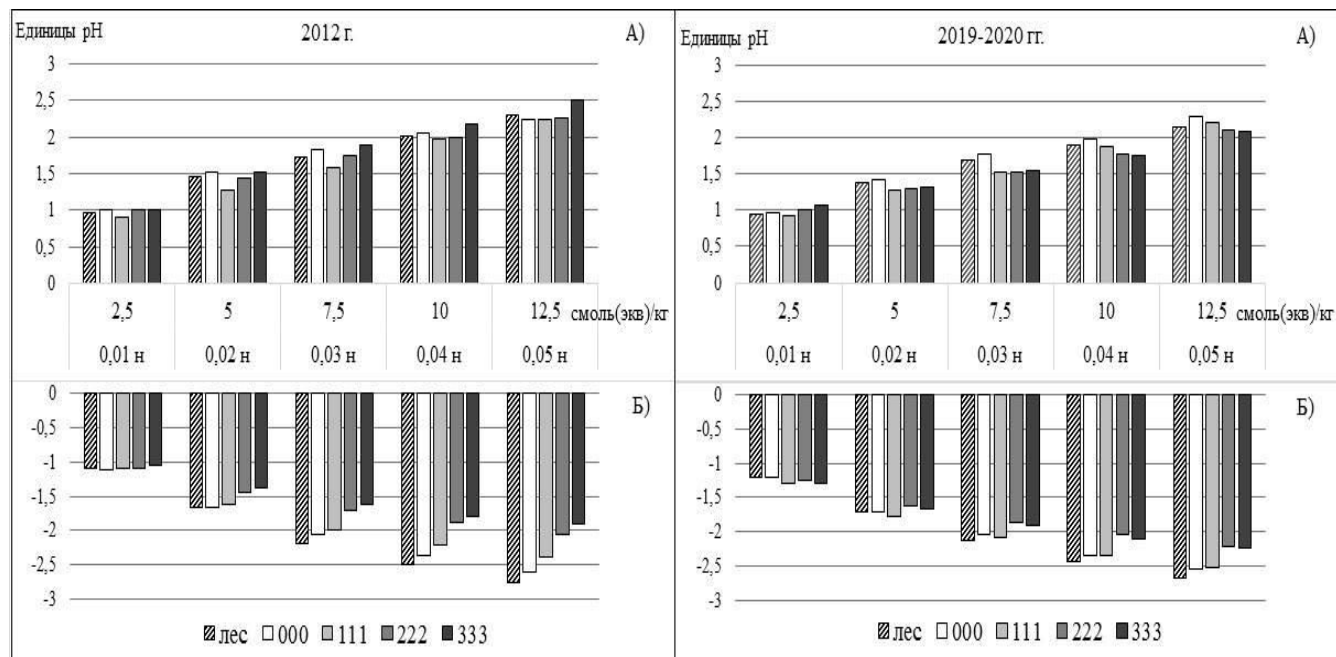


Рис. 2. Сдвиг pH исследованных почв при различной щелочной (А, NaOH) и кислотной (Б, HCl) нагрузках (относительно pH их водных суспензий) в разные периоды отбора образцов: 2012 г. – агрогенный; 2019-2020 г. – постагрогенный

2. Максимальны сдвиг pH и средняя буферная емкость исследованных почв в агрогенный и постагрогенный периоды					
Вариант	pH <sub>водн.</sub>	Сдвиг pH при максимальной нагрузке (12,5 смоль(экв) /кг почвы)		Средняя буферная емкость *	
		HCl	NaOH	Кислотная	Щелочная
По окончании этапа активной эксплуатации с применением удобрений (2012 г.)					
Лес	5,57	2,76	2,31	4,53	5,41
000	5,28	2,53	2,24	4,83	5,58
111	4,81	2,39	2,24	5,23	5,58
222	4,14	2,06	2,25	6,07	5,56
333	3,95	1,91	2,50	6,54	5,00
Через несколько лет после снятия нагрузки удобрениями (2019–2020 г.)					
Лес	5,45	2,66	2,14	4,70	5,64
000	5,23	2,54	2,28	4,92	5,48
111	5,03	2,51	2,20	4,98	5,68
222	4,60	2,21	2,10	5,66	5,95
333	4,47	2,24	2,09	5,58	5,98

\*Количество NaOH/HCl (смоль(экв)/кг почвы) для смещения pH на единицу, в среднем для исследованного диапазона pH.

Повышенная кислотная буферная емкость у наиболее сильно подкисленных почв вариантов 222 и 333 обусловлена активизацией высокочемкой железистой

**Плодородие №6•2022**

буферной зоны при переходе в диапазон pH<3,2 (где работает данная буферная система [14]), что происходит в данном случае уже при нагрузке 1,5-2 смоль(экв) HCl/кг почвы (рис. 3, 2012 г.). В почве леса и контроля эта буферная зона активизировалась только при нагрузке 7,5-8,5 смоль(экв) HCl/кг почвы (т.е. в 4-5 раз более высокой). Для снижения с 4 до 3 единиц pH (алюминиевая зона буферности) почвам вариантов 222 и 333 потребовалось 2-2,5 смоль(экв) HCl/кг почвы, что было в 2,5-3 раза меньше по сравнению с почвой леса и контроля, и свидетельствовало о частичном исчерпании резервов алюминиевой буферной зоны. С точки зрения общего экологического состояния почв, истощение алюминиевой и включение в работу дополнительно железистой зоны буферности должны рассматриваться как неблагоприятные изменения. При этом, по-видимому, именно повышение буферной емкости почв к кислотным нагрузкам в процессе подкисления объясняет снижение скорости подкисления почв чайных плантаций при их длительном возделывании, выявленное и в нашем опыте [6], и китайскими коллегами [15].

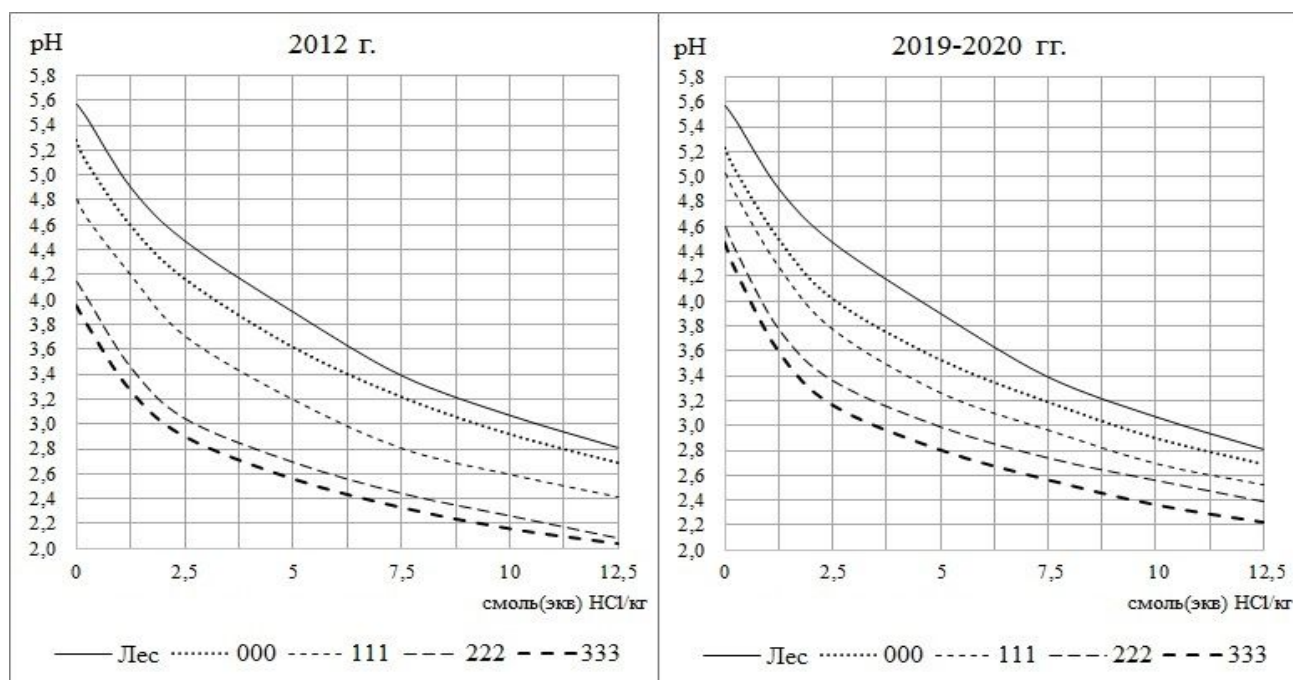


Рис. 3. Изменение pH почвенных суспензий при возрастающих кислотных нагрузках по вариантам опыта в агрогенный (2012 г.) и постагрогенный (2019-2020 г.) периоды

Повариантное сравнение буферной емкости образцов 2019-2020 г. и 2012 г. показало четкую тенденцию к сокращению различий между показателями сильно подкисленных почв чайных плантаций и нативной лесной почвы после 8-9-летнего отсутствия нагрузки удобрениями (табл. 2, рис. 2, 3.). Так, при ослаблении кислотности почвы вариантов 222 и 333 на 0,46 и 0,52 ед. pH соответственно средняя буферная емкость к кислотным нагрузкам снизилась на 0,4 и 1,0 смоль(экв)/кг почвы (или в 1,1 и 1,2 раза), а к щелочным нагрузкам – соответственно на столько же увеличилась (см. табл. 2). В результате этого (в отличие от 2012 г.) средняя щелочная буферная емкость почв превысила среднюю кислотную буферную емкость, что является характерным соотношением для нативной почвы леса (и малоизмененных вариантов 000 и 111). Наряду с изменениями других показателей это также говорит о тенденции к восстановлению генетически-обусловленных буферных свойств данных почв в результате отмены удобрений.

Изучение буферной емкости почв в конкретных диапазонах pH (рис. 3) показало некоторое снижение использования резервов железистой зоны буферности при раскислении чайных почв (варианты 222 и 333), поскольку для перехода в диапазон  $\text{pH} < 3,2$  им нужна была более высокая нагрузка HCl (2,5-3,5 смоль(экв)/кг почвы), чем в 2012 г. (см. рис. 3). Для почвы варианта 222 выявлено повышение буферной емкости в диапазоне pH 4-3 (алюминиевая буферная зона): для снижения на единицу pH потребовалось около 4,5 смоль(экв) HCl/кг почвы, что почти в 2 раза больше, чем в 2012 г. Но при этом для наиболее кислой почвы варианта 333 повышение емкости алюминиевой буферной зоны было пока незначительным (менее чем на 1 смоль(экв)/кг почвы). Сохранение части резервов железистой буферной зоны и повышение буферной емкости алюминиевой зоны свидетельствует о

положительных изменениях экологического состояния почв.

При ослаблении кислотности почвы варианта 111 на 0,22 единицы pH ее буферная емкость к кислотной и щелочной нагрузке имела незначительные постагрогенные изменения, еще больше сблизившись с показателями почвы контрольного варианта (000) и леса (см. рис. 2 и табл. 2).

**Закключение.** Сравнение показателей кислотно-основной буферности бурых лесных кислых почв в разной степени подкисленных в результате 25-летнего возделывания чая с применением различных доз NPK-удобрений и показателей после 8-9 лет их отмены позволило выявить тенденции к постепенному возвращению к исходным (фоновым, нативным) характеристикам, т.е. самовосстановлению даже у сильно агрогенно-измененных почв в отсутствие агрогенного прессинга. После снятия нагрузки двойными и тройными дозами удобрений в сильноподкисленных (на 1,1-1,3 и 1,3-1,5 ед. pH) почвах произошло ослабление кислотности на 0,4-0,5 ед. pH. Площадь кислотной буферности, сократившаяся при подкислении в 2-2,5 раза, увеличилась на 25-30 %, а степень приведенной кислотной буферной способности и индекс кислотно-основного равновесия выросли в 1,3 раза. Средняя кислотная буферная емкость, увеличившаяся при подкислении в 1,3-1,4 раза за счет активизации высокочувствительной железистой и истощения алюминиевой буферной зоны, при раскислении в отсутствие удобрений снизилась на 10-20 % при сохранении резервов алюминиевой и железистой буферных зон.

Наименее выраженные агрогенные изменения кислотно-основной буферности почвы, получившей средний уровень подкисления (снижение pH на 0,5-0,7 ед.) при удобрении одинарными дозами ( $\text{N}_{120-200} \text{P}_{60} \text{K}_{50}$ ), а также еще большее сближение с фоновыми показателями при ослаблении кислотности на 0,2 ед. pH



в постагрогенный период говорит о допустимом уровне такой нагрузки для бурых лесных кислых почв влажно-субтропической зоны России.

#### Литература

1. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 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. – С. 14-25.
3. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
4. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Дыхательная активность агрогенно-измененных почв чайных плантаций в постэксплуатационный период // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 69. – С. 192-200.
5. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Изменение кислотно-основных свойств агрогенно-подкисленных бурых лесных почв после снятия нагрузки удобрениями // Агрохимический вестник. – 2021. – № 5. – С. 46-53.
6. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Использование показателей кислотно-основной буферности в оценке состояния агрогенно-измененных бурых лесных почв Черноморского побережья Западного Кавказа // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 3. – С. 44-50.
7. Козлова Н.В., Малукова Л.С. Динамика содержания гумуса в почвах чайных плантаций субтропиков России при длительном применении минеральных удобрений и без них // Плодородие. – 2022. – № 3. – С. 52-57.
8. Малукова Л.С., Рогожина Е.В., Струкова Д.В. Диагностика биофункционального состояния агрогенно-измененных почв под многолетними насаждениями в зоне влажных субтропиков России. – Сочи: ФИЦ ШЦ РАН, 2022. – 86 с.
9. Малукова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестник РАСХН. – 2008. – № 4. – 26-27.
10. Надточий П.П. Кислотно-основная буферность почвы – критерий оценки ее качественного состояния // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1094-1102.
11. Надточий П.П., Мыслыва Т.Н. Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга // Агрохимия. – 2014. – № 3. – С. 83-89.
12. Alekseeva T., Alekseev A., Xu R.-K., Zhao A.-Z., 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. – 33(2). – 137-148.
13. Kozlova N.V., Malyukova L.S. Change in the soils' fertility level of tea agroecosystems in the transition to cultivation without mineral fertilizers in the humid subtropical zone of Russia // E3S Web of Conferences. – 2021. – 254. – 05009.
14. Sokolova T.A. Soil Acidity and the Acid-Base Buffering of Soils. – М.: Университетская книга, 2016. – 64 p.
15. 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). – 799-806.

#### RESTORATION OF BUFFER PROPERTIES OF AGROGENICALLY ALTERED SOILS IN THE ABSENCE OF ACIDIFYING LOAD OF FERTILIZERS

**N.V. Kozlova – Candidate of Biological Sciences, L.S. Malyukova – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, V.V. Kerimzade**

**Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,  
354002, Russia, Sochi, st. J. Fabricius, 2/28, e-mail: kozlovanvagro@yandex.ru**

*In the conditions of the humid subtropical zone of Russia (Sochi Black Sea coast), in a multifactorial field experiment, the acid-base buffering of brown forest acid soils of perennial model tea agroecosystems was studied. Compared the indicators of soils acidified to varying degrees as a result of the 25-year (1986-2011) application of NRK fertilizers and after 8-9 years of their abolition (since 2012). The soil that received an average level of acidification (pH reduction by 0.5-0.7 units) when fertilized with single doses (N120-200 P60 K50) had the least pronounced differences from the control (N0P0K0) and the background (forest). In the absence of fertilizers, it came even closer to them in all indicators, with a decrease in acidity by 0.2 pH units. This indicates the acceptable level of such a load. Highly acidified soils (a decrease in pH by 1.1-1.3 and 1.3-1.5 units) as a result of prolonged application of double and triple doses of NPK-fertilizers significantly differed from the control and background. The buffering area and the degree of reduced buffering capacity in the acid range decreased by 2-2.5 times; the average acid buffer capacity increased by 1.3-1.4 times due to the activation of the high-capacity ferruginous and depletion of the aluminum buffer zone. After removing the load with fertilizers, the following occurred: a decrease in acidity by 0.4-0.5 units. pH; an increase in the area of acid buffering by 25-30%; increase in 1.3 times the degree of acid buffering capacity and acid-base balance index; an increase in the average buffer capacity to alkaline loads while decreasing to acid ones (by 10-20 %); increasing the capacity of the aluminum buffer zone and maintaining the reserves of the ferruginous buffer zone. The gradual return to the initial characteristics characteristic of native soils of this zonal subtype (background) testified to the ability of self-healing even of highly acidified soils after the removal of agrogenic pressure.*

**Keywords:** brown forest acid soils, tea agroecosystems, mineral fertilizers, agrogenic acidification, postagrogenic changes, acid-base buffering, buffer area, degree of buffer ability, acid-base balance, neutralization index, buffer capacity.