

УДК 614.77:630*114(571.56)

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА МИКРОФЛОРУ МЕРЗЛОТНЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ГОРОДА ЯКУТСКА

© 2013 М.В. Щелчкова, М.С. Жерготова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

Поступила в редакцию 19.05.2013

В мерзлотной лугово-черноземной почве транспортной зоны «Аэропорт-Якутск» в результате рассеивания выхлопных газов накапливаются тяжелые металлы Pb, Zn и Cu. Приоритетным загрязнителем является Pb, валовое содержание которого достигает 3 ПДК. Зона загрязнения распространяется на 50 м от источника. Почвенные микроорганизмы активно реагируют на загрязнение: возрастает абсолютная и относительная численность бактерий, представленных, вероятно, формами, устойчивыми к тяжелым металлам. В микробном комплексе уменьшается относительная доля актиномицетов. Бактерии рода *Azotobacter* адаптируются к загрязнению, накапливая пигмент меланин.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, бактерии, микроскопические грибы, актиномицеты, азотфиксирующие бактерии Azotobacter*

Развитие автомобильного транспорта в крупных городах оказывает существенное влияние на химические и биологические свойства почв [1, 2]. По данным ГИБДД МВД РС (Я) в г. Якутске в 2011г. зарегистрировано 62796 автомобилей, что на 10% выше, чем в 2000 г. Вклад автотранспорта в суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составляет 51,5%, а по некоторым компонентам, например, оксиду углерода может достигать 76,5%. В состав выхлопных газов входят разнообразные высокотоксичные вещества (оксиды углерода и серы, формальдегид, бензапирен) и тяжелые металлы (ТМ) – свинец, цинк, кадмий, никель, медь, олово, ртуть). Оксиды, как правило, рассеиваются в атмосфере, а органические соединения и ТМ переносятся в сопредельные среды, загрязняя почвы и воды. Экологические особенности загрязненных почв как среды обитания микроорганизмов транспортных зон г. Якутска до настоящего времени не исследовались.

Мы изучали численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов в мерзлотной лугово-черноземной почве на разном удалении от одной из наиболее загруженных автотрасс города «Аэропорт-Якутск». С учетом розы ветров справа от автотрассы на расстоянии 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 м закладывали опытные площадки, на которых 2 раза за

вегетационный период в 2010 и 2011 гг. отбирали смешанные почвенные пробы с глубин 0-10 и 10-20 см для микробиологического анализа. Наряду с этим изучали загрязнение почв. Методом снегосъемки определяли пылевую нагрузку на почвы. В пыли методом индукционно связанной плазмы устанавливали валовое содержание тяжелых металлов Pb, Zn, Cu, Cd и рассчитывали интенсивность поступления их на поверхность почвы. В почвах также определяли содержание подвижных форм Pb, Zn, Cu, Cd и их валовое количество. Результаты снегосъемки представлены в табл. 1.

Наиболее сильному запылению подвержена 5-метровая зона, прилегающая к дороге – в течение года на 1 кв. м поверхности выпадает в среднем 184 г пыли. В составе пыли на 1 кв. м поверхности поступает 6,13 мг Pb; 37,47 мг Zn; 8,12 мг Cu и менее 0,02 мг Cd. На расстоянии 20-50 м от дороги пылевая нагрузка и поступление тяжелых металлов снижается приблизительно в 10 раз, а на расстоянии 100-250 м – в 100 раз. Верхние слои придорожных почв накапливают ТМ (рис. 1).

Наиболее сильно загрязнен верхний 10-см слой почвы. В нем повышенное содержание Pb и Zn отмечается на расстоянии до 50 м от дороги, а Cu – лишь до 2 м от дороги. В этой зоне валовое содержание Pb превышает фоновые значения (10,1 мг/кг) в 2-9,5 раза, а предельно допустимые концентрации (ПДК) в 1,5-3 раза. Максимальное накопление Pb отмечается в 10-метровой придорожной зоне, где его концентрация составляет

Щелчкова Марина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии. E-mail: marshchelchkova@yandex.ru
Жерготова Мария Сергеевна, аспирантка. E-mail: naumova87mari@mail.ru

79,9-97,4 мг/кг. Валовое содержание цинка в почвах около автотрассы распределено неравномерно: на фоновом участке его концентрация составляет 56 мг/кг; на расстоянии 5 и 10 м приближается к ПДК (79 и 90 мг/кг), а на расстоянии 50 м превышает ПДК в 2,5 раза и составляет 244 мг/кг. Повышенное содержание меди в почвах (49 мг/кг) отмечается лишь в непосредственной близости от автотрассы. Анализ содержания

кадмия показал, что его количество в придорожных почвах незначительно (<0,25 мг/кг). Ниже лежащий слой почвы (10-20 см) загрязнен только свинцом. Накопление этого элемента в концентрациях, выше фоновых, наблюдается на расстоянии до 50 м от автотрассы. Максимальное содержание Pb 20-25 мг/кг фиксируется на расстоянии до 5 м от источника загрязнения.

Таблица 1. Количество загрязняющих веществ, выпадающих на почвы, расположенные в зоне влияния автотрассы «Аэропорт-Якутск» в течение одного года

Загрязняющие вещества	Расстояние от автотрассы, м			
	5	20	50	250
пыль, г/м ² (т/км ²)	184,32	14,59	10,84	1,45
Pb, мг/м ² (кг/км ²)	6,13	0,73	0,71	0,07
Zn, мг/м ² (кг/км ²)	37,47	2,97	2,20	0,29
Cu, мг/м ² (кг/км ²)	8,12	1,03	0,67	0,09
Cd, мг/м ² (кг/км ²)	<0,020	<0,002	<0,001	<0,001

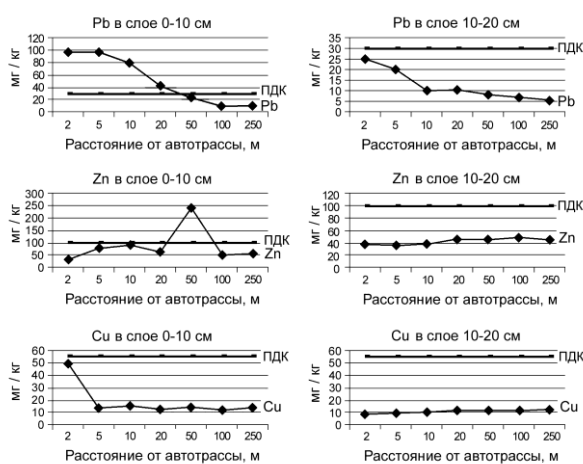


Рис. 1. Валовое содержание ТМ в мерзлотной лугово-черноземной почве

Наибольшую опасность для почвенных микроорганизмов представляют подвижные формы ТМ. Физико-химические свойства мерзлотных лугово-черноземных почв: высокое содержание гумуса, слабощелочная реакция среды, средне суглинистый гранулометрический состав – определяют слабую подвижность Pb и среднюю подвижность Cu и Zn в данных почвах. Исследование кисло растворимых форм ТМ показало, что их содержание в почвах придорожной зоны не превышает ПДК. Однако отмечается накопление подвижных форм металлов на 2-50 м от автотрассы по сравнению с фоном. Максимальное содержание кисло растворимого Pb составляет 54 мг/кг при значении ПДК 60 мг/кг, что в 13 раз выше фонового значения 4 мг/кг. Содержание кисло растворимого Zn равно приблизительно 30 мг/кг, а на расстоянии 50 м от автотрассы его количество достигает 118

мг/кг, что соответствует 2 ПДК. Содержание кисло растворимой Cu в исследуемых почвах низкое – 3-5 мг/кг, что в 10 раз ниже ПДК для этой формы металла.

Таким образом, в мерзлотной лугово-черноземной почве транспортной зоны в результате рассеивания выхлопных газов накапливаются ТМ Pb, Zn и Cu. Зона загрязнения распространяется до 50 м от источника. Приоритетным загрязнителем является Pb, валовое содержание которого достигает 3 ПДК. Превышение валового содержания этого элемента над фоном 10-кратное, а подвижной кисло растворимой формы – 13-кратное. Такое загрязнение почвы можно оценить как слабое [3]. Полученные нами данные хорошо согласуются с проведенными ранее исследованиями [4-6].

Почвенные микроорганизмы чутко реагируют на загрязнение окружающей среды. Характер ответной реакции микробного сообщества определяется множеством факторов, среди которых важную роль играют длительность воздействия поллютантов, их токсичность, интенсивность загрязнения, буферные свойства почвы и свойства самого микробиоценоза [7]. Наши исследования показали, что изменение микробиологической активности придорожных мерзлотных лугово-черноземных почв носит сложный характер. Численность основных трофических групп микроорганизмов – гетеротрофов, олигонитрофилов и бактерий, использующих минеральные источники азота, варьирует в широких пределах и не всегда связана со степенью загрязнения почв обратной связью. Из рис. 2 видно, что численность бактерий, использующих органические источники азота (выделяли на

МПА), на фоновом участке колебалась от 0,5 до 1 млн. КОЕ/г в слое 0-10 см и от 0,25 до 0,5 млн. КОЕ/г – в слое 10-20 см. При приближении к источнику загрязнения численность гетеротрофных бактерий в почве возрастала. На расстоянии 2 м от автодорожки их количество достигало 2,5-6,4 млн. КОЕ/г – в слое 0-10 см и 1,1-3,7 млн. КОЕ/г – в слое 10-20 см. Аналогичная закономерность проявляется и для других экологотрофических групп бактерий, а именно для олигонитрофилов (выделяли на среде Эшби) и бактерий, использующих минеральные источники азота (выделяли на КАА) (рис. 3, 4).

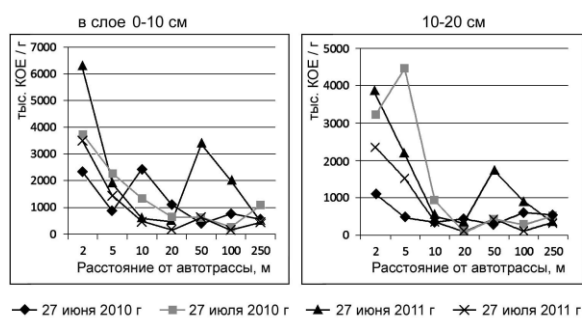


Рис. 2. Численность бактерий на МПА

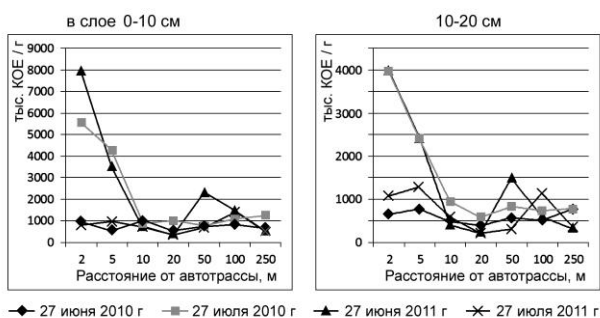


Рис. 3. Численность бактерий на среде Эшби

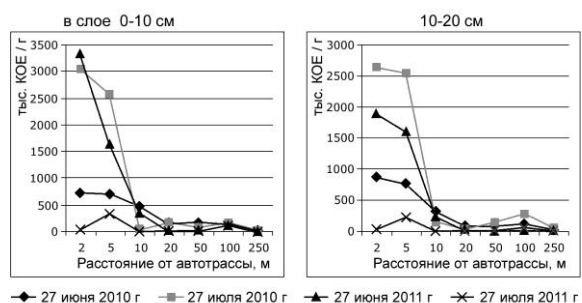


Рис. 4. Численность бактерий на КАА

Изменение численности актиномицетов и грибов в лугово-черноземных почвах придорожной зоны носит более сложный характер. Для этих групп микроорганизмов отмечено несколько пиков численности на разном удалении от автодорожки (рис. 5, 6).

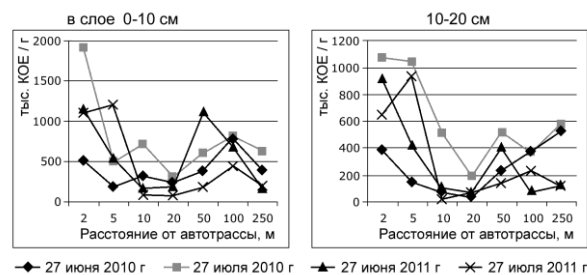


Рис. 5. Численность актиномицетов на КАА

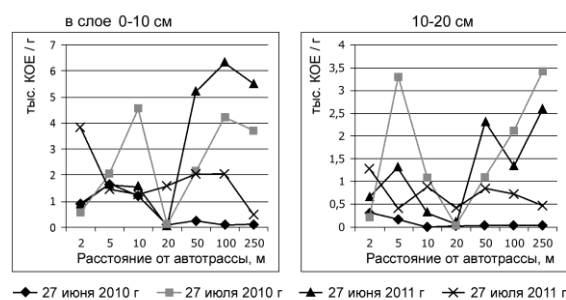


Рис. 6. Численность грибов на среде Чапека

Повышение численности бактерий в слабо загрязненных ТМ почвах является распространенным явлением [8, 9]. Оно объясняется тем, что среди микроорганизмов есть формы, обладающие генетически детерминированной устойчивостью к ТМ. При загрязнении почв происходит селекция данных форм бактерий, которые в дальнейшем дают начало развитию устойчивых к ТМ популяций. Наряду с этим могут действовать и другие механизмы. Например, известно, что низкие дозы ТМ могут стимулировать развитие микроорганизмов. Это связано с тем, что некоторые ТМ, например Zn и Cu, являются кофакторами ферментов и активизируют метаболические процессы в клетках бактерий. Показано так же, что низкие концентрации ТМ могут усиливать проницаемость клеточных мембран, что приводит к улучшению питания и усилению процессов роста и размножения [10, 11]. Увеличение численности бактерий, особенно тех, которые используют органические источники азота, в почвах транспортных зон может играть положительную экологическую роль. Эти бактерии способны активно утилизировать различные углеводороды, которыми загрязнены почвы около автодорожки [2].

Наряду с изменением численности микроорганизмов нами отмечено закономерное изменение таксономического состава микробиоценоза в лугово-черноземных почвах придорожной зоны (рис. 7). Как видно из рис.7, в почвах, расположенных в 2-20 м от автодорожки и сильно загрязненных выбросами автотранспорта, относительная доля бактерий в микробном комплексе возрастает (до 85%), а доля актиномицетов

снижается (до 18-20%). В почвах фонового участка и слабо загрязненных почвах (50-250 м от дороги) содержание бактерий в составе микробного комплекса ниже, а содержание актиномицетов соответственно выше. Эта закономерность была наиболее ярко выражена в периоды исследования 2010 г., в 2011 г. она проявлялась не так явно, но общая тенденция имела место. Таким образом, можно констатировать, что при загрязнении мерзлотных лугово-черноземных почв выхлопами автотранспорта в них возрастает не только абсолютное, но и относительное количество гетеротрофных бактерий.

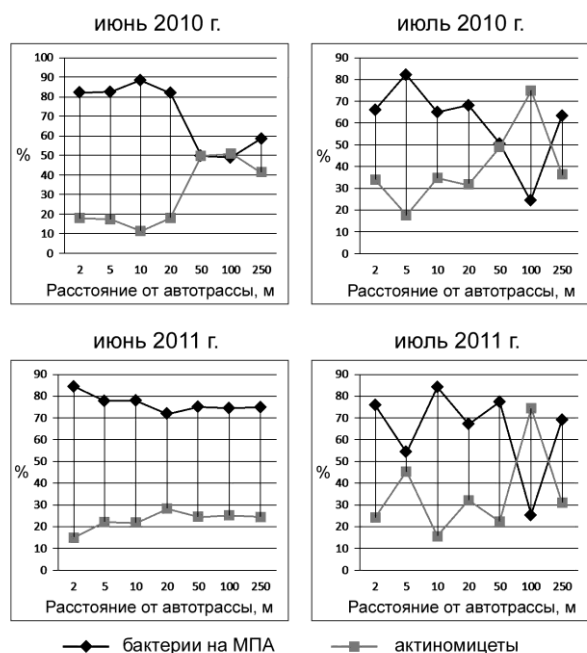


Рис. 7. Состав микробного комплекса в мерзлотной лугово-черноземной почве (слой 0-10 см) на разном удалении от автотрассы

Азотфиксирующие бактерии рода *Azotobacter* являются важным компонентом микрофлоры мерзлотных черноземовидных почв. Наряду с олигонитрофильными бактериями они активно обогащают эти почвы связанным азотом. Наши исследования показали, что *Azotobacter* активно развивается в мерзлотных лугово-черноземных почвах придорожной зоны. Высеваемость на среде Эшби методом почвенных комочков достигала 100% как в почвах фонового участка, так и в почвах, загрязненных выхлопами автотранспорта. При этом в загрязненных почвах абсолютно преобладали формы, образующие слизистые колонии, окрашенные в темно-коричневый цвет. На их долю приходилось 75% от всех колоний. В почвах чистой зоны темноокрашенные колонии составляли 6%. Темно-коричневый цвет колоний *Azotobacter* обусловлен накоплением пигмента меланина, который

выполняет защитные функции. Показано, что меланины микроорганизмов могут нейтрализовать и обезвреживать опасные для клеток свободные радикалы, образующиеся при действии ультрафиолетового излучения и некоторых химических веществ. В роли таких веществ могут выступать, вероятно, ТМ. Имеются данные, свидетельствующие о проявлении модуляторного эффекта меланина по отношению к ферментам репарации ДНК-полимеразе и ДНК-лигазе. Преобладание темноокрашенных форм *Azoto-bacter* в почвах г. Новосибирска ранее отмечала В.С. Артамонова [2]. Эту культуральную особенность *Azotobacter* можно рассматривать как адаптивное приспособление к жизни в условиях загрязненных ТМ металлами почв (рис. 8).

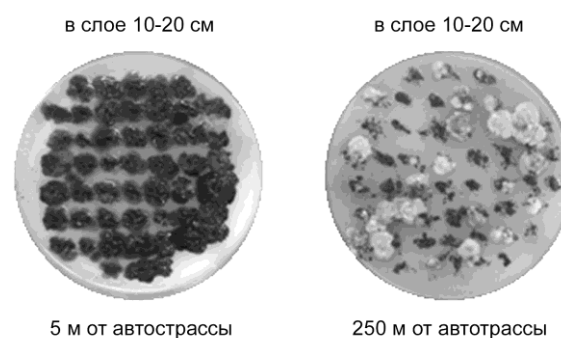


Рис. 8. Меланизированные колонии *Azotobacter* в лугово-черноземных почвах, загрязненных выхлопами автотранспорта

Выводы: исследования показали, что активная эксплуатация автотранспорта приводит к загрязнению мерзлотных лугово-черноземных почв ТМ. Почвенные микроорганизмы активно реагируют на загрязнение: возрастает абсолютная и относительная численность бактерий, представленных, вероятно, формами, устойчивыми к ТМ. В микробном комплексе уменьшается относительная доля актиномицетов. Бактерии рода *Azotobacter* адаптируются к загрязнению, накапливая пигмент меланин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Добровольский, Г.В. Почва. Город. Экология. Монография. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
2. Артамонова, В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Монография. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 208 с.
3. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Монография. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
4. Ильина, Л.П. Тяжелые металлы в растениях и почве у автомобильных дорог / Л.П. Ильина, А.А. Алексеев // Использование и охрана сельскохозяйственных ресурсов Якутии: сборник научных трудов. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. С. 38-45.

5. *Избекова, Ю.Д.* Влияние выхлопов автотранспорта на ферментативную активность почв Якутска / *Ю.Д. Избекова, М.В. Щелчкова* // Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации. Мат-лы межд. научно-практич. конф. Екатеринбург, 3-4 февр. 2005 г. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2005. С. 137-138.
6. Якутский картографический атлас. – Якутск: ОАО «Сахагипрозем», 2007. 110 с.
7. *Левин, С.В.* Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту / *С.В. Левин, В.С. Гусев, И.В. Асеева* и др. // Микроорганизмы и охрана почв.– М.: МГУ, 1989. С. 5-46.
8. *Колесников, С.И.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного / *С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков* // Экология. 2000. № 3. С. 193-201.
9. *Щелчкова М.В.* Изменение численности почвенных микроорганизмов в условиях моделирования загрязнения мерзлотного чернозема тяжелыми металлами / *М.В. Щелчкова, Л.К. Стручкова* // Проблемы региональной экологии, 2009. №2. С. 79-82.
10. *Громов, Б.В.* Экология бактерий. Монография / *Б.В. Громов, Г.В. Павленко.* – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 246 с.
11. *Колесников, С.И.* Изменение эколого-биологических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении тяжелыми металлами второго класса опасности (Mo, Co, Cr, Ni) / *С.И. Колесников, А.В. Еврешинова, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков* // Почвоведение. 2009. № 8. С. 1007-1013.

INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT EMISSIONS ON MICROFLORA OF PERMAFROST MEADOW-CHERNOZEM SOILS IN YAKUTSK CITY

© 2013 M.V. Shchelchkova, M.S. Zhergotova

North-East Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

I arrived in edition 19.05.2013

In the permafrost meadow-chnozem soil of transport zone “Airport Yakutsk” as a result of dispersion the exhaust gases the heavy metals Pb, Zn and Cu are collected. Priority pollutant is Pb, which total contents reaches 3 maximum concentration limits. The zone of pollution extends on 50 m from a source. Soil microorganisms actively react to pollution: the absolute and relative number of bacteria presented probably by forms, steady against heavy metals, increases. In microbic complex the relative share of actinomycetes decreases. Bacteria *Azotobacter* adapt for pollution, accumulating the melanin pigment.

Key words: *heavy metals, bacteria, microscopic fungus, actinomycetes, nitrogen fixing bacteria Azotobacter*