

К.Р. Утеулин¹, Д. Казкеев¹, А.Б. Атыгаев², О.А. Федорина²,
О.А. Агапов², Н.В. Курбатова³, Ч.Ж. Алдасуұрова³

¹Институт биологии и биотехнологии растений», г. Алматы, Казахстан

²Научно-исследовательский центр «Фарыш-Экология», г. Алматы, Казахстан

³Казахский Национальный университет им. аль-Фараби,
г. Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА НА АНАТОМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ДИКОРАСТУЩИХ ВИ- ДОВ РАСТЕНИЙ *AGROPYRON FRAGILE* (ROTH) *CANDARGY* И *ARTEMISIA DIFFUSA* KRASCH. EX *POLJAK*

Аннотация. Установлены особенности анатомической структуры и биометрические показатели вегетативных органов дикорастущих видов растений: *Agropyron fragile* (Roth) *Candargy* (житняка ломкого) и *Artemisia diffusa* *Krasch. ex Poljak* (полыни раскидистой) в условиях загрязнения среды несимметричным диметилгидразином. Показаны изменения анатомических параметров корня (экзодермы, первичной коры, центрального цилиндра, ксилемных сосудов) и листа (эпидермиса, листовой пластинки, мезофилла, проводящих пучков). Загрязнение среды несимметричным диметилгидразином приводит к утолщению корня, увеличению площади центрального цилиндра, ксилемных сосудов. Данные изменения анатомии корня свидетельствует об усиленном транспорте НДМГ из корня в стебель и лист испытанных растений. **Ключевые слова:** НДМГ, *Agropyron fragile* (Roth) *Candargy*, *Artemisia diffusa* *Krasch. ex Poljak*, анатомическая структура, анатомические параметры.

• • •

Түйіндеме. Табиғатта симметриялы емес диметилгидразинмен ластанған ортада есетін *Agropyron fragile* және *Artemisia diffusa* есімдігінің вегетативтік органдарының анатомиялық құрылымының ерекшеліктері мен биометриялық көрсеткіштері анықталды. Тамырдың анатомиялық құрылымының (экзодерма, алғашқы қабық, орталық цилиндр, ксилема) және жапырақтың анатомиялық құрылымының (эпидермис, жапырақ пластинкасы, мезофилл, еткізгіш шоқ) параметрлерінің өзгеруі көрсетілді. Симметриялы емес диметилгидразинмен ластанғанда тамырларының қалыңдауы, орталық цилиндрдің және ксилема түтіктерінің көлемі ұлғайған. Сыналған есімдіктердің тамырсабағы мен жапырағынан алынған мәліметтер күшейтілген симметриялы емес диметилгидразинмен ластанған тамырдың анатомиялық өзгерістерін куәландырады.

Түйінді сөздер: НДМГ, *Agropyron fragile* (Roth) Candargy, *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljak, анатомиялық параметрлер.

• • •

Abstract. The features of the anatomical structure and biometric parameters of the vegetative organs of wild plant species **have been established**: *Agropyron fragile* and *Artemisia diffusa* under conditions of environmental pollution by asymmetric dimethylhydrazine. Shown are the changes in the anatomical parameters of the root (exoderm, primary cortex, central cylinder, xylem vessels) and leaf (epidermis, leaf plate, mesophyle, conducting bundles). Environmental pollution with asymmetric dimethylhydrazine leads to a thickening of the root, an increase in the area of the central cylinder, **and** xylem vessels. These changes in the root anatomy indicate an enhanced transport of UDMH from the root to the stem and leaf of the tested plants.

Keywords. UDMH, *Agropyron fragile* (Roth) Candargy, *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljak, anatomical parameters.

Введение. Гептил (несимметричный диметилгидразин, НДМГ) – эффективное и широко используемое ракетное топливо, является загрязнителем окружающей среды Центрального Казахстана, в следствии пусков ракет с космодрома «Байконур». Исследования влияния НДМГ на дикорастущие виды растений актуальны по ряду причин. Дикорастущие виды растений накапливают НДМГ и при этом служат кормом для животных, которые включены в пищевые цепи человека. Эти техногеннозависимые пищевые цепи можно представить в виде последовательной системы: загрязненная среда обитания – растения – животные (птицы, рыба) - продукты питания – человек. Растения служат «хранилищем» НДМГ - этого супертоксиканта для человека и при отмирании растений происходит вторичное загрязнение почвы, окружающей среды. Дикорастущие виды растений аккумуляторы НДМГ могут быть использованы для фиторемедиации загрязненной среды [1].

Растения не обладают сформировавшейся в ходе эволюции системой адаптаций к ксенобиотику НДМГ и поэтому способность противостоять повреждающему действию НДМГ может основывается на механизмах устойчивости растений к другим неблагоприятным факторам [2]. Как известно, дикорастущие виды растений степной и полупустынной зон Казахстана, в том числе зон, подверженных загрязнению ракетным топливом (НДМГ) устойчивы к засухе, засоле-

нию, высоким и низким температурам и другим стрессам. Одним из доступных и признанных методов выявления защитных возможностей растений к стрессовым факторам окружающей среды является изучение их анатомической структуры [2].

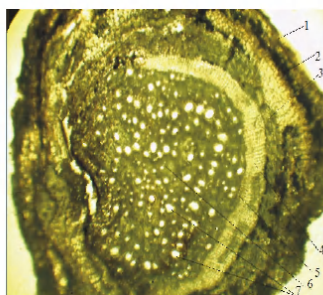
Цель работы - установление изменений анатомических параметров дикорастущих видов растений в среде с НДМГ, как реакции защиты и устойчивости.

Методы исследований. Растения *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljak - полынь развесистая и *Agropyron fragile* (Roth) Candargy - житняк ломкий выращивали в горшках, в каждом по 4 кг почвы. НДМГ вносили в опытные образцы почвы в 100 ПДК (ПДК НДМГ в почве равен 0,1 мг/кг). Через 2 мес. после внесения загрязнений, были проведены анатомо-морфологические исследования растений генеративного возрастного состояния. Микроскопические исследования были проведены на растительном материале, который был зафиксирован в смеси спирта, глицерина и воды в соотношении 1:1:1. При изготовлении и описании препаратов использовались общепринятые в анатомии растений методы [3,4].

Микроскопические исследования проводили при определении морфологических и анатомических особенностей корней и листьев. При характеристике корней особое значение имеют следующие признаки: на поперечном срезе, при малом увеличении (10^x) необходимо выделить первичную кору, чаще всего занимающую большую часть сечения корня, и относительно узкий центральный цилиндр. Описывается их общее очертание, форма и строение клеток, также распределение элементов ксилемы и флоэмы. Анатомические препараты были изготовлены с помощью микротомы с замораживающим устройством ОЛ-ЗСО (Инмедпром, Россия). Для количественного анализа проведено измерение морфометрических показателей с помощью окуляр-микрометра МОВ-1-15 (при объективе х 10, увеличении х 40, 10,7). Микрофотографии и анатомические срезы были сделаны на микроскопе МС 300 (Micros, Австрия) с видеокамерой CAMV400/1.3M (JProbe, Япония). Описание внешних признаков выполнено в соответствии с требованиями ГФ XI [5,6]. Статистическая обработка проведена согласно Рокицкому П.Ф. [7].

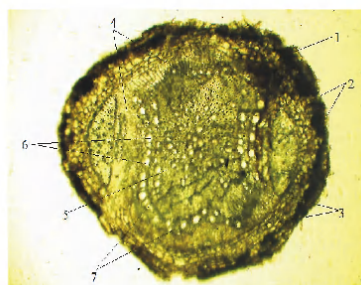
Основные результаты. При рассмотрении анатомического строения корней растений *Artemisia diffusa* (рисунок 1.2) собранных на загрязненном участке (НДМГ ПДК 100) и на контрольном участке, было установлено, что снаружи корень покрыт перидермой (вто-

ричной покровной тканью), которая состоит из трех слоев: феллемы, феллогена и феллодермы. Под покровной тканью располагаются parenхимные клетки первичной коры. Самый внутренний слой клеток первичной коры представлен клетками эндодермы, которые сплошным слоем окружают центральный цилиндр. Отмечено наличие на контрольном участке хорошо выраженного слоя вторичного луба за которым следует камбиальный слой клеток. В центральном цилиндре многочисленно встречаются склеренхимные клетки, которые окружают сосуды ксилемы. Наибольшее их количество отмечено у растений с загрязненного участка. В центральном цилиндре корня расположены элементы ксилемы и вторичной флоэмы.



1- перидерма, 2- parenхимные клетки первичной коры, 3- эндодерма, 4 – склеренхима, 5-центральный цилиндр, 6 - сосуды ксилемы, 7 – вторичная флоэма.

Рисунок 1- Анатомическое строение корня *Artemisia diffusa*, (на загрязненном участке)

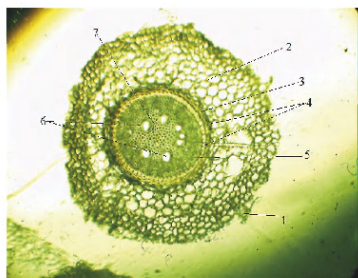


1 - перидерма, 2- parenхимные клетки первичной коры, 3- первичная флоэма, 4 - вторичная флоэма (вторичный луб), 5 - камбий, 6-центральный цилиндр, 7 - сосуды ксилемы.

Рисунок 2- Анатомическое строение корня *Artemisia diffusa*, (на контрольном участке)

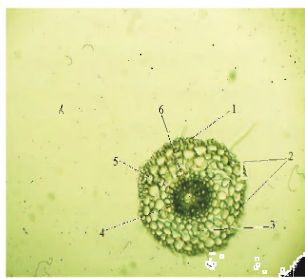
Биометрические показатели анатомической структуры корней *Artemisia diffusa* свидетельствуют о том, что в условиях загрязнения НДМГ у растений полыни толщина экзодермы – уменьшена, толщина первичной коры – уменьшена, диаметр центрального цилиндра увеличен, площадь ксилемных сосудов увеличена (таблица 1). На рисунках 3 и 4 отражено анатомическое строение корней *Agropyron fragile*, контрольного образца и образца с загрязненного участка. На контрольном участке корень житняка покрыт эпиблемой, за которой следует слой экзодермы. Далее располагаются 3-4 слоя клеток пер-

вичной коры, которые заканчиваются однослойной энтодермой, за которой расположен перицикл. Центральный цилиндр представлен элементами первичной флоэмы и первичной ксилемы. У растений загрязненного участка, представлено вторичное строение корня, то есть утолщение корня. Отмечено, что в структурах центрального цилиндра встречаются группами клетки склеренхимы, которые проходят между сосудами ксилемы.



- 1- экзодерма, 2 - клетки паренхимы первичной коры, 3 - энтодерма, 4-перицикл, 5-вторичная флоэма, 6 - сосуды вторичной ксилемы, 7- склеренхимные центрального цилиндра

Рисунок 3 - Анатомическое строение корня *Agropyron fragile* (на загрязненном участке)



- 1- волосконосный слой (эпиблема), 2 - экзодерма, 3 - клетки паренхимы первичной коры, 4 - энтодерма, 5- первичная флоэма, 6 - первичная ксилема.

Рисунок 4 - Анатомическое строение *Agropyron fragile* (на контрольном участке)

Биометрические показатели анатомической структуры корней *Agropyron fragile* свидетельствуют, что в условиях загрязнения НДМГ у растений злака толщина экзодермы – уменьшена, толщина первичной коры – увеличена, диаметр центрального цилиндра увеличен, площадь ксилемных сосудов увеличена (таблица 1).

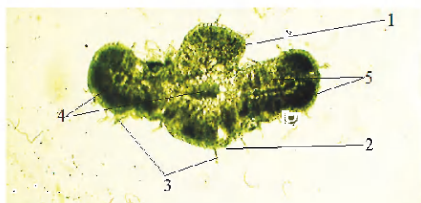
На рисунках 5 и 6 отражено анатомическое строение листа *Artemisia diffusa*, контрольного образца и образца с загрязненного участка. Листья *Artemisia diffusa* снаружи покрыты клетками верхнего и нижнего эпидермиса, клетки которого плотно сомкнуты и снаружи покрыты кутикулой. Наибольшей степени кутинизации подвержены клетки полыни произрастающей на загрязненном участке. На эпидермисе видны простые волоски, как эпидермальные образования. Клетки губчатого мезофилла занимают все пространство между верхним и нижним эпидермисом. Лист имеет однородный мезофилл, распо-

женный рыхло. Клетки столбчатого мезофилла малочисленные и располагаются перпендикулярно поверхности листа. В середине листа находится главный проводящий пучок, а по краям лежат малые пучки. Проводящие пучки - закрытые коллатеральные. Состоят из элементов флоэмы и ксилемы. Центральный проводящий пучок окружен большим количеством клеток склеренхимы.

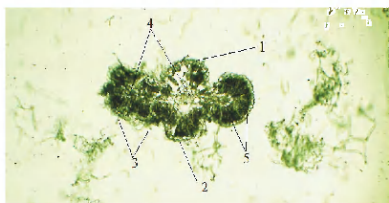
Таблица 1 - Биометрические показатели анатомической структуры корней *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile* (загрязнение НДМГ, ПДК 100)

Вид растений/ участок	Толщина коры		Диаметр центрального цилиндра, мкм	Площадь ксилемных со- судов $\times 10^{-3}$, мм ²
	Толщина экзодермы, мкм	Толщина первичной коры, мкм		
<i>Artemisia diffusa</i> , кон- троль	7,6±0,48	133,9±10,13	782,5±5,57	1,0±0,15
<i>Artemisia diffusa</i> , загрязненный участок	4,7±0,6	110,6±5,27	867,8±10,1	1,5±0,11
<i>Agropyron fragile</i> , кон- троль	8,6±0,3	113,6±12,3	213,0±3,47	1,0±0,15
<i>Agropyron fragile</i> , загрязненный участок	5,4±0,8	160,1±10,4	338,6±4,5	1,7±0.14

Биометрические показатели анатомической структуры листа *Artemisia diffusa* свидетельствуют, что в условиях загрязнения НДМГ у растений полны толщина верхнего эпидермиса – уменьшена, нижнего эпидермиса уменьшена, толщина листовой пластины уменьшена, толщина слоя мезофилла уменьшена, площадь проводящих пучков увеличена (таблица 2).



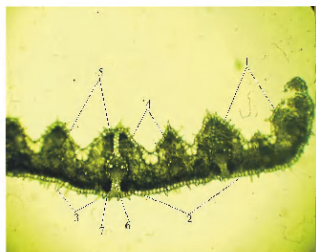
1- верхняя эпидерма, 2- нижняя эпидерма, 3 - простые волоски, 4 - проводящие пучки, 5 - мезофилл



1- верхняя эпидерма, 2- нижняя эпидерма, 3 - простые волоски, 4 - проводящие пучки, 5 - мезофилл

Рисунок 5 - Анатомическое строение листовой пластинки *Artemisia diffusa* (на загрязненном участке)

Рисунок 6 - Анатомическое строение листовой пластинки *Artemisia diffusa* (на контрольном участке)



1 - нижняя эпидерма, 2- верхняя эпидерма, 3- простые эпидермальные волоски, 4 - губчатый мезофилл, 5 - проводящие пучки, 6 - обкладка пучка, 7 - склеренхима пучка



1 - нижняя эпидерма, 2 - верхняя эпидерма, 3- простые эпидермальные волоски, 4 - губчатый мезофилл, 5 - проводящие пучки, 6 - обкладка пучка, 7 - склеренхима пучка

Рисунок 7- Анатомическое строение листовой пластинки *Agropyron fragile* (на загрязненном участке)

Рисунок 8 - Анатомическое строение листовой пластинки *Agropyron fragile* (на контрольном участке)

На рисунках 7 и 8 отражено анатомическое строение листовой пластинки *Agropyron fragile*. На них виден ксерофитный тип строения листовой пластинки. Отмечен верхний и нижний эпидермис листа, дифференциация на губчатый и столбчатый мезофилл не происходит. На эпидермисе встречаются многочисленные эпидермальные образования представленные в виде простых волосков. Имеется губчатый мезофилл, клетки которого располагаются достаточно рыхло. Главный проводящий пучок, большего диаметра, лежит в центре жилки, а далее мелкие проводящие пучки, которые располагаются по пе-

риферии листа. Пучки имеют склеренхимную обкладку. Во внутренней структуре листовых пластинок отмечены незначительные изменения.

Биометрические показатели анатомической структуры листа *Agropyron fragile* свидетельствуют, что в условиях загрязнения НДМГ у растений житняка толщина верхнего эпидермиса – увеличена, нижнего эпидермиса уменьшена, толщина листовой пластины уменьшена, толщина слоя мезофилла уменьшена, площадь проводящих пучков увеличена (таблица 2).

Таблица 2 - Биометрические показатели анатомической структуры листьев *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile* (загрязнение почвы НДМГ, ПДК 100)

Вид растений/ участок	Толщина эпидермиса, мкм		Толщина листовой пластинки, мкм	Толщина слоя мезофилла, мкм	Площадь проводящих пучков, $\times 10^{-3} \text{мм}^2$
	Верхнего	Нижнего			
<i>Artemisia diffusa</i> , контроль	7,2±0,4	6,7±0,4	71,7±2,6	55,7±4,1	19,3±1,4
<i>Artemisia diffusa</i> , загрязненный участок	6,0±0,4	6,0±0,3	64,2±2,6	47,5±4,3	22,7±1,1
<i>Agropyron fragile</i> , контроль	7,3±0,5	8,3±0,5	148,4±13,2	74,4±6,4	21,6±1,3
<i>Agropyron fragile</i> , загрязненный участок	7,6±0,2	7,9±0,3	130,6±3,4	59,7±2,7	23,5±1,7

Основные результаты. Выводы. Загрязнения среды НДМГ индуцирует изменения анатомической структуры вегетативных органов (корень, лист) дикорастущих видов растений *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile*. В листьях изменяется толщина верхнего и нижнего эпидермиса, толщина листовой пластины, толщина слоя мезофилла, площадь проводящих пучков.

Растения *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile* в ответ на загрязнение среды НДМГ однонаправленно реагируют увеличением пло-

щади проводящих пучков листьев, то есть, усилением их функции – транспортной, а также опорной и механической. В корнях изменяется *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile* изменяется толщина экзодермы, толщина первичной коры, диаметр центрального цилиндра, площадь ксилемных сосудов.

Важнейшим результатом настоящих исследований является то, что НДМГ в среде растений *Artemisia diffusa* и *Agropyron fragile* приводит к утолщению их корня, увеличению площади проводящих ксилемных сосудов, увеличению диаметра центрального цилиндра, то есть к усилению транспорта воды и растворенных в ней веществ от корней к листьям (восходящий ток) [8,9].

Результаты исследований влияния гептила на анатомические параметры корня полыни *Artemisia diffusa* в лабораторных условиях (Институт биологии и биотехнологии растений, Гарыш-Экология) (таблица 1) и корня полыни *Artemisia terrae-albae* в полевых условиях [10] совпадают по следующим параметрам: диаметр центрального цилиндра и площадь ксилемных сосудов корней полыни на загрязненном участке увеличены по сравнению с аналогичными показателями контрольных растений. В лабораторных условиях сходные результаты получены и для злака *Agropyron fragile* установлено увеличение диаметра центрального цилиндра и площади ксилемных сосудов корней в условиях загрязнения образцов почвы НДМГ (таблица 1).

Также на основании ранее проведенных работ [1] следует отметить, что анатомические признаки вегетативных органов растений: корня (размеры покровной ткани, первичной коры, диаметр центрального цилиндра и площадь ксилемных сосудов) и листа (толщина эпидермиса, толщина листовой пластинки, площадь проводящих пучков) могут быть индикаторными показателями загрязнения окружающей среды.

Источник финансирования исследований. Республиканская бюджетная программа 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности». Научно-технический проект «Исследование природы загрязнения растений несимметричным диметилгидразином и токсичными продуктами его трансформации». Республиканское государственное предприятие Научно-исследовательский центр «Гарыш-Экология» Аэрокосмического комитета Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.

Список литературы

1 *Агапов О.А., Федорина О.А., Атыгаев А.Б., Утеулин К.Р., Жексенбай А., Казкеев Д., Алдасугурова Ч.Ж., Курбатова Н.* Влияние несимметричного диметилгидразина на всхожесть семян, рост и анатомические параметры проростков дикорастущих видов растений// *Новости науки Казахстана.* 2019.- № 1 (139). - С. 210-222.

2 *Полевой В.В.* Физиология растений - М. : «Высшая школа», 1989.-484 с.

3 *Пермяков А.И.* Микротехника.- М.: МГУ, 1988.- С. 11-29.

4 *Прозина М.Н.* Ботаническая микротехника. - М.: МГУ, 1960. - 260 с.

5 *Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятов А.Г.* Справочник по ботанической микротехнике.- М.: МГУ, 2004.- 313 с.

6 Государственная фармакопея СССР, XI изд., вып.1.,- М.: Наука, 1987. - 334 с.

7 Государственная фармакопея СССР, XI изд., вып.2.,- М.: Наука, 1990. - 250 с.

8 *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика. М.Колос, 1973. 327 с.

9 *Лотова Л. И.* Морфология и анатомия высших растений М: Эдиториал УРСС, 2001. — 528 с. ISBN 5-8360-0140-5

10 *Ахметова А.Б., Айдосова С.С.* Морфометрические исследования вегетативных органов *Artemisia Terrae-Albae* Krasch., произрастающего в районах падения отделяющихся частей ракетоносителя «Протон». Вестник КазНУ. Серия биологическая, №6(52). 2011, С. 31-35.

Утеулин К.Р., доктор биологических наук, e-mail: gen_uteulink@mail.ru

Казкеев Д., младший научный сотрудник, e-mail: dauren.kazkeyev@gmail.com

Агапов О.А., заместитель начальника отдела экологических программ, e-mail: agaole@mail.ru

Федорина О.А., ведущий научный сотрудник e-mail: olga_fedorina64@mail.ru

Атыгаев А.Б., научный сотрудник, e-mail: newanuar@gmail.com

Курбатова Н.В., кандидат биологических наук, e-mail: kurbatova_nv77@mail.ru

Алдасугурова Ч.Ж., преподаватель кафедры биоразнообразия и биоресурсов, e-mail: aldasugyrova.chinar.77@gmail.com