

СТАТЬЯ

УДК 631.46

**ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ
ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЯ****¹Гафурова Л.А., ²Сайдова М.Э.**¹*Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент,
e-mail: glazizakhon@yandex.ru;*²*Ташкентский государственный аграрный университет, Ташкент, e-mail: munisa.saidova@mail.ru*

В статье показана динамика ферментативной активности по сезонам года и под различными уровнями засоления почвы. Выявлено, что орошаемые лугово-аллювиальные почвы Южного Приаралья имеют сравнительно низкую ферментативную активность. Причинами такого явления являются: сравнительно низкое содержание гумуса и элементов питания, малое количество почвенных микроорганизмов, скудная растительность, процессы засоления и крайне неблагоприятный гидротермический режим пустынной зоны. В исследуемых почвах наблюдается пестрота засоления как по профилю почвогрунтов, проявляясь чередованием незасоленными, слабозасоленными, средnezасоленными, сильнозасоленными горизонтами, так и по почвенным разностям. Выявлено, что при оптимальных значениях агрохимических и агрофизических свойств исследуемых почв созданы благоприятные условия для развития микроорганизмов, результатом чего является повышенная активность ферментов. Результаты статистических обработок данных показали на существование тесных связей между рассматриваемыми параметрами. Таким образом, активность изученных ферментов была сравнительно высока в незасоленных и слабозасоленных орошаемых почвах, с усилением степени засоления активность их снижалась до минимальных величин. Характер сезонной динамики ферментативной имеет свой пик в весенний период, постепенно снижается летом и несколько повышается осенью.

Ключевые слова: ферментативная активность, оксидазы, гидролазы, содержание гумуса, пустынная зона, степень засоления, гидротермический режим, экологическое состояние почвы

**THE INFLUENCE OF SOIL-ECOLOGICAL FACTORS
ON THE CHANGE IN THE ENZYMATIC ACTIVITY
OF SALINE SOILS OF THE SOUTHERN ARAL REGION****¹Gafurova L.A., ²Saidova M.E.**¹*National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek, Tashkent, e-mail: glazizakhon@yandex.ru;*²*Tashkent State Agrarian University, Tashkent, e-mail: munisa.saidova@mail.ru*

This article shows the dynamics of enzymatic activity by seasons of the year and under different levels of soil salinity. It has been revealed that irrigated meadow-alluvial soils c have a relatively low enzymatic activity. The reasons for this phenomenon are the relatively low content of humus and nutrients, a small number of soil microorganisms, poor vegetation, salinization processes and the extremely unfavorable hydrothermal regime of the desert zone. In the studied soils, a diversity of salinity is observed both along the profile of the soil grounds, manifesting itself as an alternation of non-saline, slightly saline, moderately saline, strongly saline horizons, and in soil differences. It has been revealed that with optimal values of agrochemical and agrophysical properties of the studied soils, favorable conditions for the development of microorganisms are created, resulting in increased activity of enzymes. The results of statistical data processing showed the existence of close links between the considered parameters. Thus, the activity of the studied enzymes was comparatively high in non-saline and slightly saline irrigated soils, with an increase in the degree of salinity, their activity decreased to minimum values. The nature of the seasonal dynamics of the enzyme has its peak in the spring, gradually decreases in the summer and rises somewhat in the autumn.

Keywords: enzyme activity, oxidases, hydrolases, humus content, desert zone, salinity degree, hydrothermal regime, ecological state of the soil

Среди актуальных проблем, которые стоят перед учеными-почвоведом, важное место занимают улучшение мелиоративного состояния и повышение плодородия почв при возрастающем антропогенном воздействии.

В Стратегии действия по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017–2021 гг. предусмотрены следующие задачи: модернизация и интенсивное развитие сельского хозяй-

ства, углубление структурных реформ и динамичное развитие сельскохозяйственного производства, дальнейшее укрепление продовольственной безопасности страны, прежде всего дальнейшее улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель, принятие системных мер по смягчению негативного воздействия глобального изменения климата на развитие сельского хозяйства и жизнедеятельности населения и др. [1].

По прогнозам установлено, что в условиях изменения климата процессы деградации усилятся больше, и особенно в опасных размерах эти процессы проявляются в пустынных территориях аридных зон, наиболее подверженных опустыниванию и засолению почв [2].

К таким регионам более подходит территория Приаралья, которая в природно-климатическом отношении существенно отличается от других зон по климатическим условиям пояса. Территория Приаралья давно известна в литературе как область широкого распространения засоленных почв разных степеней и значительного развития солончаков. К настоящему времени накоплено большое количество данных о природном и антропогенном засолении почв пустынного региона [3, 4].

Н.В. Кимберг [5], характеризуя особенности климатических условий пустынной зоны Узбекистана, отмечает, что изменение климата и растительности данного региона приводит к уменьшению общей оглиненности и биологического потенциала почв, снижению биологической и зоологической активности и, напротив, усилению засоленности и гипсированности почв. Проявлением этой особенности является резко выраженный пустынно-континентальный климат, что во многом способствует испарению почвенной влаги в течение всего года, что приводит к накоплению солей в корнеобитаемом слое почв.

Как правило, необдуманное воздействие человека к почве приводит к потере наиболее ценных показателей почвенного плодородия. В таких условиях для успешного решения этой проблемы необходимо оптимальное сочетание многообразия факторов, своевременная и достоверная оценка пространственно-временных параметров природно-антропогенных условий и процессов.

В этом отношении ферментативная активность, являясь важным показателем и чувствительным индикатором биологического состояния почвы и ее производительной способности отражает направление и интенсивность протекания биохимических процессов, что может служить дополнительным диагностическим показателем уровня плодородия почвы [6–10].

В соответствии с концептуальной моделью формирования ферментативной активности почвы, разработанной Хазиевым [11], процессы поступления ферментов в почву обуславливаются экологическими факторами: основными свойствами почвы, гидротермическими режимами, природно-климатическими условиями региона, антропогенными воздействиями и др.

Всё это свидетельствует о необходимости рассмотрения взаимосвязей между этими факторами и ферментным уровнем почвы, которые позволяют более корректно использовать ферментативную активность в целях диагностики состояния природных и антропогенно-нарушенных экосистем, в том числе почвы [12, 13].

Цель исследования: изучение характерных особенностей изменения диагностических показателей орошаемых почв Южного Приаралья под влиянием почвенно-экологических факторов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись орошаемые лугово-аллювиальные почвы, распространенные в Амударьинском и Чимбайском районах Республики Каракалпакстан.

Полевые и лабораторные исследования проводились по общепринятым стандартным методам. Активность почвенных ферментов определялась по «Методам почвенной энзимологии», описанным Ф.Х. Хазиевым, 1990. Корреляционные связи между агрохимическими и агрофизическими свойствами и ферментативной активностью почвы определены с помощью программы Statgraphics Centure XVII.

Результаты исследования и их обсуждение

В период исследований нами были изучены активность оксидоредуктазных (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза) и гидролитических (фосфатаза, уреазы, инвертаза) ферментов, которые являются наиболее значимыми в почвенной биодинамике.

Как правило, на засоленных почвах биохимические процессы протекают менее интенсивно, чем на незасоленных почвах. Поскольку крайне неблагоприятные климатические условия исследуемой территории: высокие летние температуры, низкая относительная влажность воздуха, высокая испаряемость влаги из почвы, низкое содержание органических веществ и процессы засоления – являются причиной слабой биологической активности этих почв [14, 15].

В исследуемых почвах наблюдается пестрота засоления как по профилю почвогрунтов, проявляясь чередованием незасоленными, слабозасоленными, средnezасоленными, сильнозасоленными горизонтами, так и по почвенным разностям.

Как показывают данные, исследованные почвы в результате малого содержания органического вещества, подверженности к засолению и скудности растений имеют сравнительно низкую ферментативную активность.

По активности оксидоредуктазных ферментов наиболее высокой активностью преобладали незасоленные и слабозасоленные орошаемые лугово-аллювиальные почвы, где содержание сухого остатка составляет 0,130–0,270% – величина каталазы, соответственно равна – весной 2,9–4,3 см³, летом – 1,8–3,3 см³, и осенью – 2,1–3,7 см³ O₂ на 1 г почвы за 1 мин, пероксидазы и полифенолоксидазы 3,14–4,16 и 3,23–4,52 мг весной, 2,67–3,75 и 2,4–4,02 мг летом, и осенью – 2,80–3,86 и 3,0–4,15 мг пурпургалина/100г почвы. Несколько уступают им средnezасоленные почвы, где содержание сухого остатка колеблется от 0,320 до 0,850%, здесь активность каталазы составляла – 2,2–2,5 см³ O₂ в весенний, 1,3–1,7 см³ – летний и 1,5–1,9 см³ O₂ осенний период, активность пероксидазы и полифенолоксидазы равна была весной 2,70–2,86 и 2,73–2,89, летом 2,32–2,58 и 2,30–2,54 и осенью 2,48–2,67 и 2,52–2,70 мг пурпургалина. Слабая оксидоредуктазная активность выявлена в сильно и очень сильнозасоленных почвах, где содержание сухого остатка достигает до 1,535–2,400%, здесь активность каталазы составляла весной 1,2–2,0, летом 0,6–1,2 и осенью 0,9–1,5 см³ O₂. Активность пероксидазы и полифенолоксидазы у них была равна весной – 2,10–2,67 и 2,12–2,70, летом 1,68–2,27 и 1,75–2,25 и осенью 1,86–2,38 и 1,87–2,41 мг пурпургалина. Пониженная активность ферментов связана с малым содержанием гумуса, высоким содержанием легкорастворимых солей. Динамичность активности оксидаз в течение года объясняется неодинаковыми температурными условиями, разной степенью увлажненности, наличием растительного покрова и другими факторами.

По активности гидролитических ферментов выявлена такая же картина, как и у оксидоредуктазных. Это говорит о том, что активность оксидаз и гидролаз непосредственно пропорциональна генетическим особенностям, физико-химическим свойствам почвы и гидротермическому режиму исследуемого региона.

Границы колебания активности гидролитических ферментов представлены следующим образом: в орошаемых почвах активность инвертазы колеблется – от 1,50 мг до 4,15 мг глюкозы на 1 г почвы за 24 часа, уреазы – 1,10–2,76 мг NH₃/10 г почвы за 24 часа, фосфатазы – 0,58–2,38 мг P₂O₅/10 г почвы за 24 часа, в солончаках (Залежь) активность инвертазы составляет от 1,25 – 1,42 мг глюкозы, уреазы – 0,52–0,82 мг NH₃, фосфатазы – 0,50–0,55 мг P₂O₅. Высокие показатели их соответствовали незасоленным и слабозасоленным почвам, где активность

инвертазы весной была равна 2,48–4,15 мг, летом – 1,42–3,65 мг, и осенью – 1,60–3,83 мг глюкозы. Здесь величина уреазной активности весной составляла 1,50–2,76 мг, 0,78–2,24 мг летом, осенью – 1,01–2,48 мг NH₃. Активность фосфатазы была равна весной 0,85–2,38 мг, 0,48–2,01 мг летом, осенью – 0,63–2,23 мг P₂O₅. Затем следовали средnezасоленные почвы, где активность инвертазы составляла 2,30–2,47 мг глюкозы, уреазы – 1,30–1,47 мг NH₃ и фосфатазы – 0,70–0,83 мг P₂O₅. Очень слабая активность их выявлена в сильно и очень сильнозасоленных почвах, здесь инвертаза была равна 1,46–2,26 мг глюкозы, уреазы – 1,06–1,26 мг NH₃, и фосфатаза – 0,57–0,70 мг P₂O₅.

В целом результаты показывают, что с усилением степени засоления понижается содержание органического вещества и питательных элементов, что, соответственно, приводит к снижению активности ферментов до минимальных величин (рис. 1).

Полученные данные свидетельствуют о том, что активность ферментов сравнительно высока в незасоленных и слабозасоленных орошаемых почвах, с усилением степени засоления активность их снижается. Таким образом, активность ферментов зависит от биогенности генетического горизонта, содержания гумуса и элементов питания, гидротермического режима, механического состава и др.

Результаты изучения фенолоксидаз показали, что активность их тесно коррелирует с содержанием гумуса и в этом отношении установлена тесная связь между динамикой содержания органического вещества и активностью пероксидазы и полифенолоксидазы в почве. По соотношению их подсчитан условный коэффициент гумификации. В целом среднее значение условного коэффициента гумификации в исследуемых почвах находится в пределах 0,9–1,1.

Согласно шкале «Сравнительной оценки биологической активности почвы», разработанной Гапонюк, Малаховым (1985) по сравнительной оценке незасоленные и слабозасоленные староорошаемые и новоорошаемые лугово-аллювиальные почвы по каталазной и фосфатазной активности относятся к группе со «средней активностью», средне и сильнозасоленные новоорошаемые лугово-аллювиальные почвы со «слабой активностью», новоорошаемые очень сильнозасоленные почвы и солончаки с «очень слабой активностью». По инвертазной и уреазной активности почти все почвенные разности относятся к группе почв с «очень слабой активностью».

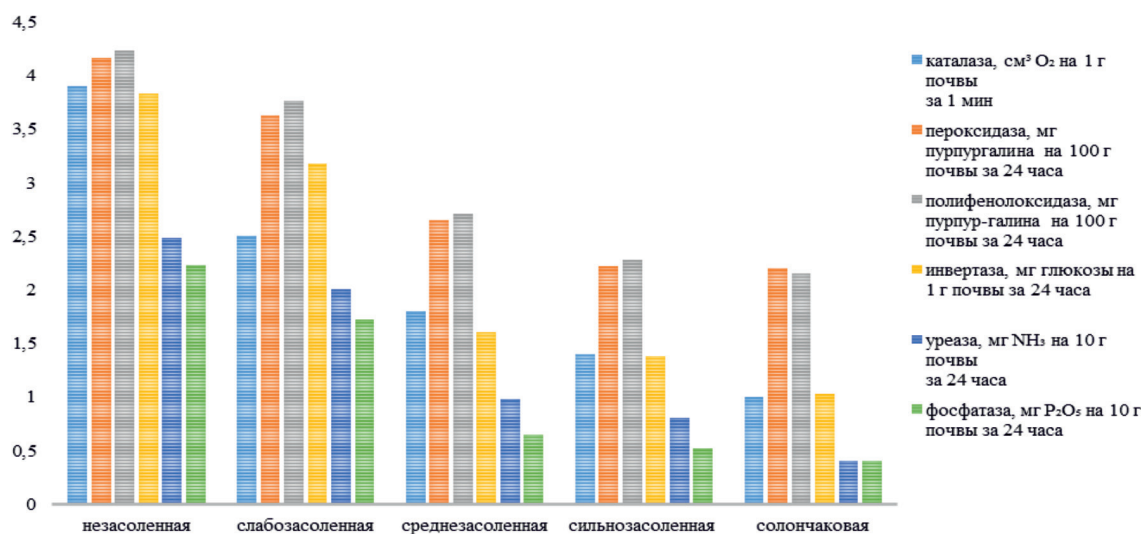


Рис. 1. Динамика ферментативной активности под влиянием различных уровней засоления в орошаемых лугово-аллювиальных почвах Каракалпакии

Профильное распределение ферментов в орошаемых засоленных почвах Каракалпакии

Глубина горизонта, см	Каталаза, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 мин	Пероксидаза, мг пурпургалина на 100 г почвы за 24 ч	Полифенолоксидаза, мг пурпур-галина на 100 г почвы за 24 ч	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы за 24 ч	Уреаза, мг NH ₃ на 10 г почвы за 24 ч	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ на 10 г почвы за 24 ч
Староорошаемая лугово-аллювиальная почва, слабозасоленная, тяжелосуглинистая						
0–30	3,6	3,73	3,86	3,75	2,40	1,85
30–50	2,5	2,62	2,81	2,34	1,53	1,46
50–70	1,8	1,89	1,85	1,70	0,81	1,24
Новоорошаемая лугово-аллювиальная почва, средnezасоленная, среднесуглинистая						
0–30	2,5	2,82	2,85	2,43	1,42	0,80
30–50	1,8	1,90	1,93	1,36	0,85	0,61
50–70	1,2	1,23	1,26	0,51	0,43	0,36
Новоорошаемая лугово-аллювиальная почва, сильнозасоленная, среднесуглинистая						
0–30	1,7	2,55	2,61	2,20	1,24	0,68
30–50	1,2	1,60	1,64	1,31	0,72	0,52
50–70	0,6	0,80	0,83	0,38	0,40	0,28

В результате засоления создаются неблагоприятные условия для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, что в конечном итоге негативно влияет и на активность ферментов. Но несмотря на высокое содержание солей и весьма неблагоприятные условия в засоленных почвах, действие ферментов полностью не подавлено, что объясняется более устойчивостью их к внешним факторам. Профильное распределение активности всех изученных ферментов имело одинаковую закономерность (за исключением староорошаемых почв), максимальная активность их была в верхних горизонтах, для которых характерна наибольшая биоген-

ность, максимальная обогащенность органическим веществом и наиболее благоприятные для микрофлоры гидротермические и воздушные режимы (таблица).

Вниз по почвенному профилю снизилась пропорционально с понижением содержания гумуса, меньшим количеством микробиоты, с разреженностью растительных остатков. Также почвенные горизонты с тяжелым механическим составом обладают более высокой ферментативной активностью, чем по сравнению с легко суглинистыми прослойками. Возможно, это связано с иммобилизацией внеклеточных ферментов в водонепроницаемых агрегатах [11].

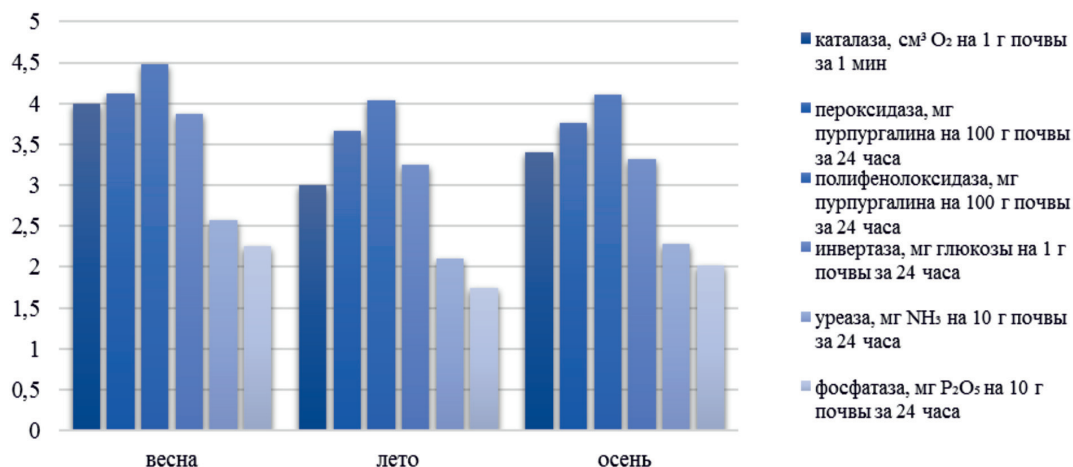


Рис. 2. Сезонная динамика ферментативной активности орошаемых засоленных почв Каракалпакки

Как говорили выше, климатические условия являются наиболее важными из факторов, регулирующих почвенные процессы. В этом отношении активность ферментов, изученных нами, зависит от гидротермических условий, и наибольшие показатели их обнаруживаются в основном в весенний период (рис. 2).

Возможно, это связано, с тем, что в весенние месяцы, когда в почве имеются неразложившиеся растительные остатки, достаточная влажность и оптимальная температура и бурно развиваются микробиологические процессы. Летом, в связи с малым количеством атмосферных осадков и резким повышением температуры, в почве создаются неблагоприятные условия для биологических процессов, в том числе и для активности ферментов. В конце вегетационного периода снижается чрезмерно высокая температура и поступают растительные остатки в почву (после вегетационного периода), в связи с этим в исследуемых почвах наблюдается некоторое повышение активности ферментов в этот период.

Известно, что на активность биологических процессов оказывают влияние физические, физико-химические, агрохимические свойства, численность и состав микрофлоры [11]. В результате исследований выявлены тесные корреляционные связи между активностью ферментов и некоторыми агрохимическими и агрофизическими показателями почвы. Выявлено, что оптимальные значения агрохимических свойств создают благоприятные условия для развития микроорганизмов, как следствие, в почву поступает больше ферментов. Итак, более гумусированные почвы обладают повышенной ферментативной активностью, это до-

казано на основе выявленной тесной связи между активностью ферментов и с содержанием гумуса ($r = 0,91 - 0,96$).

Известно, что для нормального развития почвенных микроорганизмов необходимы оптимальные условия питания, которые создаются составом, количеством и соотношением основных питательных элементов, в частности азота, фосфора и калия. Под действием ферментов органические вещества и остатки биоты распадаются до различных промежуточных и конечных продуктов минерализации. При этом для микроорганизмов и растений образуются доступные питательные вещества. В результате исследований выявлена корреляционная связь между содержанием общего азота ($r = 0,92 - 0,98$), фосфора ($r = 0,80 - 0,89$), калия ($r = 0,86 - 0,91$) и активностью ферментов.

Из микроэлементов в почве особенно медь, цинк и марганец принимают участие в окислительно-восстановительных процессах. Они активизируют ферментативные процессы и играют большую роль в фотосинтезе и образовании белков. В результате исследований выявлена положительная корреляция между оксидаз и содержанием подвижных форм микроэлементов. Корреляция между содержанием меди и активностью ферментов варьируется в пределах $r = 0,70 - 0,83$, между содержанием цинка $r = 0,81 - 0,91$, также между содержанием марганца $r = 0,89 - 0,96$. Изменение физических свойств почв является одним из эффективных регулирующих механизмов биологической активности почвы. В результате исследований выявлена корреляционная связь между активностью ферментов и общей порозностью почвы ($r = 0,65 - 0,70$).

Выводы

Таким образом, результаты статистических обработок данных показали на существование тесных связей между рассматриваемыми параметрами и дали возможность выявить некоторые общие положения о характере зависимостей ферментативной активности от изменений основных свойств засоленных почв Южного Приаралья. В целом выявлена зависимость активности ферментов от агрохимических и агрофизических свойств, а также от степени засоления почв, – активность их выше в незасоленных и слабозасоленных новоорошаемых и староорошаемых лугово-аллювиальных почвах, сравнительно низка в средnezасоленных почвах и очень слаба в сильнозасоленных почвах и солончаках.

В сезонной динамике ферментативной активности орошаемых почв выявлено, что их активность имеет свой пик в весенний период, постепенно снижается летом и несколько повышается осенью. При этом разница между летним и осенним сезонами активности ферментов незначительна.

Список литературы

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию республики Узбекистан» – Газета.uz [Электронный ресурс]. URL: www.lex.uz; <https://www.gazeta.uz/gu/2017/02/07/strategy> (дата обращения: 29.06.2019).
2. Панкова Е.И., Конюшкова М.В. Влияние глобального потепления климата на засоленность почв аридных регионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 3–15.
3. Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ямнова И.А., Новикова А.Ф., Благоволин Н.С. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция). М., 1996. 187 с.
4. Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука, 2008. 414 с.
5. Кимберг Н.В. Почвы пустынной зоны Узбекистана. Ташкент: Изд-во «ФАН», 1974. 298 с.
6. Karaca A., Cetin S.C., Turgay O.S., Kizilkaya R. Soil enzymes as indication of soil quality. *Soil Enzymology*. Berlin: Springer-Verlag. 2011. P. 119–148.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во: РГУ, 2003. 216 с.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Издательство Южного федерального университета, 2012. 260 с.
9. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии Наук РБ. 2015. Т. 20. № 2 (78). С. 14–24.
10. Гафурова Л.А., Саидова М.Э. Почвы Приаралья и их биологическая активность: монография. Ташкент: Издательство «Фан» АН РУз, 2015. 165 с.
11. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92.
12. Burns R.G., DeForest J.L., Marxen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Annamaria Zoppini. Soil enzymes in changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology & Biochemistry*. 2013. V. 58. № 2. P. 215–234.
13. Гафурова Л.А., Набиева Г.М., Мазиров М.А., Каринбаев А.К., Юлдашбаев Ю.А. монография. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2019. 200 с.
14. 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.
15. Кадилова Д.А. Биодиагностика состояния и пространственно-временных изменений деградированных почв Сурхан-Шерабадской долины: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2019. 55 с.