

УДК 631.415.2:633.72(213.1:470.62)

doi: 10.31360/2225-3068-2019-69-192-200

**ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ
АГРОГЕННО-ИЗМЕНЁННЫХ ПОЧВ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ
В ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД**

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*

Представлены результаты сравнительного изучения дыхательной активности бурых лесных кислых почв чайных плантаций влажных субтропиков России: на заключительном этапе 25-летнего полевого опыта с удобрениями и спустя 7 лет после его консервации. Показано, что в период активной эксплуатации почва варианта с высокими дозами удобрений (N600P180K150) и сильной степенью агрогенной трансформации характеризовалась в два раза более

низким среднегодовым уровнем интенсивности дыхания (45 мг CO₂/кг) по сравнению с контролем (N0P0K0) и вариантом с умеренными дозами (N200P60K50). Через несколько лет после снятия агрогенной нагрузки, в отсутствие непосредственного влияния минеральных удобрений, проявилась тенденция нормализации её функционального состояния. Среднегодовой уровень дыхательной активности поднялся до 73 мг CO₂/кг и уже только в 1,2 раза уступал контролю.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, агрогенно-трансформированные почвы, дыхательная активность, постагрогенные изменения.

Аспекты изменения структурно-функционального состояния почв под воздействием системы возделывания чая в условиях субтропиков России изучены достаточно глубоко и всесторонне. Многочисленными исследованиями показано, что почвы длительно эксплуатируемых чайных плантаций в значительной степени подвержены агрогенной трансформации, которая проявляется на уровне физических, физико-химических, биологических и даже морфологических свойств, а её степень во многом зависит от длительности и интенсивности влияния применяемых минеральных удобрений [2, 8, 13, 15, 18, 19].

Отдельный интерес, с точки зрения экологии почв, представляет изучение процессов самовосстановления агрогенно-трансформированных почв чайных плантаций в постагрогенной фазе их развития, т. е. после прекращения производственной деятельности. Актуальна оценка стабильности достигнутых изменений свойств почв в зависимости от их степени при разных агрогенных нагрузках, а также изучение возможности и скорости восстановления генетически-обусловленных почвенных характеристик после снятия агрогенного прессинга. Исследования в этом направлении начаты в настоящий период [11, 12].

При оценке функционального состояния почв, её устойчивости и степени деградации под воздействием различного рода воздействий (техногенных, агрогенных) одним из интегральных показателей считается скорость продуцирования почвой CO₂ (дыхательная активность), отражающая активность жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и корневых систем растений, и в целом обменных процессов в экосистеме [1, 5, 6]. Показана его информативность при выявлении агрогенных нарушений почв различных агроценозов в условиях Черноморского побережья Краснодарского края, в том числе чайных плантаций при применении различных видов и доз минеральных удобрений [3, 4, 14]. Соответственно, данный показатель будет работать как индикатор и в случае восстановления почв после снятия стрессового агрогенного фактора.

В связи с этим, в рамках изучения процессов постагрогенной эволюции почв, целью исследований было сравнительное изучение дыхательной активности (и агрохимических свойств) агрогенно-измененных почв чайных плантаций в фазе их активной эксплуатации с применением минеральных удобрений в различных дозах и через несколько лет после полного прекращения эксплуатации и применения удобрений.

Объекты и методы исследования. Поставленную задачу решали на базе многофакторного полевого опыта с удобрениями, проводившегося в период 1986–2011 гг. (агротехническое обслуживание плантации и внесение удобрений согласно схемы опыта) и законсервированного в 2012 г. (полное прекращение эксплуатации и внесения удобрений). Схема опыта включала 16 различных сочетаний доз NPK (в градациях 0-, 1-, 2-, 3-одинарные дозы). Одинарные дозы азотных удобрений изменялись по мере развития растений с шагом 70–90–120–200 кг д.в./га в 1986–1989–1993–2000 годах; одинарные дозы фосфорных и калийных удобрений были постоянными – 60 и 50 кг д.в./га (соответственно). Повторность 2-кратная, размер опытных делянок – 50 м². Месторасположение опытного участка – ЗАО «Дагомысчай», пос. Уч-Дере, Большой Сочи; почва бурая лесная кислая – одна из основных чаепригодных почв влажно-субтропической зоны России.

В 2011 г. на этапе полновозрастной эксплуатируемой плантации для изучения дыхательной активности и агрохимических свойств почв было выбрано несколько вариантов опыта, которые рассматривались как модельные микроплантации различного уровня плодородия и различной степени трансформации, достигнутые в результате 25-летней эксплуатации. Образцы почв отбирали в сезонной динамике ежемесячно в слое 0–20 см. В 2018 г., через 7 лет консервации опыта, провели обследование почв наиболее контрастных вариантов опыта (по ранее произведённой нагрузке удобрениями и степени трансформации почв): N0P0K0 – контроль, N200P60K50; N600P180K150. Образцы почв также отбирали несколько раз в течение года в слое 0–20 см. Параллельно отбирали почву на близлежащем участке буково-грабового леса (фон).

Лабораторные исследования проводили по общепринятым методикам [17]: рН_{KCl} – потенциметрически; обменная кислотность и алюминий – по Соколову; гидролитическая кислотность (Нгк) – по Каппену; сумма обменных Са и Mg – трилометрически; степень насыщенности основаниями (V) – расчётная; нитратный азот – дисульфифеноловым методом; аммиачный азот – колориметрически с реактивом Несслера; подвижные фосфор и калий – по Ониани. Интенсивность дыхания почвы (мг СО₂/кг почвы) определяли в свежих образцах методом абсорбции с

титриметрическим окончанием (в 3-кратной повторности): 100 г почвы, доведённых водой до 60 % ПВ, инкубировали в герметично закрытых полиэтиленовых пакетах в течение 24 часов, поместив в них также ёмкости с 0,1 н NaOH для поглощения CO_2 , непрореагировавший остаток оттитровывали 0,1 н HCl. Экспериментальные данные обработаны с использованием описательной статистики Microsoft Excel (при $P = 0,95$). В диаграмме и таблице представлено среднее \pm стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. Мониторинг 2011 г. показал, что интенсивность дыхания почвы чайной плантации на контрольном варианте без внесения минеральных удобрений (N0P0K0) находилась в диапазоне 26–147 мг CO_2 /кг почвы, среднегодовой показатель составил 81 мг CO_2 /кг почвы. В отдельные периоды эти значения были сопоставимы или даже превышали показатели дыхательной активности почв естественного лесного ценоза (фона), но все же в целом несколько уступали фоновому уровню (70–158 мг CO_2 /кг почвы, среднегодовое значение – 110 мг CO_2 /кг почвы).

Дыхательная активность почвы на варианте N200P60K50 была в целом сопоставима с контролем и варьировала в течение 2011 г. в диапазоне 57–150 мг CO_2 /кг почвы, с таким же среднегодовым значением, как и на контроле (81 мг CO_2 /кг почвы). Вскоре после внесения удобрений даже отмечалось стимулирование дыхательной активности почв – в апреле (после основного внесения удобрений в марте) и июле (после подкормки азотом в июне) (рис. 1). То есть применение минеральных удобрений в таких дозах не привело к ингибированию биологической активности почв. Это подтверждало экологическую обоснованность одинарных доз минеральных удобрений в многолетнем режиме возделывания чая, при применении которых степень агрогенной ацидизации почвы (и её трансформации в целом) была оценена как допустимая средняя [9, 10].

Вариант с внесением максимальных в опыте доз удобрений N600P180K150 характеризовался достоверно более низким уровнем дыхательной активности почвы в течение 2011 г. (9–85 мг CO_2 /кг почвы) по сравнению с другими вариантами. Среднегодовой показатель (45 мг CO_2 /кг) почти в два раза уступал контролю. Ингибирующее действие данных доз удобрений особенно наглядно проявлялось в апреле и июле, вскоре после их внесения, и прослеживалось во все сроки отбора. Это подтверждало оценку таких доз удобрений как стрессовых, не отвечающих экологической безопасности, длительное применение которых привело к высокой степени агрогенной ацидизации и трансформации всего комплекса свойств почвы [9, 10].

Результаты изучения дыхательной активности почв чайных плантаций на фоне длительного применения различных видов и доз минеральных макро- и микроэлементных удобрений развернуто изложены в ранее опубликованных работах [7, 14, 16]. В данной статье представлена только выборка части данных 2011 г., необходимая для сравнительного анализа с данными 2018 г. (постагрогенный период исследований).

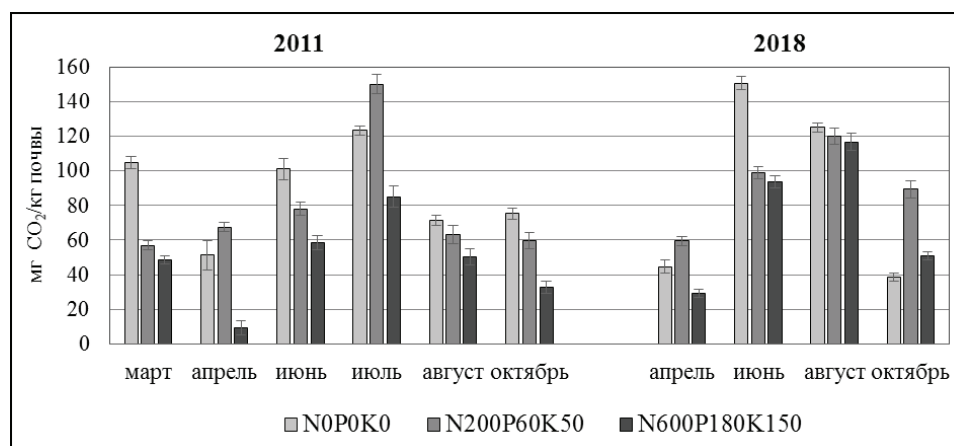


Рис. 1. Дыхательная активность почв модельных чайных плантаций в период активной эксплуатации (2011 г.) и в постагрогенный период (2018 г.)

Обследование почв тех же вариантов в 2018 г., через 7 лет после полного прекращения эксплуатации опытного участка плантации, показало, что изменения, достигнутые в результате агрогенной ацидизации почв на фоне длительного внесения удобрений, сохраняются в той же степени и в постагрогенной фазе. Различия, установленные между вариантами и контролем (а также лесом–фоном) по кислотно-основным показателям в 2018 г. (табл. 1), такие же, как и на завершающем этапе опыта с удобрениями [10]. Следует отметить, что уровень обеспеченности почв азотом на ранее удобряемых вариантах опыта в отсутствии удобрений опустился до уровня контрольного варианта, что было отмечено уже через 3 года консервации опыта [11] и подтверждено данными 2018 г. (табл. 1).

Оценка дыхательной активности почв модельных плантаций в различные периоды 2018 г. показала, что на контрольном варианте (N0P0K0) она находилась практически на том же уровне, что и в 2011 г. и варьировала в диапазоне 39–151 мг CO₂/кг почвы со среднегодовым значением 90 мг CO₂/кг почвы. При этом, как и в 2011 г., он был несколько ниже фонового уровня почвы лесного ценоза (где среднегодовое значение – 125 мг CO₂/кг почвы).

Таблица 1

**Агрохимические свойства почв
модельных плантаций в постагрогенной фазе,
усреднённые данные сезонных отборов 2018 г.**

Варианты опыта	pH _{KCl}	Нгк	Al	Ca + Mg	V, %	NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
			обменные					
			мг-экв/100 г					
Лес (фон)	4,1 ±0,1	12,2 ±1,1	1,1 ±0,5	12,3 ±0,2	50,4 ±2,0	6,3 ±0,9	17,3 ±1,3	53,7 ±2,1
N0P0K0 (контроль)	3,9 ±0,1	15,1 ±0,5	3,1 ±0,6	13,3 ±1,7	46,7 ±3,5	5,7 ±0,8	33,2 ±2,9	39,0 ±0,7
N200P60K50	3,6 ±0,1	19,7 ±1,2	5,8 ±0,6	10,2 ±1,0	34,1 ±1,9	5,0 ±0,8	49,9 ±4,2	29,9 ±2,1
N600P180K150	3,3 ±0,1	30,7 ±2,1	11,6 ±0,5	3,8 ±0,3	11,0 ±1,3	5,4 ±0,4	86,5 ±8,0	40,4 ±4,3

Интенсивность дыхания почвы на варианте, удобряемого до консервации опыта одинарными дозами (N200P60K50), варьировала в течение 2018 г. в диапазоне 60–120 мг CO₂/кг почвы, в отдельные периоды существенно превышая уровень контроля (N0P0K0) (рис. 1). Среднегодовое значение (92 мг CO₂/кг почвы) было таким же, как и для контрольного варианта, что отмечалось и в 2011 г.

Следовательно, функциональное состояние почвы контрольного варианта (N0P0K0) и варианта с умеренными одинарными дозами удобрений (N200P60K50) и невысокой степенью агрогенной трансформации не претерпело существенных изменений за 7-летний постагрогенный период.

Отдельного рассмотрения заслуживает состояние почвы модельной чайной плантации, где в период эксплуатации вносили максимальные в опыте тройные дозы удобрений (N600P180K150), которая характеризовалась сильной степенью агрогенной трансформации и почти в два раза более низким по сравнению с контролем (N0P0K0) уровнем дыхательной активности в 2011 г. Исследования 2018 г. показали, что интенсивность дыхания находилась в диапазоне 29–117 мг CO₂/кг почвы; среднегодовой показатель (73 мг CO₂/кг) был только в 1,2 раза ниже чем на контроле и варианте с умеренной нагрузкой удобрениями. В отдельные периоды был отмечен уровень близкий к контролю и даже несколько выше (рис. 1). Сокращение различий с контрольным вариантом по показателям активности дыхания свидетельствовало о тенденции

ремиссии функционального состояния агрогенно-трансформированных почв в отсутствии непосредственного воздействия высоких доз удобрений, несмотря на то, что сохранились ранее достигнутые изменения по кислотно-основным показателям.

Заключение. Таким образом, в результате сравнительного изучения дыхательной активности агрогенно-трансформированных бурых лесных кислых почв под культурой чая на заключительном этапе 25-летнего полевого опыта с удобрениями и спустя несколько лет после его консервации была выявлена тенденция нормализации их угнетённого функционального состояния после снятия агрогенной нагрузки. Так в период активной эксплуатации почва варианта с высокими дозами удобрений (N600P180K150) и сильной степенью агрогенной трансформации характеризовалась в течение года интенсивностью дыхания 9–85 мг CO₂/кг почвы, со среднегодовым уровнем 45 мг CO₂/кг – в два раза более низким по сравнению с контролем (N0P0K0). Через 7 лет после снятия агрогенной нагрузки, в отсутствии непосредственного влияния минеральных удобрений, дыхательная активность находилась в диапазоне 29–117 мг CO₂/кг почвы; среднегодовой показатель (73 мг CO₂/кг) только в 1,2 раза уступал контролю.

Дыхательная активность почвы варианта с невысокой степенью агрогенной трансформации на фоне применения одинарных доз удобрений (N200P60K50) и контрольного варианта (N0P0K0) находились примерно на одном уровне, сопоставимом между собой, и в агрогенной, и в постагрогенной фазе исследований.

Библиографический список

1. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Дёмкина Т.С. Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах // Почвоведение. – 2002. – № 10. – С. 1233-1241. – ISSN 0032-180X.
2. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры: дис. ... д-ра с.-х. наук. – Сочи, 2004. – 313 с.
3. Беседина Т.Д., Янушевская Э.Б. Биологическая индикация состояния садовых экосистем в субтропиках России // Оптимизация технологического-экономических параметров и структуры агроценозов при возделывании плодовых культур и винограда: сб. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2008. – С. 343-356. – ISBN 978-5-98272-036-8.
4. Беседина Т.Д., Янушевская Э.Б. Методика диагностики состояния почв садовых экосистем влажных субтропиков при применении пестицидов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2013. – Вып. 48. – С. 244-278. – ISSN 2225-3068.
5. Гузев В.С., Левин С.В. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях // Почвоведение. – 1991. – № 9. – С. 50-62. – ISSN 0032-180X.
6. Деградация и охрана почв / под общей ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с. – ISBN 5-211-04760-5.

7. Керимзаде В.В. Динамика интенсивности «дыхания» бурой лесной кислой почвы под культурой чая при длительном применении разных схем минеральных удобрений в условиях субтропиков России // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, Краснодар, 22-24 ноября 2011 г. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – С. 36-38.
8. Козлова Н.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2008. – 24 с.
9. Козлова Н.В. Культура чая и acidизация 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.
10. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной acidизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 259-267. – ISSN 2073-4948.
11. 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.
12. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Изменение калийного статуса почв чайных плантаций в постэксплуатационный период // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – № 62. – С. 218-224. – ISSN 2225-3068.
13. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-904533-22-9.
14. Малюкова Л.С., Керимзаде В.В., Великий А.В. Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на дыхательную активность почв чайных плантаций // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 43. – С. 132-138. – ISSN 2073-4948.
15. 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.
16. Рогожина Е.В. Влияние минеральных удобрений на «дыхание» бурых лесных кислых почв в ризосфере чайного растения (*Thea sinensis*) в условиях субтропической зоны России // Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации. – 2011. – № 1. – С. 78-82. – ISSN 2227-4383.
17. Практикум по агрохимии: учебное пособи / под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с. – ISBN 5-211-04265-4.
18. Рогожина Е.В. Структурно-функциональное состояние микробного комплекса бурых лесных кислых почв влажно-субтропической зоны России при длительном агрогенном воздействии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – 23 с.
19. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях Черноморского побережья России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2014. – 23 с.

**RESPIRATORY ACTIVITY
OF AGROGENE-CHANGED SOILS UNDER TEA PLANTATIONS
IN THE POST-EXPLOITATION PERIOD**

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 presents a comparative study of the respiratory activity in acid brown forest soils used for tea plantations in the humid subtropics of Russia: the results were obtained at the final stage of 25-year on-farm field experiment with fertilizers application and 7 years after its conservation. It is shown that during the period of active operation, the soil from the variant with high fertilizer doses (N600P180K150) and a strong degree of agrogenic transformation was characterized by twice lower average annual level of respiration intensity (45 mg CO₂/kg) compared to the control (N0P0K0) and the variant with moderate doses (N200P60K50). A few years after the removal of the agrogenic load, when there was no direct influence of mineral fertilizers, a tendency to normalize its functional state appeared. The average annual level of respiratory activity rose to 73 mg CO₂/kg and was only 1.2 times lower than the control.

Key words: acid brown forest soils, tea plantation, agrogenic transformed soils, respiratory activity, postagrogenic changes.