

К.Р. Утеулин¹, Е.А. Бекешев³, М.К. Амрин³, Н.В. Курбатова²,
О.А. Федорина³, Е.Ю. Степанова³, Ч.Ж. Алдасугурова², А.Б. Атыгаев²

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

²Национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³Научно-исследовательский центр «Фарыш-Экология»,
г. Алматы, Казахстан

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ДИКОРАСТУЩИХ ВИДОВ *AGROPYRON FRAGILE* (ROTH) P. SANDARY, *STIPA SAREPTANA* A. BECK И *ARTEMISIA TERRA- ALBAE* KRASCH В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НЕСИММЕТРИЧНЫМ ДИМЕТИЛГИДРАЗИНОМ

Аннотация. Цель исследований - изучение изменений биометрических показателей растений дикорастущих видов злаков *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski и полыни *Artemisia terrae-albae* Krasch в условиях загрязнений почвы НДМГ, а также обсуждение вопросов о возможности регуляции азотного питания растений внесением в почву НДМГ. Относительно контроля, установлено увеличение общей массы надземной части растений дикорастущих видов злаков *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski и полыни *Artemisia terrae-albae* Krasch, выращенных в течение года на образцах почвы, загрязненных несимметричным диметилгидразином (НДМГ) в дозе 10 мг/кг. Внесенный НДМГ (азотсодержащее соединение) в почву, окисляется кислородом до азота, азот фиксируется бактериями, восстанавливается нитрогеназой до аммиака. Аммиак усваивается растениями с образованием низкомолекулярных (аминокислоты, амиды и азотистые основания) и высокомолекулярных (белки, нуклеиновые кислоты) органических форм азота. Действие НДМГ на растения двояко.

Ключевые слова: *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisia terrae-albae* Krasch, НДМГ, биометрические показатели, азотные удобрения.

• • •

Түйіндеме. Зерттеудің мақсаты – топырақтың АДМГ ластануы жағдайында *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisia terrae-albae* Krasch дөңді дақылдардың жабайы түрлерінің биометриялық көрсеткіштері-

Источник финансирования исследований. Республиканская бюджетная программа 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности и информационной безопасности». Научно-технический проект «Исследование природы загрязнения растений несимметричным диметилгидразином и токсичными продуктами его трансформации». Исследование выполнено в 2018-2020 гг.

нің өзгеруін зерттеу. Топыраққа АДМГ енгізу арқылы өсімдіктердің азотты қоректенуін реттеу мүмкіндігі туралы мәселелерді талқылау. Бақылауға қатысты, 10 мг/кг дозада асимметриялық диметилгидразинмен (АДМГ) ластанған топырақ үлгілерінде жыл бойы өсірілген *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski және *Artemisia terrae-albae* Krasch дөңді дақылдардың жабайы түрлерінің өсімдіктерінің жер үсті бөлігінің жалпы массасының ұлғаюы анықталды. Топыраққа енгізілген АДМГ (құрамында азот бар қосылыс) азотқа оттегімен тотығады, азот бактериялармен бекітіліп, нитрогеназбен аммиакқа дейін азаяды. Аммиакты өсімдіктер аз молекулалы (аминқышқылдары, амидтер және азотты негіздер) және азоттың жоғары молекулалы (ақуыздар, нуклеин қышқылдары) органикалық формаларын қалыптастыру үшін сіңіреді. АДМГ өсімдіктерге әсері екі түрлі болып келеді.

Түйінді сөздер: *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisia terrae-albae* Krasch, АДМГ, биометриялық көрсеткіштер, азоттық тыңайтқыштар.

• • •

Abstract. Purpose of the research was to study changes in biometric indicators in wild species of cereals *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisia terrae-albae* Krasch in conditions of soil contamination with UDMH. Discussion of issues concerning possibility of regulating nitrogen nutrition in plants through UDMH introduction into soil. With respect to control, an increase in a total mass of aerial parts of wild cereal species *Stipasareptana* A. Beck, *Agropyronfragile* (Roth) Nevski and wormwood *Artemisiaterrae-albae* Krasch cultivated for a year on soil samples contaminated with unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) in a dose of 10 mg per kg was established. Similar changes in biometric parameters (enhanced sprout formation) of cereal and wormwood plants are caused by introduction of nitrogen fertilizers or UDMH into soil samples. UDMH improves nitrogen nutrition of plants according to the scheme. Ammonia is absorbed by plants to form low molecular (amino acids, amides and nitrogenous bases) and high molecular (proteins, nucleic acids) organic nitrogen forms. Effect of UDMH on plants is ambivalent.

Keywords: *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisiaterrae-albae* Krasch, UDMH, biometrical parameters, nitrogen fertilizers.

Введение. Несимметричный диметилгидразин (НДМГ, гептил, 1,1-диметилгидразин) используется в качестве жидкого ракетного топлива в космических, ракетных системах на космодроме Байконур. Падение первых и вторых ступеней ракет, запущенных с космодрома сопровождаются загрязнением неотработанным ракетным топливом окружающей среды и, прежде всего почвы. Опасность НДМГ определяется неограниченной растворимостью в воде, высокой летучестью, способностью к переносу и накоплению, стабильностью в почве и растениях, а

также присутствием токсичных продуктов его окисления. НДМГ включен в пищевые цепочки: растения, как корм для скота → продукты питания для человека → человек, и представляет реальную угрозу здоровью человека. НДМГ классифицирован, как токсичное соединение первой степени опасности для человека. Исследования показали высокую устойчивость высших растений к загрязнениям почвы НДМГ. По данным исследований Пановой Г.Г (1997) загрязнение почвы НДМГ оказывает влияние на растения, вызывая изменения на всех уровнях их организации в течение длительного времени. По степени нагрузки на растения и сопутствующую биоту концентрации НДМГ в почве можно отнести к низким - менее 0.1 г/кг, умеренным - 1,0, 2,5 и 5,0 г/кг, высоким - 10-50 г/кг и очень высоким - 100 г/кг почвы. При низких уровнях содержания в почве НДМГ наблюдается стимуляция роста, развития, увеличение продуктивности растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды, при умеренных - кратковременное замедление роста и развития, снижение некоторых показателей продуктивности, в дальнейшем сменяющееся их повышением. При высоких уровнях загрязнения почвы отмечается значительное замедление развития и снижение большинства показателей роста и продуктивности растений. При максимальной концентрации НДМГ в почве растения погибают.

Результат воздействия НДМГ в умеренных и высоких дозах на растения сходен с наблюдаемым при избытке азота в почве. Проведённые микробиологические исследования показали, что НДМГ вызывает значительные изменения в численности и групповом составе микроорганизмов. В начальные сроки воздействия поллютанта направленность изменений определяется уровнем загрязнения почвы. Численность микроорганизмов различных физиологических и таксономических групп в почвах относительно контроля повышается при загрязнении их НДМГ в концентрациях 1,0; 2,5 и 5,0 г/кг и снижается с увеличением уровня загрязнения от 10 до 100 г/кг. Увеличение численности микроорганизмов в загрязнённых вариантах свидетельствует об активной трансформации НДМГ и использовании его в метаболизме биоты. В почве с НДМГ также высока численность олигонитрофильных бактерий, увеличивается количество денитрифицирующих и азотфиксирую-

щих микроорганизмов [1]. Известно, что загрязнение почвы НДМГ вызывает изменения анатомо-морфологических параметров дикорастущих видов растений Центрального Казахстана [2,3].

Цель исследований - изучение изменений биометрических показателей растений дикорастущих видов злаков *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski, *Artemisia terrae-albae* Krasch в условиях загрязнений почвы НДМГ. Обсуждение вопросов о возможности регуляции азотного питания растений внесением в почву НДМГ.

Объекты исследований. Растения дикорастущих видов растений: пырей ломкий или сибирский (*Agropyron fragile* (Roth) Caprgy.), ковыль сарептский (*Stipa sareptana* A. Beck) и полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae* Krasch.), были собраны на экспериментальных площадках Института биологии и биотехнологии растений, из искусственно загрязненных НДМГ (10 мг/кг) и контрольных образцах почвы.

Методы исследований. Использованы образцы почвы трассы падения ступеней ракет Центрально Казахстана. Супесчаная серо-бурая почва характеризуется низким содержанием гумуса (0,42 %) и низкой емкостью поглощения (11,70 мг/экв. на 100 г). Растения дикорастущих видов растений выращивали в течение года в горшках на образцах супесчаной серо-булой почвы с внесенным НДМГ (10 мг/кг). Паралельно выращивали контрольные сеянцы растений на образцах почвы без внесения НДМГ. Определяли следующие биометрические показатели: общий вес растения (грамм), вес одного листа, количество листьев, количество побегов, общий вес листьев, побегов, длина листа, ширина листа, площадь одного листа см², вес корня, длина корня. Результаты исследований статистически обработаны [4].

Результаты и обсуждение. В июне 2019 г. в образцы супесчаной почвы в горшках на открытом экспериментальном участке внесен НДМГ с содержанием 10 мг/кг почвы. В контрольных и опытных образцах почвы выращивали растения дикорастущих видов злаков: *Agropyron fragile* (рисунок 1), *Stipa sareptana* (рисунок 2) и полыни *Artemisia terrae-albae* (рисунок 3).

В июле 2020 г. проведена морфо-биометрическая оценка данных растений. Результаты исследований представлены в таблицах 1-3.

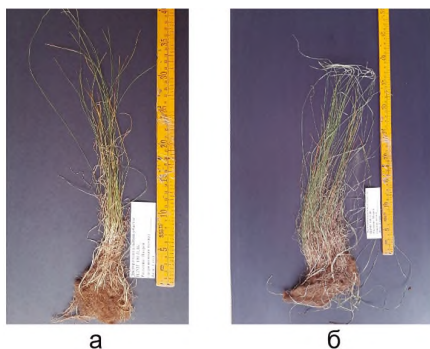


Рисунок 1 - Контрольные (а) и опытные (б) образцы растений *Agropyron fragile*, выращенные на образцах почвы с внесенным НДМГ (10 мг/кг)

Таблица 1 - Биометрические показатели злака - *Agropyron fragile* (Roth) Nevski

Биометрические показатели	Первый год после загрязнения	
	Контроль	Опыт. НДМГ 10 мг/кг.
Общий вес растения, г	40±4	52±5
Вес листьев, г	30±2	36±2
Количество листьев, шт.	25±6	40±4
Вес одного листа, г	1,2±0,1	0,9±0,1
Длина листа, см	35±4	35±3
Ширина листа, см	0,22±0,01	0,20±0,01
Площадь одного листа, см ²	7,7±1,2	7,0±1,1
Мочковатая корневая система	10±4	16±5
Вес корня, г		

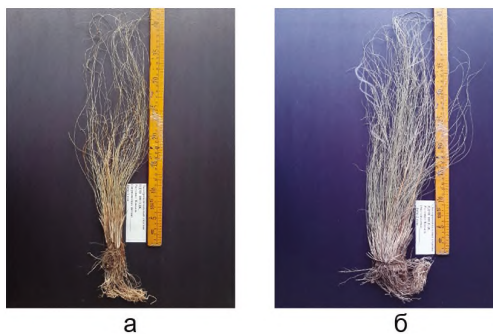


Рисунок 2 - Контрольные (а) и опытные (б) образцы растений *Stipa sareptana* А. Веск, выращенные на образцах почвы с внесенным НДМГ (10 мг/кг)

Таблица 2 - Биометрические показатели злака - *Stipa sareptana* A. Beck

Биометрические показатели	Первый год после загрязнения	
	Контроль	Опыт. НДМГ 10 мг/кг
Общий вес растения, г	38±4	53±4
Вес листьев, г	25±3	33±2
Количество листьев, шт.	28±5	47±5
Вес одного листа, г	0,91±0,05	0,72±0,05
Длина листа, см	45±4	45±5
Ширина листа, см	0,21±0,01	0,17±0,01
Площадь одного листа, см ²	9,5±1,1	7,7±0,9
Мочковатая корневая система	13±4	20±4
Вес корня, г		



Рисунок 3 - Контрольные (а) и опытные (б) образцы побегов растений *Artemisia terrae-albae* Krasch, выращенные на образцах почвы с внесенным НДМГ (10 мг/кг)

Таблица 3 - Биометрические показатели полыни - *Artemisia terrae-albae* Krasch

Полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae* Krasch)

Биометрические показатели	Первый год после загрязнения	
	Контроль	Опыт. НДМГ 10 мг/кг
Общий вес растения, г	45±5	62±4
Общий вес побегов с листьями, г	24±2	32±2
Количество побегов	13±1	19±1
Корень ветвистый, стержневой, см	35±4	47±5
Вес корня, г	21±3	30±3

Согласно, представленным в таблицах 1-3 результатам исследований, на образцах почвы, загрязненных НДМГ, увеличены следующие биометрические параметры испытанных растений: общий вес растения, вес надземной части и корня, количество листьев злаков

и количество побегов с листьями полыни. Изменения количественных показателей статистически достоверно при $P < 0,05$. Сходные изменения биометрических показателей растений злаков и полыни вызывает внесение в образцы почвы азотных удобрений. Так, Кожевиной М.Н., Скудаевой Е.А., Темеревой И.В (2015) показано, что при внесении азотных удобрений в почву урожайность полыни гладкой (*Artemisia glabella* Kar. et Kir) определяется в большей степени интенсивностью побегообразования [5]. По данным Н.Г. Андреева и В.А. Савицкой (1988) внесение азотного удобрения и увеличение его нормы способствует интенсивному побегообразованию и повышению продуктивного долголетия многолетнего злака Костёр безостый (*Bromus inermis*) [6]. Усиление побегообразования и рост корневой системы многолетних трав при внесении азотных удобрений отмечен Н.С. Ющенко (1976) [7]. Вероятно, НДМГ улучшает азотное питание растений по схеме. Внесенный НДМГ (азотсодержащее соединение) в супесчаную почву, окисляется кислородом до диметилметиленигидразина (ДММГ), воды и азота. Окисление протекает по схеме: $3(\text{CH}_3)_2\text{N}-\text{NH}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2(\text{CH}_3)_2\text{NN}=\text{CH}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ [8,9]. Супесчаные почвы Центрального Казахстана (зоны коридора падения ступеней ракетносителя) хорошо аэрированы и поэтому очевидно, что процесс окисления НДМГ кислородом с образованием молекулярного азота имеет место. Почвенный азот восстанавливается нитрогеназой до аммиака в азотфиксирующих бактериях. Аммиак в свою очередь усваивается растениями с образованием низкомолекулярных (аминокислоты, амиды и азотистые основания) и высокомолекулярных (белки, нуклеиновые кислоты) органических форм азота. Органические формы азота попадают в почву с растительными остатками и переводятся гетеротрофными микроорганизмами в аммиак (NH_3) и аммоний (NH_4^+). В бактериях аммиак окисляется кислородом до нитритов NO_2^- и затем до нитратов NO_3^- .

Благодаря жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий массы газообразного аммиака, образующегося в процессе аммонификации, фиксируются в нитраты, которые являются источником питания для растений. Таким образом, растительные клетки в своем составе имеют три фракции веществ, содержащих азот: неорганический азот (NO_3^- и NH_4^+), низкомолекулярные (аминокислоты, амиды, азотистые основания) и высокомолекулярные (белки, нуклеиновые кислоты) органические формы азота, находящиеся в определенном равновесии между собой. Азот, поглощенный

в аммонийной форме (NH_4^+) ассимилируется в корневой системе и поступает в надземные части в виде аминокислот и амидов. В условиях нитратного питания ассимиляция (NO_3^-) осуществляется в листьях растений. В этом случае акцепторами выступают первичные продукты фотосинтеза и фотодыхания, больше синтезируются сложные и ароматические аминокислоты [10]. Следует отметить, что наряду с увеличением общей массы листьев отмечено уменьшение ширины и площади одного листа злаков: *Stipa sareptana* A. Beck и *Agropyron fragile* (Roth) Nevski (таблица 1-2). Уменьшение этих биометрических показателей тестируют ксерофитизацию листьев, снижение транспирации и газообмена. Вероятно НДМГ, как летучее соединение оказывает токсичное действие на листья, наряду с усилением поступления форм азота через корень растений.

Заключение. Согласно результатам исследований настоящей работы внесение в супесчанную серо-бурую почву НДМГ в дозе 10 мг/кг оказывает положительное влияние на ряд биометрических показателей растений дикорастущих видов. Относительно контроля, установлено усиление побегообразования, увеличение общей массы надземной части растений дикорастущих видов злаков *Stipa sareptana* A. Beck, *Agropyron fragile* (Roth) Nevski и полыни *Artemisia terrae-albae* Krasch выращенных в течение года на образцах почвы, загрязненных несимметричным диметилгидразином (НДМГ) в дозе 10 мг/кг. Сходные изменения биометрических показателей (усиление побегообразования) растений злаков и полыни вызывает внесение в образцы почвы азотных удобрений. НДМГ улучшает азотное питание растений по схеме. Внесённый НДМГ (азотсодержащее соединение) в почву, окисляется кислородом до азота, азот фиксируется бактериями, восстанавливается нитрогеназой до аммиака. Аммиак усваивается растениями с образованием низкомолекулярных (аминокислоты, амиды и азотистые основания) и высокомолекулярных (белки, нуклеиновые кислоты) органических форм азота. НДМГ, внесённый в почву, является источником азота. Следует отметить, что наряду с увеличением общей массы листьев отмечено уменьшение площади одного листа до 8,1 см² против контроля 9,0 см² злака *Stipa sareptana* A. Beck и 6,7 см² против 7,0 см² злака *Agropyron fragile* (Roth) Nevski. Уменьшение этих биометрических показателей тестируют ксерофитизацию листьев. Действие НДМГ на растения

двойко. С одной стороны НДМГ- это летучее соединение, трансформируется из почвы в воздух оказывает токсичное действие на листья, вызывает их ксерофитизацию (уменьшает ширину и площадь листа, снижает транспирацию и газообмен). С другой стороны НДМГ - источник азота в почве, усиливает азотное питание растений, увеличивает количество и массу листьев и побегов и этим компенсирует ксерофитизацию и более того увеличивает урожай листьев и побегов. Фактором накопления НДМГ в растениях является увеличение побегообразования, массы растений в силу усиления азотного обмена растения внесенным в почву азотсодержащим соединением НДМГ.

Список литературы

1 *Панова Г. Г.* Влияние компонентов ракетного топлива на почвенно-растительную систему. 06.01.14- агрофизика. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Санкт-Петербург. 1997.

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

3 *Утеулин К.Р., Агапов О.А., Федорина О.А., Атагаев А.Б., Ахтаева Н.З.* Влияние несимметричного диметилгидразина на анатомические параметры злаков в условиях эксперимента. // *Новости науки Казахстана.* 2019- № 4 (142).- С.45-54.

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

5 *Кожевина М.Н., Скудаева Е.А., Темерева И.В.* Влияние удобрений на биометрические показатели полыни гладкой // *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ.* - 2015. -№1(1) апрель-июнь. – URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2015-god/1/16-statya/51-00003>

6 *Андреев Н.Г., Савицкая В.А.* - 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1988. – 184 с.

7 *Ющенко Н. С.* Влияние доз азота на урожай многолетних трав на лиманах . Алма-Ата : Кайнар, 1976. – 237 с.

8 *Ушакова В.Г., Шпигун О.Н., Старыгин О.И.* Особенности химических превращений НДМГ и его поведение в объектах окружающей среды // *Ползуновский вестник.* 2004. – № 4. – С. 177 – 184.

9 *Тулупов П.Е., Колесников С.В., Кирюхин В.П.* Химические превращения несимметричного диметилгидразина в атмосфере воз-

духа и идентификация их продуктов. // Загрязнение атмосферы и почвы. Труды IV всесоюзного совещания. 1991 – М.: Гидрометеиздат. – С. 87-101.

10 *Полевой В.В.* Физиология растений. Москва. Высшая школа, 1989.- 464 с.

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

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

Степанова Е.Ю. - главный научный сотрудник,
e-mail stepanova.e@gh-ecology.kz

Федорина О.А. - ведущий научный сотрудник,
e-mail fedorina.o@gh-ecology.kz

Алдасугурова Ч.Ж. - преподаватель,
e-mail: aldasygyrova.chinar.77@gmail.com

Атыгаев А.Б. - докторант PhD, e-mail: newanuar@gmail.com