

УДК 502.521:631.46 + 504.61:629.33

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА МИКРОФЛОРУ ЭКОСИСТЕМЫ ПОЧВЫ

Зайцева Т.А., Рудакова Л.В., Уланова Т.С.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: rector@pstu.ru

Исследовано влияние тяжелых металлов (ТМ), содержащихся в выбросах автотранспорта, на количество почвенных микроорганизмов и структуру микробиоценоза в экосистеме почвы учебного комплекса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). Показано, что устойчивость эколого-трофических групп микроорганизмов экосистемы почвы к ТМ различна. Устойчивыми к ТМ, содержащимся в газовых выбросах автомобилей и накапливающимся в почвах, являлись виды родов *Pseudomonas* и *Actinomyces*, способные к деструкции сложных органических веществ (жиры, воск, парафин) и ароматических углеводородов (метан, фенол, крезол). Вместе с тем уменьшение численности сапрофитных бактерий, отсутствие микроскопических грибов и азотфиксаторов, низкая степень минерализации органического вещества, определенная по соотношению КАА/МПА, свидетельствовали об изменении структуры микробного комплекса в экосистемах почв, являющихся стоянками автомобильного транспорта. Ингибирование микробиологических процессов связано прежде всего с высоким содержанием тяжелых металлов в почвах по сравнению с фоновым уровнем. Микробиологическая оценка состояния экосистемы почвы и степень ее устойчивости к антропогенному воздействию, в частности к токсикантам, содержащимся в выбросах автотранспорта, позволяет дать научное обоснование организационно-техническим мероприятиям, направленным на снижение воздействия автотранспорта на почвенные экосистемы.

Ключевые слова: экосистема почвы, эколого-трофические группы микроорганизмов, синтрофные ассоциации, токсиканты, гомеостаз

ASSESSMENT OF EMISSIONS OF TRANSPORT ON SOIL ECOSYSTEM MICROFLORA

Zaytseva T.A., Rudakova L.V., Ulanova T.S.

FGBOU VPO «Perm National Research Polytechnic University», Perm, e-mail: rector@pstu.ru

The influence of vehicle emissions to changes in the ecosystem of the soil microflora educational complex Perm National Research Polytechnic University. From research influence of gas emissions from road transport on the amount and structure of soil microorganisms and microbiocenosis shown that the stability of ecological trophic groups of microorganisms to soil ecosystems gas emissions vehicles varies. Resistant TM contained in gas emissions of cars and accumulate in the soil are species of the genera *Pseudomonas* and *Actinomyces*, able to degrade complex organic matter (fats, wax, paraffin) and aromatic hydrocarbons (methane, phenol, cresol). However, the decrease in the number of saprophytic bacteria, the absence of microscopic fungi and nitrogen-fixing bacteria, the low degree of mineralization of organic matter, determined by the ratio of SAA/MPA, indicating a change in the structure of complex microbial ecosystems in the soil, is a driveway road transport. Changes in the structure of the microbial complex compared to background soils confirmed by the reduced number of saprophytic bacteria, the absence of microscopic fungi and nitrogen-fixing bacteria, a low degree of mineralization of organic matter. Inhibition of microbiological processes associated primarily with high content of heavy metals in soils compared to background levels. Microbiological assessment of soil ecosystem and the degree of resistance to human impacts, particularly to toxicants contained in motor vehicle emissions, is of practical importance as a tool for developing scientific organizational and technical measures aimed at reducing the impact of vehicles on the soil ecosystem.

Keywords: soil ecosystem, ecological-trophic groups of microorganisms, Syntrophic Association, toxicants, homeostasis

Увеличение числа автомобилей в городских условиях приводит к деградации почв, особенно в местах, расположенных вблизи автострад с высокой интенсивностью движения, так как основная масса загрязнений аккумулируется в почвах. Оценка изменений, происходящих в активно функционирующем микробиологическом сообществе естественной экосистемы почвы под влиянием выбросов автотранспорта, является важной задачей сохранения ее гомеостаза. Нормальное функционирование естественной экосистемы почвы и ее гомеостаз в значительной степени зависят от деятельности синтрофных ассоциаций микроорганизмов, которые составляют около 85% почвенной биоты [2, 4]. Синтрофные группы микроор-

ганизмов быстрее и полноценнее усваивают субстрат по сравнению с отдельной популяцией, входящей в их состав. В естественной почве микробиологическое сообщество, структура которого определяется типом почвы, способно активно участвовать в процессах деструкции, синтеза органического вещества и формирования плодородного слоя почвы, обеспечивая устойчивость почвенной системы [1].

Изменение состава и численности микрофлоры в почвенной экосистеме зависит от концентрации в ее составе токсикантов, среди которых высокотоксичными являются тяжелые металлы: Pb, Cd, As, Hg [5]. Действие токсических веществ на биоту, в том числе и микрофлору, проявляется

в ингибировании ферментативной активности, приводящей к нарушению основных метаболических процессов: синтеза белка, проницаемости клеточных мембран, дыхания, азотфиксации.

Цель данного исследования заключалась в оценке изменений структуры микробиоценоза естественной экосистемы дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием газовых выбросов автотранспорта учебного комплекса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), расположенного в рекреационной зоне в 10 км от центра города.

Образцы почвы для исследования отбирали на несанкционированных стоянках легкового и грузового автотранспорта методом «конверта» из верхнего горизонта (0–2 см) и с глубины до 10 см. В качестве контрольной (фоновой) точки исследовали почву лесного массива в 150 м от автотрассы. Эколого-трофические группы микроорганизмов определяли методом высева их из почвы на соответствующие селективные питательные среды, степень микробиологической деструкции органических веществ – по соотношению КАА/МПА, содержание токсичных для микрофлоры тяжелых металлов – атомно-абсорбционным методом на приборе марки ЕЛМЕР-3110. Микро-

биологические исследования экосистемы почвы включали выделение наиболее чувствительных к токсикантам групп микроорганизмов, которые активно деструктируют органические вещества почвы (сапрофитная микрофлора, микроскопические грибы, микомицеты, маслянокислые бактерии, азотфиксаторы), определение их численности и видового состава.

Обнаруженные в микробиологическом сообществе биоиндикаторы, чувствительные к загрязнению выбросами автотранспорта, были использованы для оценки естественных процессов или антропогенных изменений в экосистеме почвы. Для получения наиболее полного представления о естественных взаимоотношениях между различными физиологическими группами микроорганизмов в экосистеме почвы использовали метод Д.М. Новоградского [3]. Применение данного метода позволило определить не только численность микрофлоры, развивающейся за счет минеральных и органических веществ, имеющихся в самой почве, но и получить данные об естественных взаимоотношениях в экосистеме почва – микроорганизм. Исследованиями установлено, что численность сапрофитной микрофлоры в экосистеме почвы изменяется в зависимости от глубины (рис. 1).

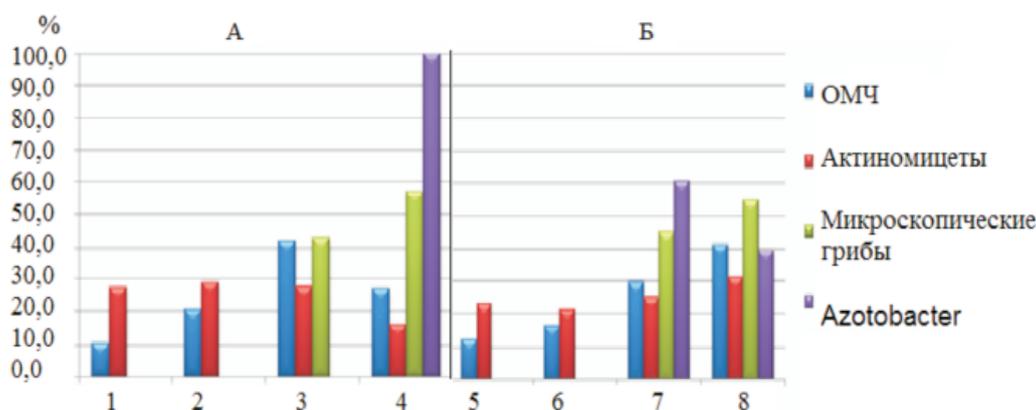


Рис. 1. Изменение численности эколого-трофических групп микроорганизмов:
А – поверхностный слой; Б – глубина слоя до 10 см;
1, 2, 3, 5, 6, 7 – экспериментальные площадки; 4, 8 – лесной массив (фон)

Количество сапрофитных микроорганизмов на фоновой площадке превышало их содержание в почвах стоянок автотранспорта в 1,2–2,8 раза в поверхностном слое почвы, в 3,8–3,9 раза в слое почвы до 10 см. Уменьшение количества сапрофитной микрофлоры на экспериментальных площадках свидетельствовало о замедлении процесса деструкции органических веществ.

Для использования структуры микробиологического сообщества в качестве

интегрального показателя необходимо было оценить влияние газовых выбросов автотранспорта на состояние эколого-трофических групп почвенной микрофлоры. В исследуемых почвах были выделены микроорганизмы родов: *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Actinomyces*, *Clostridium*, *Mycogone*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Azotobacter*, представители которых отличались видовым разнообразием, функциональной специфичностью и профильным распределением в слоях почвы (табл. 1, 2).

Таблица 1

Эколого-трофические группы микроорганизмов поверхностного слоя исследуемых почв учебного комплекса ПНИПУ

Род	Экспериментальные площадки	Фон
	Виды	
<i>Pseudomonas</i>	<i>Ps. methanica, Ps. arguata</i>	<i>Ps. lasia, Ps. capsulata, Ps. caesia</i>
<i>Actinomyces</i>	<i>Act. albus, Act. flavus, Act. sterilis ruber, Act. albus vulgaris, Act. cellulosal</i>	<i>Act. albus vulgaris, Act. sterilis rube, Act. niger, Act. cellulosal</i>
<i>Mycobacterium</i>	<i>Myc. album, Myc. diastaticum</i>	<i>Myc. mucosum</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Cl. macerans, Cl. polymyxa</i>	<i>Cl. macerans, Cl. polymyxa</i>
<i>Mycogone Penicillium Fusarium</i>	* <i>Myc. nigra, *Penic. glaucum, Отсутствие</i>	<i>Myc. nigra, Penic. glaucum, Fus. grameniarum</i>
<i>Azotobacter</i>	<i>Отсутствие</i>	<i>Az. chroococcum</i>

Примечание. * – единично, на фоне повышенного содержания гумуса.

Таблица 2

Эколого-трофические группы микроорганизмов в слое почвы 10 см

Род	Экспериментальные площадки	Фон
	Виды	
<i>Pseudomonas</i>	<i>Ps. rathonic, Ps. zelinskii, Ps. arguata, Ps. mira</i>	<i>Ps. litoralis, Ps. liquefuciens, Ps. radiobacter</i>
<i>Actinomyces</i>	<i>Act. albus, Act. rectus, Act. longissimus, Act. flavus, Act. hygrosopicus, Act. albidus vulgaris, Act. citreus, Act. cellulosal</i>	<i>Act. albidus vulgaris, Act. olivaceus, Act. globisporus vilgaris</i>
<i>Mycobacterium</i>	<i>M. perrugosum ethanicum, M. coeliacum, M. roseum, M. diastaticum</i>	<i>M. mucosum</i>
<i>Achromatium</i>	* <i>Ach. oxaliferum</i>	<i>Отсутствие</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Cl. polyfermenticum, Cl. pasteurianum, Cl. butyricum</i>	<i>Cl. felsineum, Cl. pasteurianum, Cl. pectinovorum</i>
<i>Mycogone Penicillium</i>	* <i>M. nigra, *Pen. glaucum</i>	<i>M. nigra, Pen. glaucum</i>

Примечание. * – единично, на фоне повышенного содержания гумуса.

Из общего количества микроорганизмов, обнаруженных в комочках мелкозема исследуемых почв, большая доля приходилась на актиномицеты. Это самая многочис-

ленная физиологическая группа микроорганизмов, способная к деструкции различных органических веществ. Колонии актиномицетов представлены на рис. 2.



Рис. 2. Колонии актиномицетов, выделенные из мелкозема почвы на среде КАА

Актиномицеты (*Act. flavus*, *Act. albidus*, *Act. longissimus*), выделенные из поверхностного слоя и с глубины до 10 см, были способны разлагать сложные углеводороды (жиры, воск, парафин). В слое почвы до 10 см на отдельных площадках выделены штаммы актиномицетов, подобные виду

Act. hydrosporicus, воздушный мицелий которых способен к поглощению влаги из воздуха, конденсируя ее в виде мелких капель на поверхности колонии, но отличающиеся от известного вида цветом колоний. Выделенные штаммы представлены на рис. 3.

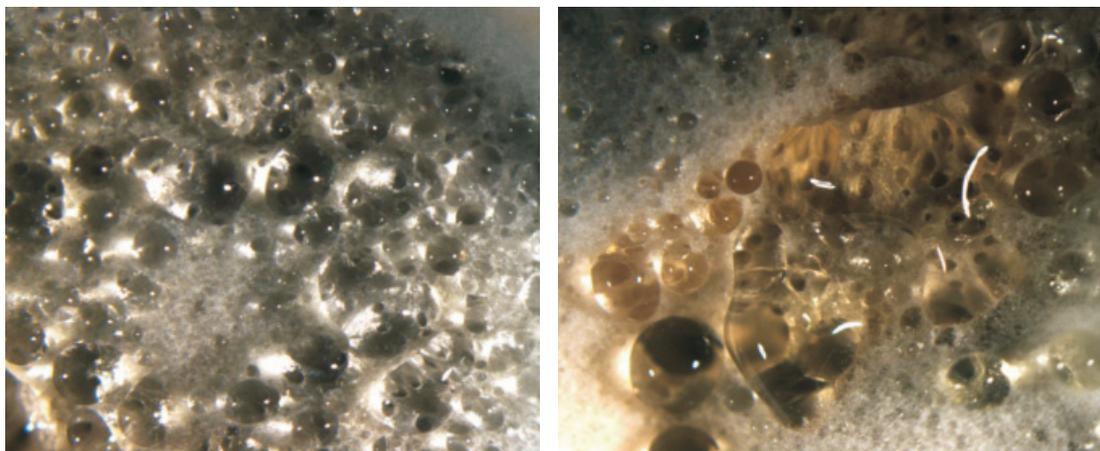


Рис. 3. Колонии *Act. hydrosporicus*

В поверхностном слое почвы лесного массива был обнаружен актиномицет *Act. niger*, колонии которого окрашены в черный цвет, характерный для пигмента типа меланина, не проникающего в субстрат. Воздушный мицелий данного вида развит слабо. Из обросших комочков мелкозема исследуемой почвы выделены микобактерии, устойчивость которых к понижению влажности субстрата обеспечивает их широкое распространение в естественной почвенной экосистеме.

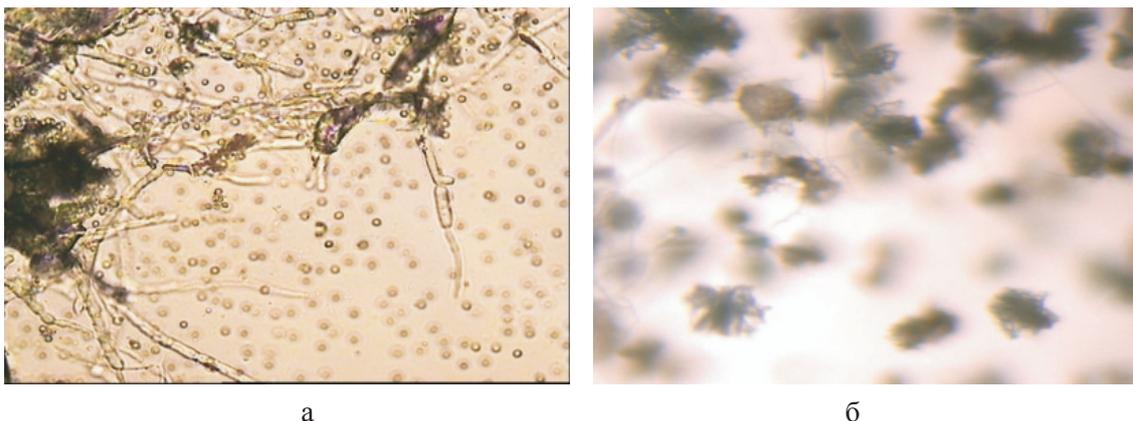
Микобактерии *Myc. diastaticum* и *Myc. mucosum*, присутствующие во всех исследуемых почвах, являются постоянными представителями ризосферной микрофлоры естественной почвы. Выделенные виды микобактерий из слоя почвы до 10 см были способны усваивать углеводородные соединения: этан, бутан, парафин и жиры.

На уплотненных почвах, занятых автостоянками, в слое до 10 см обнаружен вид *Achromatium oxaliferum*, крупные клетки которого содержали капельки серы и оксалаты – зерна щавелевокислого кальция. Выделенный вид способен развиваться в средах при слабом доступе кислорода в присутствии сероводорода, окисляя его и используя как источник энергии при синтезе органического вещества. Присутствие данного вида свидетельствовало об анаэробных условиях в почве, вследствие уплотнения ее автомобильным транспортом.

С целью определения влияния газовых выбросов автотранспорта на постоянных

обитателей почвы выделяли маслянокислых бактерий, осуществляющих процесс деструкции растительных остатков в естественной экосистеме почвы. Развитие культуры маслянокислых бактерий сопровождалось газообразованием, изменением реакции среды от щелочной до кислой, наличием прогорклого запаха, характерного для маслянокислого брожения. Изменение пигментации надосадочной жидкости до желтого цвета связано с присутствием в 10 см слое почвы лесного массива вида *Cl. felsineum*. Выделенные из поверхностных слоев почв виды маслянокислых бактерий *Cl. macerans* и *Cl. polytuxa* являлись факультативными и условными аэробами, последний вид присутствовал в почвах лесного массива и на площадках с повышенным содержанием гумуса. В слоях почвы до 10 см выделены анаэробные виды маслянокислых бактерий: *Cl. polyfermenticum*, способный сбраживать ацетат, пропионат, бутират, и виды, широко распространенные в естественной почве: *Cl. butyricum*, *Cl. pasteurianum*, *Cl. pectinovorum*, *Cl. felsineum*.

Микроскопические грибы были обнаружены только на контрольной площадке и на площадках с повышенным содержанием в почвах гумуса. Виды микроскопических грибов *Mycogone nigra*, *Penicillium glaucum*, *Fusarium graminearum* являлись характерными представителями естественных почв, способных к деструкции сложных органических веществ (целлюлоза) и растительных остатков (рис. 4 и 5).



а

б

Рис. 4. Морфология грибов:

а – Мицелий и хламидоспоры *Mucogone nigra*; б – Конидиеносцы и конидии *Penicillium glaucum*



Рис. 5. Веретеновидные макроконидии *Fusarium graminearum*

Из представителей рода *Azotobacter* наиболее активным фиксатором молекулярного азота атмосферы являлся *Azotobacter chroococcum*, выделенный из почв лесного массива.

Степень минерализации органических веществ по профилю исследуемых почв, определенная по соотношению КАА/МПА, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Степень минерализации органического вещества в экосистеме почвы

Глубина отбора	Наименование точек отбора проб почвы	КАА/МПА
Поверхностный слой	Экспериментальные площадки	0,01–0,07
	Фон	до 0,01
Глубина слоя до 10 см	Экспериментальные площадки	0,01–0,05
	Фон	до 0,01

Полученные данные свидетельствуют о низкой степени минерализации в почвах, занятых стоянками автотранспорта по сравнению с фоном.

Для оценки влияния тяжелых металлов (ТМ) на микрофлору экосистемы почвы определяли высокотоксичные элементы, содержащиеся в маслах и присадках автомобилей: Cd, Cu, Pb. Содержание ТМ в пробах почв представлено в табл. 4.

Проведенные исследования показали превышение содержания ТМ, установленного для почв нормативами ПДК, как в поверхностном слое почвы экспериментальных пло-

щадок, так и на глубине до 10 см. При этом в поверхностном слое содержание свинца превышено в 1,77 раза на первой площадке, кадмия – от 3,6 до 137,4 раз, меди – от 2,2 до 7,8 раза. На глубине до 10 см исследуемых почв превышение составило по кадмию в 16,8 и 22,4 раза; по меди – в 1,6 и 2,6 раза; по кадмию – в 15,8 раза. В контрольной точке (фон) содержание ТМ соответствовало нормативам ПДК.

Результаты исследований показали, что устойчивость эколого-трофических групп микроорганизмов экосистемы почвы к газовым выбросам автотранспорта различна.

Устойчивыми к ТМ, содержащимся в газовых выбросах автомобилей и накапливающимся в почвах, являлись виды родов *Pseudomonas*. и *Actinomyces*, способные к деструкции сложных органических веществ (жиры, воск, парафин) и ароматических углеводородов (метан, фенол, крезол). Вместе с тем уменьшение численности

сапрофитных бактерий, отсутствие микроскопических грибов и азотфиксаторов, низкая степень минерализации органического вещества, определенная по соотношению КАА/МПА, свидетельствует об изменении структуры микробного комплекса в экосистемах почв, являющихся стоянками автомобильного транспорта.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в почве учебного комплекса ПНИПУ

Глубина отбора проб	Наименование точек отбора проб почвы		Тяжелых металлов, мг/кг		
			Pb	Cd	Cu
Поверхностный слой	Экспериментальные площадки	1	10,6	68,7	23,4
		2	4,7	12,9	6,5
		3	4,1	1,8	2,9
	Фон		2,3	0,2	1,5
Глубина слоя до 10 см	Экспериментальные площадки	1	2,9	8,4	5,0
		2	5,2	11,2	7,9
		3	2,1	7,9	1,4
	Фон		1,6	0,4	1,1
ПДК			6,0	0,5	3,0

Микробиологическая оценка состояния экосистемы почвы и степень ее устойчивости к антропогенному воздействию, в частности к токсикантам, содержащимся в выбросах автотранспорта, имеет практическую значимость, поскольку является инструментом для разработки научно обоснованных организационно-технических мероприятий, направленных на снижение воздействия автотранспорта на почвенные экосистемы.

Список литературы

1. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. – 233 с.
2. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
3. Большой практикум по микробиологии. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1962. – 490 с.
4. Ковязин В.Ф. Мониторинг почвенно-растительных ресурсов в экосистемах Санкт-Петербурга / В.Ф. Ковязин и др.; под ред. В.Ф. Ковязина. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. – 344 с.
5. Щербakov А.П., Свистова И.Д., Джувеликян Х.Ф. Биомониторинг загрязнения почвы газовыми выбросами автотранспорта // Экология и промышленность России, июнь. – 2001.

References

1. Ananeva N.D. Mikrobiologicheskie aspektyi samoochischneniya i ustoychivosti pochv / N.D. Ananeva. M.: Nauka, 2003. 233 p.
2. Babeva I.P., Zenova G.M. Biologiya pochv: Uchebnik. M.: Izd-vo MGU, 1989. 336 p.
3. Bolshoy praktikum po mikrobiologii. M.: Izd-vo «Vysshaya shkola», 1962. 490 p.
4. Kovyazin V.F. Monitoring pochvenno-rastitelnykh resursov v ekosistemah Sankt-Peterburga / V.F. Kovyazin i dr. pod red. V.F. Kovyazina. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2010. 344 p.
5. Scherbakov A.P., Svistova I.D., Dzhuvelikyan H.F. Biomonitring zagryazneniya pochvyi gazovymi vybrosami avtotransporta // Ekologiya i promyshlennost Rossii, iyun, 2001.

Рецензенты:

Халтурин В.Г., д.т.н., профессор кафедры охраны окружающей среды Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь;

Нурисламова Т.В., д.б.н., профессор, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 26.02.2014.