

УДК 631.416.9:631.452

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В ПОЧВАХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЗОН ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Исомиддинов З.Ж.

Кокандский государственный университет, Коканд, e-mail: 0901zokir@gmail.com

В данном исследовании были изучены изменения содержания аминокислот в почвах Ферганской долины в условиях вертикальной и горизонтальной зональности. Количественные и качественные вариации выявленных аминокислот были проанализированы с учетом природных и антропогенных факторов. Было установлено, что вариабельность аминокислотного профиля определялась состоянием почвенной среды, степенью засоления, содержанием гумуса, уровнем окультуренности и климатическими условиями. Результаты показали, что содержания глутаминовой и аспарагиновой кислот были относительно схожими в различных типах почв как вертикальной, так и горизонтальной зональности, тогда как серин в большем количестве содержался в недавно орошаемых типичных сероземах. В светло-каштановых почвах с горизонтальной зональностью было выявлено высокое содержание пролина, что было связано с генезисом и эволюцией данных почв. Тирозин был обнаружен исключительно в горных бурых почвах, а валин достигал наибольшей концентрации именно в этом типе почв. Таким образом, определение количественных и качественных характеристик аминокислот в зависимости от генетических свойств почвы, процессов трансформации и экосистемных факторов позволило выявить биогеохимические особенности почвообразования в Ферганской долине и стало научной основой для оценки их плодородия и продуктивности.

Ключевые слова: органическое вещество, кислотный гидролиз, гумус, минерализация, трансформация

CHANGES IN AMINO ACID CONTENT IN SOILS OF VERTICAL AND HORIZONTAL ZONES OF THE FERGANA VALLEY OF UZBEKISTAN

Isomiddinov Z.Zh.

Kokand State University, Kokand, e-mail: 0901zokir@gmail.com

This study examined the changes in amino acid content in the soils of the Fergana Valley under conditions of vertical and horizontal zonality. Quantitative and qualitative variations in the identified amino acids were substantiated in relation to natural and anthropogenic factors. It has been established that the soil environment, salinity, humus content, degree of cultivation, and climatic conditions determine the variability of the amino acid profile. The results showed that the contents of glutamic and aspartic acids were relatively similar across different soil types of both vertical and horizontal zonality, whereas serine was more abundant in newly irrigated typical sierozems. In gray-brown soils with horizontal zonality, a high proline content was detected, which is associated with the genesis and evolution of these soils. Tyrosine was found exclusively in mountain brown soils, whereas valine exhibited the highest concentration in this soil type. Thus, the determination of the quantitative and qualitative characteristics of amino acids in relation to soil genetic properties, transformation processes, and ecosystem factors makes it possible to reveal the biogeochemical features of soil formation in the Fergana Valley and serves as a scientific basis for assessing their fertility and productivity.

Keywords: organic matter, acid hydrolysis, humus, mineralization, transformation

Введение

В почвах Ферганской долины, характеризовавшихся ярко выраженной вертикальной и горизонтальной зональностью, содержание свободных аминокислот оставалось малоизученным. Эти соединения являлись важным источником органического азота и чувствительно реагировали на орошение, засоление и климатические факторы. Недостаток данных о распределении и динамике аминокислот в различных почвенных зонах затруднял понимание особенностей азотного цикла и его влияния на плодородие.

Изучение аминокислотного состава почв и его роли в процессах почвообразования и продуктивности растений на протяжении последних десятилетий привлекало внимание исследователей. Актуальность

данной проблематики объяснялась тем, что аминокислоты составляли значительную часть органического азота, участвовали в формировании гумуса и биогеохимическом круговороте элементов, оказывая влияние на плодородие почв и рост растений.

Впервые систематические сведения об аминокислотах в составе гумусовых веществ были получены на примере тундровых почв [1]. В условиях Узбекистана исследования сероземов Ферганской долины выявили наличие 14–20 свободных аминокислот, количественный и качественный состав которых варьировал в зависимости от степени антропогенной нагрузки и режима орошения [2; 3, с. 20; 4, с. 144]. Современные зарубежные работы показывали влияние глубины почвенного профиля

и систем удобрений на распределение аминокислот и пептидов в субтропических рисовых агроценозах [5], а также роль микроорганизмов в утилизации серосодержащих аминокислот в зависимости от доступности элементов [6].

Устанавливалось, что длительное внесение органических удобрений [7] и возврат соломы [8] способствовали накоплению аминокислотного азота, улучшая азотный баланс и устойчивость агроэкосистем.

Исследования ризосферы показывали, что цистеин и метионин становились объектом конкуренции между корневыми системами растений и микробиотой [9]. Кроме того, использование аминокислотных растворов в гидропонных условиях положительно влияло на фотосинтетический аппарат и биохимический состав растений [10].

Аминокислоты играли ключевую роль в азотном цикле почв, выступая источником органического азота [11]. В северной части Ферганской долины устанавливались различия в их составе между целинными и орошаемыми сероземами [12], что связывалось с ирригационными изменениями кальцисолей [13] и проблемой вторичного засоления [14].

Таким образом, обзор литературы подтверждает, что аминокислотный состав почв зависит как от климатических и экологических условий, так и от морфологии почвенных горизонтов и характера антропогенного воздействия. Повышение содержания свободных аминокислот за счет процессов гумификации, минерализации и применения органических удобрений способствует оптимизации плодородия почв и устойчивому развитию экосистем. При этом роль отдельных D-аминокислот и механизмы их взаимодействия с растениями и микробными сообществами остаются недостаточно изученными, что определяет перспективность дальнейших исследований.

Цель исследования – выявление количественных и качественных изменений содержания аминокислот в почвах Ферганской долины в условиях вертикальной и горизонтальной зональности, а также в установлении их зависимости от генетических свойств почв, степени окультуренности, содержания гумуса и влияния ирригации.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись почвы Ферганской долины, сформировавшиеся в условиях вертикальной и горизонтальной зональности. Определение свободных аминокислот проводили по методике Стивена и Коэна [15] с использованием фенилтиокарбамоильных производных. Хромато-

графический анализ осуществляли методом ВЭЖХ на системе *Agilent 1200* с колонкой *Discovery HS C18*, при градиентном режиме элюирования с применением ацетатного буфера и ацетонитрила. Детектирование осуществляли при длине волны 269 нм. Для контроля качества использовался стандартный набор аминокислот (*Sigma-Aldrich*). Каждое определение выполняли в трехкратной повторности, что обеспечивало достоверность и воспроизводимость результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Органические вещества, образующиеся из остатков живых организмов, их химические процессы и биогеохимические свойства полученных органических соединений представляют собой весьма сложные процессы. Почвенные аминокислоты, сформировавшиеся в различных почвенно-климатических и природно-исторических условиях, особенно свободные аминокислоты, занимают особое место в научных исследованиях и производстве.

В настоящее время при кислотном гидролизе всегда выявляется около 20 типов аминокислот. Большинство почв, особенно богатых гумусом, содержат значительное количество углерода. Поэтому количество свободных аминокислот в них неодинаково. Различается и их состав. Подобные ситуации были зафиксированы в охраняемых и освоенных типичных и темно-серых почвах.

Количество свободных аминокислот в составе староорошаемых и новоорошаемых серо-бурых почв Узбекистана было впервые определено нами и представлено ниже (таблица).

Согласно полученным результатам, свободные, то есть все 20 аминокислот, не были выявлены во всех генетических горизонтах исследованных почв, а именно было установлено отсутствие аспарагиновой кислоты, цистеина, треонина, аргинина, метионина, гистидина и лизина. Таким образом, в настоящее время эти аминокислоты не участвуют в процессах формирования серо-бурых почв, образовавшихся в климатических условиях пустынного региона.

Кроме того, в результате гидролиза гуминовых кислот образуется ряд моносахаридов, к которым относятся глюкоза, галактоза, манноза, арабиноза, ксилоза, рибоза, фукоза и др.

Содержание гумуса, органического вещества, живых и неживых организмов в составе почвы изменяется под воздействием природных и антропогенных факторов. Эти изменения, в свою очередь, приводят к из-

менению количества аминокислот. В частности, под влиянием орошения почвенные процессы и преобразования в их формировании изменяются по сравнению с естественными процессами. Таким образом, происходят изменения в количестве и качестве макро- и микроэлементов в почве, растениях и особенно в овощных культурах.

В этом процессе, то есть под воздействием орошения, изменяется содержание гумуса в почве. Поскольку почва является частью биосферы, ее физическое и химическое состояние, а также почвенно-климатические условия в ней постоянно меняются. В большинстве случаев процессы гумусообразования и минерализации в почве протекают непрерывно, но с разной скоростью и в разное время. В процессах минерализации и гумусообразования органического вещества белки, аминокислоты и другие азотсодержащие органические соединения образуются как промежуточные вещества.

Одним из важнейших свойств аминокислот является их способность выступать в качестве дополнительного источника азота. Орошение изменяет естественное состояние почв, при этом существенно меняется водный режим. Формируется водный режим ирригационного типа, изменяется температурный режим, состав группы микроорганизмов и происходят изменения в продуктивности. Происходят изменения в количестве и качестве аминокислот.

Органическое вещество почвы содержит свободные и связанные аминокислоты. Эта особенность имеет большое значение в процессе почвообразования. Аминокислоты входят в состав гумуса. При разложении гумуса аминокислоты присутствуют как органические продукты.

В почвах, как правило, содержится очень малое количество свободных аминокислот. Предварительные данные показывают, что в охраняемых почвах содержание аминокислот выше, чем в орошаемых. Одной из причин этого является относительно высокая минерализация гумуса в орошаемых почвах, а также поглощение образующихся аминокислот возделываемыми растениями и их вымывание под воздействием орошения. Орошение существенно влияет на процесс естественного почвообразования, что значительно увеличивает количество энергии, затрачиваемой на этот процесс. Происходят изменения в биогеохимическом круговороте и в его количественных показателях.

Теоретически процесс трансформации органического вещества в орошаемых почвах протекает относительно интенсивно.

При орошении в результате процессов гумусообразования и минерализации органического вещества ускоряется минерализация гумуса. Это состояние в большей степени соответствует начальному этапу орошения, а позднее стабилизируется. По мере продолжения орошения степень окультуренности почвы, а значит, и ее продуктивность повышаются. В результате на данном этапе аминокислоты также находятся в оптимальных количествах.

Содержание свободных аминокислот в пахотном слое или условных слоях ряда вертикально-зональных почв и бурых почв разной степени окультуренности, то есть новоорошаемых и староорошаемых, также приведено (таблица). Согласно данным таблицы, как отмечалось выше, более высокое содержание некоторых аминокислот в охраняемых почвах по сравнению с орошаемыми особенно выражено в аспарагиновой кислоте, то есть установлено, что в горных бурых почвах ее количество в 1,5 раза выше, чем в типичных орошаемых серых почвах. В исследованных орошаемых бурых почвах эта аминокислота не была обнаружена. Такая тенденция прослеживается и по остальным аминокислотам, что свидетельствует в пользу горных бурых почв.

Одной из основных причин этого является большое содержание гумуса в горных бурых почвах, преимущество процесса гумусообразования и обилие общих веществ в верхнем 0–20 см слое и др. Лишь гистидин содержится в почти одинаковом количестве как в горных бурых, так и в других почвах. Состояние глутаминовой кислоты в верхних слоях исследованных почв, то есть ее количественные показатели, близки к аспарагиновой кислоте и составляют 0,007–0,004 мг/г. Содержание серина варьирует от 0,007 до 0,06 мг/г, то есть почти в десять раз, в исследованных почвах.

Наибольшая концентрация серина выявлена в слое 0–28 см типичных новоорошаемых серых почв. Следующая по величине концентрация отмечена в новоорошаемых серо-бурых почвах, где данный показатель составляет 0,049 мг/г. Наименьшая концентрация серина зафиксирована в горных бурых и староорошаемых типичных серых почвах, а наибольшая концентрация (0,019–0,049 мг/г) – в серо-бурых почвах. Глицин также повторяет картину, наблюдаемую у серина, то есть количественные показатели несколько снижены. Такое же явление отмечается и для аспарагина. Это можно объяснить близостью свойств серина, глицина и аспарагина. Среди изученных аминокислот глутамин по количественным характеристикам уступает лишь валину.

Содержание аминокислот в горных бурых и орошаемых почвах, мг/г

Аминокислота	Горная бурая (0–20 см)	Новоорошаемая серая (0–28 см)	Староорошаемая серая (0–33 см)	Новоорошаемая гипсовая (0–22 см)	Староорошаемая бурая (0–26 см)
Аспарагин	0,009	0,006	0,006	0,0	0,0
Глутамин	0,097	0,091	0,095	0,083	0,006
Серин	0,008	0,060	0,007	0,049	0,019
Глицин	0,006	0,042	0,004	0,032	0,011
Цистеин	0,006	0,004	0,005	0,0	0,0
Треонин	0,005	0,003	0,005	0,0	0,0
Аргинин	0,004	0,0	0,003	0,0	0,0
Аланин	0,004	0,066	0,073	0,056	0,022
Пролин	0,016	0,013	0,014	0,012	0,077
Тирозин	0,003	0,0	0,0	0,0	0,0
Валин	0,270	0,180	0,220	0,124	0,004
Метионин	0,006	0,003	0,004	0,0	0,0
Гистидин	0,007	0,007	0,006	0,005	0,0
Изолейцин	0,006	0,004	0,004	0,003	0,002
Лейцин	0,006	0,003	0,005	0,002	0,001
Триптофан	0,063	0,0	0,006	0,0	0,028
Фенилаланин	0,059	0,033	0,043	0,019	0,021
Лизин	0,009	0,005	0,007	0,0	0,0

Источник: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Наименьшее значение, 0,006 мг/г, отмечено в ранее орошаемых серо-бурых почвах, тогда как в других исследованных почвах этот показатель составляет 0,083–0,097 мг/г. Цистеин, аргинин и аланин обнаружены в сходных количествах в исследованных почвах, преимущественно в пределах 0,003–0,005 мг/г. В орошаемых серо-бурых почвах количественные значения не выявлены.

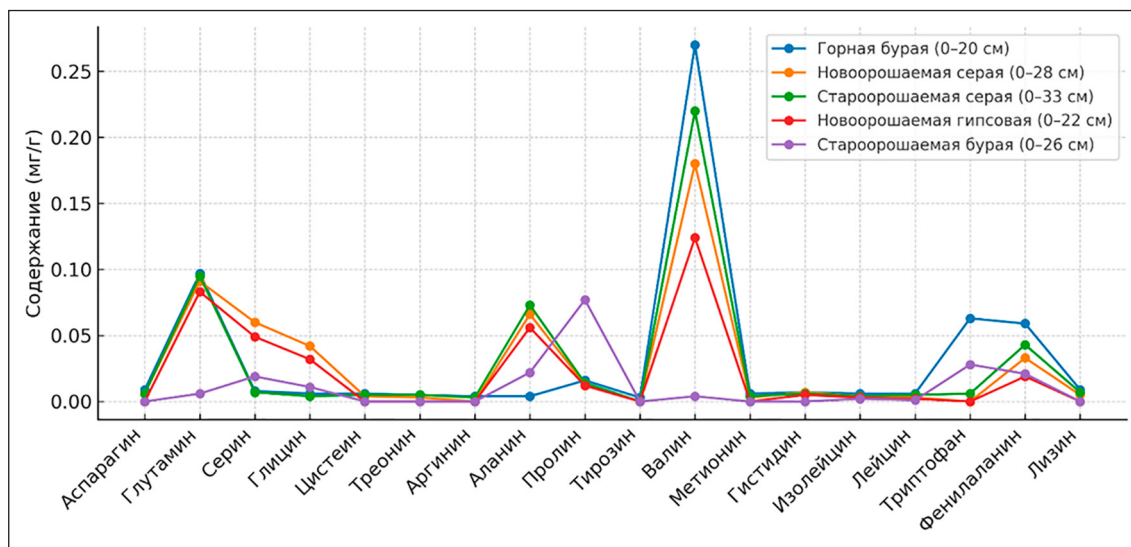
Пролин выделяется среди вышеуказанных аминокислот относительно высокими количественными показателями. В горных бурых почвах его содержание составляет 0,016 мг/г, в типичных орошаемых серых почвах – 0,013–0,014 мг/г, а в серовато-бурых почвах – 0,012–0,077 мг/г. Это связано с генезисом, эволюцией и процессами трансформации данных почв.

Тирозин был обнаружен только в горных бурых почвах на уровне 0,003 мг/г, тогда как в остальных исследованных почвах тирозин не выявлен, то есть отсутствует. Среди этих аминокислот валин четко выделяется по количественным показателям, в основном колеблясь в диапазоне 0,124–0,270 мг/г. Как и ожидалось, наибольшее его количество зафиксировано в горных бурых почвах, а наименьшее – в новоорошаемых серо-бурых почвах. Метионин, гистидин,

изолейцин и лейцин распределяются в исследованных почвах в сходных пропорциях, но их минимальные значения отмечены в горных бурых почвах.

Степень насыщенности аминокислотами в каждом типе почв среди исследованных образцов также различается, но находится в близких пределах. Этот показатель рассчитывается по формуле Маргалефа. Обычно он отражает разнообразие видов аминокислот и называется также индексом разнообразия. Как правило, чем выше разнообразие аминокислот, тем выше разнообразие продуктов. Согласно полученным результатам, количество аминокислот составляет 20, при этом они, разумеется, имеют разный состав и индексы.

При расчете индекса Маргалефа были выявлены следующие показатели. В частности, наибольший коэффициент соответствует новоорошаемым типичным серым почвам, при этом значение индекса составляет 8,84. Следующее место по величине занимает горная бурая почва со значением индекса 7,36. Далее следуют староорошаемые серо-бурые почвы с показателем 7,22 и новоорошаемые серо-бурые почвы с индексом 6,99. Очевидно, что наибольший показатель характерен для новоорошаемых типичных серых почв.



*Изменения содержания аминокислот в почвах различных зон Ферганской долины
Источник: составлено автором по результатам данного исследования*

Это означает, что относительно более высокие урожаи различных видов сельскохозяйственных культур на этих почвах по сравнению с другими исследованными почвами генетически обусловлены. Если сравнить количественные показатели аминокислот в этих почвах, то данная ситуация представлена на рисунке. Согласно этим данным, горные бурые почвы характеризуются более низким содержанием большинства аминокислот по сравнению с типичными новоорошаемыми серыми почвами. Наибольшая разница наблюдается по валину и глутамину.

Если рассмотреть данную ситуацию в типичных серых почвах, которые являются новоорошаемыми и староорошаемыми, то замечен явный избыток глутамин, аланина и валина в типичных серых почвах, которые являются староорошаемыми. В староорошаемых и новоорошаемых серо-бурых почвах также наблюдается преимущество староорошаемых почв, то есть в них содержится больше серина, глицина, аланина, пролина и триптофана.

Такая разница в содержании аминокислот в почвах связана с их генезисом и степенью окультуренности, а также с количеством гумуса, и эти показатели являются одними из основных как для охраняемых, так и для орошаемых почв. В таком виде, то есть на сравнительной основе, они и представлены.

Закключение

Исследование показало, что аминокислотный состав почв Ферганской до-

лины определяется их генетическими свойствами, степенью окультуренности и влиянием ирригации. Установлено, что распределение серина, пролина и валина отражает процессы почвообразования и эволюции почв, а выявленные различия могут служить основой для оценки плодородия и продуктивности исследованных территорий.

Анализ показал, что аминокислотный профиль почв Ферганской долины формируется под влиянием генетических свойств пород и режима орошения. В горных бурых почвах доминируют валин, триптофан и фенилаланин, тогда как в орошаемых сероземах отмечается рост содержания серина, глицина и аланина, отражающий активизацию микробиологических процессов. Староорошаемые почвы характеризуются снижением разнообразия аминокислот и накоплением отдельных соединений, что свидетельствует о деградации органического пула и адаптационных реакциях к засолению. Таким образом, орошение и минералогический состав субстрата определяют биогеохимический потенциал и экологическую устойчивость почв региона.

Список литературы

1. Vasilevich R.S., Beznosikov V.A. Amino acid composition of humic substances in tundra soils // Eurasian Soil Sc. 2015. 48. P. 593–599. DOI: 10.1134/S1064229315060125.
2. Jharna D.E. et al. Selection of drought tolerant groundnut genotypes (*Arachis hypogaea* L.) based on total sugar and free amino acid content // Journal of Environmental Science and Natural Resources. 2013. Т. 6. № 2. С. 1–5. DOI: 10.3329/jesnr.v6i2.22077.

3. Хайдаров М.М. Химическая и биогеохимическая характеристика северных сероземов Ферганской долины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2020. 20 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0001709512?ysclid=mg6dqs1z3z155209101> (дата обращения: 10.09.2025). ISBN: 978-5-00123-456-7.
4. Гафурова Л.А., Мадраимов Р.М. Почвы юго-западной части Хорезмского оазиса. Ташкент: Фан, 2020. 144 с. ISBN: 978-9943-777-45-1.
5. Wang H., Wang J., Xiao M., Ge T., Gunina A., Jones D.L. The fate of amino acid and peptide as affected by soil depth and fertilization regime in subtropical paddies // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 889. P. 164245. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164245.
6. Ma Q., Yao R., Liu X. et al. Effect of elements availability on the decomposition and utilization of S-containing amino acids by microorganisms in soil and soil solutions // *Plant Soil*. 2025. Vol. 509. P. 347–361. DOI: 10.1007/s11104-024-06864-8.
7. Lu T., Lu Z., Shi J. et al. Long-term application of manure increased soil amino acid pool under maize-maize-soybean rotation system // *J Soils Sediments*. 2024. Vol. 24. P. 3572–3584. DOI: 10.1007/s11368-024-03922-7/
8. Hu L., Chen H., Zhou Y., Zhang J., Nadeem M.Y., Miao C., Li G. Long-term straw returning improved soil nitrogen sequestration by accelerating the accumulation of amino acid nitrogen // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 362. P. 108846. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 22.08.2025). DOI: 10.1016/j.agee.2023.108846.
9. Cheraghvareh L., Pourakbar L., Siavash Moghaddam S. et al. The effect of biofertilizers on nickel accumulation, nitrogen metabolism and amino acid profile of corn (*Zea mays* L.) exposed to nickel stress // *Environ Sci Pollut Res*. 2024. Vol. 31. P. 49498–49513. DOI: 10.1007/s11356-024-34507-z.
10. Sowmya R.S., Krishnamoorthy V., Kumaravelu G. et al. Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions // *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 197. P. 116577. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116577.
11. Homyak P.M., Hobbie S.E., Schimel J.P. et al. Amino acids dominate diffusive nitrogen fluxes across soil depths in acidic tussock tundra // *New Phytologist*. 2021. Vol. 231. Is. 6. P. 2162–2173. DOI: 10.1111/nph.17315.
12. Хайдаров М., Урунов Б., Абдухаков А., Мирзаев У. и др. Аминокислотный состав целинных и орошаемых сероземов севера Ферганской долины // *Journal of New Century Innovations*. 2023. Т. 38. № 2. С. 123–127. URL: <https://newjournal.org/new/article/view/9014> (дата обращения: 22.09.2025).
13. Urdaliev A., Yuldashev G., Khaydarov M., Abdulkhakimova K., Muratova R., Azimov Z., Sotiboldieva G., Mirzaev U., Isagaliyev M., Holdarov H. et al. Irrigation-Initiated Changes in Physicochemical Properties of the Calcisols of the Northern Part of Fergana Valley // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, Is. 13. P. 5762. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/13/5762> (дата обращения: 22.09.2025). DOI: 10.3390/app14135762.
14. Kholdarov D., Mukhammadjonov A., Yuldashev B. et al. Current state of saline soils in the Fergana Valley // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 563. P. 1–6. DOI: 10.1051/e3s-conf/202456303053.
15. Steven A., Cohen D.J. Amino acid analysis utilizing phenylisothiocyanate derivatives // *Journal of Analytical Biochemistry*. 1988. Vol. 174, Is. 1. P. 1–16. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3064649/> (дата обращения: 23.08.2025). DOI: 10.1016/0003-2697(88)90512-X.