

АНАЛИЗ СУММАРНОЙ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И УГЛЕВОДОРОДОВ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА (НА ПРИМЕРЕ ПРИДОРОЖНЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2012 Г.С. Миронов

Самарский государственный университет

Поступила 21.10.2011

В работе представлены экспериментальные данные о загрязнении придорожных почв исследуемыми поллютантами, а также о влиянии их концентраций на цитогенетическую активность почв. Выявлено наличие статистически значимых тенденций к увеличению содержания почвенных генотоксикантов и увеличению частоты возникновения хромосомных aberrаций по мере увеличения интенсивности движения автотранспорта.

Ключевые слова: автотранспорт, почвы, генотоксичность, хромосомные aberrации.

В настоящее время известно о негативном воздействии автотранспорта на придорожные экосистемы. В работах [5, 7] показано, что почвы, располагающиеся вблизи автодорог, претерпевают изменения своих физико-химических свойств, и накопление поллютантов, что во многом определяет нарушение их биогеоценологических функций.



Рис. 1. Схема географического расположения пунктов исследования

Также известно, что воздействие автотранспорта сопровождается поступлением и аккумуляцией в почвенном покрове придорожных территорий двух групп токсикантов: тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов, которые обладают мутагенными свойствами (в том числе и для человека). Однако экспериментальные данные о генотоксичности придорожных почв встречаются крайне редко.

Целью исследования стал анализ комбинированного действия поллютантов, содержащихся в почвах, на генетический аппарат *Allium fistulosum* L.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор почвенных образцов осуществлялся в осенне-летний период 2009-2011 гг. с 32 придорож-

ных участков в 22 административных районах Самарской области (рис. 1).

Выбор пунктов исследования (табл. 1) обуславливался двумя основными критериями: отсутствие дополнительных источников загрязнения, составляющих стационарные компоненты автодорожных геотехнических систем (заправочные станции, станции ремонта и обслуживания, пункты питания и т. д.); и относительной выравненностью рельефа дороги и обочины.

Таблица 1. Описание пунктов исследования (номер соответствует положению на карте см. рис. 1)

Населенный пункт (окрестности)	№ пункта	Территориальное назначение дороги	Асфальтовое покрытие	Интенсивность движения, ед./сут.
1	2	3	4	5
ж/д ст. «135 км»	9	М	-	12
с. Денискино	28	М	-	34
с. Якушкино	6	М	+	38
с. Поволжский	26	М	-	58
с. Августовка	27	М	+	108
с. Грачевка	5	М	-	120
с. Чистовка	15	М	+	126
с. Приволжье	20	Р	+	166
с. Балашейка	19	Р	+	206
с. Елховка	18	Р	+	212
пос. Лесной	12	М	+	280
с. Натальино	4	Р	+	362
с. Камышла	21	Р	+	453
с. Теплый Стан	25	Р	+	458
с. Исаклы	13	Р	+	462
с. Екатериновка	31	Р	+	498
с. Алексеевка	14	Р	+	568
с. Шигоны	17	Р	+	588
с. Борское	16	Р	+	624
с. Кошки	3	М	+	644
с. Суходол	8	Ф	+	698
с. Шентала	11	Р	+	744
с. Красноармейское	30	Р	+	766
с. Хворостянка	2	Р	+	798
с. Рождествено	23	Р	+	864

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

с. Пестровка	1	Р	+	874
с. Черниговка	10	Ф	+	880
с. Александровка	29	Р	+	890
с. Клявлино	24	Р	+	986
с. Черновка	7	Ф	+	1056
с. Богатое	32	Р	+	1104
с. Ширяево	22	Р	+	1268

Примечание: М – местное, Р – региональное, Ф – федеральное; «+» и «-» – наличие и отсутствие асфальтового покрытия соответственно

Исследуемые образцы отбирались из верхнего перегнойно-аккумулятивного горизонта (глубина 10-15 см), с расстояния 5 м от края дорожного полотна. Выбор удаления от дороги определялся на основании ряда работ, в которых наглядно показано максимальное накопление изучаемых поллютантов в зоне от 0 до 10 м [5,7].

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах проводилось на базе Ульяновской Агротехслужбы методом атомной абсорбционной спектроскопии, а на базе Самарского государственного политехнического университета проводилось определение доли органического углерода методом Тюрина, азота – методом Кьельдаля. Оценка доли техногенной орга-

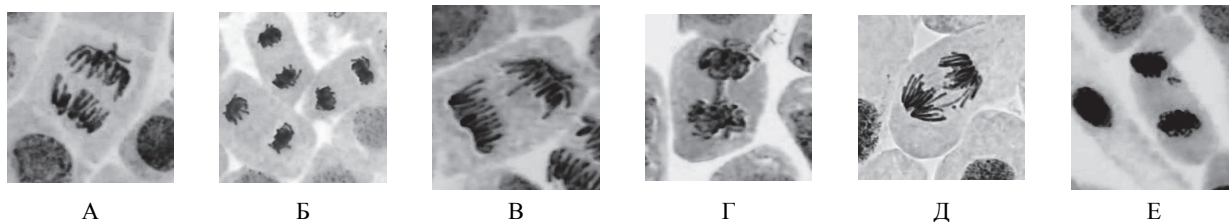


Рис. 2. Некоторые типы хромосомных aberrаций: А) нормальная анафаза, Б) нормальная телофаза, В) отставание в анафазе, Г) телофазный мост, Д) анафазный мост, Е) фрагмент в телофазе (стрелками показано расположение aberrаций)

Статистическая обработка данных заключалась в подсчете средней арифметической и её ошибки, проведении корреляционного анализа по общепринятым в биологических исследованиях методикам [2]. Частично статистический анализ проводился с помощью программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полиметаллического загрязнения почвенного покрова показал наличие концентраций тяжелых металлов в исследуемых образцах, не превышающих установленных ПДК, что показывает относительно благоприятную картину для Самарской области. Для более детального анализа проводилось сопоставление фактической концентрации поллютантов с фоновым значением для того или иного административного района области. Фоновые значения содержания металлов в почвах взяты из работы Н.В. Прохоровой [4].

По отношению показателей рассчитывался коэффициент Zc, отражающий степень техногенности поступления металла в почву [3]. Результаты анализа полиметаллического загрязнения почв исследуемых территорий суммированы в табл. 2. Из не видно, что наибольшее загрязнение исследуемых почв

наблюдается по Ni; в меньшей степени – по Pb, Cu и Zn. Низкий уровень загрязнения Pb может быть связан с запретом на использование в автопромышленности свинецсодержащих присадок к топливу и маслам.

Отсутствие загрязнения по Zn и незначительный уровень по Cu может объясняться относительно высокой подвижностью данных металлов в почве, которая обусловлена высокой растворимостью в кислой среде. В то же время, загрязнение почв Ni может быть обусловлено широким спектром применения его в автомобильной промышленности [7].

Техногенный характер накопления Ni в исследуемых почвах может также быть подтвержден значимой корреляцией с показателем интенсивности движения автотранспорта ($r = 0,41$; $p < 0,01$).

Известно, что никель является антагонистом меди в системе «почва-растение» и, обладая высоким сродством, способен замещать его и накапливаться в организмах почвенной биоты. Также известно, что привнесение в придорожные почвы Ni нарушает его естественный баланс по отношению к Cu, которая входит в состав фитогормонов, ферментов растений, а также некоторых структурных белков клеток растений [1].

Замещение меди в медьсодержащих соединениях может приводить как к нарушению и остановке митоза, так и к нарушению процессов по-

ники в исследуемых образцах проводилась по соотношению органического углерода к азоту (C/N).

Тест-системой для цитогенетического анализа служили семена *A. fistulosum* L., пророщенные на водных вытяжках исследуемых образцов, цитогенетическая активность которых оценивалась по двум показателям

1. Митотический индекс (МИ, %) – скорость деления клеток корневой меристемы *A. fistulosum* L.

$$МИ = (\Pi + M + A + T) \cdot 1000 / N,$$

где Π – клетки в профазе, М – метафазе, А – анафаза, Т – телофаза, N – общее количество наблюдаемых клеток, включая интерфазные (не менее 1000).

2. Частота возникновения хромосомных aberrаций (ХА, %) – отношение aberrантных клеток, находящихся на стадии анафазы и телофаза к их общему количеству (не менее 500 ана- и телофаз):

$$ХА = (A' + T') \cdot 100\% / \square(A + T),$$

где А' – aberrантные анафазы, Т' – aberrантные телофазы.

В ходе анателофазного анализа учитывались следующие типы хромосомных нарушений: хромосомные и хроматидные мосты (парные и одиночные), фрагментации хромосом, отставания хромосом (рис. 2).

строения мембран клеток растений, Это может являться причиной поступления иных, имеющих более сложное строение и молекулярную массу, токсинов, а также снижению тургесценции корней, что в свою очередь снижает всасывающую способность корня,

а следовательно и ряд физиологических процессов растений [1]. Критерий Cu/Ni отражает степень негативного в отношении клеточных физиологических процессов влияние этих металлов.

Таблица 2. Анализ полиметаллического загрязнения придорожных территорий Самарской области

№ пункта исследования на схеме (рис. 1)	Cu, мг/кг		Ni, мг/кг		Zn, мг/кг		Pb, мг/кг	
	Сфакт	Сфон	Сфакт	Сфон	Сфакт	Сфон	Сфакт	Сфон
9	3,7	97,3	8,1	31,6	10,8	90,9	4,8	17,0
28	15,3	20,6	6,2	44,3	12,3	105,8	3,1	8,3
6	17,4	38,4	5,7	30,3	11,4	94,0	6,2	12,1
26	19,1	126,9	8,2	39,4	14,3	111,4	10,2	18,3
27	17,0	22,2	3,8	7,4	8,2	44,6	*7,6	4,8
5	20,8	42,9	36,0	44,8	21,4	94,5	*12,4	10,8
15	19,1	39,4	39,2	49,1	23,6	114,4	*9,3	6,4
20	19,6	23,8	**16,5	6,1	22,9	25,1	4,0	4,2
19	20,9	51,7	18,1	23,7	19,2	65,1	11,4	14,0
18	17,7	31,1	15,4	30,0	21,5	109,9	8,3	11,2
12	25,1	43,4	4,2	26,0	26,4	97,9	*17,1	15,1
4	25,7	24,7	**48,0	9,4	24,5	46,8	*16,5	9,7
21	23,7	43,6	26,4	27,2	14,2	84,6	2,4	4,8
25	22,0	31,1	*4,9	3,6	13,6	29,1	6,1	8,4
13	22,8	43,4	29,4	26,0	12,4	97,9	13,1	15,1
31	22,3	24,4	**11,6	3,6	11,9	29,1	8,2	8,4
14	11,6	27,3	*19,6	17,7	26,1	39,2	7,9	10,8
17	22,1	72,3	7,9	30,2	13,4	104,9	*14,2	13,5
16	23,6	38,7	*28,3	26,5	19,8	54,5	*8,6	7,7
3	21,8	34,7	*46,8	34,5	24,3	94,9	*16,0	8,7
8	21,0	38,4	*36,9	30,3	21,8	94,0	*12,7	12,1
11	*26,2	20,6	21,1	44,3	21,0	105,8	8,2	8,3
30	21,7	24,7	8,1	9,4	21,5	46,8	7,4	9,7
2	16,6	25,5	***30,6	4,1	21,2	49,9	*12,1	9,4
23	21,3	97,3	9,8	31,6	12,1	90,9	5,4	17,0
1	*21,6	17,9	***37,7	3,7	22,8	37,4	**13,2	5,4
10	18,3	22,2	**17,8	7,4	6,8	44,6	2,9	4,8
29	22,1	27,7	**42,0	15,4	10,8	51,3	6,8	7,1
24	11,5	41,7	29,3	44,8	9,5	94,5	6,1	10,8
7	24,1	38,4	25,4	30,3	16,2	94,0	6,3	12,1
32	*22,5	21,3	31,9	40,4	14,3	42,7	3,8	5,1
22	25,4	93,7	*36,1	31,6	10,9	90,9	8,6	17,0

Примечания: *Незначительное превышение ($Z_c < 2$); **Слабое превышение ($2 < Z_c < 8$), ***Среднее превышение ($8 < Z_c < 16$), Интерпретации «незначительное», «слабое», «среднее» соответствуют предложенным в работе [3].

Считается, что при приближении величины данного показателя к единице наблюдается наиболее благоприятное действие данных металлов [1]. Поэтому был проведен анализ цитогенетических свойств исследуемых почв в условиях медь-никелевого дисбаланса, в результате которого было выявлено наличие статистически значимых корреляционных связей между показателями цито- и генотоксичности почв и величиной показателя Cu/Ni (рис. 4).

Анализ органического загрязнения исследуемых участков позволил обнаружить тенденцию к увеличению показателя C/N по мере увеличения интенсивности движения, что свидетельствует о техногенном характере поступления углеводов в почвенный покров придорожных территорий (рис. 3).

Как видно из рис. 3, коэффициент аппроксимации (R^2 для $p = 0,05$ составляет 0,22) показывает наличие статистической значимости данной зависи-

мости ($p < 0,05$), что свидетельствует о высокой доле техногенной органики в общем органическом комплексе придорожных почв.

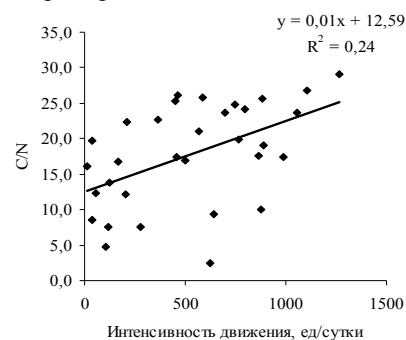


Рис. 3. Накопление техногенной органики в придорожных почвах в зависимости от интенсивности движения автотранспорта

Обнаруженные тенденции позволили сделать предположение о наличии цитогенетической актив-

ности исследуемых почв. В результате определения цито- и генотоксичности исследуемых образцов и сопоставления величин показателей МИ и ХА с показателями загрязнения почв придорожных территорий был обнаружен ряд корреляционных связей, отраженный на рис. 4.

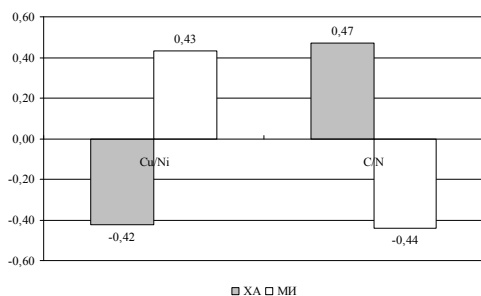


Рис. 4. Корреляции между показателями цитогенетической активности почв и степенью их загрязнения

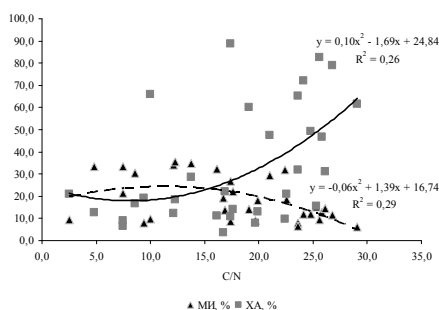


Рис. 5. Изменение показателей генотоксичности почв в зависимости от величины C/N

В результате сравнительного анализа показателей генотоксичности почв и их химико-токсикологических характеристик был обнаружен ряд статистически значимых тенденций. Было выявлено, что при увеличении соотношения C/N статистически значимо снижается пролиферативная активность клеток и возрастает частота возникновения хромосомных aberrаций (рис. 5). Из рис. 5 видно, что при увеличении значения показателя C/N до 11 частота возникновения хромосомных aberrаций падает, при этом возрастает величина митотического индекса. Сравнительный анализ показателей полиметаллического загрязнения почв и показателей

их генотоксичности не обнаружил статистически значимых тенденций.

Таким образом, удалось обнаружить, что в условиях воздействия автотранспорта почвы территории Самарской области подвергаются значительному химическому загрязнению. Наиболее выраженное полиметаллическое загрязнение наблюдается по таким тяжелым металлам, как Cu и Ni. Загрязнение придорожных почв техногенными органическими поллютантами наблюдается значительно сильнее, о чем свидетельствует обнаруженная зависимость показателя углеводородного загрязнения от интенсивности движения. Также удалось установить, что воздействие со стороны автотранспортного комплекса влияет на цитогенетическую активность придорожных почв, что выражается в ингибировании пролиферативной активности клеток и стимулировании возникновения хромосомных aberrаций, что в конечном итоге приводит к угнетению ростовых процессов и гибели растения. Ведущую роль в нарушении митотических процессов играют техногенные углеводороды, аккумулируемые придорожными почвами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гарипова Р.Ф., Калиев А.Ж. Цитогенетический анализ в мониторинге почв при техногенном загрязнении микроэлементами // Вест. ОГУ. 2009. № 4. С. 94-97.
2. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа. 1990. 352 с.
3. Порядок определения размеров ущерба земель от загрязнения химическими веществами. М., 1993. 38 с.
4. Прохорова Н.В. Тяжелые металлы в почвах административных районов Самарской области // Вестник СамГУ. 2002. Спец. вып. С. 183-187.
5. Прохорова Н.В. Эколого-геохимическая роль автотранспорта в условиях городской среды // Вест. СамГУ. 2005. № 5. С. 188-199.
6. Пушаева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос. 1988. 120 с.
7. Пшенин В.Н. Загрязнение почвенного покрова придорожных территорий // Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики / Труды IV Международ. науч.-практич. конф. СПб: Изд-во МАНЭБ. 2008. С. 48-55.

THE ANALYSIS OF TOTAL CYTOGENETIC ACTIVITY OF HEAVY METALS AND HYDROCARBONS OF SOILS IN THE CONDITIONS OF MOTOR TRANSPORT INFLUENCE (ON THE EXAMPLE OF ROADSIDE SOILS OF TERRITORY OF THE SAMARA REGION)

© 2012 G.S. Mironov

Samara State University

In work experimental data about pollution of roadside soils investigated pollutants, and also about influence of their concentration on cytogenetic activity of soils are presented. Presence of statistically significant tendencies to increase in the maintenance soil gen-toxins, and also to increase in frequency of occurrence of chromosomal aberrations in process of increase in intensity of movement of motor transport is revealed.

Key words: motor transport, soils, genotoxicity, chromosomal aberrations.