

Малюкова Л.С., Струкова Д.В.

**ОЦЕНКА УРОВНЯ АГРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПОЧВЫ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ
АНАЛИЗА ИХ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ**

Малюкова Людмила Степановна, доктор биологических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Россия

E-mail: malukovals@mail.ru

Струкова Дарья Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Россия

E-mail: strukovadaria@gmail.com

Бурые лесные кислые почвы влажно-субтропической зоны России, на которых преимущественно возделывается чай, в значительной степени подвергаются агрогенному воздействию, снижающему их биопродуктивность. Ранняя диагностика этих процессов возможна путем оценки биологической активности почв, в частности по параметрам почвенных ферментов, регулирующих основные циклы биогенных элементов. На основе установленного фактического уровня варьирования активности каталазы (0,4-13,2 мл O₂/1 г почвы за 1 мин), уреазы (0,1-21,8 мг NH₃/10 г за 24 ч), инвертазы (21-190 мг глюкозы/1г почвы за 24 ч) и фосфатазы (0,01-1,7 мг P₂O₅/100 г почвы за 1 ч) под влиянием различных видов и доз минеральных удобрений относительно почв фона проведена их градация и разработана шкала нормирования агрогенной нагрузки.

Выделено четыре уровня воздействия – допустимый, предельно допустимый, критический, недопустимый. В качестве критериально значимой величины нормирования агрогенной нагрузки для бурых лесных кислых почв, определяющей недопустимый уровень, приняли 20 % относительно почв фоновой территории для всех изученных почвенных ферментов. Предельно допустимым и допустимым уровнями рассматривалось снижение показателей до 30-70 % от ферментативной активности почв фоновой территории (в зависимости от вида фермента).

Ключевые слова: *бурые лесные кислые почвы, чай, агрогенные нагрузки, минеральные удобрения, пестициды, ферментативная активность, уреазы, каталаза, биомониторинг, шкала нормирования, Черноморское побережье России.*

Для цитирования: Малюкова Л.С., Струкова Д.В. Оценка уровня агрогенного воздействия на почвы чайных плантаций посредством анализа их ферментативной активности // Новые технологии. 2019. Вып. 3(49). С. 164-172. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10315.

Malyukova L.S., Strukova D.V.

**ASSESSMENT OF AGROGENIC IMPACT ON TEA PLANTATION
SOILS BY ANALYSIS OF THEIR ENZYMATIC ACTIVITY**

Malyukova Lyudmila Stepanovna, Doctor of Biology, a professor of the Russian Academy of Sciences, a chief researcher of the Laboratory of Agrochemistry and Soil Science
FSBSI “All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops”, Russia
E-mail: malukovals@mail.ru

Strukova Daria Victorovna, Candidate of Biology, a senior researcher of the Laboratory of Agrochemistry and Soil Science
FSBSI “All-Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops”, Russia
E-mail: strukovadaria@gmail.com

Brown forest acidic soils of the humid subtropical zone of Russia, on which tea is mainly cultivated, are largely exposed to agrogenic effects, which reduce their bio-productivity. An early diagnosis of these processes is possible by evaluating the biological activity of soils, in particular by the parameters of soil enzymes that regulate the main cycles of biogenic elements. Under the influence of various types and doses of mineral fertilizers relative to the background soils, they have been graduated and a scale for rating the agrogenic load has been developed on the basis of the established actual level of variation in the catalase activity (0.4-13.2 ml of O₂/1 g of soil in 1 min), urease (0.1-21.8 mg of NH₃/10 g in 24 hours), invertase (21-190 mg of glucose/1 g of soil in 24 hours) and phosphatase (0.01-1.7 mg of P₂O₅/ 100 g of soil in 1 hour).

Four levels of exposure have been distinguished – permissible, maximum permissible, critical, unacceptable levels. 20 % relative to the soils of the background territory for all studied soil enzymes have been taken for a critically significant value for normalizing agrogenic load for brown forest acidic soils, which determines an unacceptable level. Decrease to 30-70 % of the enzymatic activity of soils in the background territory (depending on the type of enzyme) have been considered maximum permissible and permissible levels.

Keywords: *brown forest acidic soils, tea, agrogenic loads, mineral fertilizers, pesticides, enzymatic activity, urease, catalase, biomonitoring, rating scale, the Black Sea coast of Russia.*

For citation: Malyukova L.S., Strukova D.V. Assessment of agrogenic impact on tea plantation soils by analysis of their enzymatic activity // *Novye tehnologii (Majkop)*. 2019. Iss. 3(49). P. 164-172. (In Russ., English abstract). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10315.

Длительное интенсивное возделывание чая на бурых лесных кислых почвах Черноморского побережья России приводит, как правило, к их существенной агрогенной трансформации, которая проявляется на уровне комплекса физических, физико-химических и биологических свойств [1-7]. При этом биологические свойства почв, определяющие её функциональную способность, в частности обеспечение циклирования биогенных элементов и преобразование ксенобиотиков, рассматриваются как наиболее информативный критерий, позволяющий на ранних этапах диагностировать нетипичные отклонения. Характерное для каждого типа почв сообщество микроорганизмов в условиях агробиоценоза подвергается воздействию агрогенных факторов, приводящих к флуктуациям численности и биомассы, а также изменению характера и интенсивности биохимических процессов [8, 9]. Методы определения ферментативной активности почв обеспечивают получение информации о её потенциальном пуле – количестве ферментов,

которое создается в почве в процессе жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов, а также сохраняется, благодаря комплексу физико-химических свойств почвенной матрицы. Эта величина является типовой характеристикой почв, которая в течение вегетации неоднократно меняется вследствие сукцессии микроорганизмов, а также фазы роста и развития растений. Существенный вклад во временную и пространственную флуктуации ферментативной активности агрогенно-преобразованных почв вносят система содержания почвы, минеральные удобрения, пестициды, специфика круговорота веществ и другие [3, 4, 7-13]. Как правило, более высокой активностью почвенных ферментов характеризуются агроэкосистемы, основанные на принципах экологического земледелия в сравнении с традиционным способом возделывания земель.

Изучение степени допустимости агрогенного воздействия на функциональное состояние почв осуществляется путем сопоставления изменения её биотического компонента под действием антропогенных факторов с изменениями, вызванными природными факторами. Отсюда вытекает необходимость проведения сопряженного эколого-биологического исследования в ненарушенных экосистемах, изучение ответных реакций на агрогенные воздействия и выбор индикационных показателей, пригодных для оценки состояния нарушенных экосистем.

Исследования проведены на основном зональном подтипе почв влажно-субтропической зоны России – бурых лесных кислых почвах (чайная плантация и естественный ценоз). Перед закладкой полевых опытов с удобрениями (1986 г.) на чайной плантации плантажированный горизонт характеризовался низким содержанием гумуса (2,5-3,2 % – по Тюрину), сильнокислой реакцией среды (pH_{KCl} около 4,0), средней и высокой обеспеченностью основными элементами: легкогидролизуемым азотом (90-110 мг/кг – по Тюрину), подвижными фосфором и калием (320-380 мг/кг и 225-280 мг/кг, соответственно); содержание подвижного алюминия (по Соколову) составляло 31-42 мг/100 г; степень насыщенности основаниями – 48-51 %. При длительном применении различных видов и доз макро- и микроудобрений в рамках проводимых полевых опытов (1986-2016 гг.) агрофон существенно изменился. На этом фоне в разные годы (2008, 2010, 2015, 2016) в сезонной и многолетней динамике была оценена активность почвенных ферментов в верхнем почвенном слое (3-15 см), наиболее подверженном агрогенной нагрузке. В качестве основных диагностических показателей была выбрана группа гидролитических ферментов: инвертаза – отражающая потенциально возможную скорость трансформации углеводов органического вещества (в частности дисахаридов); уреазы (карбамид-амидогидролазы) – фермент азотного метаболизма, катализирующий реакции гидролитического расщепления мочевины и коррелирующая с активностью всех других ферментов азотного метаболизма; фосфатаза – катализирующая гидролиз ряда фосфорорганических соединений с образованием ортофосфата. В качестве критерия оценки состояния почвы в отношении её самоочищающей способности рассматривалась активность каталазы, ингибирующей стрессообразующие соединения, в частности перекись водорода. Определение активности ферментов проводили в свежих образцах почв методами модификации А.Ш. Галстяна [14]: каталазы – газометрически (по количеству выделившегося молекулярного

кислорода); уреазы (колориметрический метод учета аммония с реактивом Неслера), фосфатазы (колориметрический учет отщепленного при ферментативной реакции фосфорорганического соединения), инвертазы (колориметрическое определение редуцирующих гексоз – глюкозы и фруктозы, образующихся при гидролизе сахарозы) – на приборе УСФ-01 (ФГУП ВНИИОФИ, Россия).

Длительное применение различных видов и доз макро- и микроудобрений в рамках проводимых полевых опытов сформировало микроучастки, различающиеся по комплексу агрохимических показателей (табл. 1). Почва фонового участка и чайной плантации без применения удобрений, согласно общепринятых градаций, характеризовалась как сильнокислая. На фоне применения макро- и микроудобрений кислотность почв увеличивалась на 0,5-1 единицы и переходила в разряд очень сильнокислой. Обеспеченность почв микроучастков полевого опыта по содержанию легкогидролизуемого азота, подвижных фосфатов и калия варьировала от средней до высокой.

Таблица 1 - Диапазоны варьирования агрохимических свойств почв микроучастков, сформированных в длительных полевых опытах с удобрениями

Ценоз, варианты землепользования		pH _{KCl}	Гумус, %	Нлг	P ₂ O ₅	K ₂ O
Буково-грабовый лес (фон)		3,58-3,81	4,7-6,0	109-111	153-172	348-368
Чай	Без агрохимических средств	3,86-4,29	3,7-4,8	94-96	151-217	347-447
	Макроудобрения	3,07-3,31	3,7-4,4	97-197	428-1014	250-430
	Макро- и микроудобрения	2,54-3,50	3,6-5,2	99-345	149-931	204-573

На этих контрастных по кислотности и содержанию макроэлементов микроучастках был определен диапазон варьирования (сезонная и многолетняя динамика) активности группы почвенных ферментов (табл. 2).

Таблица 2 - Диапазоны варьирования ферментативной активности бурых лесных кислых почв в различных ценозах

Ценоз, варианты землепользования		Каталаза, мл O ₂ /1 г почвы за 1 мин.	Инвертаза, мг глюкозы/1 г почвы за 24 ч	Уреазы, мг NH ₃ /10 г за 24 ч	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /100 г почвы за 1 ч
Буково-грабовый лес (фон)		<u>4,2-11,4</u> 7,1	<u>123-190</u> 157	<u>5,1-21,1</u> 12,9	<u>0,1-0,7</u> 0,32
Чай	Без агрохимических средств	<u>3,0-13,2</u> 4,8	<u>29-74</u> 52	<u>8,5-21,8</u> 12,5	<u>0,06-1,7</u> 0,47
	Макроудобрения	<u>0,4-7,9</u> 2,7	<u>21-36</u> 29	<u>0,2-6,1</u> 3,3	<u>0,01-0,08</u> 0,06
	Макро- и микроудобрения	<u>0,4-11,0</u> 4,2	не опр.	<u>0,1-10,4</u> 2,7	<u>0,01-0,09</u> 0,07

Примечание: в числителе сезонный и многолетний диапазон варьирования показателей, в знаменателе – среднее значение показателя.

Эти данные демонстрировали значительные флуктуации изученных показателей, обусловленные динамикой водно-воздушного режима почв и агрогенными факторами. В разрезе различных ценозов и применяемых видов удобрений прослеживались выявленные ранее тенденции влияния различных видов и доз минеральных удобрений на биологическую активность почв, на которых мы более подробно останавливались в предыдущих публикациях [15, 16, 3].

По уровню снижения (процент снижения) ферментативной активности почв относительно эталона (почвы фоновой территории) была рассчитана степень воздействия комплекса агрогенных факторов. Наибольшая лабильность была зафиксирована для инвертазы, уреазы и фосфатазы, активность которых ингибировалась до 67-92, 61-93 и 66-90 % от фоновой, соответственно. Максимальной устойчивостью характеризовалась активность каталазы (35-78 %), проявляя при этом бóльшую чувствительность и лабильность в сравнении с уреазой к воздействию различных дозировок минеральных удобрений. То есть, в целом для различных ферментов была установлена определенная избирательность (устойчивость или лабильность) к характеру и степени агрогенного воздействия. Это закономерно, поскольку характер иммобилизации и степень стабилизации определяются химией фермента, а также минералогическим, гранулометрическим и химическим составом почвы, влияющим на её основные адсорбирующие свойства, среди которых удельная поверхность, емкость и катионный состав комплекса, характер полидисперсности и состав функциональных групп гумусовых кислот [17]. Поэтому одни ферменты практически мгновенно реагируют на действие высоких доз агрохимикатов, в то время как другие остаются без изменений или их активность даже возрастает. Исходя из данных по степени чувствительности к агрохимикатам в условиях бурых лесных кислых почв, изученные ферменты (их активность) можно расположить в следующей последовательности (от более чувствительного к менее): *фосфатаза* ≥ *уреаза* > *инвертаза* > *каталаза*.

На основе полученного экспериментального материала были рассчитаны фактически выявленные усредненные интервалы снижения ферментативной активности почв агроценоза относительно фона. Сопоставляя фактическую агрогенную нагрузку в полевых опытах со степенью изменения показателей ферментативной активности почв, была разработана шкала нормирования агрогенной нагрузки (табл. 3).

Таблица 3 - Шкала нормирования агрогенной нагрузки для бурых лесных кислых почв по уровню активности ферментов относительно почв фоновой территории, %

Уровень воздействия	Почвенные ферменты			
	Каталаза	Уреаза	Инвертаза	Фосфатаза
Допустимый	>60	>50	>40	>70
Предельно допустимый	40-60	30-50	30-40	30-70
Критический	20-40	20-30	20-30	20-30
Недопустимый	<20	<20	<20	<20

Диапазон изменения показателей относительно почв фоновой территории был привязан к фактическим данным, полученным в многолетней выборке. Выделено четыре уровня агрогенного воздействия (допустимый, предельно допустимый, критический, недопустимый), позволяющие оценить широкий диапазон варьирования показателей ферментативной активности бурых лесных кислых почв для наиболее информативной группы окислительных и гидролитических ферментов.

Разработанная шкала нормирования уровня воздействия по показателям ферментативной активности почв является основой для диагностики функционального состояния агрогенно-измененных почв, отражающего активность биотических процессов (синтеза и гидролиза), их устойчивость к нарушающим воздействиям (биотическим и абиотическим стрессорам), замкнутость циклов биофильных элементов и микроорганизмов.

Литература:

1. 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.
2. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России. Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. 416 с.
3. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях черноморского побережья России: дис. ... канд. биол. наук. Сочи, 2015. 140 с.
4. 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.
5. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Скорость агрогенной ацидизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 51. С. 259-267.
6. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Изменение калийного статуса почв чайных плантаций в постэксплуатационный период // Субтропическое и декоративное садоводство. 2017. №62. С. 218-224.
7. 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.
8. Звягинцев Д.Г. Биология почв и их диагностика // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. М.: Наука, 1976. С. 175-189.
9. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М.: Академический Проект; Гаудеамус. 2007. 237 с.
10. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions / Melero S. [etc] // European Journal of Soil Biology. 2008. №44. P. 437-442.

11. Physical, chemical and biological properties of cerrado soil under different land use and tillage systems / Carneiro M.A.C. [etc] // Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 2009. №33. P. 147-157.

12. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado / Peixoto R.S. [etc] // Antonie van Leeuwenhoek. 2010. №98. P. 403-413.

13. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management / Qin S. [etc] // Applied Soil Ecology. 2010. №45. P. 152-159.

14. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении // Труды НИИ почвоведения и агрохимии. Вып. 8. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.

15. Струкова Д.В., Малюкова Л.С. Активность ферментов каталазы и фосфатазы в бурых лесных кислых почвах чайной плантации субтропиков России // Субтропическое и южное садоводство России: сборник научных трудов / ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. Вып. 42. Сочи, 2009. С. 118-126.

16. Струкова Д.В., Малюкова Л.С. Некоторые показатели биологической активности бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России // Агрехимический вестник. 2010. №6. С. 5-9.

17. Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. №8. С. 88-103.

Literature:

1. Malyukova L.S., Ryndin A.V., Kozlova N.V. Features of agrogenic transformation of brown forest acidic soils of tea plantations // Bulletin of RAAS. 2008. No. 4. P. 26-27.

2. Malyukova L.S. Optimization of soil fertility and use of mineral fertilizers in the cultivation of tea in Russia. Sochi: VNIITsiSK, 2014. 416 p.

3. Strukova D.V. Biological activity of brown forest soils of agrocenoses of tea, peach, hazelnuts with long-term use of mineral fertilizers in the conditions of the Black Sea coast of Russia: dis. ... Cand. of Biology. Sochi, 2015. 140 p.

4. Malyukova L.S., Kerimzade V.V., Velikiy A.V. The effect of various types and doses of mineral fertilizers on the respiratory activity of tea plantation soils // Fruit growing and berry growing in Russia. 2015. Vol. 43. P. 132-138.

5. Kozlova N.V., Kerimzade V.V. The rate of agrogenic acidization of brown forest soils of tea plantations in the conditions of wet subtropics of Russia // Fruit growing and berry growing in Russia. 2017. Vol. 51. P. 259-267.

6. Kozlova N.V., Kerimzade V.V. Change in the potassium status of tea plantation soils in the post-operational period // Subtropical and ornamental gardening. 2017. No. 62. P. 218-224.

7. Rogozhina E.V. Structural and functional state of the microbial complex of brown forest acidic soils in the humid subtropical zone of Russia under prolonged agrogenic exposure: abstract. dis. ... Cand. of Biology. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2019. 23 p.

8. Zvyagintsev D.G. Biology of soils and their diagnostics // Problems and methods of biological diagnostics and indication of soils. M.: Nauka, 1976. P. 175-189.

9. Motuzova G.V., Bezuglova O.S. Ecological monitoring of soils. M.: Academic Project; Gaudemus. 2007. 237 p.
10. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions / Melero S. [etc] // European Journal of Soil Biology. 2008. No. 44. P. 437-442.
11. Physical, chemical and biological properties of cerrado soil under different land use and tillage systems / Carneiro M.A.C. [etc] // Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 2009. No. 33. P. 147-157.
12. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado / Peixoto R.S. [etc] // Antonie van Leeuwenhoek. 2010. No. 98. P. 403-413.
13. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management / Qin S. [etc] // Applied Soil Ecology. 2010. No. 45. P. 152-159.
14. Galstyan A.Sh. Enzymatic activity of soils in Armenia // Transactions of Research Institute of Soil Science and Agrochemistry. Vol. 8. Yerevan: Hayastan, 1974. 275 p.
15. Strukova D.V., Malyukova L.S. Activity of catalase and phosphatase enzymes in brown forest acidic soils of a tea plantation of the subtropics of Russia // Subtropical and southern Gardening of Russia: collection of scientific papers / SRI VNIITsiSK pf the Rosselkhozacademy. Vol. 42. Sochi, 2009. P. 118-126.
16. Strukova D.V., Malyukova L.S. Some indicators of biological activity of brown forest acidic soils of tea plantations of subtropics of Russia // Agrochemical Bulletin. 2010. No. 6. P. 5-9.
17. Khaziev F.Kh., Gulko A.E. Enzymatic activity of soils of agrocenoses and prospects for its study // Soil Science. 1991. No. 8. P. 88-103.