

УДК 631.461

doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.162-179

**ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-
КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ЗАПАДНОГО КАВКАЗА, ВЫЗВАННОЕ УСЫХАНИЕМ
Buxus sempervirens L.**

*О.Н. Горобцова, Н.Л. Цепкова, Т.С. Улигова, Ф.В. Гедгафова,
Р.Х. Темботов, Е.М. Хакунова*

*Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН,
г. Нальчик, 360051, Россия*

Аннотация

В результате инвазии *Cydalima perspectalis* Walker, завезенной с посадочным материалом в 2012 г., произошло уничтожение *Buxus sempervirens* L. в Краснодарском крае, Адыгее, Абхазии и др. Установлено, что элиминация *B. sempervirens* L. привела к существенным изменениям растительного покрова и биологических свойств дерново-карбонатных почв изучаемых биогеоценозов. Анализ динамики биологических показателей в профилях исследуемых почв показал, что в почвах под усохшим самшитом наблюдается тенденция повышения абсолютных значений большинства контролируемых биологических показателей. После гибели *B. sempervirens* L. в верхних горизонтах (0–20 см) мониторинговых площадок наблюдалось повышенное содержание запасов гумуса ($t > 2.14$; $p < 0.05$). Выявлена устойчивая тенденция усиления респираторной активности почвенной микробиоты, увеличение содержания углерода микробной биомассы. Активность фосфатазы статистически значимо снижается от высокого до среднего уровня ($t = 3.2$; $p = 0.009$), активность каталазы остается средней. Полученные результаты свидетельствуют, что после усыхания *B. sempervirens* L. в лесных сообществах происходят существенные изменения не только в растительном покрове, но и в биологических свойствах верхних горизонтов почв.

Ключевые слова: гумус, растительный покров, респираторная активность микробной биомассы, ферментативная активность

Введение

Кавказский государственный природный биосферный заповедник имени Х.Г. Шапошникова (КГПБЗ) включен в число объектов всемирного наследия ЮНЕСКО и характеризуется уникальным разнообразием природных ландшафтов. Хостинская тисо-самшитовая роща (301.3 га) – часть КГПБЗ, расположенная отдельно от основного массива заповедника по берегам р. Хоста и на отрогах горы Большой Ахун. Она представляет собой образец древних колхидских экосистем, возраст которых насчитывает около 15 млн лет. Видовое разнообразие лесов колхидского типа составляет около 70 видов деревьев и кустарников, в состав которых входит и *Buxus sempervirens* L. – охраняемый реликтовый вид [1, 2]. Чаще всего *B. sempervirens* L. встречается по ущельям во влажных лесах

колхидского типа на высоте до 500–1300 м над ур. м. на дерново-карбонатных почвах [3].

В пределах Российской Федерации *B. sempervirens* L. произрастает на южном макросклоне Западного Кавказа от г. Туапсе до р. Псоу. На северном макросклоне (по данным 2015 г.) самой северной локальной популяцией *B. sempervirens* L. в естественных условиях являлся участок в среднем течении р. Морозка (выше ст. Нижегородская), впадающей в р. Курджипс. Самая южная популяция произрастает в пойме р. Цица (выше ее слияния с р. Серебрячка). Западная граница ареала – пойма малого левого притока р. Цица (территория Черниговского лесничества), восточная граница расположена в среднем течении р. Курджипс (на территории Мезмайского лесничества) [4].

На Западном Кавказе *B. sempervirens* L. практически уничтожен (в период 2012–2015 гг. в результате инвазии самшитовой огневки – *Cydalima perspectalis* Walker, 1859 (Lepidoptera, Crambidae) – бабочки из семейства Огневки-травянки, или Травяные огневки, завезенной с посадочным материалом в 2012 г. [5, 6]. Гибель *B. sempervirens* L. ведет к перестройке уникальных реликтовых экосистем. *B. sempervirens* L. – тенелюбивая порода, выживающая в условиях минимальной освещенности. В местах произрастания этого вида формируется особый микроклимат, характеризующийся повышенной влажностью, низкой освещенностью, упрощенной структурой травяного яруса, вплоть до полной его редукции. Вследствие усиления инсоляции на участках, ранее занятых *B. sempervirens* L., происходит изменение гидротермического режима, трансформируется видовой состав растительного сообщества, что не может не привести к изменению ряда свойств дерново-карбонатных почв, на которых произрастали самшитовые сообщества.

Интразональные дерново-карбонатные почвы различного генезиса распространены в зоне бурых и серых лесных почв Большого Кавказа, где они занимают 1218 тыс. га (4.3% от площади региона) [7]. Почвы функционируют под различными растительными ассоциациями на карбонатном элювии известняков, доломитов, мергелей. Основные почвообразовательные процессы, формирующие дерново-карбонатные почвы, – это выщелачивание, оглинивание, гумусонакопление [8].

На изменения, происходящие в экосистеме при исчезновении *B. sempervirens* L., первыми реагируют наиболее динамичные биологические показатели: ферментативная активность, респираторные характеристики почвенной микробной биомассы, которые могут стать индикаторами формирования новых почвенных свойств и указать направление происходящих внутрпочвенных процессов. Несмотря на то что исследованиям биологической активности почв Западного Кавказа посвящен целый ряд работ [7–9], публикаций, описывающих биологические свойства почв биогеоценозов с участием *B. sempervirens* L., нами не найдено.

Для определения характера возможных изменений представляет интерес сравнение биологических параметров дерново-карбонатных почв тисо-самшитовой рощи с данными, характеризующими аналогичные почвы, которые расположены под лесными сообществами с участием живого *B. sempervirens* L. Такие сообщества сохранились на территории Циценского участка лесничества Майкопского района Республики Адыгея благодаря усилиям экологов [5].

Цель настоящего исследования – определение степени изменения биологических свойств дерново-карбонатных почв особо охраняемых территорий, расположенных на участках массовой гибели *B. sempervirens* L., в сравнении с аналогичными почвами биогеоценозов, в которых данный вид является эдификатором и субэдификатором.

Материал и методы

Объект исследования – дерново-карбонатные почвы [10], которые также определяются как рендзины, карболитоземы темногумусовые [11] и *Rendzic Leptosols Eutric* (согласно системы WRB, 2006, опубликованной в Едином государственном реестре почвенных ресурсов России [12]). Исследуемые почвы расположены на территории Хостинской тисо-самшитовой рощи (южный макросклон Западного Кавказа) в растительных сообществах с погибшим *B. sempervirens* L. (30–40% от общего древостоя). Аналогичные почвы функционируют на участках с сохранившимся *B. sempervirens* L., составляющих второй ярус в различных типах леса и на территории Циценского участка лесничества Майкопского района Республики Адыгея (северный макросклон Западного Кавказа). Исследуемые дерново-карбонатные почвы расположены также и в Апшеронском районе Краснодарского края, в районе п. Мезмай, на территории Гуамского ущелья в среднем течении р. Курджипс, где в июле 2015 г. также произошла массовая гибель *B. sempervirens* L. [4].

Изучение строения почвенных профилей рассматриваемого типа дерново-карбонатных почв и описание растительных сообществ проводили на исследуемых участках южного и северного макросклонов Западного Кавказа.

Разрез № 1 расположен на территории тисо-самшитовой рощи (43.53169 N и 39.87465 E, высота 146 м над ур. м., южный макросклон). Почва дерново-карбонатная выщелоченная перегнойная среднесуглинистая на слабовыветренном делювии известковых пород [10]. Растительное сообщество: *Fraxinus excelsior* L. + *Carpinus orientalis* Mill. + *variherbetum* + *graminosus*. Сомкнутость крон древостоя 0.6–0.7. Оголенные стволы *B. sempervirens* L. на площадке составляют около 40% от общего древостоя. Второй ярус занимает подлесок из кустарников *Philadelphus coronarius* L., *Rosa* sp., *Crataegus* sp., *Cornus sanguinea* subsp. *australis* (С.А.Мей.) Jav. Напочвенный покров *variherbetum* + *graminosus* (разнотравно-злаковый), общее проективное покрытие (ОПП) 90%: *Piptatherum holciforme* (M.Bieb.) Roem. & Schult. – 65%, *Ruscus aculeatus* L. – 5%, *Carex pendula* Huds. – 5%, *Stellaria media* (L.) Vill. – 4%, *Geranium robertianum* L. – 4%, *Viola alba* Besser – 2%, *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort. – 1%, *Asplenium scolopendrium* L. – 1%, *Duchesnea indica* (Jacks.) Focke – 1%, *Tamus iberica* L. – единично. Травянистые растения образуют дернину. Лесная подстилка отсутствует. В 2013 г. на данном участке нами было описано сообщество *Fraxinus excelsior* + *Buxus sempervirens*, в котором *B. sempervirens* L. формировал второй ярус (данные не опубликованы). По сравнению с 2013 г. в напочвенном покрове отмечается появление адвентивных (*Duchesnea indica* (Jacks.) Focke, *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort.) и рудеральных видов (*Geum urbanum* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Geranium robertianum* L.), кроме того, увеличилось обилие злаков и осок.

Разрез № 2 расположен в окрестностях с. Мезмай, у входа в Гуамское ущелье, среднее течение р. Курджепс (44.20728 N и 39.92573 E, высота 596 м над ур. м., северный макросклон) на выровненном участке в средней части крутого склона. Почва дерново-карбонатная, типичная, перегнойная, среднемогущая на элюво-делювии карбонатных пород [10]. Растительное сообщество: *Acer campestre* + *Carpinus betulus* L. + *variherbetum*. Сомкнутость крон 0.7. Усохший *B. sempervirens* L. составляет около 40% от общего состава древостоя. Подлесок: *Sambucus nigra* L., *Staphylea colchica* L., *Corylus avellana* L., *Crataegus* sp. Напочвенный покров: *variherbetum*, ОПП 30% с доминированием *Hedera colchica* K.Koch. Из других видов с незначительным покрытием встречаются *Asplenium scolopendrium* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Arum italicum* subsp. *albispatum* (Steven ex Ledeb.) Prime, *Salvia glutinosa* L., *Viola alba* Besser, *Galeobdolon luteum* Huds., *Cardamine quinquefolia* (M.Bieb.) Schmalh. Адвентивные и сорные виды в сообществе не обнаружены. На поверхности почвы – лесная подстилка мощностью около 1 см.

Разрез № 3 расположен на Циценском участке лесничества Майкопского района Республики Адыгея (44.16338 N 39.82535 E, высота 467 м над ур. м., северный макросклон). Почва дерново-карбонатная выщелоченная многогумусная среднемогущая, среднесуглинистая на элюво-делювии карбонатных пород [10]. Растительное сообщество: *Quercus iberica* Steven + *Carpinus betulus* L. + *Buxus sempervirens* + *Hedera colchica*. Сомкнутость крон 0.6–0.7. Подлесок: *B. sempervirens* L. (высота 1–2.5 м, покрытие 40–45%), *Euonymus europaeus* L. – 2%, единично встречаются *Mespilus germanica* L., *Ilex colchica* Pojark., *Crataegus* sp. Напочвенный покров: *Hedera colchica* + *variherbetum*, ОПП 75%. Видовой состав: *Hedera colchica* K.Koch – 70%, *Festuca drymeja* Mert. & W.D.J.Koch – 2%, *Lilium martagon* L. – 1%, *Polygonatum verticillatum* (L.) All. – 1%, *Senecio renardii* C.Winkl. – 1%, *Cardamine quinquefolia* (M.Bieb.) Schmalh. единично, *Carex pendula* Huds. единично. Слаборазложившийся лиственный опад последнего года формирует маломощную лесную подстилку.

Район исследования включает участки произрастания *B. sempervirens* L. на южном и северном макросклонах Западного Кавказа. Условия почвообразования на сравниваемых участках имеют определенные особенности.

Территория тисо-самшитовой роши (40–520 м над ур. м.) занимает восточный склон г. Ахун (663 м над ур. м.) и представляет собой гряду верхнемеловых известняков, которая прорезается поперечным ущельем р. Хоста. Почвообразующими породами являются сланцеватые глины и мергели, приуроченные к безводным балкам и сглаженным долинам [13]. Защищенность от поступления с севера холодных воздушных масс формирует на южном склоне Западного Кавказа влажный субтропический климат. Среднегодовая температура воздуха составляет +14.5 °С, влажность – 70–90%, средняя температура июля и августа +22...+24 °С, января +5...+6.5 °С. Среднегодовое количество осадков 1350 мм, осадки выпадают в основном в осенне-зимний период в виде дождя [13].

Растительность тисо-самшитовой роши относят к колхидскому типу [1, 2, 14], для которого характерны высокое видовое разнообразие, наличие редких, эндемичных и реликтовых видов, многоярусная вертикальная и горизонтальная структура, наличие вечнозеленого подлеска и редкий травяной покров [1, 2]. Насажде-

ния с участием *B. sempervirens* L. составляли 158.5 га (более 50% площади), в которых он формировал второй древесный ярус следующих типов леса [13]: *Carpineto-Fagetum buxosum*, *Carpinetum buxosum*, *Fraxinetum buxosum*, *Tilietum buxosum*, *Buxetum thamniosum*.

По гребню Большого Кавказа проходит граница между областями с умеренным и субтропическим климатом. На северном макросклоне Западного Кавказа, в Майкопском районе Адыгеи и Апшеронском районе Краснодарского края климат мягкий, умеренно-континентальный, с повышенным увлажнением (700–800 мм/год), средняя относительная влажность воздуха 68–80%. Среднегодовая температура составляет +8.9 °С. Средняя температура летних месяцев колеблется от +15 °С до +20 °С. Для зимы характерна неустойчивая погода с чередованием коротких морозных и теплых периодов с частым отсутствием устойчивого снежного покрова, безморозный период составляет в среднем 185–195 дней. Средняя температура зимних месяцев от –2 °С до –10 °С [15].

Методы исследования. В 2011–2013 гг. (до гибели *B. sempervirens* L.) на исследуемых территориях были заложены пробные площадки (30×30 м²) и общепринятыми методами проведены геоботанические описания расположенных на них растительных сообществ [16]. В 2018 г. возобновили наблюдения и заложили новые мониторинговые площадки. На дерново-карбонатных почвах тисо-самшитовой рощи – 9 площадок, в границах: 43.31755 N и 39.52518 E, 43.52255 N и 39.8773 E, высота 51–146 м над ур. м. На дерново-карбонатных почвах Майкопского района Республики Адыгея и Апшеронского района Краснодарского края – заложили 7 площадок, в границах: 44.13864 N и 39.82905 E и 44.20728 N и 39.92573 E, высота 467–897 м над ур. м.

Морфогенетические свойства дерново-карбонатных почв, функционирующих под растительными сообществами с живым и погибшим *B. sempervirens* L., установили на основе описания полнопрофильных почвенных разрезов. Для определения динамики физико-химических и биологических показателей в профилях исследуемых почв из каждого генетического горизонта (в соответствии с ГОСТ 17.4.0284) [17] отбирали почвенный образец, характеризующий его свойства.

Кроме профильных исследований изучили физико-химические и биологические свойства верхних (0–20 см) горизонтов почв мониторинговых площадок. Для этого на каждой площадке методом конверта отбирали точечные пробы, из которых составляли смешанный образец, характеризующий свойства верхних горизонтов (0–20 см) дерново-карбонатных почв мониторинговых площадок. Кроме того, отобрали образцы почвы ненарушенного сложения для определения плотности и влажности почв мониторинговых площадок. Объем выборки, характеризующей свойства верхних горизонтов почв тисо-самшитовой рощи (южный макросклон), составил $n = 9$ (почвы под погибшим самшитом). Верхние горизонты дерново-карбонатных почв северного макросклона характеризует общая выборка $n = 7$, из которых часть мониторинговых площадок расположены в растительных сообществах с усохшим самшитом ($n = 4$), часть – в сохранившихся самшитниках ($n = 3$). Полученные усредненные показатели контролируемых параметров позволяют сравнивать свойства верхних горизонтов дерново-карбонатных почв северного и южного макросклонов, а также определить тенденции возможных изменений, происходящих в исследуемых почвах при усыхании

B. sempervirens L. Подготовка почвы для лабораторных исследований производили общепринятыми в почвоведении методами [17]. Диагностика почв проведена в соответствии с генетической классификацией [10], международные названия почв даны согласно системе WRB, 2006, [12].

Содержание органического углерода в почве определяли методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина [18], влажность и плотность почв – весовым методом, pH водной суспензии почвы – потенциометрически. Определение скорости базального (БД) и субстрат-индуцированного дыхания (СИД) проводили в соответствии с методическими разработками Н.Д. Ананьевой с соавторами [19]. Скорость БД характеризует потенциальную микробную продуктивность по интенсивности выделения почвенными микроорганизмами CO_2 и достаточно широко применяется для характеристики биологических свойств почвы [20–22]. Показатель скорости СИД входит в перечень стандартных параметров, принятых в ряде стран [23, 24]. Он позволяет оценить потенциальную активность почвенной микробиоты в процессах минерализации органического вещества и количественно определить содержание микробной биомассы в почвах [23, 25]. Скорость СИД для расчетов содержания углерода микробной биомассы выражали в мкл $\text{CO}_2/\text{г}$ почвы/ч.

Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) – важный компонент почвенного органического углерода почвы, так как представляет собой его живую, активно метаболизирующую часть. Различные авторы [19, 24] отмечают, что содержание $C_{\text{мик}}$ является индикатором устойчивости почв к различным внешним воздействиям, широко используется в международных мониторинговых программах и имеет статус стандартного индекса для определения качества почвы [26], так как служит количественной характеристикой почвенной микробной биомассы. Данный показатель рассчитывали по формуле: $C_{\text{мик}}$ (мкг С/г почвы) = СИД (мкл $\text{CO}_2/\text{г}$ почвы/ч) · 40.04 + 0.37 [23].

Уровень активности каталазы определяли газометрическим методом, фосфатазы – колориметрически [27]. Оценка уровня ферментативной активности почв осуществлялась по шкалам Д.Г. Звягинцева [28] и Э.И. Гапонюк, С.В. Малахова [29]. Статистическую обработку и корреляционный анализ результатов выполнили в программе Statistica 10.0. В исследованиях принят уровень значимости $p \leq 0.05$.

Результаты

Данные, характеризующие динамику изученных показателей в описанных выше профилях дерново-карбонатных почв (см. табл. 1), позволяют проследить общие черты и различия в проявлении биологических свойств рассматриваемых почв.

Биологические процессы в профиле почвы разреза № 1 протекают при нейтральной реакции почвенной суспензии (pH (H_2O) 6.6–7.0), влажность почвы в момент отбора составляла 19–22 мас. %. Почва разреза № 1 отличается от остальных наличием дернового горизонта (Ад). Для него установлены максимальные значения содержания гумуса, микробных показателей и активности каталазы. Деятельность фосфатазы оценивается как высокая. Вероятно, хорошо развитая корневая система травянистых растений и характерная для дерновых горизонтов активная деятельность почвенной мезофауны обуславливают рыхлое

Табл. 1

Динамика биологических показателей в профилях дерново-карбонатных почв северного и южного макросклонов Западного Кавказа

Глубина отбора образцов, см	Гумус, %	Скорость БД, мкг CO ₂ /1 г/ч	Скорость СИД, мкг CO ₂ /1 г	C _{мик} , мкг C/1 г	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /100 г/1 ч	Каталаза, мл O ₂ 1 г/1 мин
Разрез № 1 – тисо-самшитовая роща, сообщество с усохшим <i>B. sempervirens</i> L. (южный макросклон)						
Ад 0–6	14.1	44.0	159.5	3529	54.3	16.2
А1 6–14	7.7	22.9	83.9	1856	25.7	16.2
В 4–33	7.2	21.9	61.9	1369	23.4	14.7
Разрез № 2 – гуамское ущелье, сообщество с усохшим <i>B. sempervirens</i> L. (северный макросклон)						
А1 1–5	13.4	32.9	127.9	2830	21.2	5.8
АВ 15–35	11.3	20.2	91.6	2028	19.8	4.6
В 35–68	1.8	4.4	13.8	305	–	0.3
Разрез № 3 – бассейн р. Цица, сообщество с живым <i>B. sempervirens</i> L. (северный макросклон)						
А1 1–10	9.2	22.6	106.3	2352	82.3	6.9
В 10–18	4.7	16.4	27.5	609	53.2	5.4
ВС 18–32	3.6	10.2	24.8	548	47.7	4.4

сложение (плотность 0.5 г/см³, ниже по профилю увеличивается до 1.2 г/см³) и высокую биологическую активность рассматриваемого горизонта. Вероятно, полученные результаты являются отражением процессов, связанных с усыханием самшита, усилением инсоляции и развитием травянистого покрова на данном участке. Можно предположить, что на примере почвы разреза № 1 мы наблюдаем один из возможных вариантов последствий изменения условий почвообразования, происходящих вследствие гибели *B. sempervirens* L. и формирования дернового слоя в условиях лучшей инсоляции.

Напочвенный покров разреза № 2 представлен разреженной травянистой растительностью (ОПП 30%) и лесной подстилкой. В данном случае усыхание *B. sempervirens* L. в меньшей степени изменило освещенность напочвенного покрова, так как наряду с указанным видом, второй ярус составляют хорошо развитые кустарники, а в напочвенном покрове – *Hedera colchica* K.Koch, *Phyllitis balansae* (Baker) C.Chr., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, которые местами затеняют почвенный слой. Влажность почвы несколько снижается с глубиной – от 23 мас. % до 18 мас. %, реакция почвенной суспензии (рН H₂O) изменяется от 6.0 до 6.8, рыхлое сложение характерно для всего профиля и меняется в диапазоне 0.8–1.2 г/см³.

Для профиля разреза № 2 установлена динамика биологических показателей, характерная для лесных почв, где биологические процессы активно протекают в органогенных верхних горизонтах (А1 и АВ). В минерализованном горизонте (В) биологические процессы затухают, что отражают и полученные данные. Возможно, в данном случае усыхание самшита не оказало существенного влияния на контролируемые биологические параметры.

На участке с сохранившимся *B. sempervirens* L. (разрез № 3), в напочвенном покрове доминирует *Hedera colchica* K.Koch, произрастающий во влажных тенистых условиях и способствующий дополнительному затенению почвенного слоя. Влажность почвы составляет 21–27 мас. %, плотность сложения изменяется вниз по профилю от 0.7 до 1.2 г/см³, реакция почвенной суспензии меняется в диапазоне рН 6.0–6.7. Полученные данные свидетельствуют о том, что биологические процессы протекают в основном в верхнем органогенном горизонте (A1). Он характеризуется высоким содержанием гумуса, углерода микробной биомассы, дыхательной активностью почвенных микроорганизмов, высокой активностью фосфатазы и средней – каталазы.

Сравнивая данные почв, расположенных на площадках разрезов № 2 и 3 следует отметить, что условия почвообразования у них близкие. Обе почвы функционируют на северном макросклоне Западного Кавказа в схожих лесных сообществах. Усыхание *B. sempervirens* L. на площадке разреза № 2 не привело к таким заметным изменениям гидротермических условий, как на площадке разреза № 1. Возможно, поэтому большинство биологических показателей (скорость БД и СИД, содержания $C_{\text{мик}}$, активность каталазы) в почвах разрезов № 2 и 3 имеют более близкие значения. Однако в почве под живым самшитом содержание гумуса и микробные показатели несколько ниже (на 17–31%).

Обращают на себя внимание высокие показатели активности фосфатазы в профиле почвы разреза № 3, причины которой не вполне понятны. Активность каталазы – средняя, ее значения в верхнем и среднем горизонтах несколько выше, но вполне сопоставимы с данными, характеризующими разрез № 2. Динамику данных ферментативной активности трудно связать с изменениями, происходящими в растительных сообществах исследуемых почв. Почва разреза № 1 характеризуется высокой каталазной активностью, а разреза № 3 – фосфатазной. Вероятно, полученные данные являются отражением высокой вариабельности значений, характерной, по мнению многих авторов и нашим наблюдениям, для показателей ферментативной активности [30, 31]. Тем не менее определение показателей активности представителей классов окислительно-восстановительных (каталаза) и гидролитических (фосфатаза) ферментов необходимо, так как дает представление о напряженности происходящих в исследуемых почвах биохимических процессов.

Наряду с анализом динамики биологических показателей в профилях исследуемых почв проводилось изучение верхних горизонтов (0–20 см). Предполагалось, что именно их коснутся в первую очередь изменения, происходящие в растительных сообществах и условиях почвообразования. Исследование верхних горизонтов почв мониторинговых площадок позволили создать репрезентативную выборку и сравнить биологические показатели дерново-карбонатных почв северного и южного макросклонов Западного Кавказа. Результаты статистической обработки полученных данных представлены в табл. 2. Они отражают высокую вариабельность, свойственную биологическим параметрам почвы [30, 31].

При сравнении средних значений не обнаружено статистически значимых различий для изученных показателей биологической активности дерново-карбонатных почв, функционирующих на разных макросклонах Западного Кавказа ($t < 2.1$; $p > 0.06$). Единственным исключением является каталаза, активность

Табл. 2

Средние значения изученных показателей биологических свойств дерново-карбонатных почв всех мониторинговых площадок северного и южного макросклонов Западного Кавказа

Показатель	$M \pm m$ (среднее \pm стандартная ошибка среднего)	Минимальный показатель в выборке	Максимальный показатель в выборке	Коэффициент вариации
Южный макросклон Западного Кавказа, тисо-самшитовая роща ($n = 9$)				
Плотность	0.88 ± 0.05	0.5	1.15	17.6
pH (H ₂ O)	6.6 ± 0.2	5.5	7.3	7.6
Гумус	12.9 ± 0.6	10.4	15.3	14.7
Запас гумуса	224 ± 15	144	280	21.0
Скорость БД	29.5 ± 4.3	16.3	51.8	44.0
Скорость СИД	116.3 ± 14.4	60.5	187.0	37.2
Содержание $S_{\text{мик}}$	2572 ± 319	1339	4137	37.2
Фосфатаза	38.4 ± 4.2	24.7	54.3	33.0
Каталаза	11.7 ± 1.5	6.9	17.3	38.2
Северный макросклон Западного Кавказа ($n = 7$)				
Плотность	0.99 ± 0.04	0.84	1.09	9.4
pH (H ₂ O)	6.9 ± 0.3	6.0	7.8	12.6
Гумус	10.1 ± 1.3	5.7	15.9	34.8
Запас гумуса	201 ± 29	124	334	38.4
Скорость БД	30.0 ± 5.1	16.7	57.5	45.3
Скорость СИД	128.5 ± 19.7	78.4	220.0	40.6
Содержание $S_{\text{мик}}$	2843 ± 436	1735	4867	40.5
Фосфатаза	50.0 ± 7.7	21.2	82.3	40.6
Каталаза	5.9 ± 0.4	3.8	6.9	18.5

Примечание: плотность сложения, г/см³; содержание гумуса, %; запас гумуса, т/га; скорость базального и субстрат-индуцированного дыхания (БД и СИД), мкг СО₂-С/г почвы/ч; содержание углерода микробной биомассы ($S_{\text{мик}}$), мкг С/г почвы; активность фосфатазы, мг Р₂О₅ 100 г⁻¹ ч.; активность каталазы, мл О₂ 1 г⁻¹ мин.

которой значимо ниже в почвах северного макросклона ($t = 3.5$; $p > 0.005$). Таким образом, полученные при статистической обработке данные свидетельствуют о возможности сопоставления биологических свойств дерново-карбонатных почв сформировавшихся на северном и южном макросклонах Западного Кавказа, где условия почвообразования, как указано выше, имеют определенные различия.

Биохимические реакции в исследуемых почвах протекают в основном при нейтральной реакции почвенной суспензии. Активные биологические процессы обуславливают накопление органического вещества в верхних горизонтах исследуемых почв. Средние показатели содержания гумуса позволяют отнести почвы тисо-самшитовой рощи [10] к роду перегнойных (> 12%), северного макросклона – к роду многогумусных (5–12%), средние значения запасов гумуса – очень высокие (> 200 т/га). Столь значительное накопление органического углерода обусловлено активной деятельностью почвенной микробной биомассы, что подтверждают данные респираторной активности микроорганизмов (БД и СИД) и очень высокие показатели содержания $S_{\text{мик}}$ во всех изученных почвах (> 1500 мкг С/г почвы).

Средние микробные показатели почв северного макросклона несколько выше, чем в тисо-самшитовой роще, однако является ли это определенной тенденцией покажет продолжение исследований и расширение выборки.

Активность фосфатазы, представителя класса гидролитических ферментов – высокая в почвах северного макросклона и средняя – в почвах тисо-самшитовой рощи. Активность окислительно-восстановительного фермента – каталазы, напротив, высокая в почвах тисо-самшитовой рощи и средняя в почвах северного макросклона. Изменение в пределах «высокой» – «средней» категорий активности контролируемых ферментов свидетельствует о том, что в исследуемых почвах достаточно активно протекают как гидролитические, так и окислительно-восстановительные биохимические процессы.

Средние показатели биологической активности дерново-карбонатных почв, расположенных на разных макросклонах Западного Кавказа, не противоречат представленным выше сведениям, характеризующим биологические свойства почвенных разрезов. Возможно, отмеченные на уровне тенденции различия в проявлении тех или иных биологических свойств, присущи дерново-карбонатным почвам сравниваемых районов.

Сопоставление биологических показателей в почвах, расположенных на участках леса с сохранившимся и полностью усохшим *B. sempervirens* L., позволяет определить направление процессов, происходящих в верхних горизонтах почвы (0–20 см) в результате изменения растительного сообщества и в некоторой степени – условий почвообразования (табл. 3). В сравниваемые выборки входят данные, характеризующие три мониторинговые площадки с живыми самшитниками на северном макросклоне и девять площадок южного, а также четыре площадки северного макросклонов, на которых самшит полностью усох. Представленные выше данные (табл. 2) позволили объединить почвы площадок северного и южного макросклонов в общую выборку ($n = 13$).

Полученные результаты свидетельствуют, что в верхних горизонтах дерново-карбонатных почв происходят определенные изменения. Обращает на себя внимание статистически значимое повышение содержания гумуса в сообществах под усохшим *B. sempervirens* L. ($t = 2.4$; $p = 0.03$). Запасы гумуса в почвах под погибшими самшитниками также существенно ниже ($t = 2.14$; $p = 0.05$). Обычно естественные почвы, функционирующие в природных биогеоценозах, характеризуются устойчивыми, генетически обусловленными значениями содержания гумуса [32]. Не предполагалось, что за прошедшее с момента инвазии самшитовой огневки будут обнаружены значительные изменения гумусного состояния почв под растительными сообществами с усохшим самшитом. Однако в исследуемых почвах происходят достаточно активные процессы, которые могут привести к изменению важнейших почвенных характеристик. Учитывая высокую пространственную вариабельность гумусовых показателей, необходимы дальнейшие наблюдения, которые позволят выяснить, в какой степени установленные тенденции отражают изменения, происходящие в почвах рассматриваемых растительных сообществ.

Микробные показатели также обнаруживают некоторые тенденции к повышению (на 14–22%). Возможно, процессы активизации почвенной микробиоты, увеличение содержания $C_{\text{мик}}$ и гумуса – следствие изменений в структуре

Табл. 3

Средние значения изученных показателей биологических свойств верхних горизонтов (0–20 см) дерново-карбонатных почв, функционирующих в лесных сообществах с участием живого и усохшего *B. sempervirens* L.

Показатель	$M \pm m$ (среднее \pm стандартная ошибка среднего)	Минимальный показатель в выборке	Максимальный показатель в выборке	Коэффициент вариации
Сообщества с участием живого самшита ($n = 3$)				
Плотность	0.91 ± 0.04	0.84	0.91	8.3
pH (H ₂ O)	6.0 ± 0.04	5.9	6.1	1.3
Гумус	8.4 ± 0.4	7.8	9.2	8.2
Запас гумуса	154 ± 8	139	166	8.6
Скорость БД	26.1 ± 3.8	22.0	33.7	25.2
Скорость СИД	98.5 ± 10.2	78.4	110.9	17.8
Содержание $C_{\text{мик}}$	2180 ± 225	1735	2454	17.8
Фосфатаза	66.2 ± 8.1	56.5	82.3	21.2
Каталаза	6.2 ± 0.5	5.2	6.9	14.2
Сообщества с участием усохшего самшита ($n = 13$)				
Плотность	0.93 ± 0.05	0.5	1.5	17.6
pH (H ₂ O)	6.9 ± 0.2	5.5	7.8	9.5
Гумус	12.4 ± 0.8	5.7	15.9	22.6
Запас гумуса	228 ± 16	124	334	25.6
Скорость БД	30.5 ± 3.9	16.3	57.58	45.6
Скорость СИД	126.9 ± 13.7	60.5	220	38.9
Содержание $C_{\text{мик}}$	2808 ± 303	1339	4867	38.9
Фосфатаза	38.2 ± 3.5	21.2	56.5	33.5
Каталаза	9.8 ± 1.3	3.8	17.3	47.9

Примечание: плотность сложения, г/см³; содержание гумуса, %; запас гумуса, т/га; скорость базального и субстрат-индуцированного дыхания (БД и СИД), мкг СО₂-С/г почвы/час; содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), мкг С/г почвы; активность фосфатазы, мг Р₂О₅ 100 г⁻¹ ч.; активность каталазы, мл О₂ 1 г⁻¹ мин.

напочвенного покрова. Происходит не только увеличение фитомассы за счет разрастания травянистой растительности, но и формирование дернового горизонта, который, как показывает пример разреза № 1 (табл. 1), обладает очень высокими биологическими показателями. Вероятно, процессы, происходящие в лесных сообществах при усыхании *B. sempervirens* L., сопровождаются не минерализацией гумуса, как можно было ожидать в условиях меньшего затемнения и более активного испарения, а накоплением органического вещества благодаря развитию травянистой растительности и формированию дернины.

Изменение деятельности контролируемых ферментов носит более сложный характер. Согласно полученным данным, высокая активность фосфатазы в почвах под живыми самшитниками снижается до уровня средней (на 42%) – в сообществах с погибшим самшитом, обнаруженные различия статистически значимы ($t = 3.2$; $p = 0.009$). Неизвестно, является ли процесс следствием усыхания *B. sempervirens* L. Возможно, установленный уровень фосфатазной активности – особенность дерново-карбонатных почв в районе произрастания живого *B. sem-*

pervirens L. (бассейн р. Цица), где близкие показатели деятельности данного фермента установлены во всем профиле разреза № 3 (табл. 1). Следует также отметить и более высокий средний показатель фосфатазной активности в почвах северного макросклона, по сравнению с южным (табл. 1).

Каталазная активность, напротив, на 37% выше в почвах под усохшим *B. sempervirens* L. Установленное различие не является статистически значимым ($t = 1.3$; $p = 0.19$), в сравниваемых почвах наблюдается средний уровень активности каталазы. Можно предположить, что в данном случае на полученный результат влияет существенно более высокая активность каталазы в почвах тисо-самшитовой рощи (табл. 3), а возможно, мы наблюдаем тенденцию активизации окислительно-восстановительных процессов в почвах под погибшим *B. sempervirens* L.

Заключение

Исследование лесных биогеоценозов особо охраняемых территорий северного и южного макросклонов Западного Кавказа, в местах распространения *B. sempervirens* L., показало, что в результате усыхания данного вида происходят существенные изменения в растительном покрове и биологических свойствах дерново-карбонатных почв, на которых функционируют рассматриваемые биогеоценозы. На территории участков тисо-самшитовой рощи (южный макросклон), где усохший *B. sempervirens* L. составлял основу второго яруса и 30–40% от общего древостоя, активно развиваются виды травяно-кустарничкового яруса, среди которых наибольшее распространение получили *Rubus anatolicus* Focke, *Piptatherum holciforme* (M.Bieb.) Roem. & Schult., *Carex pendula* Huds., а также ряд адвентивных, сорных (*Duchesnea indica* (Jacks.) Focke, *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort.) и рудеральных (*Geum urbanum* L., *Stellaria media* (L.) Vill.) видов. На некоторых участках активное развитие травянистой растительности способствует формированию дернового горизонта, обладающего высокими биологическими показателями (табл. 1).

В лесных биогеоценозах северного макросклона (бассейны р. Цица, р. Курджипис и др.), происходит замена усохшего *B. sempervirens* L. подростом широколиственных пород: *Acer campestre* L., *Carpinus betulus* L., *Tilia begoniifolia* Steven и различными видами кустарников: *Sambucus nigra* L., *Staphylea colchica* L., *Corylus avellana* L., *Crataegus* sp. Отмеченного на территории тисо-самшитовой рощи активного развития травянистой растительности не происходит, так как доминантами в напочвенном покрове нередко является *Hedera colchica* (K.Koch) K.Koch, по-видимому, препятствующий произрастанию семезачатков.

Гибель *B. sempervirens* L. вызвала не только изменения растительных сообществ, но и биологических свойств дерново-карбонатных почв. Анализ динамики биологических показателей в профилях исследуемых почв под живыми и усохшими самшитниками показал, что в профилях почвы под погибшим *B. sempervirens* L. (разрез № 1 и № 2) наблюдается тенденция повышения большинства контролируемых биологических показателей, в том числе и содержания гумуса. Параметры микробной активности (БД и СИД) выше в среднем на 42%, содержание $S_{\text{мик}}$ – на 49%. Данные, характеризующие деятельность рассмотренных ферментов (каталазы и фосфатазы), не позволяют проследить определенных

тенденций в изменении биохимической активности рассматриваемых почв при усыхании *B. sempervirens* L.

Совокупность полученных сведений, характеризующих биологические свойства верхних горизонтов (0–20 см) дерново-карбонатных почв подтверждает, что имеются определенные различия между биологическими свойствами почв под живыми и усохшими самшитниками. После усыхания *B. sempervirens* L. в верхних горизонтах наблюдается возрастание содержания и запасов гумуса ($t > 2.14$; $p < 0.05$). Кроме того, отмечается увеличение респираторной активности почвенной микробной биомассы и рост содержания $C_{\text{мик}}$. Активность фосфатазы статистически значимо снижается от высокого до среднего уровня ($t = 3.2$; $p = 0.009$), активность каталазы остается средней. Полученные результаты позволяют сделать только предварительные выводы, однако несомненно, что в лесных сообществах после усыхания *B. sempervirens* L. колхидского происходят существенные изменения не только в растительном покрове, но и в биологических свойствах верхних горизонтов почв. Контролируемые показатели биологических свойств почвы отражают различные аспекты этих изменений. Продолжение исследований, увеличение количества мониторинговых площадок и расширение статистической выборки позволят подтвердить полученные результаты или укажут иные направления для формирования выводов и заключений.

Благодарности. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00961).

Литература

1. Гроссгейм А.А. Растительный покров Кавказа. – М.: Изд-во Моск. о-ва испыт. природы, 1948. – 267 с.
2. Гулисашвили В.З., Махатадзе Л.Б., Прилипко Л.И. Растительность Кавказа. – М.: Наука, 1975. – 233 с.
3. Демина О.Н., Рогаль Л.Л., Миноранский В.А. Самшит колхидский (*Vixus colchica* Rojark) и синтаксономия субтропических лесов Закавказья // Материалы Междунар. экол. форума «У нас одна земля. В гармонии с природой». – Ростов н/Д, 2015. – С. 55–66.
4. Щуров В., Бондаренко А., Жуков Е., Шелест В., Алентьев Н., Скворцов М., Мухина С. Уточнение ареала самшита колхидского на северном макросклоне Западного Кавказа с целью учреждения лесных генетических резерватов в условиях экспансии самшитовой огневки // Устойчивое лесопользование. – 2016. – № 2. – С. 25–30.
5. Бибин А.Р., Ковалев В.В. Опыт борьбы с самшитовой огневкой *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera Crambidae) на Северо-Западном Кавказе // Материалы VI Всерос. конф. с междунар. участием «Экология: рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности». – Майкоп, 2017. – С. 15–18.
6. Щуров В., Скворцов М., Радченко К., Семенов А., Жуков Е., Щурова А. Инвентаризация мест обитания и популяций самшита колхидского как потенциальных участков ЛВПЦ на южном макросклоне Северо-Западного Кавказа в условиях продолжающейся инвазии самшитовой огневки // Устойчивое лесопользование. – 2017. – № 4. – С. 13–21.
7. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методология исследования биологической активности почв на примере Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа. – 1999. – № 1. – С. 32–37.

8. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы юга России: генезис, география, классификация, использование и охрана. – Ростов н/Д: Эверест, 2008. – 276 с.
9. Тер-Мисакянц, Т.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Деградация дерново-карбонатных почв Западного Кавказа в результате вырубki леса. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. – 105 с.
10. Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
11. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
12. Алябина И.О., Андроханов В.А., Вершинин В.В., Волков С.Н., Ганжара Н.Ф., Добровольский Г.В., Иванов А.В., Иванов А.Л., Иванова Е.А., Ильин Л.И., Карпачевский М.Л., Капитанов А.Н., Кирюшин В.И., Колесникова В.М., Колесникова Л.Г., Лойко П.Ф., Маньлов И.Е., Марчек М.С., Махинова А.Ф., Молчанов Э.Н., Прохоров А.Н., Пягай Э.Т., Рожков В.А., Рыбальский Н.Н., Савин И.Ю., Самойлова Н.С., Сапожников П.М., Сизов В.В., Столбовой В.С., Суханов П.А., Урусевская И.С., Чочаев А.Х., Шеремет Б.В., Шоба С.А., Яковлев А.С. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. – 768 с.
13. Лазук П.Д. Типы леса Хостинской заповедной рощи // Труды Кавказского госзаповедника. – Майкоп. 1960. – Вып. 6. – С. 57–86.
14. Колаковский А.А. Растительный мир Колхиды. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. – 460 с.
15. Климатические данные городов по всему миру. – 2019. – URL: <https://ru.climate-data.org/>.
16. Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. – М.: Наука, 1989. – 223 с.
17. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2018. – 12 с.
18. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
19. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
20. Бабаев М.П., Оруджева Н.И. Оценка биологической активности субтропической зоны Азербайджана // Почвоведение. – 2009. – № 10. – С. 1248–1255.
21. Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Экофизиологические индикаторы состояния микробной биомассы черноземов Центрального Кавказа (в пределах терского варианта поясности Кабардино-Балкарии) // Экология. – 2016. – № 1. – С. 22–29. – doi: 10.7868/S0367059716010066.
22. Галстян А.Ш. Дыхание почвы как один из показателей ее биологической активности // Сообщение лаборатории агрохимии / Отв. ред. Г. С. Давтян. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1961. – № 4. – С. 33–43.
23. Anderson T.-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // Agric. Ecosyst. Environ. – 2003. – V. 98, No 1–3. – P. 285–293. – doi: 10.1016/s0167-8809(03)00088-4.
24. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. – 1978. – V. 10, No 3. – P. 215–221. – doi: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
25. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. – 222 с.

26. ISO 14240-1997. Soil quality – Determination of soil microbial biomass – Part 1: Substrate-induced respiration method. – 1997. – 8 p.
27. *Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 203 с.
28. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С.48–54.
29. *Гапонюк Э.И., Малахов С.В.* Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Труды 4-го Всесоюз. совещ. «Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах». – Обнинск: Гидрометеиздат, 1985. – С. 3–10.
30. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. – Ростов на/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. – 204 с.
31. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биология почв Юга России. – Ростов на/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
32. *Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш.* Почвы Юга России: классификация и диагностика. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 168 с.

Поступила в редакцию
19.11.2019

Горобцова Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией почвенно-экологических исследований

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия
E-mail: gorobzowaon@mail.ru

Ценкова Нелли Лукинична, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории горного природопользования

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия
E-mail: ecology_lab@mail.ru

Улигова Татьяна Сахатгериевна, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-экологических исследований

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия

Гедгафова Фатима Владимировна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-экологических исследований

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия

Темботов Рустам Хасанбиевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории почвенно-экологических исследований

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия
E-mail: tembotov.rustam@mail.ru

Хакунова Елена Мухадиновна, младший научный сотрудник лаборатории почвенно-экологических исследований

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова Российской академии наук
ул. И. Арманд, д. 37 а, г. Нальчик, 360051, Россия
E-mail: elena.khakunova@mail.ru

doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.162-179

Changes in the Biological Properties of Sod-Calcareous Soils in Protected Areas of the Western Caucasus Resulting from *Buxus sempervirens* L. DryingO.N. Gorobtsova^{*}, N.L. Tsepikova^{**}, T.S. Uligova, F.V. Gedgafova,
R.Kh. Tembotov^{***}, E.M. Hakunova^{****}Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Russian Academy of Sciences,
Nalchik, 360051 Russia
E-mail: ^{*}gorobzowaon@mail.ru, ^{**}ecology_lab@mail.ru, ^{***}tembotov.rustam@mail.ru,
^{****}elena.khakunova@mail.ru

Received November 18, 2019

Abstract

The destruction of *Buxus sempervirens* L. in the Krasnodar region, Adygea, and Abkhazia resulted from the invasion of *Cydalima perspectalis* Walker introduced accidentally with planting stock in 2012. The loss of *B. sempervirens* L. caused substantial changes in the vegetation cover and biological properties of sod-calcareous soils of the studied biogeocenoses. The analysis of the dynamics of biological properties in the soil profiles showed an increase in the absolute values of most biological parameters of soils under the dry *B. sempervirens*. After the destruction of *B. sempervirens*, the humus content and reserves in the upper horizons (0–20 cm) increased ($t > 2.14$; $p < 0.05$). A persistent trend of growing respiratory activity of soil microbiota was registered, and the carbon content of microbial biomass got higher by 18% on average. Phosphatase activity reduced significantly from the high to average level ($t = 3.2$; $p = 0.009$), while catalase activity remained average. The data obtained testify to the fact that the *B. sempervirens* drying in the forest communities affects the vegetation cover and the biological properties of upper soil horizons.

Keywords: humus, vegetation cover, respiratory activity of microbial biomass, enzymatic activity

Acknowledgments. The study was supported in part by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-04-00961).

References

1. Grossheim A.A. *Rastitel'nyi pokrov Kavkaza* [Vegetation Cover of the Caucasus]. Moscow, Izd. Mosk. Society of Naturalists, 1948. 267 p. (In Russian)
2. Gulisashvili V.Z., Makhatadze L.B., Prilipko L.I. *Rastitel'nost' Kavkaza* [Plants of the Caucasus]. Moscow, Nauka, 1975. 233 p. (In Russian)
3. Demina O.N., Rogal L.L., Minoranskii V.A. Georgian box (*Buxus colchica* Pojark) and syntaxonomy of subtropical forests in Transcaucasia. *Materialy Mezhdunar. Ekol. Foruma "U nas odna zemlya. V garmonii s prirodoj"* [Proc. Int. Ecol. Forum "We Have Only One Earth. In Harmony with Nature"]. Rostov-on-Don, 2015. pp. 55–66. (In Russian)
4. Shchurov V., Bondarenko A., Zhukov E., Shelest V., Alent'ev N., Skvortsov M., Mukhina S. A more precise definition of the Georgian box range on the northern macroslope of the Western Caucasus for foundation of forest genetic refuges against expansion of the box tree moth. *Ustoich. Lesopol'z.*, 2016, no. 2, pp. 25–30. (In Russian)
5. Bibin A.R., Kovalev V.V. Experience of pest control of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera, Crambidae), in the North-Western Caucasus. *Materialy VI Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem "Ekologiya: ratsional'noe prirodopol'zovanie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti"* [Proc. VI All-Russ. Conf. Int. Participation "Ecology: Sustainable Nature Management and Safety of Life Activity"]. Maikop, 2017, pp. 15–18. (In Russian)

6. Shchurov V.I., Skvortsov M., Radchenko K., Semenov A., Zhukov E.A., Shchurova A. Inventory of *Buxus colchica* habitats and populations as potential forest sites of high environmental value on the southern macroslope of the North-Western Caucasus against ongoing expansion of *Cydalima perspectalis*. *Ustoich. Lesopol'z.*, 2017, no. 4, pp. 13–21. (In Russian)
7. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Methodology of studies on soil biological activity exemplified by the North Caucasus. *Nauchn. Mysl' Kavk.*, 1999, no. 1, pp. 32–37. (In Russian)
8. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Pochvy yuga Rossii: genesis, geografiya, klassifikatsiya, ispol'zovanie i okhrana* [Soils of Southern Russia: Genesis, Geography, Classification, Use, and Protection]. Rostov-on-Don, Everest, 2008. 276 p. (In Russian)
9. Ter-Misakyants T.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Degradatsiya dernovo-karbonatnykh pochv Zapadnogo Kavkaza v rezul'tate vyrubki lesa* [Degradation of Sod-Calcareous Soils in the Western Caucasus as a Result of Deforestation]. Rostov-on-Don, Izd. YuFU, 2013. 105 p. (In Russian)
10. Egorov V.V., Ivanova E.N., Fridland V.M. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and Diagnostics of Soils of the USSR]. Moscow, Kolos, 1977. 224 p. (In Russian)
11. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Smolensk, Oikumena. 2004. 342 p. (In Russian)
12. Alyabina I.O., Androkhanov V.A., Vershinin V.V., Volkov S.N., Ganzhara N.F., Dobrovol'skii G.V., Ivanov A.V., Ivanov A.L., Ivanova E.A., Il'in L.I., Karpachevskii M.L., Kashtanov A.N., Kiryushin V.I., Kolesnikova V.M., Kolesnikova L.G., Loiko P.F., Manylov I.E., Marechek M.S., Makhinova A.F., Molchanov E.N., Prokhorov A.N., Pyagai E.T., Rozhkov V.A., Rybal'skii N.N., Savin I.YU., Samoilova N.S., Sapozhnikov P.M., Sizov V.V., Stolbovoi V.S., Sukhanov P.A., Urusevskaya I.S., Chochaev A.Kh., Sheremet B.V., Shoba S.A., Yakovlev A.S. *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0* [Unified State Register of Soil Resources in Russia. Version 1.0]. Moscow, Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2014. 768 p. (In Russian)
13. Lazuk P.D. Forest types of the Khosta Reserved Forest. *Tr. Kavk. Gosapov.*, 1960, no. 6, pp. 57–86. (In Russian)
14. Kolakovskii A.A. *Rastitel'nyi mir Kolkhidy* [Flora of Colchis]. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 1961. 460 p. (In Russian)
15. Climate data for cities around the world, 2019. Available at: <https://ru.climate-data.org/>.
16. Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. *Slovar' ponyatii i terminov sovremennoi fitotsenologii* [Dictionary of Concepts and Terms of Modern Phytocenology]. Moscow, Nauka, 1989. 223 p. (In Russian)
17. State Standard 17.4.4.02-84. Nature protection. Soils. Methods for sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, and helminthological analysis. Moscow, Standartinform, 2018. 12 p. (In Russian)
18. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Handbook on Soils Chemical Analysis]. Moscow, Izd. MGU, 1970. 488 p. (In Russian)
19. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Gavrilenko E.G. Determination of the soil microbial biomass carbon using the method of substrate-induced respiration. *Eurasian Soil Sci.*, 2011, vol. 44, no. 11, pp. 1215–1221. doi: 10.1134/S1064229311030021.
20. Babaev M.P., Orujova N.I. Assessment of the biological activity of soils in the subtropical zone of Azerbaijan. *Eurasian Soil Sci.*, 2009, vol. 42, no. 10, pp. 1163–1169. doi: 10.1134/S1064229309100111.
21. Gorobtsova O.N., Gedgafova F.V., Uligova T.S., Tembotov R.Kh. Ecophysiological indicators of microbial biomass status in chernozem soils of the Central Caucasus (in the territory of Kabardino-Balkaria with the Terek variant of altitudinal zonation). *Russ. J. Ecol.*, 2016, vol. 47, no. 1, pp. 19–25. doi: 10.1134/S1067413616010069.
22. Galstyan A.Sh. Soil respiration as a parameter of soil biological activity. In: *Soobshchenie laboratorii agrokhimii* [The Report of the Laboratory for Agrochemistry]. Davtyan G.S. (Ed.). Yerevan, Izd. Akad. Nauk ArmSSR, 1961, no. 4, pp. 33–43. (In Russian)
23. Anderson T.-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 2003, vol. 98, nos. 1–3, pp. 285–293. doi: 10.1016/s0167-8809(03)00088-4.

24. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1978, vol. 10, no. 3, pp. 215–221. doi: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
25. Anan'eva N.D. *Mikrobiologicheskie aspekty samoochishcheniya i ustoichivosti pochv* [Microbiological Aspects of Soil Self-Purification and Stability]. Moscow, Nauka. 2003. 222 p. (In Russian)
26. ISO 14240-1. Soil quality – determination of soil microbial biomass. Pt. 1: Substrate-induced respiration method. 1997. 8 p.
27. Khaziev F.Kh. *Sistemno-ekologicheskii analiz fermentativnoi aktivnosti pochv* [Ecological System Analysis of the Enzymatic Activity of Soils]. Moscow, Nauka. 1982. 203 p. (In Russian)
28. Zvyagintsev D.G. Biological activity of soils and the scales for assessment of some parameters. *Pochvovedenie*, 1978, no. 6, pp. 48–54. (In Russian)
29. Gaponyuk E.I., Malakhov S.V. Integrated system of indicators for soil ecological monitoring. In: *Trudy 4-go Vsesoyuz. soveshch. "Migratsiya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh i so-predel'nykh sredakh"* [Proc. 4th All-Union Conf. "Migration of Contaminants in Soils and Adjacent Media"]. Obninsk, Gidrometeoizdat, 1985, pp. 3–10. (In Russian)
30. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy* [Biological Diagnosis of Soils: Methodology and Research Methods]. Rostov-on-Don, 2003. 204 p. (In Russian)
31. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. *Biologiya pochv Yuga Rossii* [Soil Atlas of Southern Russia]. Rostov-on-Don, Izd. TsVVR, 2004. 350 p. (In Russian)
32. Val'kov V.F., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh. *Pochvy Yuga Rossii: klassifikatsiya i diagnostika* [Soils of Southern Russia: Classification and Diagnosis]. Rostov-on-Don, Izd. SKNTs VSh, 2002. 168 p. (In Russian)

Для цитирования: Горобцова О.Н., Цепкова Н.Л., Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Изменение биологических свойств дерново-карбонатных почв особо охраняемых территорий Западного Кавказа, вызванное усыханием *Buxus sempervirens* L. // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2020. – Т. 162, кн. 1. – С. 162–179. – doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.162-179.

For citation: Gorobtsova O.N., Tsepikova N.L., Uligova T.S., Gedgafova F.V., Tembotov R.Kh., Hakunova E.M. Changes in the biological properties of sod-calcareous soils in protected areas of the Western Caucasus resulting from *Buxus sempervirens* L. drying. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2020, vol. 162, no. 1, pp. 162–179. doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.162-179. (In Russian)