

УДК 504.53.054:547.91+633

ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ НА РАЗВИТИЕ ЭСПАРЦЕТА НА ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Е.В. Гафарова, Г.А. Ситдикова, Н.Л. Ларионова, С.К. Зарипова

Аннотация

Изучалось влияние цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашанского и Чувашского месторождений на развитие травянистого растения – эспарцета – потенциального фитомелиоранта выщелоченного чернозема Закамья Республики Татарстан (РТ). Установлено положительное влияние минерала на развитие корневой системы и зеленой массы эспарцета, в том числе на фоне легких углеводородов (до 2%) в почве. Внесение цеолитов привело к снижению метаболического коэффициента микробиоценоза почвы.

Введение

Загрязнение почв углеводородами (УВ) представляет реальную угрозу окружающей среде. Нефть и нефтепродукты являются одними из самых опасных и широко распространенных загрязнителей природных экосистем.

Нефтепродукты, попадая в почву, не локализируются в месте разлива, а распространяются по профилю почвы, как в нижележащие почвенные горизонты, так и по почвенному периметру [1]. Миграция УВ зависит от их химических свойств. УВ легких фракций, оказывающие токсическое действие на почвенные организмы, распространяются в почвенном слое быстрее и легче, чем высокомолекулярные УВ.

Для сдерживания распространения загрязнения по профилю почвы предлагается использовать природные сорбенты цеолиты. Цеолиты характеризуются большой внутренней и внешней поверхностью, высокой способностью к ионообмену и, следовательно, являются хорошими сорбентами как неорганических, так и органических молекул [2, 3]. Применение цеолитсодержащих пород (ЦСП) для снижения негативного влияния возможных проливов загрязнителей на почвенную экосистему представляется весьма перспективным.

С другой стороны, к числу эффективных как по экологическим, так и по экономическим параметрам методов очистки загрязненных почв относят фиторемедиацию. Развитие растений на загрязненных почвах при этом приводит к увеличению численности и к повышению активности микроорганизмов почвы [5]. Именно микроорганизмы могут использовать углеводороды как источник углерода и разлагать его до CO_2 и H_2O , а также трансформировать контаминант в процессе катаболизма [4].

О благоприятном влиянии ЦСП на растения сообщает ряд авторов [6–8], но как будет развиваться растение в почве, загрязненной УВ, на фоне ЦСП не из-

вестно. Характер влияния ЦСП на микробиоценоз почв при загрязнении их УВ также не изучен.

В данной статье представлены данные о влиянии углеводородного загрязнения и ЦСП различного происхождения на биометрические параметры потенциального фитомелиоранта – эспарцета, а также некоторые биологические параметры этой почвы.

Материалы и методы

Почва. Выщелоченный тяжелосуглинистый чернозем Алексеевского района Татарстана, имеющий следующие характеристики: солевой рН – 5,28; легко гидролизуемый азот – 80 мг / 100 г почвы, фосфор P_2O_5 – 99 мг / 100 г почвы, обменный калий K_2O – 99 мг / 100 г почвы.

Загрязнитель. Для загрязнения была использована смесь нефтяных УВ с температурой кипения 150–210°C. Уровень загрязнения – 1% и 2% от веса сухой почвы.

Сорбент. В работе использовались ЦСП Татарско-Шатрашанского и Чувашского месторождений. Сорбенты вносили в почву в концентрациях 5 и 25%.

Растения. В опыте использовались аборигенные для РТ травы – кострец, козлятник и эспарцет.

Были заложены следующие варианты опыта: 1) загрязненная УВ почва с одним из растений, 2) загрязненная УВ почва с 5% татарской ЦСП, 3) загрязненная УВ почва с 5% чувашской ЦСП, 4) загрязненная УВ почва с 25% татарской ЦСП, 5) загрязненная почва с 25% чувашской ЦСП. В вариантах 2–5 выращивали эспарцет. Контролями служили «чистая» почва и «чистая» почва из под соответствующих растений. Каждый опыт был проведен в трех повторностях.

Культивирование растений вели в вегетационных сосудах в аппарате «Флора» в течение 14 суток.

Биометрические параметры растений. Всхожесть высеянных культур констатировали визуально на 3–7 день. Через 14 дней массу зеленых частей и корней растений высушивали и измеряли весовым методом.

Биологические параметры почвы. Метаболический коэффициент рассчитывали как отношение дыхания небогащенной почвы к уровню микробной биомассы. Количество углерода микробной биомассы оценивали экстракционно-фумигационным методом [9], интенсивность дыхания небогащенной почвы – газо-хроматографическим методом [10].

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы была проведена сравнительная оценка устойчивости ряда трав, растущих в Республике Татарстан, к токсическому действию углеводородов.

Одним из наиболее распространенных и важных показателей влияния исследуемых факторов на растение является всхожесть семян. Известно, что нефтяные УВ в силу различных причин ингибируют всхожесть и развитие растений [11, 12]. Из изученных в работе трех растений только эспарцет показал высокую – до

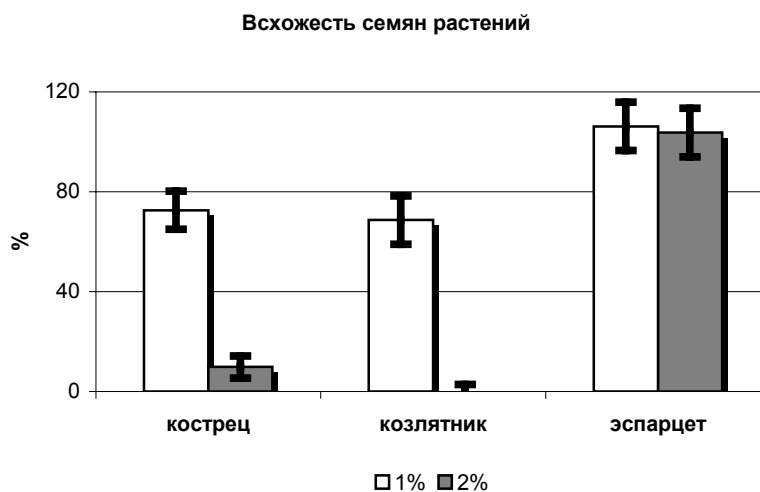


Рис. 1. Влияние углеводородного загрязнения на всхожесть семян, % (за 100% принята всхожесть в незагрязненной почве)

100% – всхожесть при всех уровнях УВ-загрязнения (рис. 1). Семена костреца и козлятника показали большую чувствительность к токсическому действию легких УВ: при 2% уровне загрязнения всхожесть козлятника падала до 0%.

Как правило, при УВ-загрязнении почвы масса корневой и зеленой части растения уменьшается [13]. Из биометрических показателей развития потенциальных фитомелиорантов существенным является развитие корневой системы, поскольку многочисленными исследованиями показано, что именно в прикорневой зоне растений происходит массовое развитие микроорганизмов, в том числе утилизирующих либо трансформирующих органические загрязнители [14–17].

В наших опытах наибольшая масса корней за 14 дней развивалась у эспарцета, причем при 1%-ном УВ-загрязнении она увеличивалась почти в 2 раза (рис. 2). Козлятник проявил относительную устойчивость к токсическому действию легких УВ: 1%-ный уровень загрязнения практически не отразился на развитии корневой системы. Наименьшее развитие корневой массы и чувствительность к наличию УВ в почве за этот период показал кострец.

Что касается зеленой массы, то ее развитие подавлялось (в случае козлятника) или достоверно не менялось (в случае костреца и эспарцета) при росте растений на загрязненной почве (рис. 2). Наиболее чувствительным к УВ по этому параметру оказался козлятник, а наибольшую массу зеленых частей растения при всех уровнях загрязнения имел эспарцет.

Анализ напряженности биохимических процессов почвы показал снижение метаболического коэффициента как при УВ-загрязнении, так и при выращивании растений (табл. 1). Интересен тот факт, что при выращивании растений на чистой почве данный показатель под эспарцетом был наименьшим. Однако на фоне УВ загрязнения при выращивании эспарцета метаболический коэффициент возрастал вдвое, достигая уровня показателя в почве без растений. Под другими травами показатель активности микробиоценоза закономерно снижался с ростом уровня загрязнения, достигая минимального значения под кострцом.

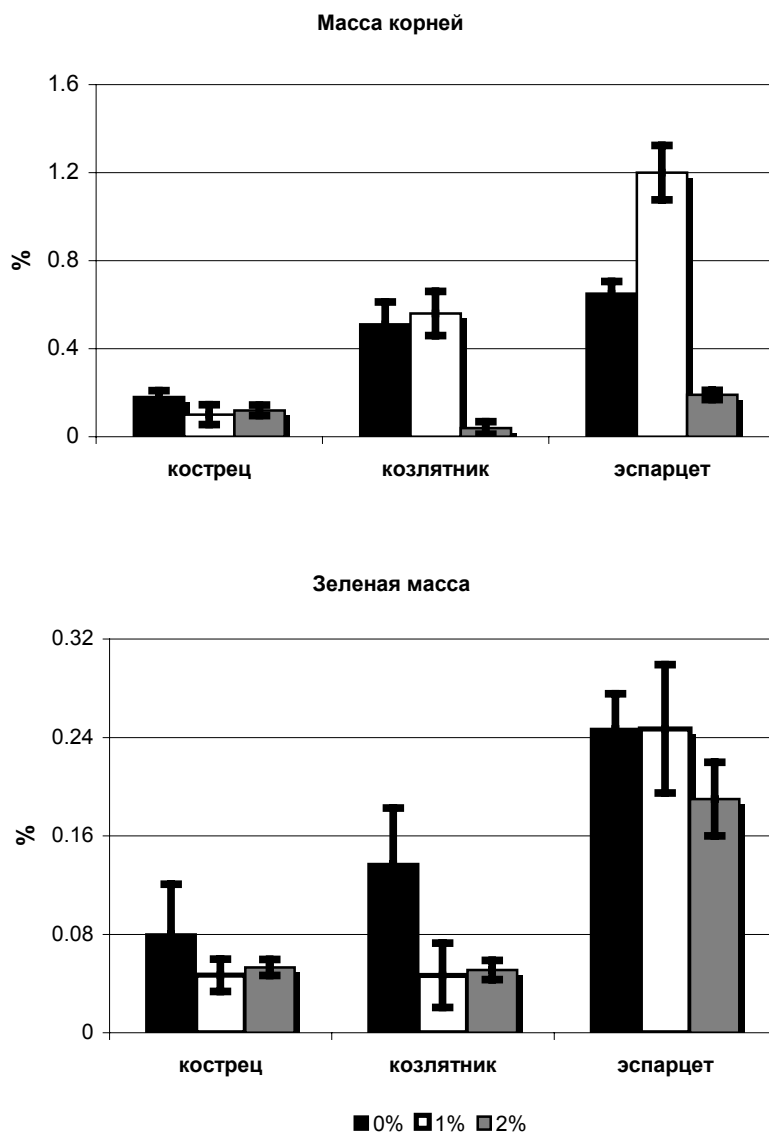


Рис. 2. Развитие корней и зеленой массы растений при УВ-загрязнении выщелоченного чернозема

Таким образом, по биометрическим параметрам растений, выросших на загрязненной почве, метаболическому потенциалу почвенного биоценоза при загрязнении стало очевидным, что наиболее приспособленным к росту на загрязненном УВ выщелоченном черноземе и устойчивым к токсическому действию углеводородного загрязнителя является бобовое травянистое растение эспарцет. Дальнейшие опыты по выяснению влияния ЦСП разных месторождений проводились с использованием этого растения.

Табл. 1

Метаболический коэффициент ($\text{мг CO}_2 - \text{C} / \text{мг C}_{\text{микр}} \times \text{ч}$) загрязненного УВ выщелоченного чернозема при выращивании трав

| Вариант опыта | Уровень загрязнения, % | | |
|--------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 |
| Почва без растений | 0.232±0.015 | 0.047±0.003 | 0,069±0,008 |
| Под эспарцетом | 0.023±0.002 | 0.047±0.012 | 0,045±0,003 |
| Под козлятником | 0.069±0.004 | 0.044±0.004 | 0,022±0,003 |
| Под кострцом | 0.029±0.001 | 0.013±0.017 | 0,019±0,002 |

Цеолитсодержащие породы уже нашли применение в сельском хозяйстве как улучшители физических свойств почв, добавки к кормам в животноводстве, в экологических технологиях в качестве сорбентов [8]. Используемые в представляемой работе минералы добываются в Республике Татарстан и Чувашской Республике. Они отличаются по содержанию клиноптилолита. Использование данных сорбентов для минимизации загрязнения почв УВ зависит от характера и степени их влияния на микробиоценоз загрязненной почвы, а также на развитие на ней растений как фитосоставляющей части технологий биоремедиации.

Всхожесть семян эспарцета

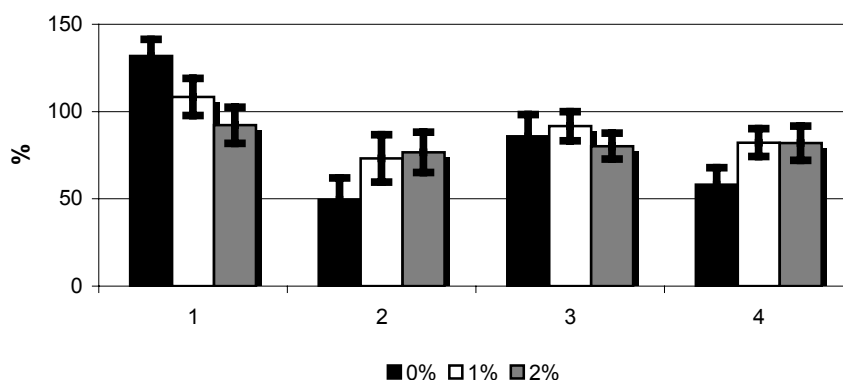


Рис. 3. Влияние ЦСП на всхожесть эспарцета на УВ-загрязненной почве, % (за 100% принята всхожесть эспарцета на незагрязненной почве без ЦСП)

В нашем опыте внесение 5% ЦСП обоих месторождений в почву привело к снижению всхожести семян эспарцета на 18–50% (рис. 3). Однако при внесении в почву 25% минералов всхожесть семян возрастала. Для чувашской породы увеличение всхожести относительно меньшей дозы сорбента отмечено в незагрязненной почве, а в случае татарстанской ЦСП отмечено улучшение прорастания семян эспарцета по сравнению с почвой без ЦСП в незагрязненной и в почве с 1% УВ-загрязнения.

Изменение всхожести эспарцета привело к закономерному изменению массы корней. Так добавление в почву ЦСП татарского месторождения привело к увеличению массы корней на 18–199% по сравнению с почвой без сорбента (рис. 4). При внесении в почву ЦСП чувашского месторождения масса корней была в несколько раз ниже контроля, исключая 2%-ное загрязнение почвы.

Что касается зеленой массы, то ее развитие также отличалось на почвах с разными типами ЦСП (рис. 4). Наибольшая масса за 14 дней выращивания была получена при 25%-ном введении в незагрязненную почву татарстанской ЦСП, наименьшая – при использовании 5% чувашской ЦСП.

Таким образом, татарская ЦСП, в отличие от чувашской, стимулировала всхожесть семян, развитие зеленой массы и корней растения.

Наибольший интерес представляют данные о влиянии ЦСП на изучаемые параметры в условиях УВ загрязнения.

При загрязнении почвы УВ всхожесть эспарцета на фоне обоих видов ЦСП была ниже контроля (почва без сорбента) (рис. 3).

Биометрические показатели развития эспарцета в этой серии опытов не имели явно выраженной корреляции со всхожестью семян как это отмечено на незагрязненной почве с сорбентом. В случае чувашской ЦСП прирост массы корней определялся в большей степени уровнем УВ загрязнения, чем содержанием породы. Так, при содержании УВ в почве масса корней эспарцета увеличилась по сравнению с массой в почве с соответствующим содержанием породы без загрязнения (рис. 4). При использовании татарстанского минерала картина была не столь определенной. Как и в случае чувашского минерала, при 2%-ном содержании в почве УВ наблюдали более интенсивное развитие корневой массы, чем при 1% УВ. Однако, в отличие от чувашского сорбента, более существенное развитие корней в загрязненной почве происходило на фоне 25% ЦСП.

Характер изменения развития зеленой массы эспарцета на почве с углеводородами на фоне ЦСП практически не совпадал с развитием корней. Так на фоне чувашского минерала (при существенном увеличении массы корней с ростом содержания УВ в почве) зеленая масса практически не возрастала, за исключением варианта с 2% УВ на фоне 5% ЦСП (рис. 4). При использовании татарстанского минерала развитие зеленой массы было сопоставимо с таковым при использовании чувашской породы.

Таким образом, внесение ЦСП Татарско-Шатрашанского месторождения в концентрации 25% является более перспективным для применения, поскольку приводит не только к увеличению всхожести семян, но и корневой биомассы, а, следовательно, и к увеличению численности и активности прикорневого микробного сообщества [8].

Как уже отмечалось, повышение численности прикорневых микроорганизмов способствует увеличению скорости биохимических процессов, в том числе биодegradации почвенного загрязнителя [16, 17].

Для оценки состояния микробиоценоза чернозема при УВ загрязнении на фоне ЦСП в условиях фиторемедиации нами был определен метаболический коэффициент, сочетающий в себе количество микробного углерода почвы и почвенное дыхание. Очевидно, что введение обеих пород не привело к снижению данного показателя незагрязненной почвы по сравнению с почвой под эс-

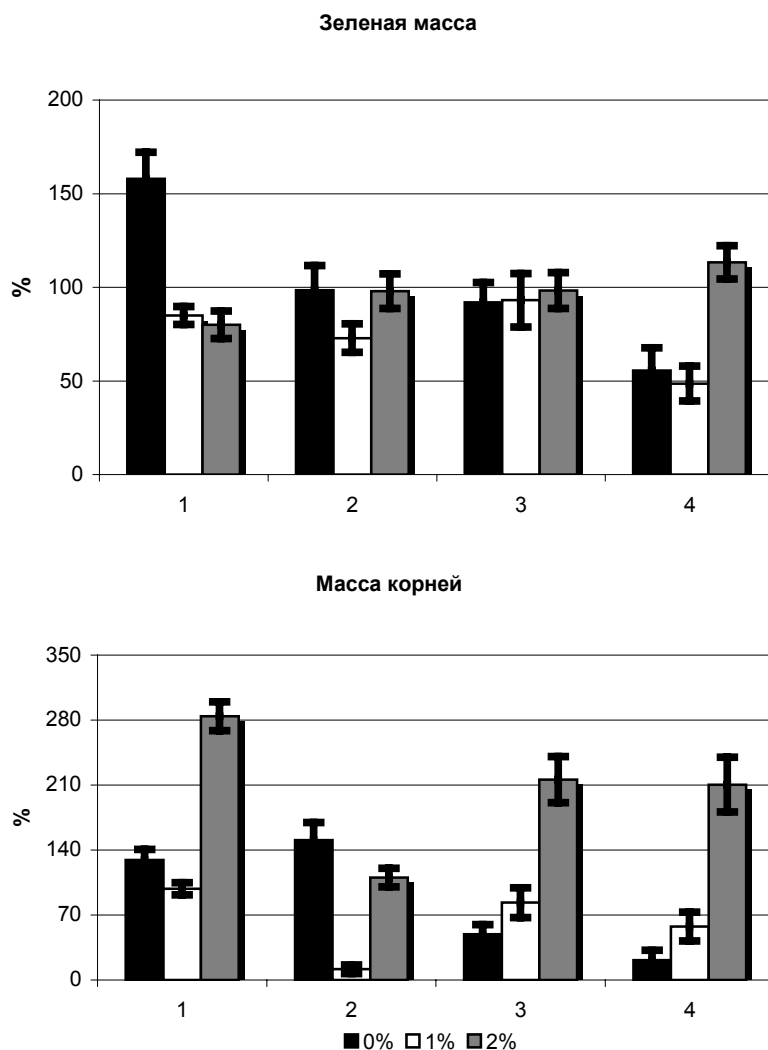


Рис. 4. Влияние ЦСП на развитие корней и зеленой массы эспарцета (% от массы эспарцета на почве без цеолитов загрязнения) при загрязнении выщелоченного чернозема УВ

парцетом без сорбентов хотя имелась некоторая тенденция к понижению параметра (табл. 2). Но при введении в почву УВ все-таки обнаружено снижение метаболического коэффициента в почве с татарстанской и чувашской ЦСП.

Поскольку количество микробного углерода в большинстве вариантов увеличилось, то выявленное снижение определяется низкими показателями респираторной активности почв с ЦСП. Возможно, это связано с присущей цеолитам способностью адсорбировать многие вещества, в том числе и диоксид углерода. Вероятно, необходимо использовать другой показатель активности микробного сообщества почв при использовании минеральных сорбентов, либо модифицировать метод оценки респираторной активности для таких почв.

Табл. 2
 Метаболический коэффициент ($\text{мг С}_{\text{O}_2} - \text{С}_{\text{микро}} \times \text{ч}$) загрязненной УВ почвы на фоне различных ЦСП при культивировании эспарцета

| Вариант опыта | Уровень загрязнения УВ, %. | | |
|---------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 |
| Без ЦСП | 0.023±0.002 | 0.047±0.012 | 0.045±0.003 |
| 5% тат. ЦСП | 0.018±0.002 | 0.020±0.001 | 0.017±0.002 |
| 5% чув. ЦСП | 0.015±0.002 | 0.020±0.001 | 0.016±0.002 |
| 25% тат.ЦСП | 0.013±0.001 | 0.005±0.001 | 0.013±0.003 |
| 25% чув.ЦСП | 0.039±0.002 | 0.009±0.001 | 0.014±0.001 |

Выводы

Полученные результаты по влиянию цеолитсодержащих пород татарского и чувашского месторождений на биометрические параметры растений и биологическую активность загрязненного УВ выщелоченного чернозема позволяют предположить, что применение минерала татарстанского месторождения в концентрации 25% целесообразно как для предотвращения распространения загрязнителя по профилю почвы, так и для развития потенциального фитомелиоранта – травянистого растения эспарцет. Метаболический коэффициент выщелоченного чернозема при использовании цеолитов и выращивании растений снижался. Возможно, это связано с сорбцией диоксида углерода сорбентами.

Summary

E.V. Gafarova, G.A. Sitdikova, N.L. Larionova, S.K. Zaripova. An influence of zeolite-containing rock on development of sainfoin in soil contaminated with hydrocarbons.

An influence of zeolite-containing rocks of "Tatarsko-Shatrashanskoe" and "Chuvash" deposits on development of a grassy plant sainfoin was studied. Sainfoin is a potential phytomeliorant of chernozem polluted with hydrocarbons. A positive influence of the mineral on both root system and green mass of sainfoin was established including the variants with hydrocarbon pollution. On the same time, applying of zeolites as well as the plants cultivation resulted in decrease of soil metabolic coefficient.

Литература

1. *Смирнова Е.В.* Транспорт и распределение жидких углеводородов в выщелоченном черноземе // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2003.
2. *Son D.H., Kim D.W., Chung Y.* Biological nitrogen removal using a modified oxic/anoxic reactor with zeolite circulation // *Biotechnology Lett.* – 1999. – V. 22. – P. 35–38.
3. *Nieves N., Lorenzo J.C., Blanco M.A.* Artificial endosperm of *Cleopatra tangerize* zygotic embryos: a model for somatic embryo encapsulation // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* – 1998. – V. 54. – P. 77–83.
4. *Leahy J.G., Corwell R.R.* Microbial degradation of hydrocarbons in the environment // *Microbiological Rev.* – 1990. – Sept. – P. 305–315.

5. *Марченко А.И., Соколов М.С.* Фиторемедиация почв, загрязненных нефтепродуктами: опыт Канады // АГРО XXI. – 2001. – № 1. – С. 20–21.
6. *Leggo P.J.* An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance // *Plant and Soil*. – 1999. – V. 219. – P. 135–146.
7. *Fuierer A.M., Bowman R.S., Kieft T.L.* Sorption and microbial degradation of toluene on a surfactant-modified-zeolite support // *The Sixth Intern. In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, San Diego, California, June 4–7, 2001.* – 2001. – P. 131.
8. *Буров А.И.* Цеолит содержащие породы. – Казань: Фен, 2001. – 176 с.
9. ISO 14240-2. Soil quality – Determination of soil microbial biomass. Part 2: fumigation-extraction method. International standard, 1998. – 12 p.
10. *Гарусов А.В., Алимова Ф.К., Захарова Н.Г.* Биомониторинг почвы. – Казань, 1999. – 47 с.
11. *Anoliefo G.O., Vwioko D.E.* Effects of spent lubricating oil on the growth of *Capsicum annum* L. and *Lycopersicon esculentum* miller // *Environment Pollution*. – 1994. – V. 88. – P. 361–364.
12. *Maila M.P., Cloete T.E.* The use of biological activities to monitor the removal of fuel contaminants – perspective for monitoring hydrocarbon contamination: a review // *Int. biodeterioration & biodegradation*. – 2005. – V. 55. – P. 1–8.
13. *Adam G., Duncan H.J.* Effect of diesel fuel on growth of selected plant species // *Environmental Geochemistry and Health*. – 1999. – V. 21. – P. 353–357.
14. *Lynch M.J.* Resilience of the rhizosphere to anthropogenic disturbance // *Biodegradation*. – 2002. – P. 21–27.
15. *Cunningham S.D., Berti W.R., Hyand J.W.* Phytoremediation of contaminated soil // *Elsevier Science Ltd*. – 1995. – V. 13. – P. 393–397.
16. *Liste H.H., Alexander M.* Accumulation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere soil // *Chemosphera*. – 1999. – V. 33, No 2. – P. 203–215.
17. *Shaw L.J., Burns R.G.* Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere // *Adv. in Applied Microbiology*. – 2003. – P. 1–60.

Поступила в редакцию
12.08.05

Гафарова Евгения Владимировна – аспирант кафедры микробиологии Казанского государственного университета.
E-mail: evlad2002@mail.ru

Ситдикова Гульчачак Амировна – студент биолого-почвенного факультета Казанского государственного университета.

Ларионова Наталья Леонидовна – аспирант географического факультета Казанского государственного университета.
E-mail: lapanovich@mail.ru

Зарипова Сания Кашафовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры микробиологии Казанского государственного университета.