



ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ/CONDENSED MATTER PHYSICS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1> EDN: WAPPZQВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА ВРАЩАТЕЛЬНУЮ ПОДВИЖНОСТЬ
НАСТОЯ ЛИСТЬЕВ ПОДОРОЖНИКА ЛАНЦЕТНОГО (*PLANTAGO LANCEOLATA L.*) В СПИРТОВОМ
РАСТВОРЕ

Научная статья

Умарзода Н.Н.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-4133-216X;¹ Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, Худжанд, Таджикистан

* Корреспондирующий автор (nasimchon-74[at]mail.ru)

Предложена: 19.02.2026; Принята: 23.04.2026; Опубликовано: 18.05.2026

Аннотация

Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с применением спиновых меток исследован настоек листьев подорожника ланцетного (*Plantago lanceolata L.*) в 95%-ном спиртовом растворе. В зависимости от времени температура на поверхности Земли и в двух метрах от неё повышается, однако влажность воздуха и почвы монотонно уменьшается. Установлено, что при изменении температуры, влажности и внешних факторов уменьшается подвижность нитроксильного радикала, присоединённого к органическим соединениям биоматериалов. Определено, что температура и влажность окружающей среды влияют на концентрацию радикалов, о чём свидетельствуют уменьшения интенсивности компонентов ЭПР-спектра примерно на 40%. Выявлены уменьшения частоты вращения для образцов, отобранных из мест близости автомобильной дороги, что, очевидно, связано с изменением физико-химических свойств природных растительных соединений.

Ключевые слова: температура, влажность, молекулярная динамика, вращательная подвижность, радикал, спиновая метка, настоек в спиртовом растворе.

THE EFFECTS OF ATMOSPHERIC TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THE ROTATIONAL MOBILITY OF
PLANTAGO LANCEOLATA L. LEAVES EXTRACT IN AN ALCOHOL SOLUTION

Research article

Umarzoda N.N.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0003-4133-216X;¹ Khujand State University named after academician Bobojon Gafurov, Khujand, Tajikistan

* Corresponding author (nasimchon-74[at]mail.ru)

Suggested: 19.02.2026; Accepted: 23.04.2026; Published: 18.05.2026

Abstract

An extract of *Plantago lanceolata L.* leaves in a 95% alcohol solution was studied using electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy with spin labels. Depending on the time of day, the temperature at the Earth's surface and two metres above it increases, while the humidity of the air and soil decreases steadily. It has been established that changes in temperature, humidity and external factors reduce the mobility of the nitroxyl radical attached to the organic compounds of biomaterials. It has been determined that environmental temperature and humidity influence the concentration of radicals, as evidenced by a reduction in the intensity of the EPR spectrum components by approximately 40%. Reductions in rotational frequency were observed for samples collected from locations near a motorway, which is evidently linked to changes in the physicochemical properties of natural plant compounds.

Keywords: temperature, humidity, molecular dynamics, rotational mobility, radical, spin label, extract in an alcoholic solution.

Введение

Известно, что атмосфера и верхняя часть литосферы, которые непосредственно выступают как минеральные основы биосферы, в настоящее время подвергаются всё более возрастающему антропогенному и техногенному воздействию [1], [2]. Это непременно влияет на рост и развитие растительного покрова, в частности, на биосинтез органических природных соединений.

Для формирования структуры составных частей природных соединений и его физико-химических свойств важнейшую роль играют их листья, так как в них под воздействием внешних факторов формируется органические вещества, обеспечивающие синтез жизненно важных органических соединений из неорганических [3], [4].

Авторы работ [5] установили влияние погодных условий на биохимический состав дикорастущей сои. Они обнаружили, что при повышении температуры воздуха и уменьшения влажности воздуха и почвы происходит низкая активность некоторых биологически активных веществ. Это, очевидно, приводит к изменению свойств растений. Продуктивность мягкой пшеницы, ячменя и кормовой продукции зависит от погодных условий как температура и влажность почвы и др., что подчёркивают авторы работ [6].

В работе [7], [8] определили, что при нагревании белков увеличивается тепловое движение атомов в молекуле, кумулятивно в этом случае белок теряет свою активность из-за оказавшихся радикалов аминокислот. Авторы показывают, что температура влияет как на спектральные параметры, и так на свойства белка.

Согласно работе [9], изменения температуры приводят к изменению подвижности нитроксильного радикала в гексановых растворах, которые аналогичны биологической молекуле. Обнаружена концентрационно-температурная зависимость нитроксильного радикала. Методом ЭПР-спектроскопии исследовано влияние температуры на молекулярную подвижность в аморфные и кристаллические фазы полилактида. Установлено, что температурный фактор влияет на подвижность аморфной фазы и приводит к росту времени корреляции радикала [10].

В работах [11], [12] показано, что условия произрастания растений могут влиять на молекулярное и надмолекулярное состояние, формирование системы меж- и внутримолекулярных взаимодействий молекул, возникающих в результате воздействия окружающей среды. Однако влияния температуры, влажности воздуха и почв и других факторов на вращательную подвижность молекул листьев подорожника ланцетного в спиртовом растворе изучены недостаточно.

Поэтому исследование влияния экологических условий места произрастания, таких как температура, влажность воздуха, почвы и техногенные воздействия, на молекулярную подвижность присоединившихся спиновых меток к молекулам дикорастущих растений подорожника ланцетного является актуальным и своевременным. Так как спиновые метки дают информацию о том, что происходит внутри молекулы, то оно предоставляет информацию о мельчайших изменениях в свойствах растений.

В связи с этим в работе исследуются влияние температуры, влажность и другие факторы экологической условий места произрастания на молекулярную подвижность спин-меченого настоя листьев подорожника ланцетного в спиртовом растворе.

Экспериментальная часть

Определения влияний температуры и влажности на структуру и свойства природных растительных соединений возможны с применением методов радиоспектроскопии.

Образцы для исследования собраны во время цветения из Бободжан гафуровского района (1 — координаты; 40,2692 с.ш.; 69,7004 в.д.) и города Худжанда вблизи автомобильной дороги (2 — координаты; 40,282 с.ш., 69,6401 в.д.).

Некоторые метеорологические параметры обработаны за период с 1-го марта до 31-го июля 2021 г., то есть во время произрастания и цветения растений.

В период произрастания и созревания подорожника были определены среднедневные значения влажности воздуха, его температуры на поверхности Земли и в пространстве около 2 метров от Земли, значение осадков, вариация влажности на поверхности почвы, влажности на корневой системе, фотосинтетически активной радиации. Очевидно, перечисленные факторы влияют на свойства и молекулярную структуру растений, которые отражаются на спектральных параметрах.

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 приведена средне недельная относительная и удельная влажность воздуха. Из рисунка (1 а) видно, что в период эксперимента относительная влажность воздуха уменьшается от 85% до 18%, когда удельная влажность изменяется в интервале от 2 до 12 г/кг.

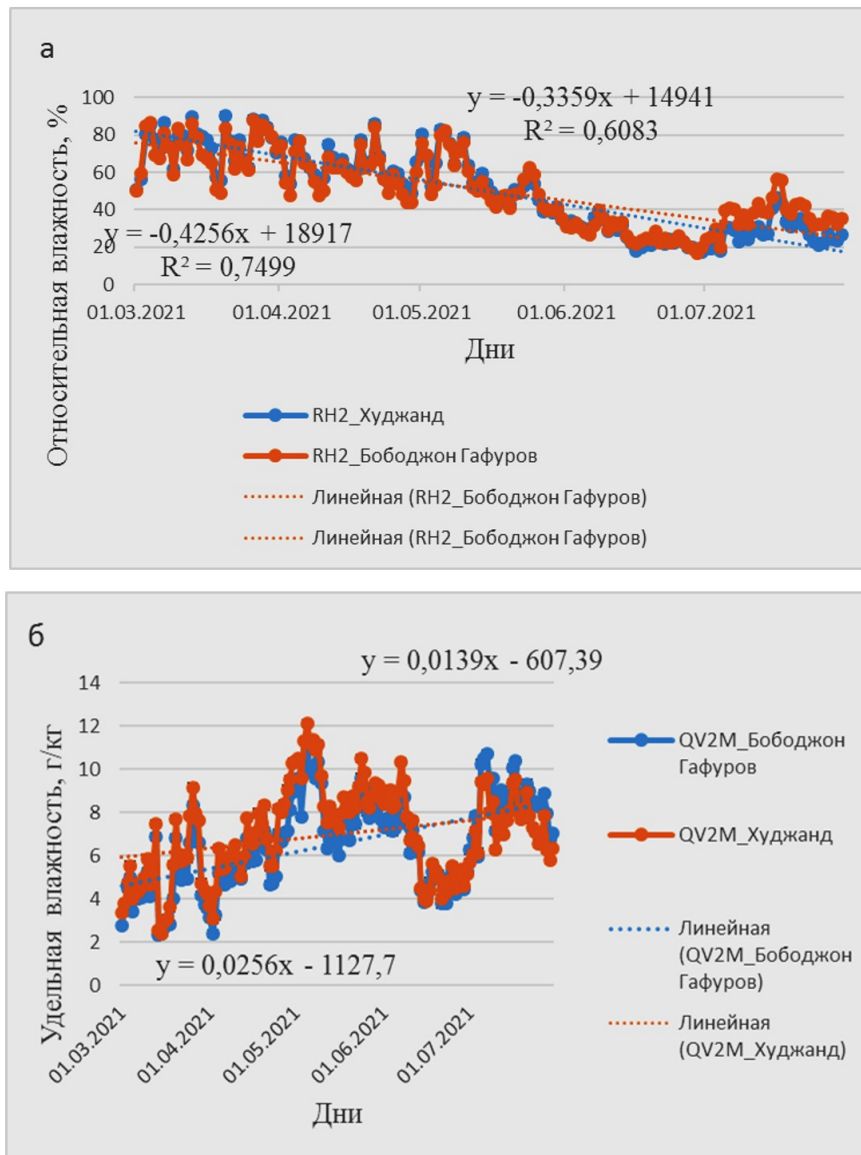


Рисунок 1 - Влажность воздуха в период эксперимента:

а - относительная влажность; б - удельная влажность

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.1>

Примечание: 01.03 – 31.07.2021 г

На рисунке 2 приведены изменения температуры на поверхности Земли; видно, что ежедневные средние значения температуры для Бободжангафуровского района и города Худжанда идентичны они повышаются. Эти значения непосредственно влияют на формирование структуры и физико-химические свойства растительного материала.

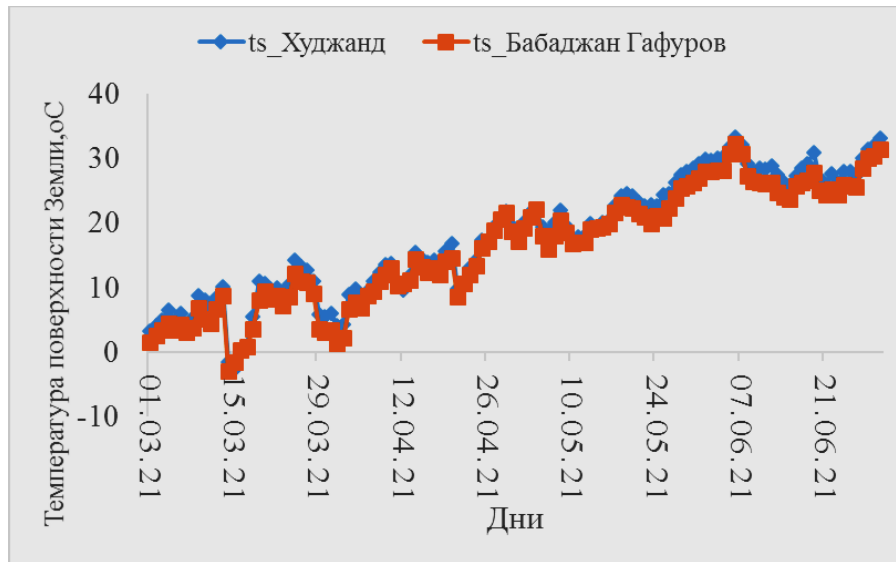


Рисунок 2 - Среднесуточная температура воздуха на поверхности Земли
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.2>

На рисунке 3 приведена среднесуточная температура в двух метрах от поверхности Земли. Согласно графику, температура воздуха в двух метрах от Земли изменяется по времени и монотонно повышается.

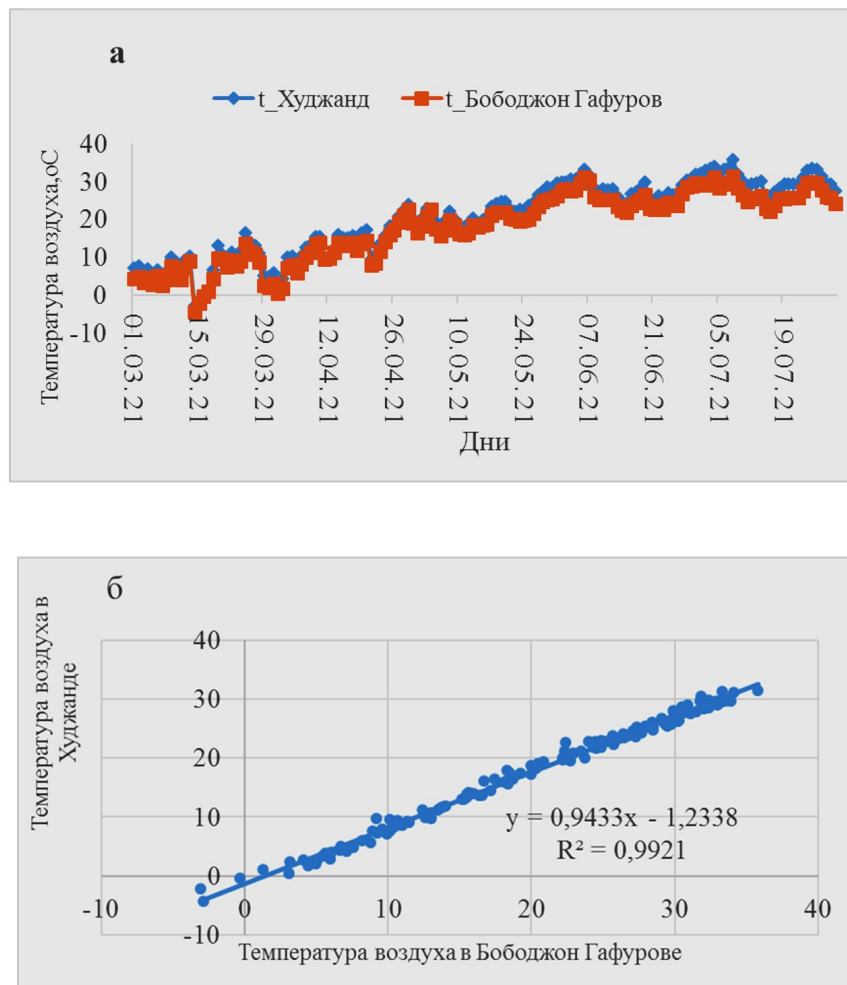


Рисунок 3 - Вариации температуры воздуха на уровне 2 м от поверхности Земли (а), корреляции температуры между точками произрастания подорожника ланцетного (б)
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.3>

На рисунке 4, приведены вариации влажности на поверхности почвы (а), влажности на корневой системе (б) и профиль влажности почвы (в) в период 01.03.2021–31.07.2021 г. Видно, что влажность почвы для корневых систем мало отличается между Худжандом и Бободжангафуровским районом и при переходе к лету она становится стабильной, тогда как летом в связи с осадками она оказывается нестабильной (05.07 – 20.07.2021), (рисунок 4 б). Профиль влажности почвы (рисунок 4в) более стабилен для обеих местностей.

Согласно данным научной литературы, для формирования молекулярной структуры природных соединений и их физико-химических свойств имеют значение листья, так как они взаимодействуют с окружающей средой и под действием солнечной радиации в них происходит фотосинтез [11], [12]. Фотосинтетическая активная радиация, или, сокращённо, ФАР (PAR) — часть доходящей до биоценозов солнечной радиации в диапазоне от 400 до 700 нм, используемая растениями для фотосинтеза. Этот участок спектра более или менее соответствует области видимого излучения.

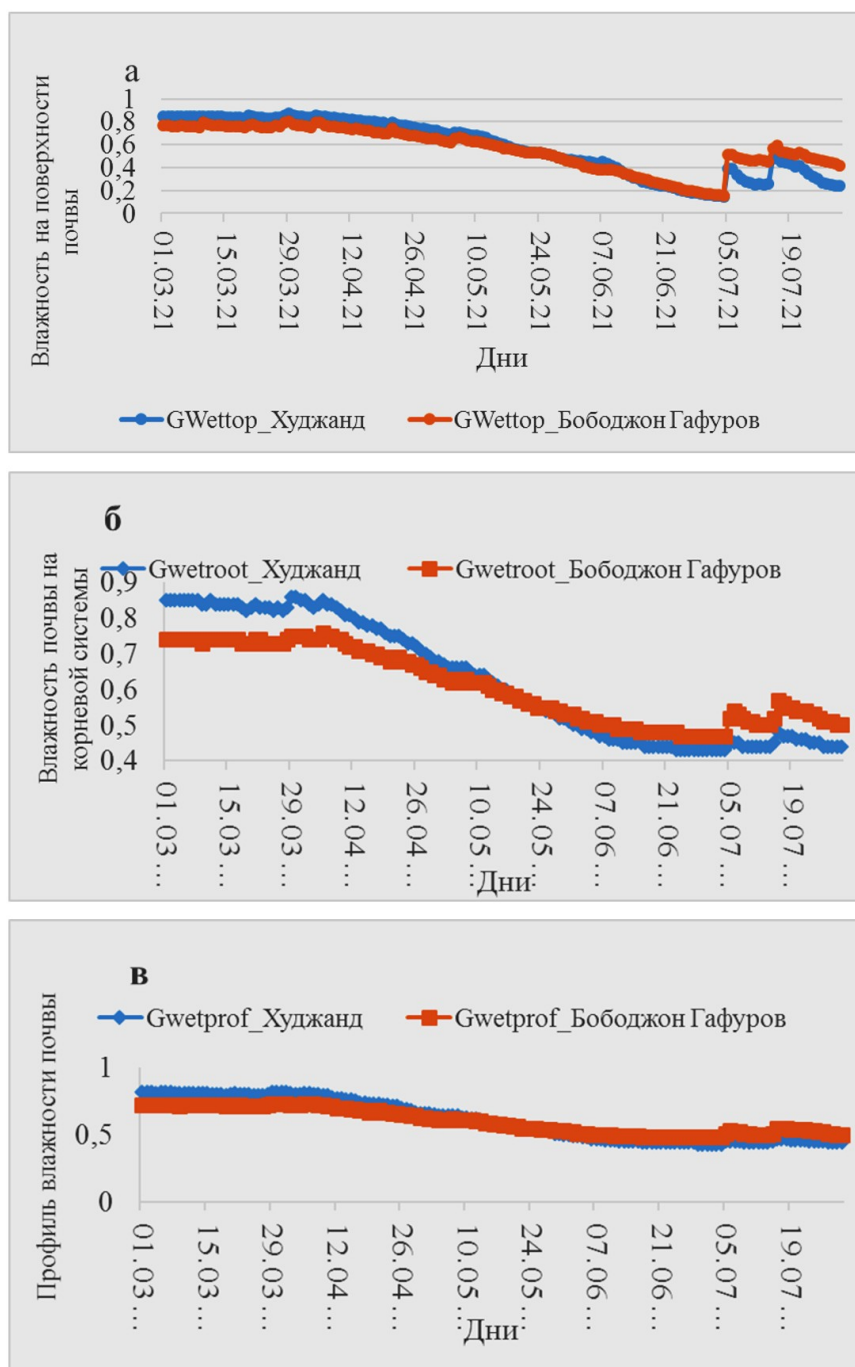


Рисунок 4 - Вариация влажности на поверхности почвы (а), влажности на корневой системе (б) и профиль влажности почвы (в) в период 01.03.2021–31.07.2021гг

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.4>

Из рисунка 5 видно, что ФАР при переходе к лету становится более активной. Фотоны с более короткой длиной волны несут слишком много энергии, поэтому они могут повредить клетки, но по большей части они отфильтровываются озоновым слоем в стратосфере. Кванты с большими длинами волн несут недостаточно энергии и поэтому не используются для фотосинтеза большинством организмов [12].

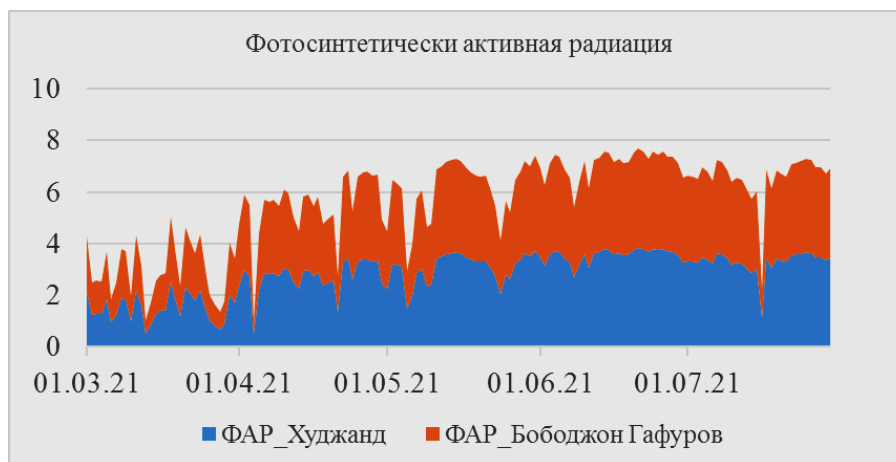


Рисунок 5 - Накопление фотосинтетически активной радиации в период изучения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.5>

Для детального исследования влияние температуры и влажности на молекулярную структуру природных растительных соединений в работе использован метод спиновых меток. При изучении влияния структуры микроокружения на вращательную диффузию нитроксильных радикалов можно определить динамические параметры — как время корреляции вращательной диффузии (τ_c), так и время частоты «вращения» радикала ($\nu=1/\tau$).

Методом ЭПР можно определить концентрацию парамагнитных центров и идентифицировать радикалы в любом агрегатном состоянии органических соединений, что незаменимо для исследования кинетики и механизма процессов, происходящих с их участием. Спектроскопию ЭПР применяли для определения радиационного фона местности, в изучении процессов строения и реакционной способности организации свободных радикалов и ион-радикалов, полимерных систем с сопряжёнными связями. Применяя ЭПР-спектроскопию можно решить широкий круг структурно-динамических задач. Динамические эффекты в ЭПР-спектрах проявляются в специфических сужениях или расширениях отдельных компонентов сверхтонкой структуры биомолекул природных соединений. Они обусловлены модуляцией величины констант сверхтонкого взаимодействия за счёт внутри- и межмолекулярных взаимодействий, внутримолекулярных процессов перемещения групп атомов или радикалов.

Метод спиновых меток и зондов широко используется для исследования структуры и молекулярной динамики синтетических и природных соединений [13], [14], [16], [18].

Было определено время корреляции и частоты вращения радикала настоя ПЛ в спиртовом растворе. Спектры спин-меченого настоя ПЛ в 95%-ном спиртового раствора снимали согласно методике [15], [16], [17].

Согласно рисунку 6 а, нитроксильный радикал свободно вращается; у образцов из Бободжонгафуровского района расширяется линия и интенсивность уменьшается относительно нитроксильного радикала; для образцов из Худжанда наблюдается уширение линии и уменьшение интенсивности относительно нитроксильного радикала и настоя из Бободжангафуровского района. При работе автомобильных двигателей выделяются угарный газ — CO, углекислый газ — CO₂, оксиды азота — NO и NO₂, углеводороды — HC, твёрдые частицы и другие газы, которые, очевидно, влияют на формирование структуры и свойств растений произрастающих вдоль автомобильной дороги. Этот процесс отражается на спектральных параметрах.

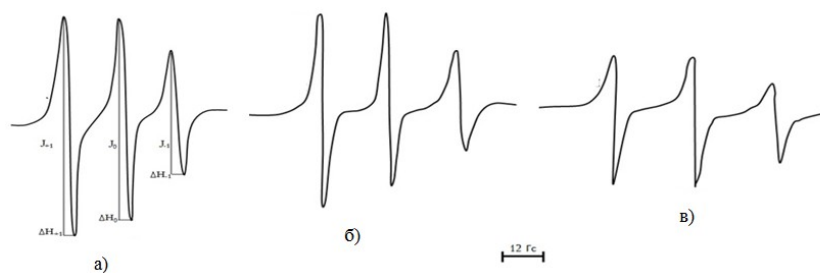


Рисунок 6 - ЭПР-спектры нитроксильного радикала:
а - спин-меченого настоя в спиртовом растворе; б - Бободжангафуровский район; в - город Худжанд
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.6>

Для определения времени корреляции вращения спиновых меток в исследуемых образцах применили следующую формулу (1) [13], [14], [15]:

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

где ΔH_0 — ширина центрального компонента; J_0/J_{-1} — относительные параметры центрального и высокопольного компонентов спектра ЭПР и $p = 1/t$ — величина, условно называемая «частотой вращения» радикала.

В таблице 1 приведены спектральные параметры ЭПР-спектров спин-меченого настоя листьев ПЛ в спиртовом растворе «частоты вращения» радикала и время корреляции (τ_c) при комнатной температуре, где значение этого параметра по отношению к свободному нитроксильному радикалу увеличивается, а частота подвижности радикала уменьшается.

Разности температур почвы и воздуха, относительной влажности воздуха и почвы являются факторами для изменений свойств в листьях ПЛ, что прямо отражается на ЭПР-спектрах, что следует из показателей таблицы 1. Очевидно, изменение температуры и влажности окружающей среды влияет на вращательную подвижность спин меченых образцов. Относительная погрешность частота микроволнового излучения прибора составляет около 0,07%. Относительная погрешность для интенсивности сигнала и ширина линии около 7%, для времени корреляции и частота вращения радикала $\pm 12\%$.

Таблица 1 - Параметры спектра ЭПР спин-меченого подорожника ланцетного в зависимости от температуры и влажности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.167.1.7>

№	Образцы	Спектральные параметры								
		J_{+1} , Гс	J_{-1} , Гс	J_0/J_{-1}	J_0 , Гс	ΔH_{+1} , Гс	ΔH_{-1} , Гс	ΔH_0 , Гс	$\tau_c \cdot 10^{-9}$, с	$p \cdot 10^8$, 1/с
1	А) Нитроксильный радикал	224	120	1.76	211	5,2	5,2	5.4	1.12	8.33
2	Б) Бободжон Гафуровский район	177	94	1.69	159	6.0	6,1	6,1	1.15	8.69
3	В) город Худжанд	106	65	1.66	108	6.0	7.1	7.1	1.28	7.81

Из данных таблицы видно, что параметры J_0 для образцов из Худжанда уменьшаются примерно на 30%; это, очевидно, связано с влиянием температуры, влажности и внешних факторов на функциональные группы настоя ПЛ. Параметр ΔH_0 для этого образца увеличивается более чем на 18%; вероятнее, это связано с расширением линии спектра. По результатам таблицы видно, что внешние факторы влияют на спектральные параметры ЭПР.

Впервые определены влияние температура, влажность и др. экологические условия на молекулярную подвижность молекул листьев настоя ПЛ, произрастающих в техногенных условиях около автомагистрали города Худжанда и около благополучных условий около сада в Бободжонгафуровском района. Изменения времени корреляции, частота вращения и другие спектральные параметры говорят об изменениях свойств на молекулярном уровне, которые обеспечивают достоверность полученных экспериментальных результатов.

Заключение

1. Исследовано влияние температуры, влажности и других внешних факторов на спектральные параметры как центральной, так и низкопольной и высокопольной линий и интенсивности ЭПР-спектра, которая изменяется до 40%.

2. Впервые выявлено, что температура, влажность и другие внешние факторы влияют на количественное содержание нитроксильных радикалов в образцах ПЛ, о чём свидетельствуют уменьшения интенсивности компонентов спектра ЭПР от 30 до 40% в образцах из города Худжанда.

3. Определено, что при увеличении времени корреляции наблюдается уменьшение подвижности макромолекул настоя ПЛ, что, очевидно, связано с изменением физико-химических свойств природных растительных соединений.

4. Установлено, что температура, влажность воздуха и почв, а также техногенные факторы (комплексно) приводят к замедлению времени корреляции спиновых меток, присоединяющихся к функциональным группам листьев ПЛ до 10%.

5. Обнаружены повышения температуры и уменьшения влажности в зависимости от времени.

**Благодарности**

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФТИ им. С.У. Умарова НАНТ за помощь в проведении измерения экспериментов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the staff of the S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan for their assistance in conducting the experiments.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Коробкин В.И. Экология / В.И. Коробкин, Л.И. Пердельский. — Ростов-На-Дону: Феникс, 2001. — 576 с.
2. Березина Н.А. Экология растений / Н.А. Березина, Н.Б. Афанасьева. — Москва: Академия, 2009. — 400 с.
3. Гаммерман А.Ф. Дикорастущие лекарственные растения СССР / А.Ф. Гаммерман, И.И. Гром. — Москва: Медицина, 1976. — 288 с.
4. Ходжиматов М. Дикорастущие лекарственные растения Таджикистана / М. Ходжиматов. — Душанбе: Гл. научн. ред. ТСЭ, 1989. — 368 с.
5. Митрофанов Д.В. Влияние температуры воздуха и влажности почвы на продуктивность зерновых культур в четырёхпольных севооборотах почвозащитном стационаре Оренбургского Зауралья / Д.В. Митрофанов // *Агрономия*. — 2018. — № 1. — С. 36–40.
6. Иваченко Л.Е. Влияние погодных условий выращивания на биохимический состав семян и морфологические показатели дикорастущей сои / Л.Е. Иваченко, О.А. Селихова, Я.А. Ала и др. // *Вестник ДВО РАН*. — 2011. — № 4. — С. 67–72.
7. Баранов А.Н. Лазерная корреляционная спектроскопия процессов денатурации сывороточного альбумина / А.Н. Баранов, И.М. Власов // *Журнал прикладной спектроскопии*. — 2003. — Т. 71. — № 6. — С. 831–835.
8. Секретарева У.С. Влияние температуры на структуру белковой молекулы / У.С. Секретарева, А.О. Котова // *Материалы XIX Международной Бурденковской научной конференции*. — 2023. — № 1. — С. 60–62.
9. Литвин Я.А. Молекулярная подвижность нитроксильного радикала в растворах хиральных трифторзамещённых ацетамидов / Я.А. Литвин, С.И. Кузина, А.И. Михайлов и др. // *Вестник МГОУ: Естественные науки*. — 2016. — № 2. — С. 135–143.
10. Тертышная Ю.В. Влияние температуры на молекулярную подвижность в полилактате / Ю.В. Тертышная, С.Г. Карпова, О.В. Шаталова и др. // *Высокомолекулярные соединения*. — 2016. — Серия А. — Т. 58. — № 1. — С. 54–60.
11. Холл Д. Фотосинтез / Д. Холл, К Рао. — Москва: Мир, 1983. — 134 с.
12. Шувалов В.А. Первичное преобразование световой энергии при фотосинтезе / В.А. Шувалов. — Москва: Наука, 1990. — 209 с.
13. Фрид Д.Ж. Метод спиновых меток. Теория и применение / Д.Ж. Фрид. — Москва: Мир, 1979. — 97 с.
14. Лихтенштейн Г.И. Метод спиновой метки в молекулярной биологии / Г.И. Лихтенштейн. — Москва: Наука, 1974. — 256 с.
15. Юсупов И.Х. Исследование конформационной подвижности в структуре лекарственного растения репейника (*Arctium tomentosum* Mill.) методом спиновых меток / И.Х. Юсупов, Н.Н. Умаров, Р. Марупов // *ДАН РТ*. — 2016. — Т. 59. — № 9-10. — С. 392–398.
16. Юсупов И.Х. Исследование молекулярной структуры растения донник лекарственный (*Melilotus officinalis* L.) методом спиновых меток / И.Х. Юсупов, А.Д. Бахдаватов, Т. Алидов и др. // *ДАН РТ*. — 2015. — Т. 58. — № 4. — С. 309–315.
17. Юсупов И.Х. Исследование молекулярной динамики хлопкового волокна методом спиновой метки / И.Х. Юсупов, П.Х. Бободжонов, Р. Марупов и др. // *Высокомолекулярные соединения*. — 1984. — Т. 26. — № 2. — С. 369–373.
18. Анцифорова Л.И. Модель молекулярной динамики в неоднородных средах и интерпретация спектров ЭПР спиновых зондов в полимерной композиции / Л.И. Анцифорова, Е.В. Валова // *Высокомолекулярные соединения*. — 1996. — Т. 38. — № 11. — С. 1851–1857.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korobkin V.I. E'kologiya [Ecology] / V.I. Korobkin, L.I. Peredel'skij. — Rostov-Na-Donu: Feniks, 2001. — 576 p. [in Russian]
2. Berezina N.A. E'kologiya rastenij [Ecology of plants] / N.A. Berezina, N.B. Afanas'eva. — Moscow: Akademiya, 2009. — 400 p. [in Russian]
3. Gammerman A.F. Dikorastushhie lekarstvenny'e rasteniya SSSR [Wild Medicinal Plants of the USSR] / A.F. Gammerman, I.I. Grom. — Moscow: Medicina, 1976. — 288 p. [in Russian]
4. Khodzhimatov M. Dikorastushchie lekarstvennye rasteniya Tadjikistana [Wild medicinal plants of Tajikistan] / M. Khodzhimatov. — Dushanbe: The main scientific editorial office of the TSE, 1989. — 368 p. [in Russian]



5. Mitrofanov D.V. Vliyanie temperatury' vozduxa i vlazhnosti pochvy' na produktivnost' zernovy'x kul'tur v chety'ryoxpol'ny'x sevooborotax pochvozashhitnom stacionare Orenburgskogo Zaural'ya [The effect of air temperature and soil moisture on the yield of cereal crops in four-field crop rotations at the soil conservation experimental station in the Orenburg Trans-Urals region] / D.V. Mitrofanov // *Agronomy*. — 2018. — № 1. — P. 36–40. [in Russian]
6. Ivachenko L.E. Vliyanie pogodny'x uslovij vy'rashivaniya na bioximicheskij sostav semyan i morfologicheskie pokazateli dikorastushhej soi [The effect of growing conditions on the biochemical composition of seeds and morphological characteristics of wild soybeans] / L.E. Ivachenko, O.A. Selixova, Ya.A. Ala et al. // *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. — 2011. — № 4. — P. 67–72. [in Russian]
7. Baranov A.N. Lazernaya korrelyatsionnaya spektroskopiya protsessov denaturatsii sivorotochnogo albumina [Laser correlation spectroscopy of serum albumin denaturation processes] / A.N. Baranov, I.M. Vlasov // *Zhurnal prikladnoi spektroskopii* [Journal of Applied Spectroscopy]. — 2003. — Vol. 71. — № 6. — P. 831–835. [in Russian]
8. Sekretareva U.S. Vliyanie temperatury' na strukturu belkovej molekuly' [The effect of temperature on the structure of a protein molecule] / U.S. Sekretareva, A.O. Kotova // *Proceedings of the 19th International Burdenkov Scientific Conference*. — 2023. — № 1. — P. 60–62. [in Russian]
9. Litvin Ya.A. Molekulyarnaya podvizhnost' nitroksil'nogo radikala v rastvorax xiral'ny'x triflorzameshhyonny'x acetamidov [Molecular mobility of the nitroxyl radical in solutions of chiral trifluoro-substituted acetamides] / Ya.A. Litvin, S.I. Kuzina, A.I. Mixajlov et al. // *Journal of the MSRU: Natural Sciences*. — 2016. — № 2. — P. 135–143. [in Russian]
10. Tertishnaya Yu.V. Vliyanie temperaturi na molekulyarnuyu podvizhnost v polilaktide [The effect of temperature on molecular mobility in polylactide] / Yu.V. Tertishnaya, S.G. Karpova, O.V. Shatalova et al. // *Visokomolekulyarnie soedineniya* [High-molecular-weight compounds]. — 2016. — A Series. — Vol. 58. — № 1. — P. 54–60. [in Russian]
11. Xoll D. Fotosintez [Photosynthesis] / D. Xoll, K Rao. — Moscow: Mir, 1983. — 134 p. [in Russian]
12. Shuvalov V.A. Pervichnoe preobrazovanie svetovoj e'nergii pri fotosinteze [The primary conversion of light energy during photosynthesis] / V.A. Shuvalov. — Moscow: Nauka, 1990. — 209 p. [in Russian]
13. Frid D.Zh. Metod spinovy'x metok. Teoriya i primenenie [The Spin Labelling Method: Theory and Applications] / D.Zh. Frid. — Moscow: Mir, 1979. — 97 p. [in Russian]
14. Lixtenshtejn G.I. Metod spinovoj metki v molekulyarnoj biologii [The spin labelling method in molecular biology] / G.I. Lixtenshtejn. — Moscow: Nauka, 1974. — 256 p. [in Russian]
15. Yusupov I.Kh. Issledovanie konformatsionnoi podvizhnosti v strukture lekarstvennogo rasteniya repeinika (*Arctium tomentosum* Mill.) metodom spinovikh metok [A study of conformational mobility in the structure of *Arctium tomentosum* Mill. using spin labelling] / I.Kh. Yusupov, N.N Umarov, R. Marupov // *DAN RT* [DAN RT]. — 2016. — T. 59. — № 9-10. — P. 392–398. [in Russian]
16. Yusupov I.Kh. Issledovanie molekulyarnoi strukturi rasteniya donnik lekarstvennii (*Melilotus officinalis* L.) metodom spinovikh metok [A study of the molecular structure of *Melilotus officinalis* L. using spin labelling] / I.Kh. Yusupov, A.D. Bakhdavlatov, T. Alidodov et al. // *DAN RT* [DAN RT]. — 2015. — Vol.58. — № 4. — P. 309–315. [in Russian]
17. Yusupov I.Kh. Issledovanie molekulyarnoi dinamiki khlopkovogo volokna metodom spinovoi metki [A study of the molecular dynamics of cotton fibre using spin labelling] / I.Kh. Yusupov, P.Kh. Bobodzhonov, R. Marupov et al. // *Visokomolekulyarnie soedineniya* [High-molecular-weight compounds]. — 1984. — Vol. 26. — № 2. — P. 369–373. [in Russian]
18. Antsifirova L.I. Model molekulyarnoi dinamiki v neodnorodnikh sredakh i interpretatsiya spektrov EPR spinovikh zondov v polimernoi kompozitsii [A molecular dynamics model in heterogeneous media and the interpretation of EPR spectra from spin probes in a polymer composite] / L.I. Antsifirova, Ye.V. Valova // *Visokomolekulyarnie soedineniya* [High-molecular-weight compounds]. — 1996. — Vol. 38. — № 11. — P. 1851–1857. [in Russian]