

**Rustam Alpysov\*** – Master's student of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of the M. Kozybayev North Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk; e-mail: sparkggvpeasy27@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2104-0551>.

**Ainel Umarova** – Student of the Department of Chemistry and Chemical Technologies of the M. Kozybayev North Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk; e-mail: ainekau@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0353-509X>.

Поступила в редакцию 25.09.2025  
Поступила после доработки 14.11.2025  
Принята к публикации 17.11.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-74](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-74)

МРНТИ: 31.27.21



**Э.Т. Ермолдина, Е.Ю. Степанова, А.С. Зенина, Ж.Ж. Жумабекова, А.Н. Оразалиева\***  
Филиал РГП «Инфракос»,  
050046, Казахстан, г. Алматы, пр. Абая 191  
\*e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com

## **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА НА РОСТ И МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕДИСА В УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА**

**Аннотация:** Научное исследование посвящено оценке фитотоксического воздействия нефтепродуктов, в частности углеводородного ракетного горючего (УВГ), на растения. В лабораторных условиях в качестве тест-объекта использовался редис (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*). Поводом для проведения работы стала необходимость экологической оценки почв, загрязнённых в районах падения частей ракетносителей.

Основная задача заключалась в определении взаимосвязи между степенью загрязнения почвы УВГ и изменениями морфофизиологических параметров у растения-индикатора. В исследовании применялись пять вариантов почвы: три опытных с содержанием УВГ в концентрациях 100, 500 и 1000 мг/кг, а также два контрольных образца – стандартный искусственный почвенный эталон (КМ) и почва с реальной загрязнённой территории (КФ). Биотестирование проводилось в течение шести недель. В ходе эксперимента фиксировались показатели всхожести, длины стеблей и корней проростков, по которым рассчитывались индексы токсичности.

Результаты продемонстрировали угнетающее влияние УВГ на развитие растений и прорастание семян. При минимальной концентрации в 100 мг/кг наблюдалось лишь незначительное сокращение длины побегов и корней. Однако при увеличении концентрации до 500 и 1000 мг/кг негативный эффект становился более выраженным: всхожесть семян снижалась до 40% и 25% соответственно, а длина стеблей и корней уменьшалась в 2-4 раза по сравнению с контрольными образцами.

Наблюдаемые изменения ясно указывают на дозозависимый характер токсичности УВГ. Полученные данные представляют практическую ценность для разработки нормативов оценки загрязнения, проведения экологического мониторинга и планирования мероприятий по восстановлению пострадавших территорий.

**Ключевые слова:** фитотоксичность, ракетное топливо, углеводороды, загрязнение почвы, экотоксичность, экологическая безопасность.

**Введение.** Одним из наиболее распространённых загрязнителей окружающей среды в районах падения отделяющихся частей ракетносителей являются нефтяные углеводороды. Они представляют собой сложные смеси соединений, обладающие выраженным токсическим потенциалом. Для оценки их воздействия на природные экосистемы всё чаще применяются методы биотестирования, в том числе испытания на фитотоксичность с использованием высших растений как чувствительных индикаторов. Особенно актуальны такие исследования в случае, если загрязнители почвы известны или подозреваются как фитотоксичные [1-4].

Фитотоксичность проявляется в угнетении жизнедеятельности растений: нефтяные углеводороды способны вызывать структурные изменения в клетках и тканях, нарушать

процессы роста и метаболизма, вплоть до гибели растительных организмов. При этом краткосрочные тесты (например, по всхожести семян) позволяют оценить острые токсические эффекты, в то время как долгосрочные опыты (с учётом биомассы, длины корней и стеблей) – выявить хроническое воздействие [1-4].

Присутствие нефти и её производных в почве вызывает нарушения водно-воздушного режима и снижение доступности питательных веществ. Почва теряет свои физико-химические свойства, ухудшается её структура и состав, особенно гумусовый горизонт, в котором резко увеличивается содержание углерода. Из-за гидрофобных свойств нефтепродуктов корни растений испытывают дефицит влаги, подавляется фотосинтез и нарушаются окислительно-восстановительные процессы, что ведёт к снижению активности ферментов и микроорганизмов. Всё это приводит к потере почвенного плодородия и выбыванию таких земель из сельскохозяйственного использования [5-8].

В дополнение к химическим анализам, биологические методы, основанные на реакции живых организмов на загрязнение, являются важнейшим инструментом мониторинга. Фитотестирование как форма биотестирования позволяет получить количественные и качественные данные о токсичности почвы, используя параметры роста и развития растений, культивируемых в загрязнённых образцах, по сравнению с контрольными условиями [9-12].

В этой работе рассматривается влияние различных концентраций углеводородного ракетного горючего на показатели прорастания и морфометрии редиса (*Raphanus sativus L.*) как индикаторного растения. Исследование направлено на выявление степени фитотоксичности УВГ и её зависимости от уровня загрязнения почвы.

В ракетах-носителях типа «Союз» в качестве топлива используется керосин марок Т-1 и РГ-1, относящийся к керосиновому типу углеводородных ракетных топлив. Эти топлива представляют собой сложные фракции, включающие преимущественно алифатические (нормальные и разветвлённые) алканы, циклоалканы (нафтены) и ароматические углеводороды. В обобщённом виде состав этих классов можно представить формулами:  $C_nH_{2n+2}$  (алканы),  $C_nH_{2n}$  (циклоалканы) и  $C_nH_{2n-6}$  (ароматические соединения). Типичными представителями, иллюстрирующими состав Т-1 и РГ-1, являются: н-декан ( $C_{10}H_{22}$ ), н-додекан ( $C_{12}H_{26}$ ), н-гексадекан ( $C_{16}H_{34}$ ) – алифатические алканы; циклогексан ( $C_6H_{12}$ ), метилциклогексан ( $C_7H_{14}$ ) – циклоалканы; бензол ( $C_6H_6$ ), толуол ( $C_7H_8$ ), этилбензол ( $C_8H_{10}$ ), ксилолы ( $C_8H_{10}$ ) – ароматические углеводороды (ГОСТ 10227-86 «Топлива для реактивных двигателей. Технические условия»). Эти компоненты определяют физико-химические свойства топлив – гидрофобность, низкую летучесть лёгких фракций, устойчивость в почве – и во многом объясняют их фитотоксичность при загрязнении почв. Следует учитывать, что массовое соотношение компонентов в Т-1 и РГ-1 варьирует в зависимости от источника и метода очистки, поэтому при аналитической оценке целесообразно указывать как общие классы (с формулами), так и их типичных представителей (табл. 1).

Таблица 1 – Усредненный групповой состав ракетного керосина марки Т-1 и РГ-1

Характеристики состава	Группы углеводородов			
	алканы	циклоалканы	арены	олефины
Содержание Т-1, % масс.	~25-30	~70	<5	отсутствуют
Содержание РГ-1, % масс.	~30-50	~40-60	15-20	1,0-1,5

**Материалы и методы.** Для проведения оценки фитотоксичности нефтепродуктов в образцах почвы использовались действующие нормативные документы и научно-методические источники, регламентирующие биотестирование и экологическую оценку:

- Методические указания по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве № 2609-82 от 05.08.1982 г.;
- ГОСТ Р ISO 22030-2009 «Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений»;
- МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест»;
- ISO 11269:2012 «Качество почвы. Определение воздействия загрязняющих веществ на флору почвы», части 1 и 2;
- ГОСТ ISO 14507-2015 «Качество почвы. Предварительная подготовка проб для определения органических загрязняющих веществ»;

• ГОСТ Р ИСО 18763-2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» (ISO 18763:2016);

• ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

В качестве теоретической основы использованы научные труды Кабирова Р.Р. [17], Багдасаряна А.С. [20], Богатыревой Е.Н. и др. [18], Поповой Е.И. [16], Прусаченко А.В. и др. [19], а также учебно-методическое пособие Галицкой П.Ю. и соавт. [21].

Оценка фитотоксичности проводилась с опорой на следующие показатели:

– при постановке вегетационных опытов с микро- и макроэлементами и другими веществами в почве, для которых отсутствует ПДОК в пищевых продуктах, берется набор растений, который по окончании опыта даст возможность рассчитать количество изучаемого вещества, которое поступает в организм человека с растительным рационом (растения, которые широко используются в питании человека: злаки (лучше пшеница), картофель, морковь, свекла, горох, редис, листовые овощи) (Методические указания по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве №2609-82 от 05.08.82 г.);

– метод определения токсичности почвы с использованием теста прорастания и роста растений основан на сравнении всхожести и раннего роста однодольных и двудольных растений в исследуемой почве и/или в серии смесей с содержанием контрольной почвы (ГОСТ Р ИСО 18763-2019);

– энергия прорастания растительной тест-культуры Попова Е.И. [16] не должна быть менее 75% (среднее для всех повторов) (ГОСТ Р ИСО 22030-2009).

$$B = \frac{a}{b} \times 100 (\%) \quad (1)$$

где  $B$  – энергия прорастания,  $a$  – число проросших семян,  $b$  – общее число семян, взятых для опыта.

– процентное замедление прорастания семян и роста корней для каждого растения, как разность этих показателей в контрольной и в исследуемой почвах, отнесенное к контрольному значению (формула 2) (ГОСТ Р ИСО 18763-2019):

$$\left( \frac{A-B}{A} \right) \times 100\% \quad (2)$$

где  $A$  – среднее значение всхожести семян или длины корней или длины самого длинного корня в контрольной почве;  $B$  – среднее значение всхожести семян, или длины корней или длины самого длинного корня в исследуемой почве.

– индекс фитотоксичности (ИТФ), как отношение значения регистрируемой тест-функции в опыте к значению регистрируемой тест-функции в контроле (Р.Р. Кабиров, 1995) [17]:

$$\text{ИТФ} = \frac{T_{\Phi_0}}{T_{\Phi_k}} \quad (3)$$

где  $\text{ИТФ}$  – индекс токсичности;  $T_{\Phi_0}$  – значение регистрируемой тест-функции в опыте;  $T_{\Phi_k}$  – значение регистрируемой тест-функции в контроле.

– процент ингибирования развития проростков тестируемых растений (Е.Н. Богатырёва с соавторами, 2020) [18]:

$$И = 100 - \frac{O \times 100}{K} \quad (4)$$

где  $И$  – изменение развития ростков или корней проростков, %;  $O$  – длина ростков или корней проростков, мм;  $K$  – длина ростков или корней проростков без нагрузок, мм.

– обобщенный критерий токсичности тест-функций энергии прорастания семян, длин ростка и корня тест-культур  $\text{ИТФ}_{\text{ср}}$ , как осредненная величина ИТФ для каждого объекта (А.В. Прусаченко с соавторами, 2010) [19]:

$$\text{ИТФ}_{\text{ср}} = \frac{\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 + \text{ИТФ}_3 + \dots + \text{ИТФ}_n}{n}, \quad (5)$$

где  $\text{ИТФ}_{\text{ср}}$  – среднее значение индекса токсичности,  $\text{ИТФ}_1$ ,  $\text{ИТФ}_2$ ,  $\text{ИТФ}_3$  и т.д. - индекс токсичности, рассчитанный для каждого тест-объекта;  $n$  – количество тест-объектов, задействованных в эксперименте для конкретного участка.

### Объекты исследования

Для моделирования загрязнения почвы углеводородным ракетным топливом (УВГ) образцы предварительно просеивали, высушивали и увлажняли до 60 % полной влагоёмкости. Внесение топлива осуществляли не поверхностным проливом, а методом равномерного перемешивания топлива с подготовленной почвенной массой, что обеспечивало однородное распределение вещества по всему объёму образца. Такой подход позволял имитировать равномерное загрязнение и снижал вариативность результатов между повторностями опыта.

Объектами исследования на фитотоксичность ракетных углеводородов являются 5 образцов почвы, включая 3 образца, обработанных ракетным углеводородным горючим (УВГ), 100 мг/кг а также 2 контрольных образца, не загрязнённых углеводородами, в том числе: УВГ-100 – загрязнение 100 мг/кг;

- УВГ-100 (концентрация УВГ в почве);
- УВГ-500 (концентрация УВГ в почве 500 мг/кг);
- УВГ-1000 (концентрация УВГ в почве 1000 мг/кг);
- КФ (почва из района падения отделяющихся частей ракеты-носителя);
- КМ (модельный почвенный эталон, МПЭ).

Биотестирование проводилось методом проростков с использованием тест-культуры редиса *Raphanus sativus L. var. sativus*, сорта «Краса Алтая». Метод базировался на сравнении морфофизиологических показателей проростков, выращенных в загрязнённых и контрольных почвах.

Семена высевались в пластмассовые горшки с перфорированным дном. На дно укладывался дренаж из керамзита среднего размера, затем – исследуемая почва. В каждый горшок высаживали по 20 семян с интервалом 20-25 мм (рис. 1).



Рисунок 1 – Засев индикаторного растения в почву

Выращивание проводилось при одинаковых условиях освещения и температуры в течение 6 недель. Период наблюдения начинался с момента прорастания семян. Каждую неделю проводились измерения длины стебля и корня у случайно выбранных проростков (по 3 экземпляра в каждой группе; при низкой всхожести – по 2 и менее растений). Всхожесть оценивалась на первой и второй неделях (рис. 2, 3).

Пробоподготовка, отбор и транспортировка почвенных образцов осуществлялись согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-2017. Перед использованием почвы предварительно просеивали и увлажняли до оптимальной влажности для проращивания. Загрязнение образцов УВГ производилось в расчётных концентрациях.



Рисунок 2 – Иллюстрация метода измерения длины стебля и корня проростков редиса

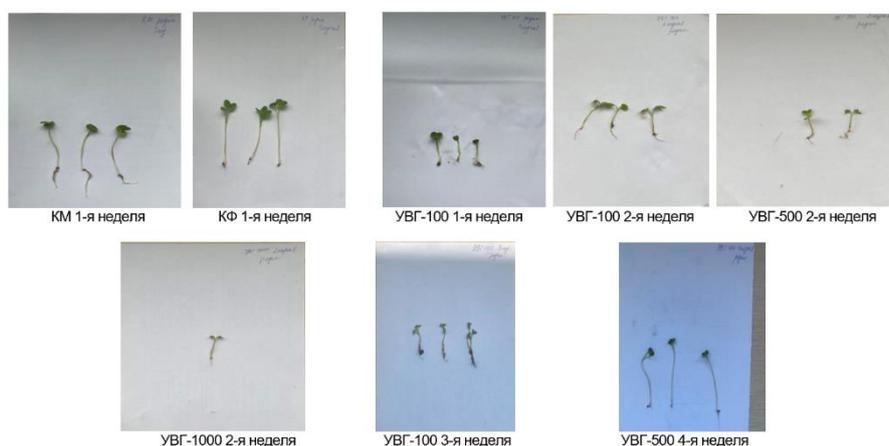


Рисунок 3 – Проростки редиса в контрольных и экспериментальных почвах на разных этапах эксперимента

### Результаты и обсуждение

Данные по всхожести семян редиса в экспериментальных и контрольных образцах почв приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Всхожесть семян индикаторного растения редиса в образцах почв

Период	Соотношение числа проростков / общее количество семян в почвах (%)				
	экспериментальные почвы			контрольные почвы	
	УВГ-100	УВГ-500	УВГ-1000	КФ	КМ
1 неделя	20/20 (100%)	8/20 (40%)	5/20 (25%)	15/20 (75%)	20/20 (100%)
2 неделя	*	17/20 (85%)	10/20 (50%)	*	*

*Примечание: «\*» – без изменений в числе проростков редиса*

На первой неделе наблюдения процент всхожести семян индикаторного растения редиса составляет 100% для контрольной почвы КМ (модельный почвенный эталон создан специально для эксперимента) и для почвенного образца с дозой углеводов 100 мг/кг (УВГ-100). В контроле КФ (почва отобрана на месте падения ОЧ РН) взошло 75% семян биоиндикатора. Наименьшая всхожесть семян отмечается в образцах с нагрузкой 500 мг/кг (УВГ-500) и 1000 мг/кг (УВГ-1000), соответственно, 40% и 25%. После второй недели наблюдения в образцах УВГ-500 и УВГ-1000 всхожесть семян выросла до 85% и 50%, соответственно.

Концентрация углеводов в почве начиная с 500 мг/кг и выше выявляется ингибирующий эффект УВГ на динамику и энергию прорастания семян редиса. На следующем этапе эксперимента по оценке фитотоксичности нефтепродуктов в почве измерена длина проростков и корней в динамике до 6-ти недель. Результаты замеров представлены в таблице 2.

На протяжении шести недель эксперимента наблюдалась чёткая зависимость морфологических характеристик редиса – растения-индикатора – от уровня загрязнения почвы углеводородным ракетным топливом (УВГ).

Уже на первой неделе наибольшая длина стеблей была зафиксирована в контрольных образцах: КФ –  $6,8 \pm 0,3$  см и КМ (модельный почвенный эталон) –  $6,0 \pm 0,0$  см. В опытных вариантах, содержащих УВГ, наблюдалось явное снижение роста в зависимости от концентрации загрязнителя: у растений, выращенных на УВГ-100, стебли достигали в среднем  $3,3 \pm 0,6$  см, на УВГ-500 –  $2,0 \pm 0,0$  см, а в самой загрязнённой почве (УВГ-1000) – всего  $1,8 \pm 0,3$  см (рис. 4).

Похожая картина наблюдалась и при оценке длины корней. Максимальные значения были отмечены в контрольной почве КМ ( $2,7 \pm 0,8$  см), тогда как в загрязнённых вариантах корни заметно укоротились: в УВГ-100 – до  $0,8 \pm 0,3$  см, в УВГ-500 – до  $0,4 \pm 0,06$  см, в УВГ-1000 –  $0,5 \pm 0,0$  см. Любопытно, что в последнем случае прослеживалась слабая тенденция к увеличению длины корней, хотя показатели оставались крайне низкими (рис. 5).

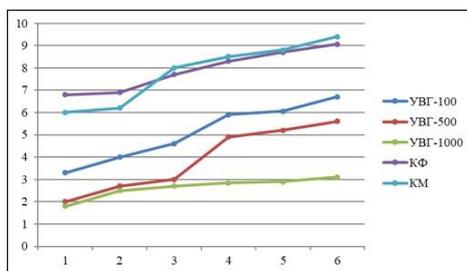


Рисунок 4 – Динамика роста стебля редиса при различных концентрациях углеводородного ракетного топлива

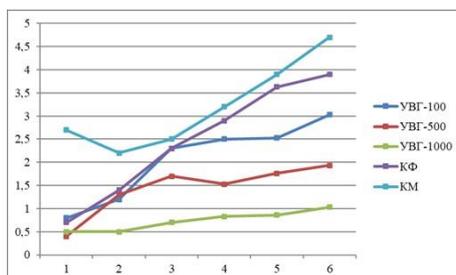


Рисунок 5 – Динамика роста корня редиса при различных концентрациях углеводородного ракетного топлива

Ко второй неделе наблюдений во всех вариантах, включая загрязнённые, отмечался рост проростков. Средняя длина стеблей в УВГ-100 составила  $4,0 \pm 1,0$  см, в УВГ-500 –  $2,7 \pm 0,9$  см, в УВГ-1000 –  $2,5 \pm 0,0$  см. Для сравнения: в контрольных образцах эти значения были значительно выше –  $6,9 \pm 0,7$  см (КФ) и  $6,2 \pm 0,6$  см (КМ). Длина корней в вариантах УВГ-100 и УВГ-500 составила соответственно  $1,2 \pm 0,5$  см и  $1,3 \pm 0,3$  см, тогда как в УВГ-1000 изменений по сравнению с первой неделей не произошло (осталось на уровне 0,5 см).

На третьей и четвёртой неделях продолжилась отчётливая тенденция к замедлению роста растений при возрастании концентрации загрязнителя. В контролях КФ и КМ средняя длина стеблей достигала  $7,7 \pm 1,2$  см и  $8,0 \pm 1,0$  см соответственно, в то время как в загрязнённых почвах значения были заметно ниже: в УВГ-100 –  $4,6 \pm 0,6$  см, в УВГ-500 –  $3,0 \pm 0,1$  см, в УВГ-1000 –  $2,7 \pm 0,2$  см (третья неделя); на четвёртой неделе – УВГ-100 –  $5,9 \pm 0,2$  см, УВГ-500 –  $4,9 \pm 1,0$  см, УВГ-1000 –  $2,85 \pm 0,07$  см.

При этом длина корней в группе УВГ-100 оставалась сравнимой с контрольными значениями, тогда как в УВГ-500 она уменьшалась почти в два раза, а в УВГ-1000 – более чем в 3,5 раза, что свидетельствует о сильном угнетающем эффекте.

К шестой неделе рост проростков в загрязнённых почвах стабилизировался, но восстановиться до уровня контрольных вариантов не смог. Средняя длина стебля в КФ составила  $9,06 \pm 0,15$  см, в КМ –  $9,4 \pm 0,25$  см. У растений, выросших в условиях загрязнения, стебли были заметно короче:  $6,7 \pm 0,2$  см (УВГ-100),  $5,6 \pm 0,4$  см (УВГ-500) и всего  $3,1 \pm 0,05$  см (УВГ-1000). Аналогичная картина наблюдалась и при измерении корней: КМ –  $4,7 \pm 0,25$  см, УВГ-100 –  $3,03 \pm 0,2$  см, УВГ-500 –  $1,93 \pm 0,25$  см, УВГ-1000 –  $1,03 \pm 0,05$  см.

Полученные результаты показывают, что рост и развитие редиса существенно зависят от концентрации углеводородного ракетного топлива (УВГ) в почве. Наблюдается выраженный дозозависимый эффект: при увеличении дозы топлива снижается как длина стебля, так и длина корневой системы. Особенно сильно угнетается рост при высоких концентрациях (УВГ-1000), что проявляется в резком отставании проростков от контрольных вариантов.

Механизм действия УВГ на растения связан с его физико-химическими свойствами. Попадая в почву, углеводородные соединения проявляют гидрофобность и низкую растворимость в воде, что приводит к нарушению водно-воздушного режима и ограничению доступа влаги и питательных веществ к корням. Одновременно отдельные компоненты топлива, особенно ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы), оказывают прямое токсическое воздействие на клетки растений, нарушая проницаемость мембран, угнетая дыхательные процессы и замедляя деление клеток. Это приводит к подавлению, как

роста надземной части, так и развития корневой системы. Таким образом, выявленные изменения в морфометрических показателях проростков редиса можно объяснить сочетанием косвенного (изменение свойств почвы) и прямого (токсическое действие углеводородов) влияния УВГ.

Сравнение полученных данных с литературными источниками подтверждает общность выявленных закономерностей. Так, по данным [9], нефтяные углеводороды снижают биологическую активность почвы и угнетают рост сельскохозяйственных культур. Исследования [5] показали, что тяжёлые углеводороды обладают длительным периодом разложения и сохраняют токсическое воздействие в почвенной среде. Аналогичные эффекты наблюдались и в отечественных исследованиях фитотестирования загрязнённых почв [16, 19]. В целом это подтверждает, что углеводородное ракетное топливо, близкое по составу к нефтяным фракциям, оказывает аналогичное фитотоксическое действие, выражающееся в угнетении ростовых процессов редиса.

На основании проведённых наблюдений можно заключить, что УВГ, применяемое в ракетах-носителях «Союз», запускаемых с космодрома Байконур, оказывает прямое и выраженное токсическое воздействие на развитие редиса. При увеличении концентрации загрязнителя в почве отмечается снижение длины как побегов, так и корней, что подтверждает дозозависимый характер влияния.

Важно отметить, что семена в контрольных группах (КФ и КМ) прорастали синхронно и довольно быстро, обеспечивая высокую общую всхожесть. В загрязнённых образцах ростки появлялись медленнее, а процент всхожести снижался по мере увеличения содержания УВГ. При дозе 500 мг/кг этот показатель был на 15% ниже контрольного уровня, а при 1000 мг/кг — уже на 50%.

К завершению эксперимента, разница в развитии растений стала ещё более очевидной. Побеги редиса в загрязнённой почве были короче контрольных на 26-29% при 100 мг/кг, на 38-41% при 500 мг/кг и на 66-67% при максимальной концентрации (1000 мг/кг). Аналогичные изменения отмечались и по длине корней: они были короче контрольных в 1,3-1,6 раза (УВГ-100), в 2-2,4 раза (УВГ-500) и в 3,8-4,6 раза (УВГ-1000).

### **Заключение**

Результаты исследования выявили выраженный дозозависимый фитотоксический эффект углеводородного ракетного топлива на редис как растение-индикатор. Уже на ранних стадиях прорастания установлено снижение длины побегов и корней в загрязнённых образцах, особенно при концентрации 500 мг/кг и выше. Несмотря на кратковременную активацию роста на второй неделе, в дальнейшем наблюдалось устойчивое угнетение развития растений.

Фиксируемые морфологические изменения соответствуют ранее описанным механизмам действия углеводородов на почвенные и растительные системы: нарушению водно-воздушного режима, дефициту влаги и питательных веществ, ингибированию фотосинтеза и подавлению активности микробиоты. Особенно критично снижение длины корня, отражающее потерю адаптивного потенциала растения к неблагоприятной среде.

Таким образом, уже при концентрации 500 мг/кг УВГ наблюдаются признаки выраженной токсичности, а при 1000 мг/кг — существенное подавление роста, приближающееся к полному. Это подчёркивает необходимость установления нормативов допустимого содержания УВГ в почвах и подтверждает эффективность применения фитотестирования в качестве обязательного инструмента экологической диагностики загрязнённых территорий, в том числе в зонах падения отделяющихся частей ракет.

### **Список литературы**

1. Banks M.K. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum-contaminated soils / M.K. Banks, K.E. Schultz // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2005. – Vol. 167. – P. 211-219.
2. Ecotoxicity assessment of aged petroleum sludge using a suite of effects-based end points in earthworm *Eisenia fetida* / S.-J. Wang et al // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2010. – Vol. 169. – P. 417-428.
3. Wang W. Literature review on higher plants for toxicity testing / W. Wang // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1991. – Vol. 59. – P. 381-400.
4. Malachowska-Jutysz A. Toxicity of engine oil contaminated soil made subject to natural attenuation and phytoremediation / A. Malachowska-Jutysz, W. Janosz, J. Rudek // *Ochrona Środowiska*. – 2012. – Vol. 34. – P. 15-20.

5. Heavy hydrocarbon fate and transport in the environment / D.M. Brown et al // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. – 2017. – Vol. 50, № 3. – P. 333-346. <https://doi.org/10.1144/qjegh2016-142>.
6. Characteristics of PAH tar oil contaminated soils – black particles, resins and implications for treatment strategies / C. Trelu et al // Journal of Hazardous Materials. – 2017. – Vol. 327. – P. 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.062>.
7. Bekbaeva V.K. Agroecological characteristics of soils disturbed by oil production and methods of their recultivation in Dossor / V.K. Bekbaeva, G.P. Metaksa, A.T. Kanaev // EurAsian Journal of BioSciences. – 2019. – Vol. 13. – P. 1967-1972.
8. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязнённых почв / Н.М. Исмаилов. – М.: Наука, 1988. – 42-56 с.
9. Influence of oil pollution on various types of soil / A.F. Tumanyan et al // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2017. – Vol. 53. – P. 369-376. <https://doi.org/10.1007/s10553-017-0813-7>.
10. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation / W. Shen et al // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2016. – Vol. 124. – P. 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.10.005>.
11. Киреева Н.А. Комплексное биотестирование нефтезагрязнённых почв / Н.А. Киреева, Т.Р. Кабиров, И.Е. Дубовик // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 65-69.
12. Зильберман М.В. Биотестирование почв, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами / М.В. Зильберман, Е.А. Порошина, Е.В. Зырянова – Пермь: ФГУ УралНИИ Экология, 2005. – 111 с.
13. Plant – bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils / S. Khan et al // Chemosphere. – 2013. – Vol. 90, № 4. – P. 1317-1332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.045>.
14. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs / M. Chen et al // Biotechnology Advances. – 2015. – Vol. 33, № 6. – P. 745-755. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>.
15. Adam G. Influence of diesel fuel on seed germination / G. Adam, H. Duncan // Environmental Pollution. – 2002. – Vol. 120, № 2. – P. 363-370. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00119-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00119-7).
16. Попова Е.И. Определение фитотоксичности почв города Тобольска методом биотестирования / Е.И. Попова // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24965> (дата обращения: 10.01.2025).
17. Кабиров Р.Р. Альтестирование и альгоиндикация (методические аспекты, практическое использование) / Р.Р. Кабиров. – Уфа: Башкирский педагогический университет, 1995. – 125 с.
18. Фитотоксичность дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик / Е.Н. Богатырева и др. // Почвоведение и агрохимия: Плодородие почв и применение удобрений. – 2020. – № 1(64). – С. 133-142.
19. Фитотестирование в оценке токсичности городских почв / А.В. Прусаченко // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 2. – С. 105-109.
20. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов [Электрон. ресурс]. – Ставрополь, 2005. – URL: <https://www.dissercat.com/content/biotestirovanie-pochv-tekhnogennykh-zon-gorodskikh-territorii-s-ispolzovaniem-rastitelnykh-о> (дата обращения: 08.10.2025).
21. Галицкая П.Ю. Тестирование отходов, почв, материалов с использованием живых систем: учеб.-метод. пособие / П.Ю. Галицкая, С.Ю. Селивановская, Р.Х. Гумерова – Казань: Казанский федеральный университет, 2014. – 57 с.

## References

1. Banks M.K. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum-contaminated soils / M.K. Banks, K.E. Schultz // Water, Air, and Soil Pollution. – 2005. – Vol. 167. – P. 211-219. (In English).
2. Ecotoxicity assessment of aged petroleum sludge using a suite of effects-based end points in earthworm *Eisenia fetida* / S.-J. Wang et al // Environmental Monitoring and Assessment. – 2010. – Vol. 169. – P. 417-428. (In English).

3. Wang W. Literature review on higher plants for toxicity testing / W. Wang // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1991. – Vol. 59. – P. 381-400. (In English).
4. Malachowska-Jutcz A. Toxicity of engine oil contaminated soil made subject to natural attenuation and phytoremediation / A. Malachowska-Jutcz, W. Janosz, J. Rudek // *Ochrona Środowiska*. – 2012. – Vol. 34. – P. 15-20. (In English).
5. Heavy hydrocarbon fate and transport in the environment / D.M. Brown et al // *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. – 2017. – Vol. 50, № 3. – P. 333-346. <https://doi.org/10.1144/qjegh2016-142>. (In English).
6. Characteristics of PAH tar oil contaminated soils – black particles, resins and implications for treatment strategies / C. Trelu et al // *Journal of Hazardous Materials*. – 2017. – Vol. 327. – P. 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.062>. (In English).
7. Bekbaeva V.K. Agroecological characteristics of soils disturbed by oil production and methods of their recultivation in Dossor / V.K. Bekbaeva, G.P. Metaksa, A.T. Kanaev // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2019. – Vol. 13. – P. 1967-1972. (In English).
8. Ismailov N.M. Mikrobiologiya i fermentativnaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv / N.M. Ismailov. – M.: Nauka, 1988. – 42-56 s. (In Russian).
9. Influence of oil pollution on various types of soil / A.F. Tumanyan et al // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 2017. – Vol. 53. – P. 369-376. <https://doi.org/10.1007/s10553-017-0813-7>. (In English).
10. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation / W. Shen et al // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – Vol. 124. – P. 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.10.005>. (In English).
11. Kireeva N.A. Kompleksnoe biotestirovanie neftezagryaznennykh pochv / N.A. Kireeva, T.R. Kabirov, I.E. Dubovik // *Teoreticheskaya i prikladnaya ehkologiya*. – 2007. – № 1. – S. 65-69. (In Russian).
12. Zil'berman M.V. Biotestirovanie pochv, zagryaznennykh neft'yu i nefteproduktami / M.V. Zil'berman, E.A. Poroshina, E.V. Zyryanova – Perm': FGU UraLNII Ehkologiya, 2005. – 111 s. (In Russian).
13. Plant – bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils / S. Khan et al // *Chemosphere*. – 2013. – Vol. 90, № 4. – P. 1317-1332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.045>. (In English).
14. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs / M. Chen et al // *Biotechnology Advances*. – 2015. – Vol. 33, № 6. – P. 745-755. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>. (In English).
15. Adam G. Influence of diesel fuel on seed germination / G. Adam, H. Duncan // *Environmental Pollution*. – 2002. – Vol. 120, № 2. – P. 363-370. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00119-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00119-7). (In English).
16. Popova E.I. Opredelenie fitotoksichnosti pochv goroda Tobol'ska metodom biotestirovaniya / E.I. Popova // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2016. – № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24965> (data obrashcheniya: 10.01.2025). (In Russian).
17. Kabirov R.R. Al'testirovanie i al'goindikatsiya (metodicheskie aspekty, prakticheskoe ispol'zovanie) / R.R. Kabirov. – Ufa: Bashkirskii pedagogicheskii universitet, 1995. – 125 s. (In Russian).
18. Fitotoksichnost' dernovo-podzolistykh pochv v zone vliyaniya zhivotnovodcheskikh kompleksov i ptitsefabrik / E.N. Bogatyreva i dr. // *Pochvovedenie i agrokimiya: Plodorodie pochv i primeneniye udobrenii*. – 2020. – № 1(64). – S. 133-142. (In Russian).
19. Fitotestirovanie v otsenke toksichnosti gorodskikh pochv / A.V. Prusachenko // *Ehkologiya urbanizirovannykh territorii*. – 2010. – № 2. – S. 105-109. (In Russian).
20. Bagdasaryan A.S. Biotestirovanie pochv tekhnogennykh zon gorodskikh territorii s ispol'zovaniem rastitel'nykh organizmov [Elektron. resurs]. – Stavropol', 2005. – URL: <https://www.dissercat.com/content/biotestirovanie-pochv-tekhnogennykh-zon-gorodskikh-territorii-s-ispolzovaniem-rastitelnykh-o> (data obrashcheniya: 08.10.2025). (In Russian).
21. Galitskaya P.YU. Testirovanie otkhodov, pochv, materialov s ispol'zovaniem zhivykh sistem: ucheb.-metod. posobie / P.YU. Galitskaya, S.YU. Selivanovskaya, R.KH. Gumerova – Kazan': Kazanskii federal'nyi universitet, 2014. – 57 s. (In Russian).

### **Информация о финансировании**

Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № AP19679969 «Исследование процессов идентификации ракетного углеводородного топлива в почвах районов эксплуатации ракет-носителей и разработка их гигиенического норматива», послужат основой разработке гигиенического норматива.

**Э.Т. Ермолдина, Е.Ю. Степанова, А.С. Зенина, Ж.Ж. Жумабекова, А.Н. Оразалиева\***

«Инфракос» РМК филиалы,  
050046, Қазақстан, Алматы қ., Абай даңғылы 191,  
\*e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com

### **ВЕГЕТАЦИЯЛЫҚ ТӘЖІРИБЕ ЖАҒДАЙЫНДА КӨМІРСУТЕКТІ ЗЫМЫРАН ОТЫНЫНЫҢ КОНЦЕНТРАЦИЯЛАРЫНЫҢ ШАЛҒАМНЫҢ ӨСУІ МЕН МОРФОФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ**

Бұл ғылыми зерттеу мұнай өнімдерінің, атап айтқанда көмірсутекті зымыран отынының (КЗО) өсімдіктерге фитоуытты әсерін бағалауға арналған. Лабораториялық жағдайда тест-объект ретінде кәдімгі шалғам (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) пайдаланылды. Жұмысты жүргізудің негізгі себебі – зымыран тасығыштардың бөлшектері құлаған аймақтарда ластанған топырақтың экологиялық жағдайын бағалау қажеттілігі болды.

Зерттеудің басты мақсаты – топырақтың КЗО-мен ластану дәрежесі мен өсімдік-индикатордың морфофизиологиялық параметрлеріндегі өзгерістер арасындағы өзара байланысты анықтау болды. Зерттеу барысында бес түрлі топырақ нұсқасы қолданылды: үшеуі КЗО-ның 100, 500 және 1000 мг/кг концентрацияларымен тәжірибелік үлгілер, сондай-ақ екі бақылау үлгісі – стандартты жасанды топырақ үлгісі (КМ) және нақты ластанған аумақтан алынған топырақ (КФ). Биотестілеу алты апта бойы жүргізілді. Эксперимент барысында өну қабілеті, өсінділердің сабақ және тамыр ұзындықтары тіркеліп, олардың негізінде уыттылық индекстері есептелді.

Нәтижелер КЗО-ның өсімдіктердің дамуы мен тұқым өнуіне кері әсерін көрсетіп отыр. Ең төменгі 100 мг/кг концентрациясында сабақ пен тамыр ұзындығының шамалы қысқаруы байқалды. Алайда КЗО концентрациясы 500 және 1000 мг/кг-ге жеткенде теріс әсер айқын көрінді: тұқымның өнуі тиісінше 40% және 25%-ға дейін төмендеді, ал сабақ пен тамыр ұзындығы бақылау үлгілерімен салыстырғанда 2-4 есеге қысқарды.

Бақылау нәтижелері КЗО фитоуыттылығының дозаға тәуелді сипатын анық көрсетеді. Алынған деректер ластану деңгейін бағалау нормативтерін әзірлеу, экологиялық мониторинг жүргізу және бүлінген аумақтарды қалпына келтіру шараларын жоспарлау үшін практикалық тұрғыдан маңызды.

**Түйін сөздер:** фитоуыттылық, зымыран отыны, көмірсутектер, топырақтың ластануы, эколоуыттылық, экологиялық қауіпсіздік.

**E. Yermoldina, Y. Stepanova, A. Zenina, Z. Zhumabekova, A. Orazaliyeva\***

Branch of RSE «Infracos»,  
050046, Kazakhstan, Almaty, 191 Abay Ave.  
\*e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com

### **EFFECTS OF HYDROCARBON ROCKET FUEL CONCENTRATIONS ON THE GROWTH AND MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF RADISH UNDER VEGETATION EXPERIMENT CONDITIONS**

The scientific study is devoted to the assessment of phytotoxic effects of petroleum products, in particular hydrocarbon rocket fuel (HCF), on plants. Under laboratory conditions, radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) was used as a test subject. The reason for the work was the necessity of ecological assessment of soils contaminated in the areas where rocket carrier parts fall.

The main task was to determine the relationship between the degree of soil contamination by HCM and changes in morphophysiological parameters in the indicator plant. Five soil variants were used in the study: three experimental ones with HCV content in concentrations of 100, 500 and 1000 mg/kg, as well as two control samples – a standard artificial soil reference (ASR) and soil from a real contaminated area (CA). Biotesting was carried out for six weeks. During the experiment, germination, stem and root lengths of seedlings were recorded and toxicity indices were calculated.

*The results demonstrated the depressing effect of UHG on plant development and seed germination. At minimum concentrations of 100 mg/kg, only a slight reduction in shoot and root length was observed. However, when the concentration was increased to 500 and 1000 mg/kg, the negative effect became more pronounced: seed germination decreased to 40% and 25%, respectively, and the length of stems and roots decreased 2-4 times compared to control samples.*

*The observed changes clearly indicate the dose-dependent nature of UHG toxicity. The obtained data are of practical value for the development of pollution assessment standards, environmental monitoring and planning of measures for the restoration of the affected territories.*

**Key words:** *phytotoxicity, rocket fuel, hydrocarbons, soil contamination, ecotoxicity, environmental safety.*

#### **Сведения об авторах**

**Эльмира Тлеубаевна Ермолдина** – PhD, филиал РГП «Инфракос» в г. Алматы; e-mail: ermoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-1342>.

**Елена Юрьевна Степанова** – заместитель начальника экологического отдела Филиала РГП «Инфракос» в г. Алматы; e-mail: s.ell@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9983-5857>.

**Асель Сакеновна Зенина** – заместитель начальника научно-технического отдела Филиала РГП «Инфракос» в г. Алматы; e-mail: abelhodzhayeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9181-1062>.

**Жазира Жаксылыковна Жумабекова** – PhD, начальник научно-технического отдела Филиала РГП «Инфракос» в г. Алматы; e-mail: zh.dzhuzi@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1854-798X>.

**Арай Назарбайқызы Оразалиева\*** – магистр, Филиал РГП «Инфракос» в г. Алматы; e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5480-4835>.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Эльмира Тлеубаевна Ермолдина** – PhD, «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ.; e-mail: ermoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-1342>.

**Елена Юрьевна Степанова** – «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ., экология бөлім басшысының орынбасары; e-mail: s.ell@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9983-5857>.

**Асель Сакеновна Зенина** – «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ., ғылыми-техникалық бөлім басшысының орынбасары; e-mail: abelhodzhayeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9181-1062>.

**Жазира Жаксылыковна Жумабекова** – PhD, «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ.; e-mail: zh.dzhuzi@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1854-798X>.

**Арай Назарбайқызы Оразалиева\*** – Магистр, PhD, «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ.; e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5480-4835>.

#### **Information about the authors**

**Elmira Tleubaevna Yermoldina** – PhD, branch of RSE «Infracos» in Almaty; e-mail: ermoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-1342>.

**Yelena Yurevna Stepanova** – Deputy Head of Ecological Department, «Infracos» RSE Branch in Almaty; e-mail: s.ell@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9983-5857>.

**Asel Sakenovna Zenina** – Deputy Head of Scientific and Technical Department, branch of RSE «Infracos» in Almaty; e-mail: abelhodzhayeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9181-1062>.

**Zhazira Zhaksylykovna Zhumabekova** – PhD, Head of Scientific and Technical Department of the Branch of RSE «Infracos» in Almaty; e-mail: zh.dzhuzi@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1854-798X>.

**Aray Nazarbaykyzy Orazaliyeva\*** – MSc, branch of RSE «Infracos» in Almaty; e-mail: orazaliyevaaray@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5480-4835>.

*Поступила в редакцию 24.06.2025*

*Поступила после доработки 07.10.2025*

*Принята к публикации 08.10.2025*