

УДК 631.427, 631.422

ГАЗООБМЕН И ФИТОТОКСИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

¹Тазетдинова Д.И., ²Житлов В.С., ¹Антонов В.В., ¹Газизов И.С., ¹Алимова Ф.К.

¹ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет,

Казань, e-mail: tazetdinova.di@gmail.com;

²ООО «НПП АгротехБио», Казань

Проведен анализ интенсивности окислительно-восстановительных процессов, азотфиксации и фитотоксической активности почв нефтегазодобывающего региона Восточного Закамья РТ. Исследованные образцы почв характеризуются минимальным уровнем загрязнения ($Z_c < 8$) по ТМ 1 и 2 класса гигиенической опасности в соответствии с ГОСТ № 17.4.1.01–83. Содержание нефтепродуктов варьировало от 100 до 1000 мг/кг почвы и соответствовало допустимому уровню загрязнения. Выявлена достоверная отрицательная корреляция между содержанием мышьяка (7,00–20,03 мг/кг почв) и величиной метаболического коэффициента (qCO_2) ($y = 0,013 \cdot 1,329$; $r = -0,69$). Достоверное увеличение интенсивности азотфиксации отмечено в агроценозе ячменя и в почве с 2-месячным сроком загрязнения. Отмечено снижение роста и массы растений в почвах техногенного района: хроническое загрязнение почвы ингибировало всхожесть растений, в то время как острое загрязнение ингибировало развитие растений.

Ключевые слова: фитотоксичность, интенсивность дыхания, азотфиксация, антропогенная нагрузка, тяжелые металлы, нефтепродукты, загрязнение

GAS EXCHANGE AND PHYTOTOXIC ACTIVITY LEACHED CHERNOZEM ANTHROPOGENIC LANDSCAPE ZAKAMYE EAST OF TATARSTAN

¹Tazetdinova D.I., ²Zhitlov V.S., ¹Antonov V.V., ¹Gazizov I.S., ¹Alimova F.C.

¹FGAOU VPO «Kazan (Volga) Federal University», Kazan, e-mail: tazetdinova.di@gmail.com;

²SPE «AgrotehBio», Kazan

There are companies from oil and gas industry, engineering, and agriculture in the Eastern part of Zakamye of Tatarstan Republic. In addition to the emergency breakthroughs of pipelines to the soil, petrochemical industry pollutes environment by gaseous emissions, industrial effluents and waste. This leads to an accumulation of hydrocarbons in the soil, heavy metals (HM), radioactive elements, salts, drilling fluids components. Here we've analyzed the intensity of the oxidation-reduction processes, nitrogen fixation and soil phytotoxic activity of oil and gas region of East Zakamye. The studied soil samples are characterized by minimal pollution ($Z_c < 8$) of heavy metals from 1st and 2nd classes of hygienic hazard according to State Standard (GOST) № 17.4.1.01-83. Oil content ranged from 100 to 1000 mg/kg soil and was at acceptable level of pollution. There was a significant negative correlation between the average levels of arsenic (7,00-20,03 mg/kg soils) and the magnitude of the metabolic rate (qCO_2) ($y = 0,013 \cdot 1,329$; $r = -0,69$). Significant increase in the intensity of nitrogen fixation was noted in agroecosis of barley and in soil with a 2-month ago pollution. Decreasing of height and weight of plants was observed in the area of man-made soils: chronic contamination of the soil inhibited germination of plants, while the abrupt pollution inhibited plant growth.

Keywords: soil phytotoxicity, respiration, nitrogen fixation, anthropogenic load, heavy metals, oil products, pollution

На территории Восточной части Закамья республики действуют предприятия нефтегазодобывающей отрасли, машиностроения и сельского хозяйства. Почв, не затронутых прямым или косвенным антропогенным воздействием, с каждым годом становится меньше. Помимо аварийных прорывов трубопроводов нефтехимическая промышленность выступает загрязнителем через газообразные выбросы, промышленные стоки и отходы. Это приводит к накоплению в почве углеводов, тяжелых металлов (ТМ), радиоактивных элементов, солей, компонентов буровых растворов. В результате меняются физико-химические свойства почвы, активность основных ферментов, участвующих в важных биологических процессах [1], нарушается соотношение основных биогенных элементов

в почве, что тем самым создает серьезную экологическую проблему. В связи с этим представляет несомненный интерес выявление направленности биохимических процессов в нефтезагрязненных почвах.

Целью данной работы явилась оценка показателей газообмена и фитотоксической активности выщелоченных черноземов и последствий антропогенной нагрузки на техногенные ландшафты Восточного Закамья.

Материалы и методы исследований

Образцы почвы отобраны в Юго-Восточном Закамье в районе пгт Н.Мактама, с. Абдрахманово, с. Рангазар в 2006 году (таблица) в соответствии с правилами отбора проб для микробиологического анализа. Агрохимическая характеристика: выщелоченный тяжелосуглинистый среднетяжелый среднесиловый чернозем со слабой водной эрозией, гумус 7%; N общ. 6140 мг/кг; P₂O₅ подв. 121 мг/кг; K₂O обм. 137 мг/кг.

Схема опыта

Варианты опыта	Исследуемые образцы
Контроль (тяжелые металлы)	Фоновая почва (без агромероприятий, с минимальным количеством загрязнителей)
Загрязненные почвы (нефтепродукты + тяжелые металлы)	Вблизи нефтескважины (хроническое загрязнение)
	Разлив нефтепродуктов (острое загрязнение)
Рекультивированные почвы (нефтепродукты + тяжелые металлы)	2 месяца рекультивации
	2 года рекультивации
	6 лет рекультивации
Агроценоз под зерновыми (нефтепродукты + тяжелые металлы)	Агроценоз 1 (пшеница)
	Агроценоз 2 (овес)
	Агроценоз 3 (ячмень)

Активность азотфиксации в почве измеряли методом Харди в модификации Умарова, определение активности почвенного дыхания осуществляли на газовом хроматографе.

Фитотоксичность оценивали по действию почвенной вытяжки на семена. Контролем служили семена, обработанные стерильной водопроводной водой. Наличие в почве фитотоксинов определяли по ростовым эффектам (по количеству проросших семян и длине, массе проростков и корней). Токсичным действием считали снижение всхожести семян или угнетения роста проростков и корней не менее чем на 30% по сравнению с контролем.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью электронных таблиц Microsoft Excel. Взаимосвязь ряда факторов устанавливали посредством расчета коэффициента корреляции. Для сравнения применяли интервальные оценки. Уровень значимости, примененный в работе, $P < 0,05$. Данные в графиках представлены в виде структурных характеристик (медиана, перцентили 0.025, 0.975).

Результаты исследований и их обсуждение

Важнейший фактор, влияющий на биохимическую активность почв указанного региона, – загрязнение тяжелыми металлами и углеводородами [2]. Нами изучено синергическое загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами. В фармакологии и токсикологии известно явление синергизма – это комбинированное воздействие двух или более факторов, характеризующееся тем, что их объединённое биологическое действие существенно превосходит эффект каждого отдельно взятого компонента и их суммы.

Содержание нефтепродуктов в исследованных почвах варьировало от 100 до 1000 мг/кг почвы и соответствовало допустимому уровню загрязнения. По содержанию элементов, относимых к 1 и 2 классам гигиенической опасности в соответствии с ГОСТ № 17.4.1.01–83, образцы почв характеризовались минимальным уровнем загрязнения (суммарный показатель загрязнения $Z_c < 8$).

Одним из показателей биохимической активности почв и косвенным показателем физиологической активности микроорганиз-

мов, отражающей интенсивность окислительно-восстановительных процессов в почве, является интенсивность дыхания [3].

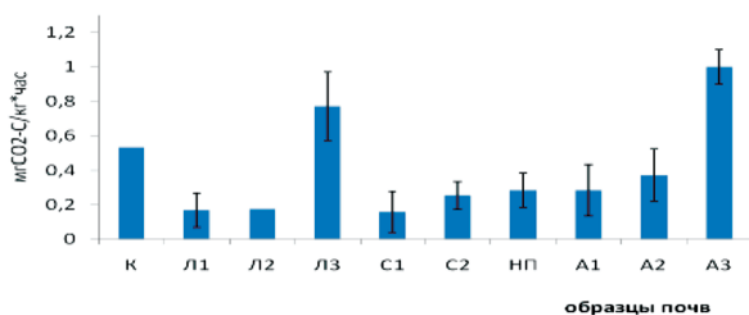
В контроле почве базальное дыхание (V_{basal}) составило 6,15 и субстрат-индуцированное дыхание (V_{sir}) 11,63 мгСО₂-С/кг. В почвах с разным сроком загрязнения величина V_{basal} достоверно не менялась, а V_{sir} с увеличением загрязнения ТМ возросло в 1,5 раз по сравнению с контролем. В агроценозах с увеличением загрязнения ТМ V_{basal} достоверно увеличивалось (в 2 раза по сравнению с целиной), в то время как V_{sir} достоверно не менялось. В почвах с синергичным действием загрязнителей базальное дыхание почв вблизи скважин достоверно не отличалось от почвы с аварийным нефтепроводом, в которой V_{sir} в 3 раза было меньше контроля.

Метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$) является показателем развития почв и может быть индикатором хода экологической сукцессии наземной экосистемы [3]. Наибольшая величина метаболического коэффициента выявлена в 3-м агроценозе и в почве со сроком загрязнения 2 месяца (1 и 0,77 мгСО₂-С/кг, соответственно), что свидетельствует об интенсивных процессах разложения в этих почвах. Помимо реакции на внесение органического вещества, увеличение $q\text{CO}_2$ является общим ответом почвенной микробной биомассы на длительное загрязнение тяжелыми металлами и не зависело от значений рН почвы.

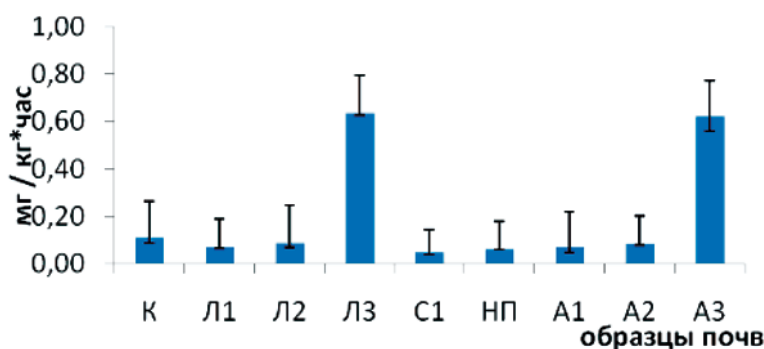
Стимуляция азотфиксирующей активности отмечена в почве одного из агроценозов (3-й) (в 6 раз по сравнению с целиной) (рис. 1,б). Резкое увеличение интенсивности азотфиксации возможно связано со снижением численности гетеротрофных бактерий, вследствие чего могла снизиться концентрация аммонийного азота в среде, накопление которого вызывает подавление активности нитрогеназы [4]. Косвенным подтверждением может служить низкая численность бактерий, использующих ми-

неральные формы азота и более высокого коэффициента олиготрофности в почве 3-го агроценоза по сравнению с другими агро-

ценозами. Вероятно, это также может быть связано с культивируемыми бобовыми растениями в севообороте.



а



б

Рис. 1. Методический коэффициент и азотфиксирующая активность почв (qCO_2) 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

Достоверное увеличение интенсивности азотфиксации в почве с 2-месячным сроком загрязнения возможно связано с низкой численностью аммонификаторов, при участии которых азот высвобождается в виде аммиака [4]. А также это может быть связано с тем, что азотфиксация является очень энергоемким процессом и стимулируется доступным органическим веществом. Вероятно, косвенным подтверждением может служить высокая численность автохтонной микрофлоры ($620 \cdot 10^6$ КОЕ/г почвы), отвечающей за разложение сложных соединений.

Показано, что техногенные ландшафты характеризуются увеличением уровня почвоутомления в зависимости от степени загрязнения. Нами исследовалось влияние почвы на всхожесть, длину, массу корней и проростков тест-растения овса.

Выщелоченный чернозем (контроль) Восточного региона РТ не обладал фитотоксичностью (рис. 2). Нами показана стимуляция роста корней и проростков тест-растения овса на 57 и 104%, соответственно.

Отмечено снижение роста и массы растений в почвах техногенного района, что

подтверждается исследованиями других авторов [5–8]. Хроническое загрязнение почвы ингибировало всхожесть растений. Острое загрязнение ингибировало в большей степени длину и массу проростков (в 10 и 85,5 раз, соответственно), чем корней (длина снизилась в 2 раза, масса – в 23 раза по сравнению с контрольной почвой). Отмеченная тенденция к снижению уровня фитотоксичности через 6 лет после загрязнения может быть связана с тем, что к этому сроку в почве уже отсутствуют наиболее токсичные легкие фракции нефти. Фитотоксичность почв агроценозов может быть связана с непосредственным действием поллютантов и с накоплением токсических веществ в почве [9]. Это может происходить в результате длительного роста на одном месте монокультуры, севооборота с короткой ротацией, минимизации обработки почвы, распространения однородных сортов и гибридов и при внесении гербицидов, фунгицидов, удобрений, увеличения численности фитотоксичных форм микроорганизмов. Отмечено преобладание в образцах почв зоны техногенеза

биомассы грибов над биомассой бактерий, доминирование токсинообразующих грибов в структуре сообщества почвенных

микромитозов [10, 11]. Все это приводит к истощению почвы и снижению ее плодородия.

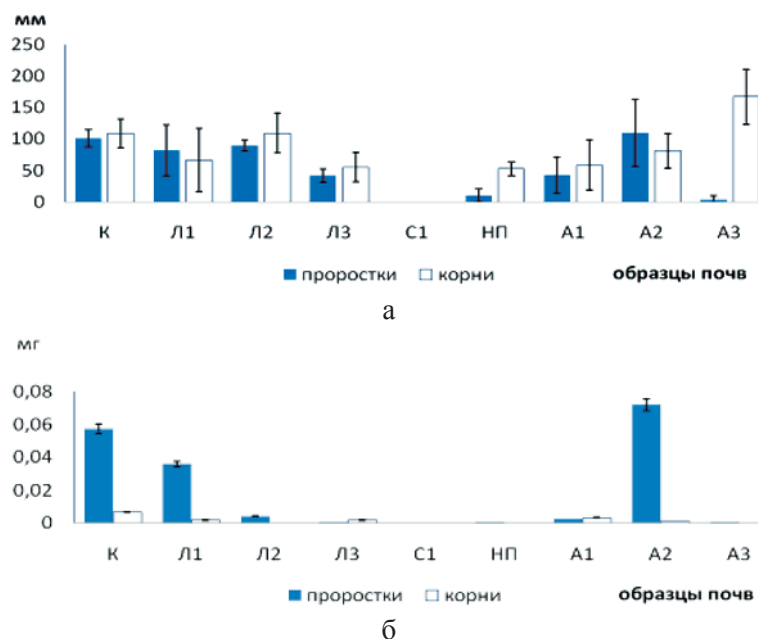


Рис. 2. Длина (А) и биомасса (Б) корней и проростков растений овса: К – контроль; L1 – рекультивация 6 лет назад; L2 – рекультивация 2 года назад; L3 – рекультивация 2 месяца назад; A1, A2, A3 – агроценозы; C1 – вблизи нефтескважины; НП – разлив нефтепродуктов

Выводы

Наши исследования показали, что образцы почв Восточного Закамья РТ по содержанию нефтепродуктов соответствуют допустимому уровню загрязнения (100 до 1000 мг/кг почвы) и характеризуются минимальным уровнем загрязнения по ТМ ($Z_c < 8$) 1 и 2 класса гигиенической опасности в соответствии с ГОСТ № 17.4.1.01–83. Отмечено незначительное превышение содержания мышьяка показателей ПДК для выщелоченного чернозема. Однако, несмотря на эти показатели, отмечены нарушения в процессах функционирования педосферы, что выразилось в изменении активности почвенного газообмена и проявлении фитотоксичности. Так, хроническое загрязнение почвы ингибировало всхожесть тест-растений, в то время как острое загрязнение ингибировало развитие растений.

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

Список литературы

1. Агроэкологическая оценка агроуровней Республики Татарстан / Ш.А. Алиев, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев, А.И. Ахтямов // Роль почвы в формировании ландшафтов. – Казань: Фен, 2003. – С. 249–243.

2. Ананьева Н.Д. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям / Н.Д. Ананьева, Е.В. Благодатская, Т.С. Демкина // Почвоведение. – 2002. – № 5. – С. 580–587.

3. Изменение активности ферментов в почве, загрязненной тяжелыми металлами, в процессе фиторемедиации / А.Ю. Беляков, Е.В. Плешакова, М.В. Решетников, Е.В. Любунь // В мире научных открытий. – 2010. – № 4 (10), Часть 5. – С. 34–36.

4. Оценка факторов риска, обусловленных загрязнением почв / Д.И. Тазетдинова, Р.И. Тухбатова, А. Кабрера, Ф.К. Алимова, Е.А. Тафеева // Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды. – М., 2006. – С. 477–482.

5. Тазетдинова Д.И. Состояние микобиоты почв Альметьевского района Республики Татарстан [Электронный ресурс] / Д.И. Тазетдинова, Р.И. Тухбатова, А.И. Ахметова. – Режим доступа: <http://www.lomonosov-msu.ru/2007/15/tazetdinova.doc.pdf>, свободный.

6. Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. – М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.

7. Хазиев Ф.Х. Нефтяная индустрия и техногенез / Агроэкологическая безопасность в условиях техногенеза: сборник научных докладов международного симпозиума: часть I. – Казань: Меддок, 2006. – С. 176–179.

8. Шаронова Н. Толерантность культурных и диких растений разных таксономии загрязнения почвы керосин / Н. Шаронова, И. Бреус // Наука Всего окружающей среды. – Vol. 424, 1 мая 2012 года. – P. 121–129.

9. Lors C. Comparison of solid-phase bioassays and ecoscores to evaluate the toxicity of contaminated soils C. Lors, J.-F. Ponge, M. Martínez A., D. Damidot // Environmental Pollution. – Vol. 158, Issue 8, August 2010. – P. 2640–2647.

10. Mikkonen A. Changes in hydrocarbon groups, soil ecotoxicity and microbiology along horizontal and vertical contamination gradients in an old landfarming field for oil refinery waste / A. Mikkonen, K.P. Hakala, K. Lappi, E. Kondo, A. Vaalama, L. Suominen // *Environmental Pollution*, Volume 162, March 2012. pp. 374–380.

11. Tang J. Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil / J. Tang, M. Wang, F. Wang, Q. Sun, Q. Zhou // *Journal of Environmental Sciences*. Vol. 23, Issue 5, May. 2011. P. 845–851.

References

1. Aliev Sh.A. Agrojekologicheskaja ocenka agrorud Respubliki Tatarstan / Sh.A. Aliev, V.Z. Shakirov, S.Sh. Nuriev, A.I. Ahtjamov // *Rol' pochvy v formirovanii landshaftov*. Kazan': Fen, 2003. pp. 249–243.

2. Anan'eva N.D. Ocenka ustojchivosti mikrobnih kompleksov pochv k prirodnyim i antropogennym vozdeystvijam / N.D. Anan'eva, E.V. Blagodatskaja, T.S. Demkina // *Pochvovedenie*. 2002. no. 5. pp. 580–587.

3. Beljakov A.Ju. Izmenenie aktivnosti fermentov v pochve, zagrijaznennoj tzhzhelymi 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.

4. Haziev F.H. Neftjanaja industrija i tehnopedogenez / Agrojekologicheskaja bezopasnost' v uslovijah tehnogeneza. Sbornik nauchnyh dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma: chast' I.–Kazan': Meddok, 2006. pp. 176–179.

5. Sharonova N. Tolerance of cultivated and wild plants of different taxonomy to soil contamination by kerosene / N. Sharonova, I. Breus // *Science of The Total Environment*. Vol. 424, 1 May 2012. pp. 121–129.

6. Tazetdinova D.I. Ocenka faktorov riska, obuslovlennyh zagrijazneniem 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.

7. Tazetdinova D.I. Sostojanie mikrobioty pochv Al'met'evskogo rajona Respubliki Tatarstan [Elektronnyj resurs] / Tazetdinova D.I., Tuhbatova R.I., Ahmetova A.I. – *Rezhim dostupa*: <http://www.lomonosov-msu.ru/2007/15/tazetdinova.doc.pdf>, svobodnyj.

8. Umarov M.M. Mikrobiologicheskaja transformacija azota v pochve / M.M. Umarov, A.V. Kurakov, A.L. Stepanov. M.: GEOS, 2007. 138 p.

9. Lors C. Comparison of solid-phase bioassays and ecoscores to evaluate the toxicity of contaminated soils C. Lors, J.-F. Ponge, M. Martínez A., D. Damidot // *Environmental Pollution*. – Vol. 158, Issue 8, August 2010. pp. 2640–2647.

10. Mikkonen A. Changes in hydrocarbon groups, soil ecotoxicity and microbiology along horizontal and vertical contamination gradients in an old landfarming field for oil refinery waste / A. Mikkonen, K.P. Hakala, K. Lappi, E. Kondo, A. Vaalama, L. Suominen // *Environmental Pollution*, Volume 162, March 2012. pp. 374–380.

11. Tang J. Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil / J.Tang, M. Wang, F. Wang, Q. Sun, Q. Zhou // *Journal of Environmental Sciences*. Vol. 23, Issue 5, May. 2011. pp. 845–851.

Рецензенты:

Багаева Т.В., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой биотехнологий ИФМиБ К(П) ФУ, г. Казань;

Великанов Г.А., д.б.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУН КИББ КазНЦ РАН, г. Казань.

Работа поступила в редакцию 22.02.2013.