

УДК 579.64:631.46

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ ВОЛЖСКО-КАМСКОЙ СТЕПИ ПРИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И УГЛЕВОДОРОДАМИ

Тазетдинова Д.И., Антонов В.В., Газизов И.С., Алимова Ф.К.
 ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет,
 Казань, e-mail: tazetdinova.di@gmail.com

В работе представлена биохимическая характеристика нарушенных антропогенных ландшафтов Восточного Закамья Волжско-Камской степи. Изучен синергетический эффект действия загрязнителей – тяжелых металлов и нефтепродуктов на ферментативную активность почв. Значение ПДК нефтепродуктов и тяжелых металлов не отражают состояние биоты в этом регионе. Результаты биохимического мониторинга почв с наибольшим антропогенным воздействием (аварийный участок нефтепровода и почва вблизи нефтескважины) подтверждают серьезность ситуации в нефтедобывающем регионе. Показано, что наибольший уровень биологической активности был в рекультивированной почве, испытавшей загрязнение 6 лет назад. Построен ряд убывания напряженности антропогенной нагрузки в исследованных образцах: аварийный участок → вблизи скважины → участки со сроком рекультивации 2 месяца и 2 года, агроценозы → участок со сроком рекультивации 6 лет → контроль. Для рекультивированных почв под паром с разным сроком синергетического типа загрязнения (2 месяца и 2 года назад) в качестве основного теста может рассматриваться уреазная и протеазная активности.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, тяжелые металлы, углеводороды, синергетический эффект загрязнения, ферментативная активность почв, экологическое состояние почв

THE ENZYMATIC ACTIVITY OF LEACHED CHERNOZEM OF EASTERN ZAKAMYE OF VOLGA-KAMA STEPPE UNDER SYNERGETIC CONTAMINATION WITH HEAVY METALS AND HYDROCARBONS

Tazetdinova D.I., Antonov V.V., Gazizov I.S., Alimova F.K.
 Kazan (Volga region) federal university, Kazan, e-mail: tazetdinova.di@gmail.com

In this report we've studied the biochemical characterization of anthropogenic disturbed landscapes of Eastern Zakamye of Volga-Kama steppe. The synergistic effects of contamination by heavy metals (HM) and petroleum products on the enzymatic activity of soils was studied. It is shown that changes in the level of enzymatic activity may serve as a measure of human impact on soil. Results of biochemical monitoring of soils with the anthropogenic impact (emergency section of the pipeline, and the soil near the oil wells) confirm the seriousness of the situation in the oil-producing region. Maximum permissible concentration of oil and HM does not reflect the status of the biota in the area. We have shown that the highest level of biological activity was in reclaimed soil after six years old contamination. We put samples in order of decreasing intensity of anthropogenic pressure as: emergency area near the well → reclaimed land for a period of contamination of 2 months and 2 years, agrocenosis → remediated area with maturity 6 years → control. For reclaimed soils with different fallow period of synergetic type of pollution (2 months and 2 years ago) the urease and protease activity can be considered as a basic test.

Keywords: anthropogenic impact, heavy metals, hydrocarbons, synergistic effect of pollution, enzymatic activity of soil, estimation of the ecological state of soils

Роль почв как природного объекта, от состояния которого существенно зависит качество продуктов питания, высока. Большая часть черноземов Республики Татарстан сосредоточена в Восточном Закамье Волжско-Камской лесостепи. Этот регион испытывает большую техногенную нагрузку – на территории региона действуют предприятия нефтегазодобывающей отрасли, машиностроения и сельского хозяйства, и экологическая ситуация здесь официально оценивается как «тревожная» и «тяжелая» [1, 7].

Многолетними исследованиями показана высокая эффективность диагностики почвенного покрова именно биохимическими методами, в частности, с помощью показателей ферментативной активности [2, 8, 12]. Доказана ведущая роль показателей

ферментативной активности при оценке влияния нефтяного загрязнения на экологическое состояние почв, однако результаты из разных регионов противоречивы [1, 4].

Целью представленной работы явилась оценка ферментативной активности выщелоченных черноземов Восточного Закамья, подверженных синергетическому загрязнению нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Материалы и методы исследования

Образцы почвы были отобраны в Юго-Восточном Закамье в соответствии с правилами отбора проб для микробиологического анализа. Агрохимическая характеристика почв района представляла собой выщелоченный тяжелосуглинистый среднегумусный среднемощный чернозем со слабой водной эрозией с содержанием гумуса 7%; $N_{\text{общ}}$ – 6140 мг/кг; $P_2O_{5\text{подв}}$ – 121 мг/кг; $K_2O_{\text{обм}}$ – 137 мг/кг.

В качестве условного контроля выбрана фоновая почва (содержит фоновые значения тяжелых металлов). Загрязненные почвы (содержат нефтепродукты+тяжелые металлы) – образцы отобранные вблизи нефтескважины (хроническое загрязнение) и в месте разлива нефтепродуктов (острое загрязнение). Рекультивированные почвы (содержат НП+ТМ) отобраны через 2 месяца, 2 года и 6 лет после рекультивации. Агроценозы под зерновыми (содержат НП + ТМ): 1 – пшеница, 2 – овес, 3 – ячмень.

Содержание тяжелых металлов определяли на атомно-эмиссионном спектрометре Optima-2000DIV. Минеральный состав почв оценивали с помощью фазового рентгеновского анализа (рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE, Bruker). Содержание нефтепродуктов определяли методом ИК-спектроскопии. Активность азотфиксации в почве измеряли методом Харди в модификации Умарова, а активность почвенного дыхания – на газовом хроматографе. Уреазную активность почвы определяли методом Колешко, целлюлолитическую активность – аппликационным методом, протеолитическую активность – методом Галстяна, каталазную активность – методом Канцельсона и Ершова.

Для характеристики загрязнения тяжелыми металлами использовали следующие показатели:

а) коэффициент концентрации химического вещества (K_c):

$$K_c = C/C_{\phi}$$

где C – реальное содержание химического вещества в почве, C_{ϕ} – фоновое;

б) суммарный показатель загрязнения (Z_c), который равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов и выражен следующей формулой:

$$Z_c = \sum_{j=1}^n K_{c_j}$$

где n – число суммируемых элементов;

в) коэффициент опасности (K_o): $K_o = C/ПДК$.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Взаимосвязь ряда факторов устанавливали посредством расчета коэффициента корреляции. Для срав-

нения применяли интервальные оценки. Уровень значимости P , примененный в работе составил $< 0,05$. Данные в графиках представлены в виде структурных характеристик (медиана, персентили 0,025; 0,975).

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что важнейшими факторами, влияющими на биохимическую активность почв региона, является загрязнение тяжелыми металлами и углеводородами. Нами было изучено влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами на потенциальную ферментативную активность почв (уреаза, протеаза, каталаза, целлюлаза) и синергетический эффект действия этих загрязнителей.

Содержание нефтепродуктов в исследованных почвах варьировалось от 100 до 1000 мг/кг почвы и соответствовало допустимому уровню загрязнения. При оценке экологической опасности загрязнения почвы ТМ принимается во внимание не только его интенсивность, но и состав загрязнителей, и, в первую очередь, присутствие элементов, относимых к 1 и 2 классам гигиенической опасности в соответствии с ГОСТ № 17.4.1.01–83. Нами исследовано загрязнение следующими металлами: мышьяк (As), ртуть (Hg), свинец (Pb), цинк (Zn), относящихся к 1 классу опасности, и медь (Cu), хром (Cr) из 2 класса опасности и др. металлы. Очаги техногенного загрязнения, как правило, представляют собой избыточную концентрацию не одного, а целого комплекса химических элементов. Как показали результаты, образцы почв характеризовались минимальным уровнем загрязнения (суммарный показатель загрязнения $Z_c < 8$) по исследованным ТМ (таблица).

Коэффициент концентрации загрязнителей (K_c) 1 и 2 классов опасности в исследованных почвах

Образцы	Металлы						
	As	Pb	Hg	Zn	Cu	Ni	Zc
Контроль (фон)	1,98	0,55	0,16	0,63	0,88	1,29	5,49
Агроценоз 1	2,98	0,48	0,35	0,85	1,37	4,11	7,82
Агроценоз 2	2,73	0,55	0,80	0,92	1,61	1,60	6,78
Агроценоз 3	2,27	0,60	0,23	0,72	1,52	3,18	8,04
Рекультивация 6 лет назад	1,91	0,63	0,19	0,82	1,56	1,79	9,23
Рекультивация 2 года назад	1,25	0,49	0,28	0,72	1,44	1,42	7,35
Рекультивация 2 месяца назад	3,62	0,46	0,30	1,09	1,50	1,44	8,56
Скважина 1	1,21	0,37	0,67	0,81	1,60	1,64	6,32
Разлив нефтепродуктов	3,00	0,46	0,30	0,81	1,42	1,28	7,27
K_c металла для всех образцов*	$2,30 \pm 1,57$	$0,51 \pm 0,16$	$0,35 \pm 0,44$	$0,83 \pm 0,25$	$1,49 \pm 0,57$	$2,02 \pm 1,89$	

Примечание. * среднее \pm 2 стандартных отклонения.

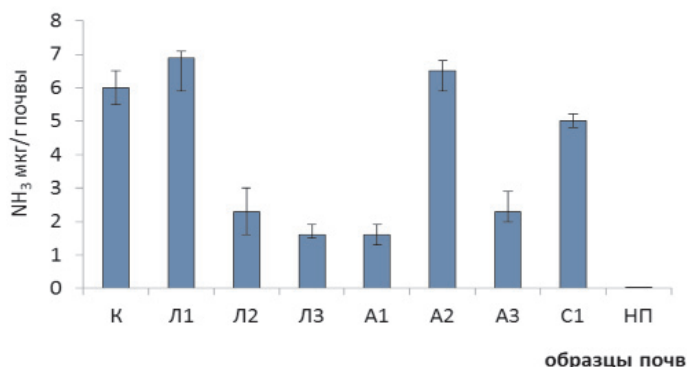
Наибольшее превышение фонового содержания было отмечено для мышьяка ($Kc\ 2,3 \pm 1,57$) и никеля ($Kc\ 2,02 \pm 1,89$). Превышение ПДК также отмечено для As ($6,4\ \text{мг/кг}$). Наибольшее содержание мышьяка в образцах, отобранных в агроценозах, вероятно связано с использованием химических средств защиты, которые могли содержать арсениды и арсенаты [3, 6, 10]. Содержание же свинца, ртути и цинка не превышало ПДК и было близко к фоновому значению.

Уреаза является одним из ферментов трансформации соединений азота в среде [2]. Нами отмечено достоверное изменение уреазной активности почвы на фоне антропогенных нагрузок на нее (рис. 1, а). В контрольном варианте уреазная активность составила $6\ \text{мкг NH}_3/\text{г}$ почвы. В образце почвы со свежим загрязнением (разлив нефтепродуктов) наблюдалось резкое снижение активности уреазы – до $0,035\ \text{мкг NH}_3/\text{г}$ почвы, что в 170 раз меньше контроля. Это может быть связано с сильным ингибирующим действием загрязнителей на уреазу.

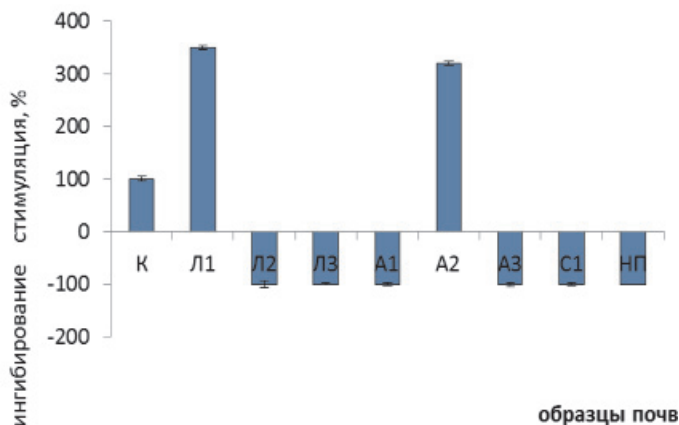
Этот образец характеризуется наибольшим значением содержания НП – $1000\ \text{мг/кг}$

почвы. Схожие результаты были получены Щемелиной Т.Н. [9]. Снижение уреазной активности до минимального уровня свидетельствует об ослаблении биохимических процессов обмена азотсодержащих соединений, что может быть результатом угнетения процессов жизнедеятельности микроорганизмов, синтезирующих уреазу.

Протеаза, так же как и уреазы, является одним из ферментов трансформации соединений азота в среде и обуславливает динамику усвояемых форм азота. Нами отмечено достоверное изменение протеазной активности почвы на фоне различной антропогенной нагрузки (рис. 1, б). В контрольных образцах почв протеазная активность составила $0,84\ \text{мг/мл}$. В образцах почв вблизи скважины и со свежим загрязнением отмечено снижение активности фермента в 14 раз по сравнению с контролем. Стимуляция протеазной активности отмечена только в почве, спустя 6 лет рекультивации после загрязнения и во втором агроценозе (в 4,5 раза больше по сравнению с контролем).



а



б

Рис. 1. Уреазная (А) и протеазная (Б) активность почв:

К – контроль, Л1 – рекультивация 6 лет назад, Л2 – рекультивация 2 года назад, Л3 – рекультивация 2 месяца назад, А1, А2, А3 – агроценозы, С1 – вблизи нефтескважины, НП – разлив нефтепродуктов

Изучение оксидоредуктаз важно для познания вопросов генезиса и плодородия почв поскольку в обмене веществ и энергии в почве важное место принадлежит окислительно–восстановительным ферментам. Каталаза является ферментом, при участии которого происходит разложение перекиси водорода, накапливающейся в почве как побочный продукт биохимических процессов. Необходимо отметить, что каталаза выделяется микроорганизмами в окружающую среду, обладает высокой устойчивостью и может накапливаться и длительное время сохраняться в почве [9].

Нами показано достоверное изменение каталазной активности почвы на фоне различной антропогенной нагрузки (рис. 2, а). В почвах с хроническим и свежим загрязнением каталазная активность была ниже значений контроля в 6,5 раз и составила 0,02 мг $KMnO_4$ за 2,5 часа. Величина активности фермента

в почвах с 2-месячным и 2-летним сроками загрязнением также были ниже значения контроля – в 2,5 и 6,5 раз, соответственно.

Значения каталазной активности в 1 и 2 агроценозах между собой достоверно не различались и были ниже значения контроля в 6,5 раз, что может быть связано со снижением активности каталаз из-за применения минеральных и органических удобрений.

Целлюлазы играют важную роль в обогащении почвы подвижными и доступными растениям и микроорганизмам питательными веществами [8], поскольку участвуют в реакциях гидролитического распада высокомолекулярных органических соединений почвы. Поэтому оценка целлюлазной активности является значимым показателем для контроля уровня загрязнения почвы. Данные по целлюлазной активности почв представлены на рис. 2.

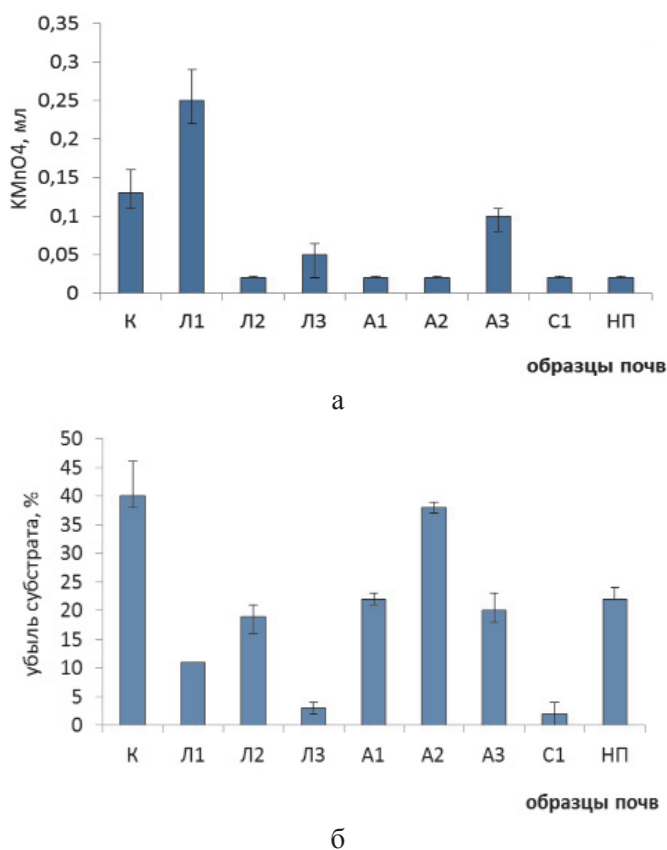


Рис. 2. Каталазная (А) и целлюлазная (Б) активность почв:
 К – контроль, Л1 – рекультивация 6 лет назад, Л2 – рекультивация 2 года назад,
 Л3 – рекультивация 2 месяца назад, А1, А2, А3 – агроценозы, С1 – вблизи нефтескважины,
 НП – разлив нефтепродуктов

В контрольном варианте убыль субстрата составила 40 % за 1 месяц (рис. 2, б). При изучении целлюлазной активности пашен наибольшая убыль субстрата, отмеченная

во 2-м агроценозе, от такового в контрольном варианте не отличалась. Как было показано, в такой почве интенсивнее разлагается целлюлоза, быстрее осуществляется

биологический круговорот элементов и тем полнее культурные растения обеспечивают питательными веществами [4].

В почве после 2 месяцев рекультивации после загрязнения целлюлазная активность была в 7 раз ниже, чем в контрольном варианте, что согласуется с данными Щемелиной Т.Н. [9]. Но после 6 лет рекультивации активность целлюлаз повысилась, однако все еще оставалась достоверно ниже контроля (в 2 раза), несмотря на то, что по частоте встречаемости целлюлозоразрушающие микроорганизмы доминировали.

В почвах же с хроническим и свежим загрязнением активность целлюлаз достоверно снизилась. Причем более значительное снижение активности было отмечено вблизи нефтескважины (в 5 раза по сравнению с контролем), что, вероятно, связано с чувствительностью целлюлолитиков к аэрации почвы, которая подвергалась загрязнению более длительное время по сравнению со свежим разливом НП. Необходимо отметить, что низкая аэрация может быть связана и с уплотнением почвы вокруг скважины. Кроме того, может происходить инактивация ферментного комплекса продуктами окисления или сополимеризации нефтяных углеводов на носителе – гуминовых кислотах почвы.

Исследование активности ферментов трансформации соединений азота под влиянием тяжелых металлов и рН показало чувствительность уреазной активности почв к марганцу (содержание Mn 649–1034 мг/г почвы; $y = -3E - 05x \cdot 2 + 0,0405x - 13,694$; $r = -0,73$) и острому типу загрязнения (разлив НП 1000мг/кг почвы). Активность протеолитических ферментов была чувствительна к меди и хрому ($y = 0,0019x^2 - 0,1594x + 3,4263$; $r = -0,90$ и $y = -0,0009x^2 + 0,0981x - 1,9215$; $r = -0,97$ соответственно) при данных концентрациях (Cu: 22–51 мг/г почвы, Cr: 56–117 мг/г почвы). Каталазная активность почвы была чувствительна к Pb ($y = 0,011x^2 - 0,206x + 0,899$; $r = -0,68$) и Hg ($y = 0,0119x^2 - 0,206x + 0,89$; $r = 0,82$) при концентрациях (Pb = 7,30 – 12,60 мг/кг, Hg = 0,03 – 0,16 мг/кг почвы). Наибольшие концентрации Pb наблюдались в гумусовых горизонтах, что объясняется образованием стабильных Pb²⁺-органических комплексов [4]. Выявленная в наших экспериментах низкая чувствительность каталазной активности к меди в концентрации до 100 мг/кг подтверждается результатами других авторов [5].

Нами была выявлена зависимость целлюлазной активности от содержания марганца ($y = 0,833x + 0,833$; $r = 0,83$). В почвах с хроническим и острым загрязнением

активность фермента достоверно снизилась (рис. 2, б). Причем большее снижение активности отмечено вблизи скважины (в 5 раз по сравнению с контролем).

Заключение

В наших исследованиях в ряду убывания напряженности антропогенной нагрузки исследованные варианты располагаются в следующем порядке: аварийный участок → вблизи скважины → участки со сроком рекультивации 2 месяца и 2 года, агроценозы → участок со сроком рекультивации 6 лет → контроль.

Результаты биохимического мониторинга почв с наибольшим антропогенным воздействием (аварийный участок нефтепровода, почва вблизи нефтескважины) подтверждают серьезность ситуации в нефтедобывающем регионе. Значение ПДК нефтепродуктов и ТМ не отражают состояние биоты в этом районе. Нами показано, что наибольший уровень биологической активности был в рекультивированной почве, испытавшей загрязнение 6 лет назад. Для рекультивированных почв под паром с разным сроком загрязнения (2 месяца и 2 года назад) в качестве основного теста может рассматриваться уреазная и протеазная активности.

Таким образом, мерой антропогенного воздействия на почвы с синергетическим типом загрязнения НП и ТМ может служить изменение уровня их ферментативной активности.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 11-04-01731-а.

Список литературы

1. Атлас республики Татарстан / Кабинет министров республики Татарстан. Производственное картосоставительское объединение «Картография», 2005. – 216 с.
2. Беляков А.Ю. Изменение активности ферментов в почве, загрязненной тяжелыми металлами, в процессе фиторемедиации / А.Ю. Беляков, Е.В. Плешакова, М.В. Решетников, Е.В. Любуль // В мире научных открытий. – 2010. – № 4 (10). – Ч. 5. – С. 34–36.
3. Водяницкий Ю.Н. Соединения As, Pb и Zn в загрязненных почвах (по данным EXAFS-спектроскопии) – обзор литературы // Почвоведение. – 2006. – № 6. – С. 681–691.
4. Галиулин Р.В. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Агрохимия. – 2006. – № 11. – С. 84–95.
5. Кобышева Е.Н. Влияние тяжелых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почв / Е.Н. Кобышева, И.С. Коротченко // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 1. – С. 114–119.
6. Родионова М.Е. Особенности изменения валового химического состава лесостепных и степных почв в результате их агрогенных трансформаций // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3, ч. 2. – С. 333–338.
7. Оценка факторов риска, обусловленных загрязнением почв / Д.И. Тазетдинова, Р.И. Тухбатова, А. Кабрера, Ф.К. Алимова, Е.А. Тафеева // Итоги и перспективы науч-

ных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды. – М., 2006. – С. 477–482.

8. Целлюлазная активность почв Татарстана при загрязнении их тяжелыми металлами / Д.И. Тазетдинова, Э.А. Рафаилова, Р.И. Тухбатова, Ф.К. Алимова // Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 51–53.

9. Щемелина Т.Н. Биологическая активность нефтезагрязненных почв Крайнего Севера на разных стадиях их восстановления и при рекультивации: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Воронеж, 2008. – 22 с.

10. Liang S.-H. Cadmium-induced earthworm metallothionein-2 is associated with metal accumulation and counteracts oxidative stress / S.-H. Liang, Ssu-Ching Chen, Chien-Yen Chen, Chih-Ming Kao, Jing-long Yang, Bao-Sen Shieh, Jiun-Hong Chen, Chien-Cheng Chen // *Pedobiologia*. – 2011. – № 54. – P. 333–340

11. Margesin R. Characterization of bacterial communities at heavy-metal-contaminated sites / R. Margesin, G. ynaA. Plaza, S. Kasenbacher // *Chemosphere*. – 2011. – № 82. – P. 1583–1588.

12. Tazetdinova D.I. Antropogenic disturbing soil's microorganisms in Republic of Tatarstan / D.I. Tazetdinova, R.I. Tuhbatova, A.I. Akhmetova, F.E.A. Cabrera, F.K. Alimova // *Materials of III international student conference «Topical aspects of Modern microbiology»*. – 2007. – P. 106.

References

1. Atlas respubliky Tatarstan / Kabinet ministrov respubliky Tatarstan. Proizvodstvennoe kartosostavitel'skoe obedinenie «Kartografija», 2005. 216 p.

2. Beljakov A. Ju. Izmenenie aktivnosti fermentov v pochve, zagriznennoj tjazhelymi metallami, v processe fitoremediacii / A. Ju. Beljakov, E. V. Pleshakova, M. V. Reshetnikov, E. V. Ljubun' // *V mire nauchnyh otkrytij*, 2010, no. 4 (10), Chast' 5. pp. 34–36.

3. Vodjanickij Ju. N. Soedinenija As, Pb i Zn v zagriznennyh pochvah (po dannym EXAFS–spektroskopii) obzor literatury / Ju. N. Vodjanickij // *Pochvovedenie*. 2006. no. 6. pp. 681–691.

4. Galiulin R. V. Fermentativnaja indikacija zagriznenija pochv tjazhelymi metallami / R. V. Galiulin, R. A. Galiulina // *Agrohimiya*. – 2006. no. 11. pp. 84–95.

5. Konysheva E. N. Vlijanie tjazhelyh metallov i ih detoksikantov na fermentativnuju aktivnost' pochv /

E. N. Konysheva, I. S. Korotchenko // *Vestnik KrasGAU*, 2011. no. 1. pp. 114–119.

6. Rodionova M. E. Osobennosti izmenenija valovogo himicheskogo sostava lesostepnyh i stepnyh pochv v rezul'tate ih agrogennyh transformacij / M. E. Rodionova // *Fundamental'nye issledovanija*. 2012. no. 3, chast' 2. pp. 333–338.

7. Tazetdinova D. I. Ocenka faktorov riska, obuslovlennyh zagrizneniem pochv / D. I. Tazetdinova, R. I. Tuhbatova, A. Cabrera, F. K. Alimova, E. A. Tafeeva // *Itogi i perspektivy nauchnyh issledovanij po probleme jekologii cheloveka i gigieny okruzhajushhej sredy*. Moskva, 2006. pp. 477–482.

8. Tazetdinova D. I. Celljulaznaja aktivnost' pochv Tatarstana pri zagriznenii ih tjazhelymi metallami / D. I. Tazetdinova, Je. A. Rafailova, R. I. Tuhbatova, F. K. Alimova // *Plodorodie*. 4. 2009. pp. 51–53.

9. Shhemelina T. N. Biologicheskaja aktivnost' neftezagriznennyh pochv Krajnego Severa na raznyh stadijah ih vosstanovlenija i pri rekul'tivacii: avtoref. dis. kand. biol. nauk / T. N. Shhemelina. Voronezh, 2008. 22 p.

10. Liang S.-H. Cadmium-induced earthworm metallothionein-2 is associated with metal accumulation and counteracts oxidative stress / S.-H. Liang, Ssu-Ching Chen, Chien-Yen Chen, Chih-Ming Kao, Jing-long Yang, Bao-Sen Shieh, Jiun-Hong Chen, Chien-Cheng Chen // *Pedobiologia*. 2011. no. 54. pp. 333–340

11. Margesin R. Characterization of bacterial communities at heavy-metal-contaminated sites / R. Margesin, G. ynaA. Plaza, S. Kasenbacher // *Chemosphere*. 2011. no. 82. pp. 1583–1588.

12. Tazetdinova D. I. Antropogenic disturbing soil's microorganisms in Republic of Tatarstan / D. I. Tazetdinova, R. I. Tuhbatova, A. I. Akhmetova, F. E. A. Cabrera, F. K. Alimova // *Materials of III international student conference «Topical aspects of Modern microbiology»*. 2007. pp. 106.

Рецензенты:

Канарский А. В., д.т.н., профессор кафедры пищевой биотехнологии, КНИТУ, г. Казань;

Минебаева Ф. В., д.б.н., профессор, ФГБУН КИББ КазНЦ РАН, г. Казань.

Работа поступила в редакцию 01.07.2013.