

Научная статья  
УДК 574.24  
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-83-88>  
EDN OKOCWK

## Изучение реакции бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) на нефтяное загрязнение

*Елизавета Александровна Степаненко<sup>1</sup>, Ирина Владимировна Волкова<sup>2✉</sup>,  
Виктория Александровна Алферова<sup>3</sup>, Лейла Камидуллаевна Сейдалиева<sup>4</sup>*

<sup>1-3</sup>*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, gridasova@mail.ru<sup>✉</sup>*

<sup>4</sup>*Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,  
Актау, Республика Казахстан*

**Аннотация.** Исследуются реакции бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) в условиях нефтяного загрязнения почвы, приводятся результаты по показателям всхожести, длины побега, длины корня, гибели проростков и морфологическим изменениям. Представлены результаты исследований с использованием модельных загрязненных почв (концентрации 2,5; 5 и 7,5 г/кг) параллельно с контролем (чистая почва). Исследования проводились в эквивалентных условиях (одна марка грунта, температурный режим, уровень освещенности, влажности и т. д.). Выявлено, что наиболее показательными для данного тест-объекта являются результаты всхожести в совокупности с результатами гибели и морфологическими изменениями. При малых и средних концентрациях нефти (2,5 и 5 г/кг) отмечается увеличение процента всхожести, а при высокой концентрации (7,5 г/кг) – снижение. При концентрации 5 г/кг вместе с увеличением всхожести наблюдается последующая гибель проростков (2 %), а при 7,5 г/кг кроме снижения всхожести наблюдается увеличение гибели (4 %) и некоторые морфологические изменения (признаки хлороза). Отмечено, что оптимальной концентрацией загрязнения, при которой повышается процент всхожести, увеличивается длина стебля и снижается незначительно длина корня, является концентрация 5 г/кг. В условиях данного уровня загрязнения растения не подвергаются значительным негативным изменениям (потери в виде гибели минимальные – 1 проросток), что свидетельствует о толерантности и приспособленности данного объекта к определенным концентрациям и дает возможность использования его в дальнейшем в качестве объекта фиторемедиации.

**Ключевые слова:** фитотестирование тест-культуры, нефтяное загрязнение, почва, бархатцы прямостоячие, концентрация

**Для цитирования:** Степаненко Е. А., Волкова И. В., Алферова В. А., Сейдалиева Л. К. Изучение реакции бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) на нефтяное загрязнение // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 2. С. 83–88. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-83-88>. EDN OKOCWK.

Original article

## Studying reaction of erect marigolds (*Tagetes erecta*) to oil pollution

*Elizaveta A. Stepanenko<sup>1</sup>, Irina V. Volkova<sup>2✉</sup>, Victoria A. Alferova<sup>3</sup>, Leila K. Seidalieva<sup>4</sup>*

<sup>1-3</sup>*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, gridasova@mail.ru<sup>✉</sup>*

<sup>4</sup>*S. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering,  
Aktau, Republic of Kazakhstan*

**Abstract.** The article focuses on studying the reaction of erect marigolds (*Tagetes erecta*) on oil pollution of the soil and presents the results on germination, shoot length, root length, death of seedlings and morphological changes. The study results were shown using model contaminated soils (concentrations of 2.5 g/kg, 5 g/kg and 7.5 g/kg) in parallel with the control (clean soil). The studies were carried out under equivalent conditions (similar grade of soil, temperature regime, light level, humidity, etc.). It was found that the results of germination in combination with the results of death and morphological changes are most significant for this test object. At low and medium concentrations of oil (2.5 g/kg and 5 g/kg) there is registered an increasing percentage of germination, and at high concentrations (7.5 g/kg) there is a decrease. At concentration of 5 g/kg, along with increasing germination, the subsequent death of seedlings

(2%) is observed. And at concentration of 7.5 g/kg, in addition to a decreasing germination, there is registered an increasing death (4%) and specific morphological changes (signs of chlorosis). It was stated that the optimal concentration of contamination is 5 g/kg, at which the percentage of germination increases, the length of the stem grows and the length of the root decreases slightly. At such level of pollution plants are not subject to significant negative changes (death losses are minimal - 1 seedling), which indicates the tolerance and adaptability of this object to certain concentrations and makes it possible to use it in the future as an object of phytoremediation.

**Keywords:** phytotesting test culture, oil pollution, soil, erect marigolds, concentration

**For citation:** Stepanenko E. A., Volkova I. V., Alferova V. A., Seidalieva L. K. Studying reaction of erect marigolds (*Tagetes erecta*) to oil pollution. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;2:83-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-83-88>. EDN OKOCWK.

### Введение

В современном мире экстенсивный путь развития общества приводит к тому, что все растительные формы жизни испытывают на себе различные воздействия антропогенной деятельности, результатом которой является изменение их морфологических особенностей. Нефтяное загрязнение – один из основных антропогенных факторов, ведущих к гибели растений. Его опасность, прежде всего, заключается в том, что растительные формы имеют повышенную чувствительность к данному виду загрязнений [1].

Отрицательное воздействие нефтяного загрязнения почвенного покрова, впоследствии влияющего на растения, заключается в токсическом действии углеводородов нефти, ведущем к изменению физико-химических свойств почвы. Нефть обволакивает частицы почвы, в результате чего увеличивается гидрофобность почвы, она начинает терять способность впитывать и удерживать воду. Помимо этого, из почвенных пор постепенно вытесняется воздух, происходит нарушение как водного, так и воздушного режима; уменьшается количество элементов минерального питания [2].

Несмотря на губительное воздействие нефтяного загрязнения, изучение адаптационных механизмов растений делает возможным выявление признаков, способных обеспечить устойчивость растений в условиях данного вида загрязнения, с целью их последующего использования в процессе разработки методов рекультивации земель. Изучаемые признаки также можно использовать как индикаторы для характеристики состояния почв при нефтяном загрязнении [3].

Сегодня повышенное внимание сконцентрировано на изучении токсичности почв. Наиболее эффективным и недорогим методом для определения токсичности почвы является фитотестирование. Метод применяется при малых и средних концентрациях из-за того, что высокие показатели концентрации могут привести к гибели всех экспериментальных растений. Для точной оценки состояния почв, загрязненных нефтью, с помощью фитотестирования необходимо подобрать тест-культуры, обладающие наиболее информативными показателями [4].

Фитотестирование – биологический метод контроля, позволяет оценить токсичность сред, а также различных материалов, химикатов и промышленных отходов и дать экотоксикологическую оценку почвы по суммарному действию токсикантов, присутствующих в почве [5, 6].

### Объекты и методы исследования

Исследование проводилось на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Объектом исследования служили семена бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) – однолетних травянистых растений семейства Астровых (*Asteraceae*). Центр происхождения – Центральная Америка, в диком виде произрастает в Центральной и Южной Америке. Широко используется как декоративное растение (рис. 1).



Рис. 1. Бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta*)

Fig. 1. Erect marigolds (*Tagetes erecta*)

Данная культура была выбрана в связи с тем, что она обладает повышенной чувствительностью к нефтяному загрязнению почвы и быстро всходит [7].

За тест-функцию у растения принимали всхожесть семян, длину проростка и длину корня проростка.

В качестве субстрата использовали грунт, в состав которого входит смесь торфов различной степени разложения, термически обработанный песок речной, комплексное минеральное удобрение, мука известняковая (доломитовая). В нем также содержатся азот (200 мг/л), фосфор (275,0 мг/л), калий (275,0 мг/л). Кислотность – 5,5–7,0.

Нефть, используемая в модельном эксперименте, отобрана на одном из месторождений Каспийского моря. Удельный вес нефти колеблется от 0,8721 до 0,9122 г/см<sup>3</sup>. Для нее характерна парафинность – 0,8–3 %, содержание акцизных смол – 16 %, серы – 2 %, керосиновые фракции составляют 35–41 %. Нефть использовалась в различных дозах: 2,5; 5 и 7,5 г/кг. Именно эти концентрации отмечают среднюю, высокую и очень высокую концентрацию возможного загрязнения.

Метод определения всхожести исследуемых семян использовался в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Смена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» [8]. Фитотоксичность оценивалась по количественному показателю прорастания семян (лабораторная всхожесть) и биометрическому показателю (длина проростка и корня). Всхожесть была рассчитана по формуле

$$BC = 100 - (П - T \cdot K),$$

где BC – всхожесть семян, %; П – количество пораженных семян, %; T – количество травмированных семян, %; K – поправочный коэффициент.

Для проведения фитотестирования использовались четыре контейнера с почвой, один из которых являлся контрольным образцом (без внесения нефти). В остальных контейнерах почву смешали с разными навесками нефти для получения ее концентраций в почве: 2,5; 5 и 7,5 г/кг. Далее проделали небольшие лунки для семян в почве, глубина лунок колеблется от 2 до 3 см. В каждый контейнер высаживалось по 50 семян бархатцев прямостоячих, после полива дистиллированной водой все контейнеры были накрыты пленкой.

Экспериментальные образцы выращивались в одинаковых условиях. В процессе эксперимента производилось регулярное наблюдение, полив осуществлялся раз в два дня. Параллельно с этим производилось фиксирование общего состояния растений, всхожесть и степень гибели проростков в течение всего периода наблюдений (15 дней). По прошествии 15 дней учитывались всхожесть и следующие морфологические показатели: длина стебля, длина корня.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно полученным данным (рис. 2) процент всхожести растений в контейнерах с концентрациями 2,5 и 5 г/кг выше, чем в контрольном замере на 4 %, при этом с увеличением концентрации нефти до 7,5 г/кг всхожесть снижается на 4 % по сравнению с контролем и на 8 % по сравнению со всхожестью в контейнерах с концентрациями 2,5 и 5 г/кг.

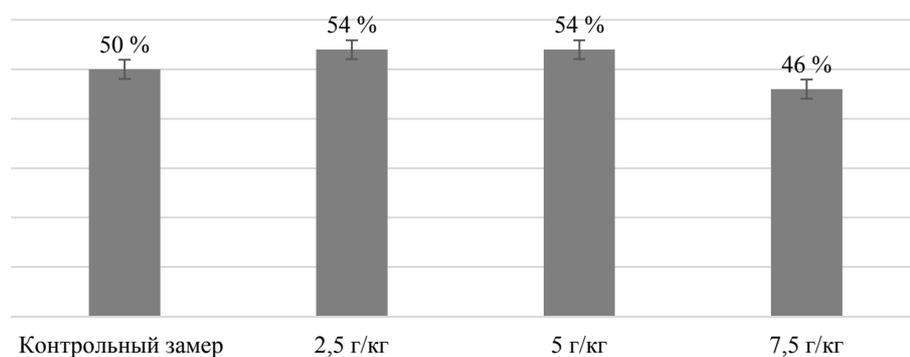


Рис. 2. Всхожесть бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*)

Fig. 2. Germination of erect marigolds (*Tagetes erecta*)

Полученные результаты (рис. 2) свидетельствуют о стимулирующем эффекте используемой нефти на процесс всхожести бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) в небольших концентрациях (2,5 и 5 г/кг) и ингибирующем эффекте при увеличении концентрации до 7,5 г/кг.

Также следует отметить, что в образцах с концентрациями 5 и 7,5 г/кг была зафиксирована гибель проросших растений. В первом случае гибель проростков составила 2 %, во втором случае – 4 %. При концентрации нефтяного загрязнения 7,5 г/кг были зафиксированы признаки хлороза у двух образцов.

В процессе подсчета средней длины побега было отмечено, что при концентрации 5 г/кг данный показатель дал наилучшие результаты (3,20 см), превысив незначительно контрольный замер (3,17 см) на 0,03 см. Образцы с концентрациями 2,5 и 7,5 г/кг были меньше по сравнению с контрольным замером на 0,28 и 0,39 см соответственно (рис. 3). Отметим, что растения, выращенные в контейнере,

где почва была загрязнена нефтью в концентрации 5 г/кг, отличались более крепким и толстым стеблем. При исследовании длины побега нельзя не заметить, что концентрация нефти 5 г/кг в почве оказывает небольшое стимулирующее действие на рост побега, в то время как 2,5 и 7,5 г/кг замедляют процесс роста.

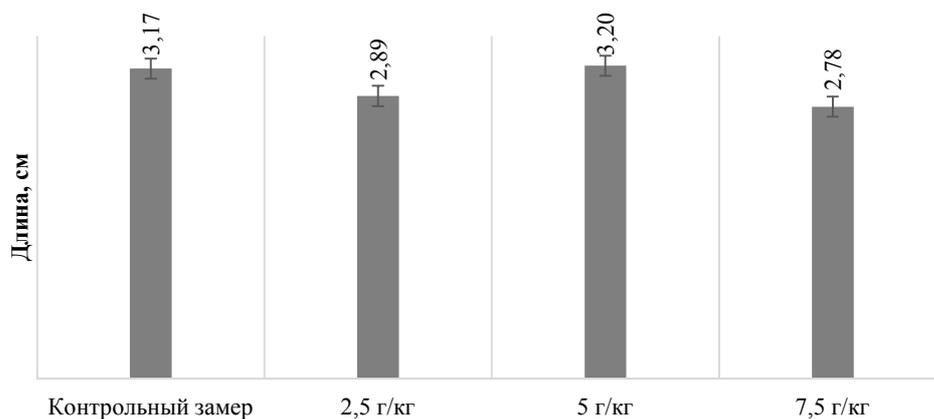


Рис. 3. Средняя длина побега

Fig. 3. Average shoot length

Средняя длина корня (рис. 4) в контрольном замере (3,46 см) оказалась выше, чем в образцах с искусственным загрязнением. Из образцов с внесенной нефтью наилучшие результаты показали образцы, выращенные при концентрации 5 г/кг нефти в почве (3,26 см), что всего на 0,20 см

меньше, чем в контроле. Самый низкий результат был отмечен у образцов, выращенных при концентрации 7,5 г/кг нефти в почве (2,70 см), что на 0,76 см меньше, чем длина корня в контрольных образцах, и на 0,56 см меньше, чем в образцах, выращенных при концентрации 5 г/кг.

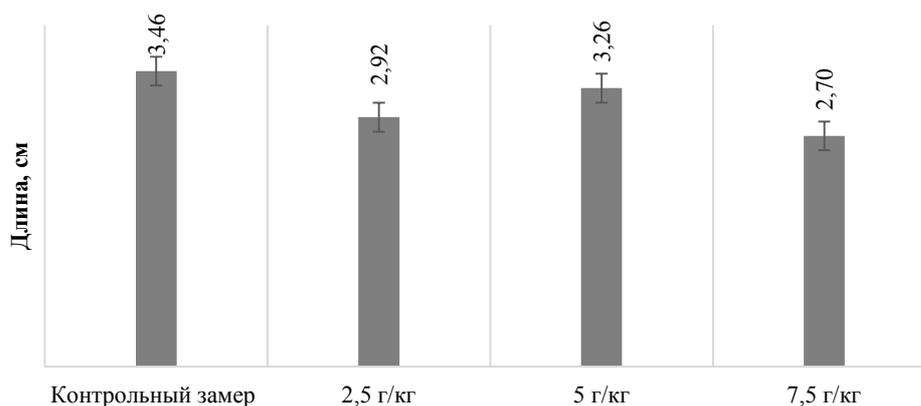


Рис. 4. Средняя длина корня

Fig. 4. Average root length

Объяснить полученные результаты можно снижением проницаемости почвы для воды и воздушного обмена из-за обволакивающих и гидрофобных свойств нефти. Увеличение длины корня при концентрации нефти 5 г/кг против образца, выра-

щенного при концентрации нефти 2,5 г/кг, происходит благодаря общему укреплению растения. Стимулятором в данном случае могло послужить увеличение количества питательных веществ, вы-

званное разложением нефтяных органических соединений [9, 10].

### Заклучение

Согласно результатам анализа полученных данных загрязнение нефтью до 2,5 г/кг не оказывает негативного воздействия на всхожесть бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*); более того, данная концентрация оказывает стимулирующее действие (всхожесть выше, чем в контроле, на 4 %). Загрязнение 5 г/кг также стимулирует всхожесть (всхожесть выше, чем в контроле, на 4 %), но и способно в дальнейшем вызвать гибель (2 %). А при увеличении загрязнения до 7,5 г/кг наблюдаются негативные последствия в виде хлороза, гибели (4 %) и снижение всхожести (на 4 % ниже, чем в контроле).

На длину побега небольшое стимулирующее действие оказывает загрязнение почвы нефтью в концентрации 5 г/кг (длина выше, чем в контрольных образцах, на 0,03 см). Длина корня во всех образцах, выращенных в условиях загрязнения, ниже, чем в контроле). Самые низкие показате-

ли по длине побега (2,78 см) и корня (2,70 см) у образцов, выращенных при концентрации 7,5 г/кг.

Соответственно, при использовании бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) в качестве тест-объекта особое внимание стоит уделить всхожести, т. к. при значительном увеличении концентрации нефти наблюдается снижение, а при небольших и средних концентрациях – увеличение показателей. Использование показателя всхожести в совокупности с показателями гибели и морфологическими изменениями позволяет определить примерный диапазон уровня загрязнения почвы. Длина побега и корня при использовании данной тест-культуры являются менее показательными, т. к. и при низких и при высоких концентрациях наблюдается снижение длины. Но несмотря на это, бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta*) следует рассмотреть не только как тест-объект для фитотестирования, но и как объект для фиторемедиации нефтяных загрязнений почв. Увеличение всхожести, длины побега и незначительное уменьшение длины корня при концентрации 5 г/кг дает возможность выращивать эту культуру при средних загрязнениях почвы.

### Список источников

1. Назаров А. В., Иларионов С. А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Письма в междунар. науч. журн. «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 1. С. 60–65.
2. Алиев С. А., Гаджиев Д. А. Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв // Изв. Акад. наук Азербайджан. ССР. Сер.: Биологические науки. 1977. № 2. С. 46.
3. Киреева Н. А., Кабиров Т. Р., Дубовик И. Е. Комплексное биотестирование нефтезагрязненных почв // Теорет. и приклад. экология. 2007. № 1. С. 65–69.
4. Гринчишин Н. Н. Фитотестирование нефтезагрязненных почв // Экология и защита окружающей среды: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19 мая 2016 г.). Минск: Изд-во БГУ, 2016. С. 122–123.
5. Еремченко О. З., Митракова Н. В. Фитотестирование почв и техногенных поверхностных образований в урбанизированных ландшафтах. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitotestirovanie-pochv-i-tehnogennyh-poverhno-stnyh-obrazovaniy-v-urbanizirovannyh-landshaftah> (дата

- обращения: 27.02.2023).
6. Чеснокова С. М., Чугай Н. В. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие. Ч. 2. Методы биотестирования. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008. 92 с.
7. Накбанпоте У., Меесунгноен О., Прасад М. Потенциал декоративных растений для фиторемедиации тяжелых металлов и получения дохода // Биоремедиация и биоэкономика. Elsevier, 2016. С. 179–217.
8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения схожести. М.: Изд-во стандартов, 2004. 64 с.
9. Назаров А. В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестн. Перм. ун-та. 2007. № 5 (10). С. 134–141.
10. Шилова И. И. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 159–168.

### References

1. Nazarov A. V., Ilarionov S. A. Izuchenie prichin fitotoksichnosti neftezagriznennykh pochv [Studying causes of phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Pis'ma v mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Alternativnaia energetika i ekologiya»*, 2005, no. 1, pp. 60-65.
2. Aliev S. A., Gadzhiev D. A. Vliianie zagrizneniia neftiannykh organicheskim veshchestvom na aktivnost' biologicheskikh protsessov pochv [Influence of pollution by petroleum organic matter on activity of biological processes in soils]. *Izvestiia Akademii nauk Azerbaidzhanskoi SSR. Seriya: Biologicheskie nauki*, 1977, no. 2, p. 46.
3. Kireeva N. A., Kabirov T. R., Dubovik I. E. Kompleksnoe biotestirovanie neftezagriznennykh pochv [Com-

- prehensive biotesting of oil-contaminated soils]. *Teoreticheskaia i prikladnaia ekologiya*, 2007, no. 1, pp. 65-69.
4. Grinchishin N. N. Fitotestirovanie neftezagriznennykh pochv. *Ekologiya i zashchita okruzhaiushchei sredy [Phytotesting of oil-contaminated soils. Ecology and environment protection]. Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Minsk, 19 maia 2016 g.)*. Minsk, Izd-vo BGU, 2016. Pp. 122-123.
5. Eremchenko O. Z., Mitrakova N. V. *Fitotestirovanie pochv i tekhnogennykh poverkhnostnykh obrazovaniy v urbanizirovannykh landshaftakh* [Phytotesting of soils and technogenic surface formations in urban landscapes]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitotestirovanie-pochv-i-tehnogennykh-poverkhnostnykh-obrazovaniy-v-urbanizirovannykh-landshaftakh>

6. Chesnokova S. M., Chugai N. V. *Biologicheskie metody otsenki kachestva ob"ektov okruzhaiushchei sredy: uchebnoe posobie* [Biological methods for assessing quality of environmental objects: textbook]. Part 2. Metody biotestirovaniia. Vladimir, Izd-vo VIGU, 2008. 92 p.

7. Nakbanpote U., Meesungnoen O., Prasad M. Potential dekorativnykh rastenii dlia fitoremediatsii tiazhelykh metallov i polucheniia dokhoda [Potential of ornamental plants for heavy metal phytoremediation and income generation]. *Bioremediatsiia i bioekonomika*. Elsevier, 2016. Pp. 179-217.

8. GOST 12038-84. *Semena sel'skokhoziaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniia skhozhesti* [GOST 12038-84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining similarity]. Moscow, Izd-vo standartov, 2004. 64 p.

9. Nazarov A. V. Vliianie nefitianogo zagriazneniia pochvy na rasteniia [Influence of oil pollution of soil on plants]. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2007, no. 5 (10), pp. 134-141.

10. Shilova I. I. Biologicheskaiia rekultivatsiia neftezagriaznennykh zemel' v usloviakh taizhnoi zony [Biological reclamation of oil-contaminated lands in conditions of taiga zone]. *Vosstanovlenie neftezagriaznennykh pochvennykh ekosistem*. Moscow, Nauka Publ., 1988. Pp. 159-168.

Статья поступила в редакцию 31.03.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2023; принята к публикации 10.05.2023  
The article was submitted 31.03.2023; approved after reviewing 10.04.2023; accepted for publication 10.05.2023

### Информация об авторах / Information about the authors

**Елизавета Александровна Степаненко** — ассистент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; Liza\_10.03.97@mail.ru

**Elizaveta A. Stepanenko** — Lecturer of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; Liza\_10.03.97@mail.ru

**Ирина Владимировна Волкова** — доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; gridasova@mail.ru

**Irina V. Volkova** — Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; gridasova@mail.ru

**Виктория Александровна Алферова** — студент, направление «Экология и природопользование»; кафедра гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; vika.alferova.02@mail.ru

**Victoria A. Alferova** — Student, training area "Ecology and Environmental Management"; the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; vika.alferova.02@mail.ru

**Лейла Камидуллаевна Сейдалиева** — старший преподаватель кафедры экологии и геологии; Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова; leilaaktau71@mail.ru

**Leila K. Seidalieva** — Senior Lecturer of the Department of Ecology and Geology; S. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering; leilaaktau71@mail.ru

