Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.46

Ферментативная активность горно-луговых почв Крыма

Костенко И.В.[1], Федоренко А.Н.[2], Казеев К.Ш.[2]

[1]Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

[2]Южный федеральный университет

Аннотация

Исследована активность ферментов (каталаза, дегидрогеназа, уреаза и инвертаза) горно-луговых почв горных плато Главной гряды Крыма. Выявлена повышенная активность ферментов в поверхностном слое почв с резким уменьшением значений глубже 40 см. Установлена прямая зависимость активности ферментов от содержания органического углерода и обратная связь с гидролитической кислотностью. Определены индивидуальные отличия в обогащенности ферментами поверхностного слоя почв 0–10 см и суммарной активности всего профиля почвы до глубины 70 см горно-луговых почв Крыма. Такая высокая разница в значениях интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) свидетельствует о значительном влиянии не только содержания и запасов органического углерода, но и комплекса других параметров.

Ключевые слова: ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, БИОИНДИКАЦИЯ, ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД

Введение

Почвенная биота является одним из важнейших компонентов, определяющим состав, свойства и плодородие почв. Методы биологической диагностики почв широко используются в системе мониторинга окружающей среды благодаря своей информативности и способности выявлять негативные воздействия на ранних стадиях деградации [1, 2]. Ферментативная активность является важной характеристикой качества биологических свойств и чувствительным показателем экологического состояния почв [3–10]. В большинстве случаев ферментативная активность тесно связана с органическим веществом почв [11-13]. Однако в некоторых случаях эта связь ослабевает и усиливается

роль абиогенных факторов [14]. Высота местности и рельеф является ключевым фактором пространственного распределения ферментов в горных условиях. При этом разные ферменты имеют особенности пространственного распределения. Активность фермента цикла азота (лейцин-аминопептидазы) меньше варьирует в пространстве по сравнению с ферментами цикла углерода (β-глюкозидазы и β-целлобиозидазы) и фосфора (фосфатазы) [12].

Биологическая активность горных почв Крыма и Кавказа исследована в ряде работ [15–21]. Для горных почв Западного Кавказа проведена оценка устойчивости ферментативной активности к разным антропогенным воздействиям [22–25]. Целью исследований было проведение оценки ферментативной активности горно-луговых почв крымских яйл (горных пастбищ).

Объекты и методы исследований

Почвы и почвенный покров Крыма описаны в ряде работ [26–29]. Исследования проводили на северо-восточной (Долгоруковская яйла) и восточной (Караби яйла) оконечностях Главной гряды горного Крыма, почвенный покров которых сформирован литоземами, приуроченными к крутым склонам и вершинам бугров, а также горно-луговыми черноземовидными почвами (рис. 1). Наиболее мощные разности последних залегают у подножий склонов и в понижениях на элювии и элюво-делювии выщелоченных продуктов выветривания верхнеюрских известняков.

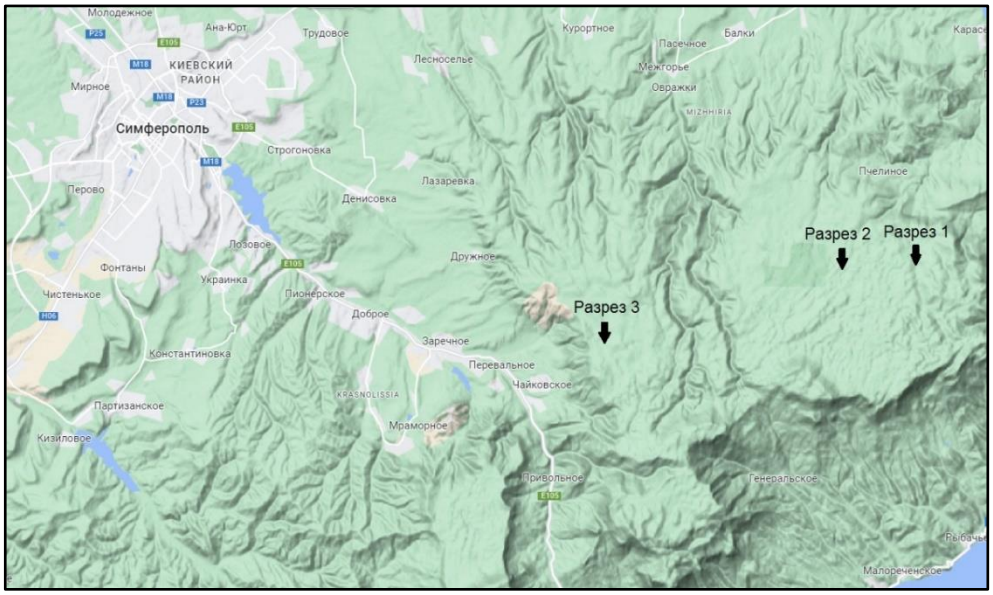

Рис. 1. Картосхема размещения исследуемых почв

В образцах почв определяли pH_{KCl}, содержание общего органического углерода ($C_{орг}$) по Тюрину, гранулометрический состав методом пипетки по Качинскому с пирофосфатной диспергацией образцов, гидролитическую кислотность (Нг) – pH–метрическим методом по Каппену [30], обменные основания (C^{2+}+Mg^{2+}) – комплексонометрическим методом. Степень насыщенности основаниями (НО) рассчитывали как долю C^{2+}+Mg^{2+} от их суммы с Нг.

Ферментативную активность определяли традиционными для почвенной биодиагностики методами [31, 32]. О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназа,) и гидролаз – (β–фруктофуранозидаза (инвертаза), фосфатаза, и уреаза). Определение ферментативной активности почв основано на учете количества переработанного в процессе реакции субстрата или образования продукта реакции в оптимальных условиях температуры, pH среды, концентрации субстрата и навески почвы. Более информативные результаты отражает определение активности ферментов при естественной pH почвы без добавления буферных растворов [33, 34]. Повторность определения 4–6 кратная.

Активность каталазы определили волюметрическим методом А.Ш. Галстяна по скорости разложения 3% раствора H_2O_2. Она разлагает перекись водорода, которая образуется в процессе дыхания живых организмов и других биохимических реакций на воду и молекулярный кислород. Активность пероксидазы определяли методом Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой с гидрохиноном в качестве субстрата. Этот фермент играет важную роль в процессах гумусообразования. Пероксидаза катализирует окисление полифенолов в присутствии перекиси водорода или органических перекисей. Инвертазу определяли модифицированным колориметрическим методом, основанном на определении восстановленной глюкозой меди из реактива Феллинга. Активность инвертазы в лучшей степени характеризует уровень плодородия и продуктивности почв [3, 34, 35]. Активность уреазы определяли колориметрическим методом с реактивном Несслера. Этот фермент азотного цикла также информативен в оценке почвенного плодородия и экологического состояния почв [16].

Для определения уровня ферментативной активности использовали шкалы обогащенности Д.Г. Звягинцева [36] Для обобщения биологических свойств использовали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почв, который позволяет оценить совокупность показателей, выраженных в разных единицах измерения [4, 13, 17, 21, 37].

Биологические свойства почвы характеризуются высокой степенью варьирования.

Поэтому для получения достоверных данных обязательна их тщательная статистическая обработка. В настоящих исследованиях были определены показатели вариации, проведены дисперсионный и корреляционный анализы.

Результаты и обсуждение

В результате полевых исследований были изучены почвы, различные по генезису, составу и свойствам. Разрез №1 заложен в обширной блюдцеобразной карстовой котловине в восточной части Караби-яйлы под мощным покровом растительности, представленной разнотравно-злаково-пырейной ассоциацией луговой степи. Профиль разреза состоял из темно-серого, рыхлого, комковато-зернистого, легкоглинистого горизонта А (0–35 см) и серовато-бурого, комковато-ореховатого, среднеглинистого АВ (35–70 см), подстилаемого массивом верхнеюрских известняков. Среднее содержание Сорг в слое почвы 0–70 составило 2,85%, а запасы органического вещества – 43 кг/м^2. По величинам pH в пределах всего профиля почва участка 1 слабокислая, характеризуется низкой Нг и высокой насыщенностью основаниями (табл. 1).

Разрез 2 заложен в нижней части склона ЮЗ экспозиции одной их карстовых воронок, которыми покрыта большая часть Караби-яйлы. Растительный покров в месте закладки разреза представлен вейником наземным (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) с включениями единичных растений подмаренника настоящего (*Galium verum* L.) и шалфея мутовчатого (*Salvia verticillata* L.). Описываемая в данной статье часть профиля представлена темно–серым, черным во влажном состоянии, комковато–порошистым, легкоглинистым горизонтом А, в пределах которого по характеру профильного распределения Сорг выделены современный (0–40 см) и погребенный (40–70 см) подгоризонты. О формировании профиля под влиянием склоновых процессов – латерального переноса мелкозема с верхних частей воронки, свидетельствует также отсутствие определенных закономерностей в распределении ила (табл. 1). Современный горизонт менее кислый и более насыщен основаниями по сравнению с погребенным. Среднее содержание Сорг в слое 0–70 см составило 3,84%, запасы органического вещества – 58 кг/м^2.

Разрез 3 приурочен к СВ склону ложбины в центральной части Долгоруковской яйлы. В его профиле выделены темно–серый, черный во влажном состоянии, комковато–порошистый, легкоглинистый горизонт А (0–40 см) и серый с бурым оттенком, комковато–зернистый, легкоглинистый АВ (40–70 см). Признаков намыва почвенного материала не

выявлено, поскольку с глубиной наблюдалось постепенное увеличение содержания ила и плавное снижение гумусированности (табл. 1). По сравнению с разрезами №1 и №2 наблюдалось более высокое содержание Сорг в горизонте А, а среднее его количество (3,74%) и запасы органического вещества в слое 0–70 см (55 кг/м^2) близки к разрезу №2. По величинам pH, Нг, содержания оснований и степени насыщенности почвы этих разрезов также близки между собой.

Исследования показали повышенную активность ферментов в верхних горизонтах исследуемых горно-луговых почв. В минеральных горизонтах ниже по профилю активность ферментов снижается. Степень снижения зависит от природы фермента и свойств почв.

Таблица 1. Некоторые свойства почв горных плато Крыма

Разрез, высота н.у.м., координаты, позиция, почва	Глубина, см	Ил	$C_{орг}$	pH_{KCl}	Нг	Сумма оснований	НО, %
		%			смоль(+)/кг		
№1, 857 м, 44°53,984´с.ш., 34°33,662´ в.д. блюдцеобразное понижение, СВ склон около 3°, горно-луговая черноземовидная мощная выщелоченная на элювии известняков	0–10	33	6,1	5,6	4,6	32,4	88,0
	10–20	33	4,8	5,6	4,3	28,5	87,0
	20–30	33	3,3	5,9	3,0	25,7	88,0
	30–40	42	1,8	5,8	3,0	23,1	89,0
	40–50	58	1,3	5,8	2,6	26,7	91,0
	50–60	64	1,5	5,9	2,4	29,6	93,0
	60–70	58	1,3	6,1	1,7	28,8	95,0
№2, 875 м, 44°53,383´ с.ш., 34°31,284´ в.д. карстовая воронка, ЮЗ склон около 5°, горно-луговая черноземовидная мощная выщелоченная намытая на делювии известняков	0–10	22	6,1	5,3	6,8	27,0	80,0
	10–20	17	5,4	5,2	7,1	25,3	78,0
	20–30	23	4,1	4,9	8,8	22,6	72,0
	30–40	31	2,8	4,6	9,2	18,9	67,0
	40–50	30	3,2	4,6	10,3	18,4	64,0
	50–60	27	3,0	4,6	9,6	17,3	64,0
	60–70	21	2,3	4,6	7,8	16,1	67,0
№3, 846 м, 44°51,918´ с.ш., 34°21,942´в.д., ложбина, СВ склон около 5°, горно-луговая черноземовидная мощная выщелоченная на делювии известняков	0–10	27	8,8	5,0	8,7	28,0	76,0
	10–20	28	6,6	4,8	9,4	27,6	75,0
	20–30	28	4,6	4,6	10,4	25,3	71,0
	30–40	32	3,3	4,5	9,4	21,3	69,0
	40–50	35	1,1	4,5	6,7	17,9	73,0
	50–60	36	1,0	4,5	5,3	19,0	78,0
	60–70	44	0,8	4,4	5,1	21,3	81,0

Используя шкалы Д.Г. Звягинцева [36] можно диагностировать среднюю активность каталазы (4,3–7,6 мл O_2/г/мин.) в поверхностном слое 0–10 см исследуемых горных почв и бедную уже в слое 10–20 см (рис. 2).

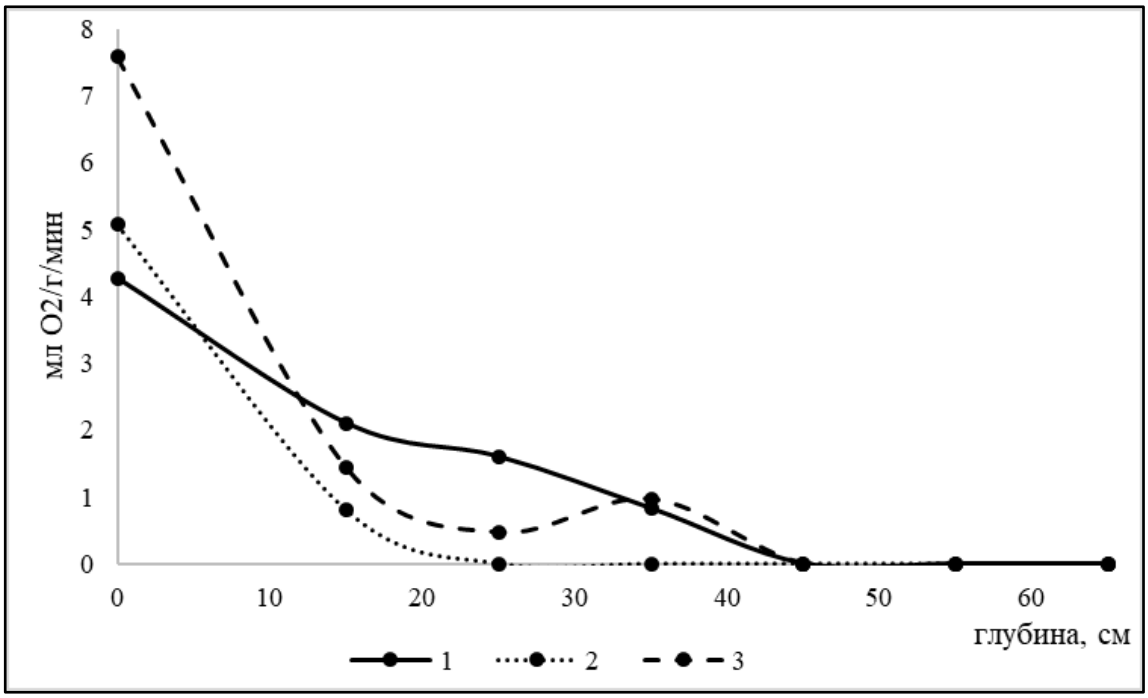

Рис. 2. Активность каталазы в горных почвах Крыма

Во всех почвах активность каталазы не выявлена с глубины 40 см и до 70 см. Такие низкие значения и резко убывающее изменение по профилю сходно с таковыми в лесных кислых почвах – буроземах и желтоземах и связано с низкими значениями pH [4, 15, 38, 39]. Но под лесной растительностью активность поверхностных горизонтов горных дерново-карбонатных почв, а также буроземов и серых лесных почв значительно выше – на уровне богатой и в 2–3 раза превышает значения исследуемых горно-луговых почв Крыма [5, 24]. Активность каталазы, выраженная на 1 см^2 поверхности с учетом мощности профиля до 70 см, показала также среднюю обогащенность – 59–104 мл O_2/г/мин.

Две из трех исследуемых почв (№2 и №3) отвечают среднему уровню обогащенности дегидрогеназами в поверхностном слое (5,7–8,5 мг ТФФ/10г/24час), а почва разреза №1 находится на богатом уровне (19,5 мг ТФФ/10г/24час) (рис. 3).

Пересчет на весь профиль позволил отнести все почвы к очень богатому уровню, при этом почва первого участка превышает порог этого уровня в 9 раз. Это связано с постепенным уменьшением активности фермента в почвенном профиле.

Активность инвертазы в поверхностном слое находится в пределах 6,1–9,6 мг глюкозы /г/24 час и отвечает бедному уровню обогащенности, вниз по профилю активность фермента резко снижается до очень слабой обогащенности (рис. 4).

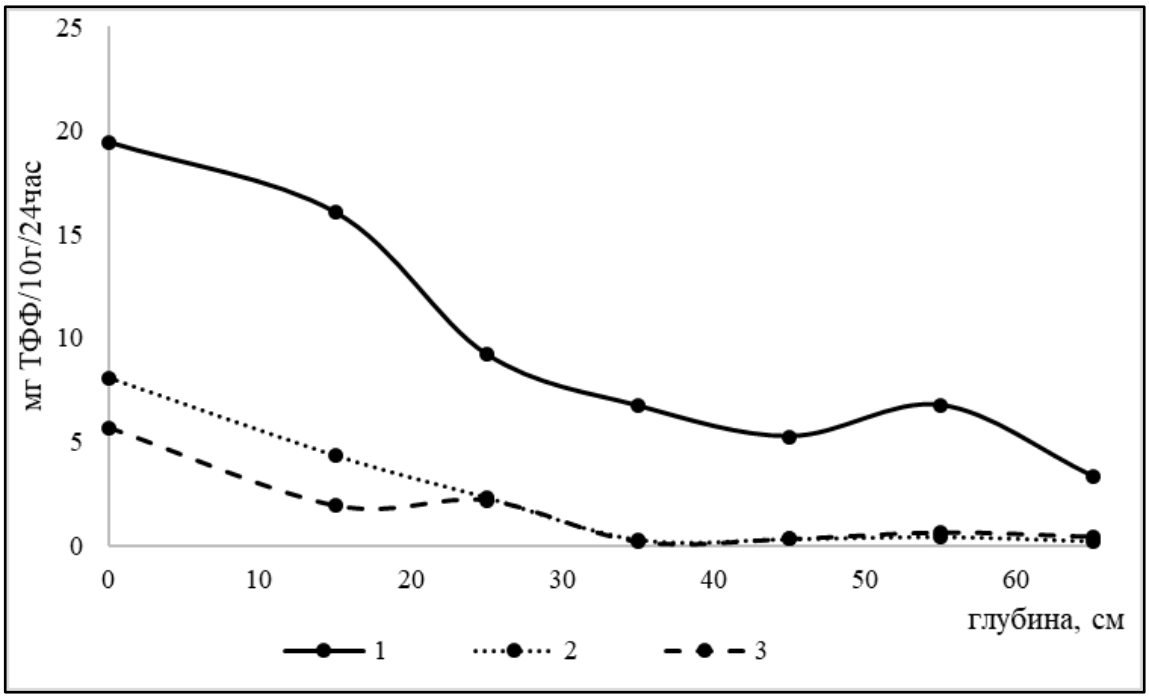

Рис. 3. Активность дегидрогеназ в горных почвах Крыма

Характер профильного изменения активности инвертазы сходен для всех трех почв и близок к типичным изменениям в степных почвах, однако на более низком уровне. Суммарная обогащенность инвертазой в исследуемых горных почвах отвечает бедному уровню вследствие низких значений активности фермента в подповерхностных горизонтах.

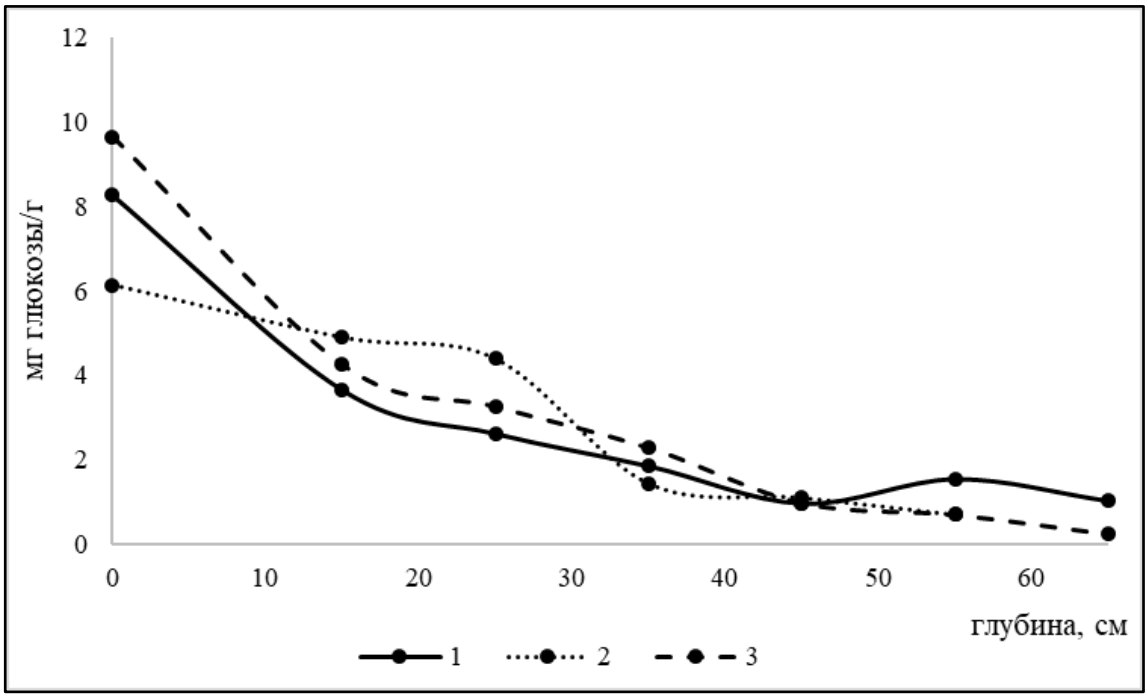

Рис. 4. Активность инвертазы в горных почвах Крыма

Активность уреазы поверхностного слоя во всех почвах находится на среднем уровне (15,2–20,5 мг NH_3/10г/24 час), а суммарная активность профиля – на очень богатом уровне (рис. 5).

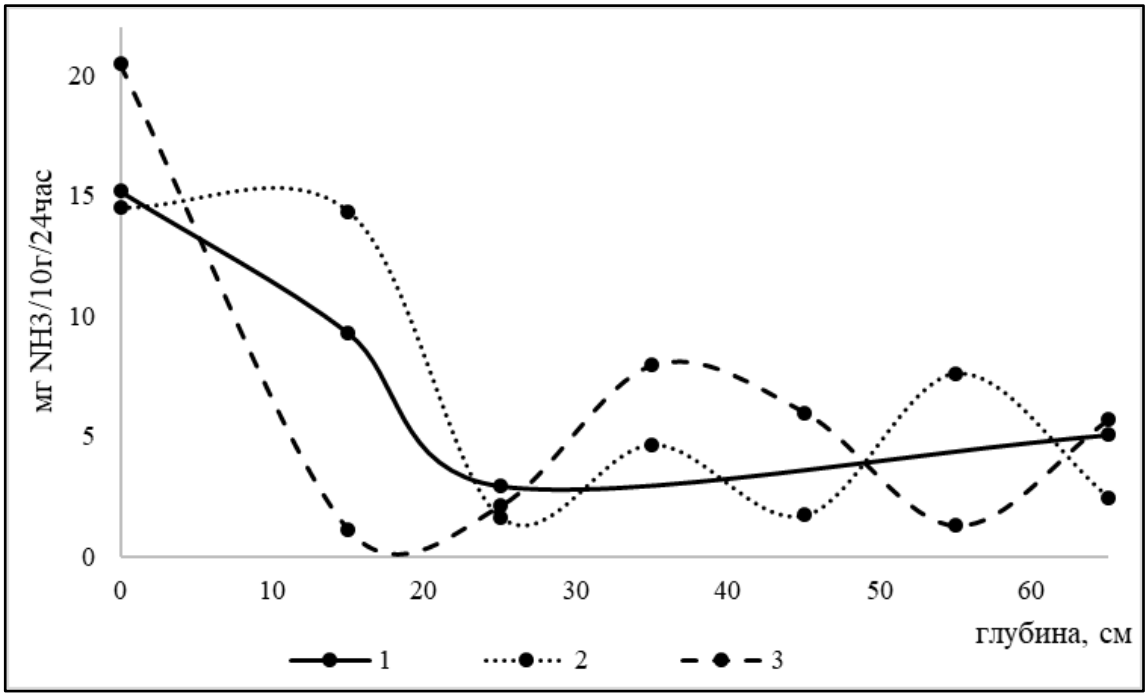

Рис. 5. Активность уреазы в горных почвах Крыма

При этом только в почве первого участка активность фермента снижается закономерно, а в двух других почвах отмечены инверсии активности фермента в средней и нижних частях профиля, что отличает характер ее профильного распределения от поведения других ферментов. Ранее инверсии активности ферментов связывали с особенностями профильного распределения легкорастворимых солей и карбонатов в гидроморфных солончаках и черноземах, а также с иссушением поверхностного слоя в полупустынных почвах Прикаспийской низменности [4, 40, 41].

Корреляционный анализ показал сильную связь исследуемых ферментов между собой (табл. 2). Как и следовало ожидать, установлена тесная прямая зависимость содержания органического углерода с активностью уреазы, каталазы и инвертазы, (r=0,69–0,91). Такая же тесная прямая связь установлена для активности инвертазы и всех других ферментов. Не уставлено связи активности пероксидазы с каталазой и уреазой, а также уреазы с дегидрогеназами. Среди исследуемых абиотических параметров сильное влияние на активность ферментов оказывает реакция среды (pH) и сумма поглощенных оснований.

Для этих показателей установлена прямая связь с активностью ферментов. Гидролитическая активность ингибировала активность пероксидазы и дегидрогеназ (r= –0,49–0,66). Активность всех исследуемых ферментов была индифферентна к содержанию ила в почвах.

Таблица 2. Корреляционная матрица исследуемых показателей

Показатели	$C_{орг}$	pH_{KCl}	Нг	сумма оснований	НО	каталаза	пероксидаза	дегидрогеназы	уреаза	инвертаза
Ил	–0,60	0,54	–0,73	0,32	0,70	–0,30	0,49	0,09	–0,41	–0,41
$C_{орг}$		–0,01	0,43	0,47	–0,16	0,81	–0,07	0,39	0,69	0,91
pH_{KCl}			–0,81	0,73	0,89	0,18	0,68	0,67	0,00	0,18
Нг				–0,47	–0,94	0,05	–0,66	–0,49	0,15	0,16
сумма оснований					0,74	0,53	0,54	0,75	0,33	0,62
НО						0,14	0,68	0,62	–0,03	0,10
каталаза							0,19	0,54	0,80	0,89
пероксидаза								0,64	0,41	0,57
дегидрогеназы									0,41	0,57
уреаза										0,76

Примечание: достоверные значения выделены цветом p>0,05 более интенсивным p>0,01

Несмотря на сходное поведение активности ферментов в почвах при использовании интегрированной оценки для них выявлено существенное различие в уровне значений. Максимальные значения ИПБС выявлены в почве первого участка, минимальные – в почве второго (рис. 6), которая обладает более высокими значения содержания органического углерода в поверхностном слое и общих запасов гумуса. Различия ИПБС выявлены как для поверхностного слоя почв 0–10 см, так и для суммарной активности всего профиля почв. Высокая разница в значениях для такого устойчивого показателя свидетельствует о значительных различиях в составе и свойствах почвы, что подтверждено данными таблицы 1.

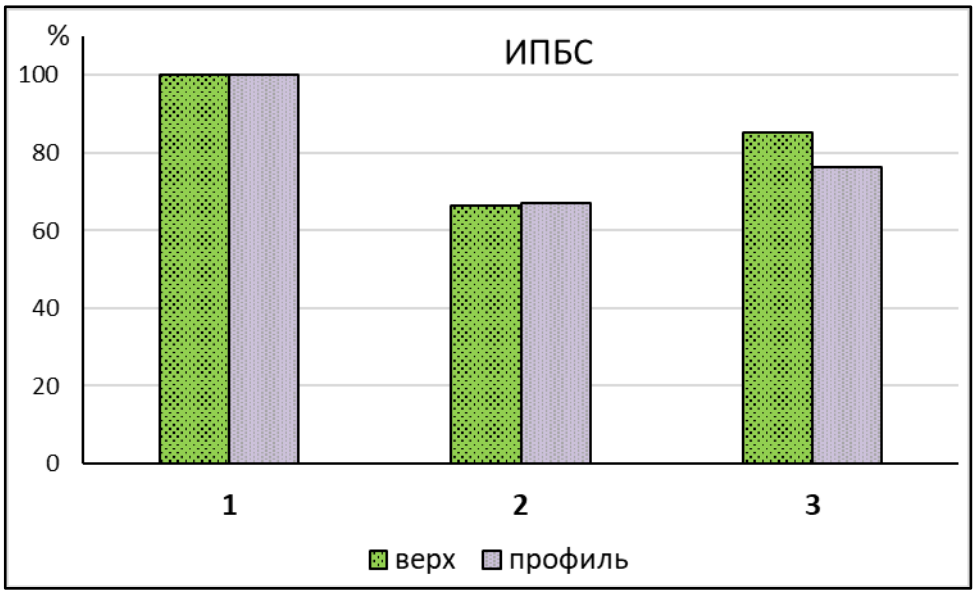

Рис. 6. ИПБС верхнего слоя почв (0–10см) и суммарная активность профиля (0–70см)

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента РФ для ведущей научной школы РФ (НШ–449.2022.5).

Список использованных источников:

1. Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // SOIL. 2020. V.6. P. 17–34.

2. Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение, 2022. № 2. С. 228–243.

3. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.

4. Казеев К.Ш., Колесников С. И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.

5. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 2021. №4. С. 426–436.

6. Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // Ecology Letters. 2008. V.11. P. 1252–1264.

7. Raiesi F., Beheshti A. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute enzyme activity in primary forests of northwest Iran // Applied Soil Ecology. 2014. V. 75. P. 63–70.

8. Huang H., Tian D., Zho L. u,, Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis // Geoderma. 2022. V. 423, 115961.

9. Minnikova T., Mokrikov G., Kazeev K., Medvedeva A., Biryukova O., Keswani C., Minkina T., Sushkova S., Elgendy H., Kolesnikov S. Soil Organic Carbon Dynamics in Response to Tillage Practices in the Steppe Zone of Southern Russia // Processes. 2022. V. 10. 244.

10. Moshchenko D.I., Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.S., Minkina T.M., Mezhenkov A.A., Litvinov Y.A., Shende S.S., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Kalinitechenko V.P. Comparative Assessment of the Resistance to Lead (Pb) Pollution of Forest, Forest–Steppe, Steppe, and Mountain-Meadow Soils of the Central Ciscaucasia and the Caucasus Regions // Forests. 2022. V. 13, No.10: 1528.

11. Cao R., Yang W., Chang C., Wang Z., Wang Q., Li H., Tan B. Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine–gorge region // Applied Soil Ecology. 2021. V. 166, 104078.

12. Keller N., Bol R., Herre M., Marschner B., Heinze S. Catchment scale spatial distribution of soil enzyme activities in a mountainous German coniferous forest // Soil Biology and Biochemistry, 2023. Vol. 177, 108885.

13. Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // Geoderma. 2022. Vol. 425. 116031.

14. Trasar–Cepeda C., Leiro M.C., Gil-Sotres F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality // Soil Biology & Biochemistry. 2008. V.40. P. 2146–2155.

15. Казеев К.Ш., Антонова О.Д., Колесников С.И., Вернигорова Н.А., Костенко И.В. Ферментативная активность некоторых почв Крыма // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электрон. ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). – IDA [article ID]: 1041410084. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/83.pdf.

16. Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С.347–359.

17. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных черноземов Кабардино-Балкарии // Почвоведение. 2017. №5. С. 614–623.

18. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность почв в поясе широколиственных лесов Центрального Кавказа // Лесоведение. 2021. №1. С.78–92.

19. Gedgafova F., Gorobtsova O., Uligova T., Tsepkova N., Tembotov R., Khakunova E. Assessment of biological activity in mountain chernozems and mountain-meadow chernozemic soils of natural biogeocenoses in the Central Caucasus, Russia // Eurasian Journal of Soil Science. 2022. Т. 11. № 1. С. 77–85.

20. Славинская А.В., Ивашов А.В., Кобечинская В.Г., Громенко В.М., Якубовская А.И., Каменева И.А., Гритчин М.В. Ферментативная активность почв с учетом сезонной динамики в предгорной зоне Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7 (73). № 1. С. 169–179.

21. Козунь Ю.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние климата на ферментативную активность лесных почв Северного Кавказа // Лесоведение. 2022. № 3. С. 262–269.

22. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шхапацев А.К., Колесников С.И. Реакция ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 1 (90). С. 107–114.

23. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Колесников С.И. Ингибирование ферментативной активности чернозема обыкновенного газообразными продуктами горения растительных материалов // Почвоведение. 2022. №6. С. 728–736.

24. Шхапацев А.К., Грабенко Е.А., Казеев К.Ш. Биологическая активность буроземов в молодых «окнах» полога леса Кавказского биосферного заповедника // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 4–2. С. 139–147.

25. Kolesnikov S.I., Kuzina A., Minnikova T.V., Ter-Misyakyants T., Nevedomaya E., Akimenko Yu.V., Trufanov D.A., Kazeev K.Sh., Burachevskaya M.V., Minkina T.M., Shende S.S., Barakhov A.V. Biodiagnostics of resistance to the copper (Cu) pollution of forest soils at the dry and humid subtropics in the Greater Caucasus region // Forests. 2022. V. 13. №10. P. 1720.

26. Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. – Киев: Редакция журнала "Аграрная наука", 2014. – 184 с.

27. Опанасенко Н.Е. Скелетные почвы Крыма и плодовые культуры: монография. – Херсон, 2014. – 336 с.

28. Костенко И.В. Связь показателей гумусного состояния лесных и луговых почв с высотой местности на Главной гряде Крымских гор // Почвоведение. 2017. №5. С. 532–543.

29. Агаджанова Н.В., Изосимова Ю.Г., Костенко И.В., Красильников П.В. Индикаторы почвообразовательных процессов в красноцветных глинистых почвах заповедника Мыс Мартьян, Южный Крым // Почвоведение. 2021. №1. С. 3–12.

30. Практикум по агрохимии / В.А. Ягодин, И.П. Дерюгин, Ю.П. Жуков и др.; под ред. В.А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.

31. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов–на–Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.

32. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 174 с.

33. German D.P., Weintraub M.N., Grandy A.S., Lauber C.L., Rinkes Z.L., Allison S.D. Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies // Soil Biology and Biochemistry. 2011. V.43. P. 1387–1397.

34. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.

35. Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1412–1422.

36. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.

37. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015. Т. 22. № 1. С. 112–120.

38. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.

39. Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474–1478.

40. Казеев К.Ш., Кузнецова Ю.С. Эколого-биологические особенности аридных почв Прикаспийской низменности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 5. С. 83–85.

41. Кузнецова Ю.С., Казеев К.Ш. Влияние засоления на биологические свойства гидроморфных почв ильменей Астраханской области // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 1. С. 90–93.

==========

Цитирование:

Костенко И.В., Федоренко А.Н., Казеев К.Ш. Ферментативная активность горно-луговых почв Крыма [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_301.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202133301.