

УДК 678.01:53, 551.521.3, 535.34+375.34  
ББК 22.37

**ВЛИЯНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА  
ВРАЩАТЕЛЬНУЮ ПОДВИЖНОСТЬ  
БИОМОЛЕКУЛ ТРОСТНИКА  
ОБЫКНОВЕННОГО**

**Умаров Насимджон Негматович** - кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой общей физики и твёрдого тела ГОУ “ХГУ имени академика Бободжана Гафурова”, e-mail: [nasimchon-74@mail.ru](mailto:nasimchon-74@mail.ru).

**ТАЪСИРИ МЕТАЛЛҲОИ ВАЗНИН БА  
ҲАРАКАТНОКИИ ЧАРХЗАНАНДАГИИ  
БИОМОЛЕКУЛАҲОИ КАМИШИ ОДӢ**

**Умаров Насимҷон Негматович** - номзади илмҳои физикаю математика, мудири кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти МДТ “ДДХ ба номи академик Бобоҷон Гафуров”, e-mail: [nasimchon-74@mail.ru](mailto:nasimchon-74@mail.ru).

**THE AFFECT OF HEAVY METALS OVER  
ROTATIONAL MOBILITY OF  
BIOMOLECULES OF RUSH ORDINARY**

**Umarov Nasimjon Negmatovich** - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of General Physics and Solid State of the PEI “KSU named after academic Bobojon Gafurov”, e-mail: [nasimchon-74@mail.ru](mailto:nasimchon-74@mail.ru).

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, спиновая метка, вращательная подвижность, частота вращения, тростник обыкновенный.

В работе исследовано влияние некоторых тяжёлых металлов на вращательную подвижность биомолекул стебля тростника обыкновенного методом спиновых меток. Определено, что некоторые микроэлементы Sr, Pb, Zn, Ni больше содержится в растениях, чем в почве, это, очевидно, связано с неблагоприятным состоянием окружающей среды и характером поглощений растений. Парамагнитные микроэлементы влияют на спектральные параметры тростника в спиртовом растворе. Выявлено, что по мере роста уровня радиационного фона уменьшается количество парамагнитных металлов до 15 %. В зависимости от концентрации тяжёлых металлов в ЭПР-спектрах уменьшается интенсивность и уширяются спектральные линии, что, очевидно, связано с влиянием тяжёлых металлов на молекулярную структуру и свойств биомолекул тростника обыкновенного. Определено, что тяжёлые металлы влияют на количество гидроксильных групп биомолекул тростника. Выявлены уменьшения частоты вращения для образцов, которые больше содержит количество тяжёлых металлов – это, очевидно, связано с изменением структуры и свойства стебля тростника обыкновенного.

**Вожаҳои калидӣ:** металлҳои вазнин, нишонаҳои спинӣ, ҳаракатнокии чархзанандагӣ, басомади чархзанӣ, қамиши оддӣ.

Дар кори мазкур таъсири баъзе металлҳои вазнин ба ҳаракатнокии чархзанандагии биомолекулаҳои пояи қамиши оддӣ бо усули нишонаҳои спинӣ тадқиқ карда шудааст. Муайян карда шудааст, ки баъзе микроэлементҳо ба монанди Sr, Pb, Zn, Ni дар таркиби растани назар ба хок зиёд мебошанд, ин бешубҳа, ба вазъияти номусоиди муҳити атроф ва хусусияти фурубарии растаниҳо вобаста аст. Микроэлементҳои парамагнитӣ ба параметрҳои спектрали қамиши оддӣ дар маҳдуди спирт таъсир мерасонанд. Маълум карда шуд, ки зиёд шудани дараҷаи фони радиатсионӣ миқдори металлҳои парамагнитӣ то 15 фоиз кам мешаванд. Вобаста ба консентратсияи металлҳои вазнин дар спектрҳои ЭПР интенсивнокии кам шуда, хатҳои спектр васеъ мешаванд, ки ин бешубҳа бо таъсири металлҳои вазнин ба сохтори молекулавӣ ва ҳосиятҳои биомолекулаҳои қамиши оддӣ алоқаманд мебошад. Муайян карда шуд, ки металлҳои вазнин ба миқдори гуруҳҳои гидроксилӣ биомолекулаҳои қамиши таъсир мерасонанд. Барои намунаҳои, ки дар таркибаи бешир металлҳои вазнин доранд, хурдшавии басомади гардиши ошкор карда шуд – ин бешубҳа аз тағйирёбии сохтор ва ҳосиятҳои пояи қамиши оддӣ шаҳодат медиҳад.

**Key words:** heavy metals, spinal mark, rotational mobility, frequency of rotations, rush ordinary

The article dwells on the researched affect of some heavy metals over rotational mobility of biomolecules over the stem of rush ordinary by the method of spinal marks. It is determined that some microelements such as Sr, Pb, Zn, Ni are more contained in plants than in soil; perhaps, it can be put down to an unfavorable environmental state and a character of the stuffs absorbed by plants. Paramagnetic microelements sway over spectral parameters

of rush ordinary. His elicited that in pursuance with the growth of radiation background level the quantum of paramagnetic metals reduces up to 15%. Respective of concentration of heavy metals in EPR-spectra intensivity decreases and spectral lines extend being evidently connect with the affect of heavy metals over the molecular structure and properties of biomolecules of rush ordinary. His determined that heavy metals sway over the quantum of hydroxilic groups of rush biomolecules. Reductions of the frequency of rotation for the paragons containing an increased an increased quantum of heavy have been elicited- it may be accounted for by the change of structure and stem properties of rush ordinary.

Известно, что на молекулярную динамику функциональных групп растительного происхождения влияют внешние условия и место произрастания растений. Согласно [1-6], радионуклиды, пестициды, тяжёлые металлы (ТМ), радиационный фон и другие внешние факторы влияют на молекулярную динамику функциональных групп, а также на физико-механические свойства образцов растений.

В [1] выявлено, что радионуклиды влияют на вращательную подвижность функциональных групп каперса колючего, то есть по мере роста радионуклидов уменьшаются все спектральные параметры макромолекул биоматериала. Влияние пестицидов на молекулярную динамику функциональных групп подорожника ланцетного и каперса колючего приведено в [2]. Установлено, что техногенное воздействие (пестициды) уменьшает частоту вращения присоединённого радикала к матрице составных частей растений.

В [3] исследовано влияние радионуклидов на механическое свойство образцов из стебля тростника обыкновенного. Определено, что радионуклиды пагубно влияют на прочность образцов, приготовленных из стебля тростника. По мере роста концентрации радионуклидов, их механическая прочность уменьшается до трёх раз.

Большое содержание ТМ опасны для жизнедеятельности всех видов растений, животных и человека. Тяжёлые металлы, в основном, накапливаются в почве, воде и, в конечном счёте, в растениях [7, 8]. Эти элементы, возможно, распространяются с одного места на другое с аэрозолями, ветром, дождём и т.д. Согласно [9, 10], прослеживается четкая корреляция концентрации ТМ в почве и в аэрозолях.

Анализ литературы по данной теме показывает, что влияние тяжёлых металлов на вращательную подвижность спиновых меток в спиртовом растворе присоединённых к гидроксильным группам тростника обыкновенного систематически не рассматривалось.

В настоящей работе ставится задача исследовать влияние тяжёлых металлов на вращательную подвижность гидроксильных групп раствора спин-меченного стебля тростника методом спиновых меток.

Стебли тростника используются для хозяйства и строительства жилищ, заборов, изоляции и прочего, они содержат до 65 % целлюлозы, поэтому используются при производстве бумаги. Также из молодых растений заготавливают корм для домашних животных. Отвар и настой тростника обыкновенного используется в фитотерапии [11, 12].

Образцы для исследования собраны в сентябре в Бабаджангафуровском районе, село Унджи (а) – координаты; с 40° 16' 16", в 69° 42' 0,4") и на хвостохранилище Дегмай (б) – координаты; с 40° 13' 35", в 69° 38' 09"). Радиационный фон места произрастания – села Унджи – составил около 15 мкР/час, а хвостохранилища Дегмай – около 70 мкР/час.

Таблица 1.

Содержание тяжёлых металлов в пробе почвы и стебля тростника

№	ТМ	Концентрация ТМ, мг/кг			
		Бободжангафуровский район		Хвостохранилище Дегмай	
		В почве	В растениях	В почве	В растениях
1	Sr	90,05±0,72	106,98±1,35	85,86±0,24	92,24±0,3
2	Pb	20,39±1,84	30,26±0,64	12,63±0,91	18,45±0,24
3	As	318,27±4,78	166,78±0,98	50,76±0,43	19,67±0,8
4	Zn	67,29±4,09	79,69±4,80	20,30±0,68	171,4±2,7
5	Cu	51,96±0,64	43,14±0,17	58,79±0,46	48,01±0,3
6	Ni	16,14±1,69	27,29±3,04	3,23±0,62	45,13±2,4

7	Co	11,02±0,89	36,12±3,19	18,37±0,54	13,7±0,91
8	MnO	580,4±10,9	139,14±3,9	87,7±0,87	149,4±4,1
9	Cr	64,49±2,15	104,88±4,15	84,06±4,6	109,9±3,1
10	V	67,59±1,06	26,02±0,76	18,04±0,6	33,02±1,1
11	TiO <sub>2</sub> *	0,43±0,007	0,328±0,002	0,33±0,008	0,32±0,01
12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2,340±0,09	1,20±0,01	1,42±0,01	1,31±0,02

В табл. 1 приведены концентрация ТМ в пробе почв и растений, в которых видно, что для некоторых элементов, как As, Cu, Cr, по мере роста их содержания в почве они также увеличиваются в растениях.

Некоторые химические элементы Sr, Pb, Zn, Ni больше содержатся в растениях относительно почвы. Это, очевидно, связано с неблагоприятным экологическим состоянием данной территории. По литературным данным, магнитный тип стронция, мышьяка и оксидмангана является парамагнитным. Из табл. 1 концентрация Sr до 14 % а As до восьми раза превышена в стеблях растений из Бободжангафуровского района, чем в растениях, произрастающих на хвостохранилище Дегмай. Из экспериментальных результатов можно видеть, что по мере роста уровня радиационного фона уменьшается количество парамагнитных металлов как Sr, As, MnO, TiO<sub>2</sub> до 15 %, это, очевидно, влияет на спектральные параметры.

Для определения вращательной подвижности спиновых меток в спиртовом растворе, присоединённом к гидроксильным группам тростника, применяется метод ЭПР-спектроскопии.

Для снятия спектров приготовили образцы из тростника в спиртовом растворе. Способ приготовления спин-меченного раствора в этиловом спирте: навеску 25 мг порошкообразного стебля тростника поместили в пробирку и добавили 2 мл этилового спирта, выдерживали в течение двух суток при комнатной температуре. С помощью специального фильтра отделили раствор от смеси, потом добавили нитроксильный радикал. Модификации раствора и снятия спектров проводили согласно методике, приведённой в работе [13, 14].

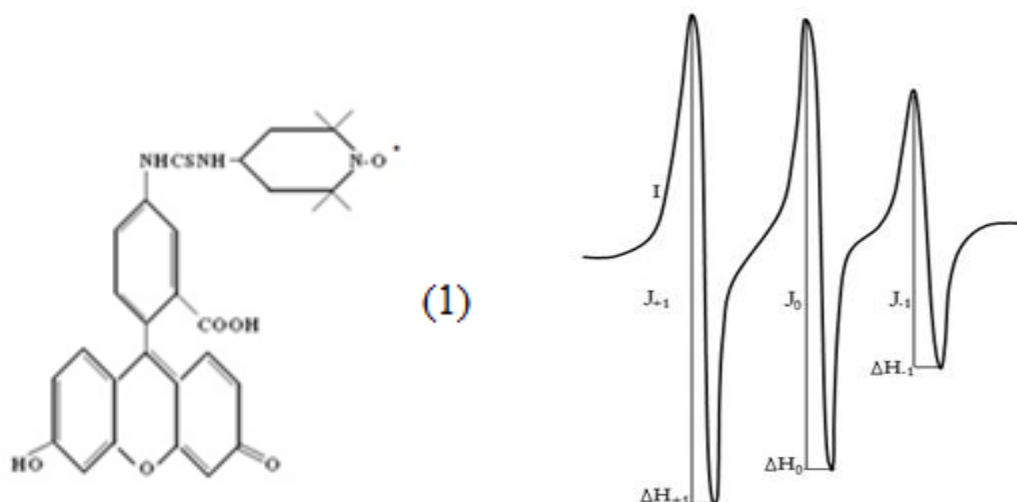


Рис.1. Спектр нитроксильного радикала (1) в этиловом спирте

На рис.1 приведён спектр электронного парамагнитного резонанса нитроксильного радикала (1) в этиловом спирте. Из рисунка можно видеть, что радикал с концентрацией  $4 \cdot 10^{-3}$  М/л в этиловом спирте свободно вращается, в этом случае время корреляции приблизительно равно  $\tau_c \leq 10^{-7}$  с.

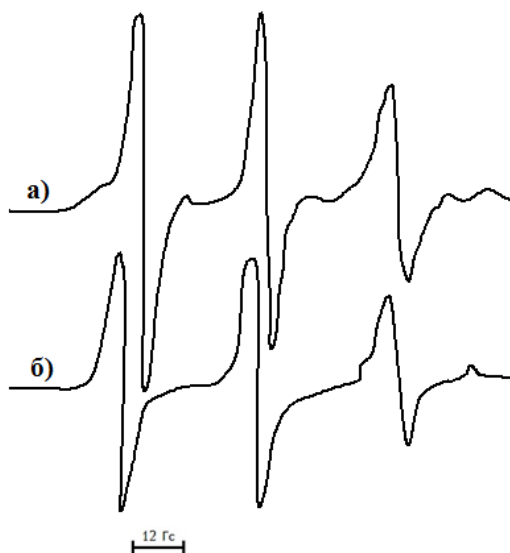


Рис. 2. ЭПР-спектры тростника обыкновенного с места произрастания; а) – образцы из села Унджи, б) – образцы с хвостохранилища Дегмай

На рис.2 приведены ЭПР-спектры спин-меченного раствора тростника обыкновенного. Из спектра видно, что вращение радикала в спин-меченном растворе тростника более заторможено и наблюдается изменение в спектральных параметрах вращательной диффузии радикала.

Из экспериментальных результатов в зависимости от концентрации ТМ в ЭПР-спектрах уменьшается интенсивность и уширяются спектральные линии, что, возможно, связано с влиянием ТМ на молекулярную структуру и свойства биомолекул тростника обыкновенного. Также по мере роста уровня радиационного фона количество парамагнитных элементов уменьшается, что, очевидно, влияет на интенсивность спин-меченных ЭПР-спектров. Интенсивность сигнала образцов из села Унджи увеличена до 50 %; это, очевидно, связано с увеличением концентрации некоторых парамагнетиков в биомолекулах тростника обыкновенного

Корреляционное время вращения радикала в растворе определяется согласно формуле (2) [13, 14]:

$$\frac{1}{\tau_c} = \frac{3,64 \cdot 10^9}{\left( \sqrt{\frac{J_0}{J_{-1}}} - 1 \right) \Delta H_0} \quad (1),$$

где  $\Delta H_0$  – ширина линии центрального компонента,  $J_0$  – интенсивность центрального компонента  $J_{-1}$  – интенсивность высокопольного компонента,  $\tau_c$  – время корреляции вращения радикала.

Таблица 2

Спектральные параметры нитроксильного радикала и спин-меченного раствора тростника в зависимости от места произрастания

№	Образцы	Спектральные параметры								
		$J_{+1}$ , ММ	$J_{-1}$ , ММ	$J_0 / J_{-1}$	$J_0$ , ММ	$\Delta H_{+1}$ , Гс	$\Delta H_{-1}$ , Гс	$\Delta H_0$ , Гс	$\tau_c \cdot 10^{-10}$ , с	$\nu \cdot 10^9$ , 1/с
1.	Нитроксильный радикал	185	102	1.69	173	5	5	5.5	4.53	2.21
2.	а)–село Унджи	151	82	1.64	136	5.9	6,0	6,0	4.61	2.16
3.	б)–хвостохранилище Дегмай	94	56	1.59	89	6.2	6.8	6.8	4,87	2.05

Примечание:  $J_{+1}$  – интенсивность низкопольного компонента,  $J_0$  – интенсивность центрального компонента,  $\Delta H_{+1}$  – ширина линии низкопольного компонента,  $\Delta H_{-1}$  – ширина линии высокопольного компонента,  $\nu$  – частота вращения радикала

В табл.2 приведены величины спектральных характеристик нитроксильного радикала и спин-меченного раствора от места произрастания, время корреляция и частоты вращения радикала при комнатной температуре. Из табл.2 видно, что частота вращения радикала, то есть вращательная подвижность радикала, уменьшается. А параметр центрального компонента (интенсивность)  $J_0$  для образцов из хвостохранилища Дегмай уменьшается более чем на 50 %; это связано с взаимодействием ТМ и функциональных групп, которые, очевидно, разрушают гидроксильные группы биомолекул тростника. Параметр ширины линии центрального компонента для этого образца увеличивается более чем на 23 %, что, вероятно, связано с заторможенностью вращения радикала.

Экспериментально полученные результаты, т.е. динамические параметры тростника обыкновенного можно применять в строительстве жилищ, пищевой промышленности, медицине, а также других отраслях народного хозяйства. Эти результаты могут быть применены при экологическом мониторинге биосферы.

Таким образом, на основе экспериментальных результатов можно заключить, что в спектрах раствора тростника в этиловом спирте наблюдается заторможенность и уширение линии спектра. Выявлено, что ТМ влияют на вращательную подвижность спиновых меток, присоединённых к гидроксильным группам тростника обыкновенного. Определено, что интенсивность сигнала спектра тростника из Бободжангафуровского района увеличены до 50 %; это, очевидно, связано с увеличением концентрации некоторых праманетиков, как Sr, As, MnO, TiO<sub>2</sub>, в биомолекулах тростника обыкновенного. Установлено, что радиационный фон и концентрация ТМ приводят к увеличению времени корреляции спин-меченного раствора стебля тростника, произрастающего на хвостохранилище Дегмай, что, очевидно, связано с изменением структуры и свойств растений. Определено, что ТМ влияют на количественное содержание гидроксильных групп тростника в растворе, о чём свидетельствуют уменьшения интенсивности центрального компонента до 40 % в образцах из Дегмая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Умаров Н.Н., Юсупов И.Х., Абдуманов А., Кадыров А.Л., Абдуллаев С.Ф., Абдуманова Ф.А. Влияние радионуклидов на молекулярную динамику функциональных групп каперса колючего // Учёные записки, серия естественные и экономические науки. Худжанд, 2021. – № 3 (58). – С. 29–36.
2. Умаров Н.Н., Шукуров Т., Абдуллаев С.Ф. Влияние пестицидов на содержание тяжёлых металлов и молекулярную динамику растительных природных соединений // Экосистемы. – 2020. – Выпуск 24. – С.152–157.
3. Умаров Н.Н. Влияние радионуклидов на механическую прочность стебля тростника. Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновация, Инвестиция, 2021. – № 3 (55)– С. 26– 27.
4. Ильяшенко Н.В., Дементьева С.М., Хижняк С.Д., Пахомов П.М., Ильяшенко В.Д. Использование метода Фурье ИК-спектроскопии для изучения изменений химического состава (*Potentilla erecta* L.) Raesch под действием антропогенных факторов // Вестник Тверского государственного университета. Серия Биология и экология, 2009. - Выпуск 13. - С. 211–220.
5. Юсупов И.Х., Бахдавлатов А.Д, Алидов Т., и др. Исследование молекулярной структуры растения донник лекарственный (*Melilotus officinalis* L.) методом спиновых меток // ДАН РТ. - 2015. - Т. 58. - №4. - С. 309–315.
6. Юсупов И.Х. Бахдавлатов А.Д., Марупов Р., Шукуров Т. Исследование молекулярной динамики лекарственного растения родиолы холодной (*Rodiola gelida schrenk*) методом спиновой метки // Известия АН Республики Таджикистан, 2013. – № 2 (151). – С. 70–78.
7. Соколов Э.М., Панарин В.М., Рылеева Е.М. Антропогенное загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами // Экология и промышленность России, 2008. – №11. – С. 102–106.
8. Ильин В.Б., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Содержание тяжёлых металлов в почвах и растениях Новосибирска // Агрехимия, 2000. – №1. – С.66–73.
9. Рахматов М.Н., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. Распределение тяжёлых металлов в пробах атмосферного аэрозоля Северного Таджикистана // Учёные записки ХГУ им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и эконом. науки, 2019. – №3 (50). – С. 46–57.
10. Рахматов, М.Н., Абдуллаев С.Ф. Содержание тяжелых металлов в пылевом аэрозоле и почвах Северного Таджикистана // Оптика атмосферы и океана, 2021. – Т. 34. – № 02. – С. 112–121. DOI: 10.15372/AOO20210206.
11. Боар Р.Р., Крук С.Е., Мосс Б. Регрессия тростниковых болот *Phragmites australis* и недавние изменения химического состава воды в Норфолкском Бродленде // Англия. Аква, 1989. – Т. 35. – С. 41–55.

12. Исакулов, Б.Р. Исследование прочностных характеристик порисованных легких бетонов на основе отходов промышленности и растительного сырья Центральной Азии // Науч.-техн. вестн. Поволжья. Казань, 2011. – № 5. – С. 125–131.
13. Раджабов У.Р., Султонов Р.А., Юсупов И.Х., Хайдаров К.Х. Синтез и биологические свойства цинкаса и его исследование методом спиновых меток // Известия АН РТ, 2018. – №4. – С. 97–106.
14. Юсупов И.Х., Холова Ш.А., Джураев Х.Ш., Азонов Д.А. Исследование молекулярной структуры холестерина методом спиновых меток при погружении в жизненно важные органические кислоты // Здоровоохранение Таджикистана, 2012. – №1. – С. 57–62.

## REFERENCES

1. Umarov N.N., Yusupov I.Kh., Abdumanonov A., Kadyrov A.L., Abdullaev S.F., Abdumanonova F.A. Influence of radionuclides on the molecular dynamics of functional groups of prickly caper // Uchenye zapiski, a series of natural and economic Sciences. Khujand, 2021. – No. 3 (58). – P. 29–36.
2. Umarov N.N., Shukurov T., Abdullaev S.F. Influence of pesticides on the content of heavy metals and molecular dynamics of plant natural compounds // Ecosystems, 2020. – Issue 24. – P. 152–157.
3. Umarov N.N. Influence of radionuclides on the mechanical strength of the reed stem. Polytechnic Bulletin. Series Intellect. Innovation, Investment, 2021. – №. 3 (55) – P. 26–27.
4. Ilyashenko N.V., Dement'eva S.M., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M., Ilyashenko V.D. Using the Fourier method of IR spectroscopy to study changes in the chemical composition of (*Potentilla erecta* L.) Raensch under the influence of anthropogenic factors // Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology, 2009. – Issue 13. – P. 211–220.
5. Yusupov I.Kh., Bakhdavlatov A.D., Alidodov T., et al. Investigation of the molecular structure of the sweet clover (*Melilotus officinalis* L.) plant using the spin label method // DAN RT, 2015. – V. 58. № 4. – P. 309–315.
6. Yusupov I.Kh., Bakhdavlatov A.D., Marupov R., Shukurov T. The study of the molecular dynamics of the medicinal plant *Rhodiola cold* (*Rodiola gelida schrenk*) using the spin label method // Izvestia of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2013. – № 2 (151). – P. 70–78.
7. Sokolov E.M., Panarin V.M., Ryleeva E.M. Anthropogenic pollution of the environment by heavy metals // Ecology and Industry of Russia, 2008. – №11. – P. 102–106.
8. Ilyin V.B., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. The content of heavy metals in soils and plants of Novosibirsk // Agrochemistry, 2000. – № 1. – P. 66–73.
9. Rakhmatov M.N., Maslov V.A., Abdullaev S.F. Distribution of heavy metals in atmospheric aerosol samples of Northern Tajikistan // Uchenye zapiski KhGU im. Academician B. Gafurov. Series: Natural and economy. sciences, 2019. – № 3 (50). – P. 46–57.
10. Rakhmatov, M.N., Abdullaev S.F. The content of heavy metals in dust aerosol and soils of Northern Tajikistan // Optics of the atmosphere and ocean, 2021. – T. 34. – № 02. – P. 112–121. DOI: 10.15372/AOO20210206.
11. Boar, R.R., Crook, S.E., and Moss, B. Regression of *Phragmites australis* reed bogs and recent changes in water chemistry in Norfolk Broadland, England. *Aqua*, 1989. – T. 35. – S. 41–55.
12. Isakulov, B.R. Investigation of the strength characteristics of painted lightweight concrete based on industrial waste and vegetable raw materials of Central Asia // Nauch.-tekhn. vestn. Volga region. Kazan, 2011. – № 5. – P. 125–131.
13. Radjabov U.R., Sulonov R.A., Yusupov I.Kh., Khaidarov K.Kh. Synthesis and biological properties of zinnas and its study by the spin label method // News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2018. – № 4. – P. 97–106.
14. Yusupov I.Kh., Kholova Sh.A., Juraev Kh.Sh., Azonov D.A. Study of the molecular structure of cholesterol by the spin label method when immersed in vital organic acids // Health of Tajikistan, 2012. – № 1. – P. 57–62.