

**Крюков В.И.**, доктор биологических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет  
им. Н.В. Парахина», Россия, г. Орёл  
тел. 8 (4862) 47 51 71, e-mail: [iniic@mail.ru](mailto:iniic@mail.ru)  
**Kriukov V.I.**, doctor of biological sciences, professor  
Orel state agrarian university, Russia, Orel

**АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МУТАГЕНАМИ ПОЧВ СЕВЕРНОГО РАЙОНА ГОРОДА ОРЛА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *ARABIDOPSIS THALIANA***  
(Testing the soil mutagenic pollution of Orel's Northern district using of *Arabidopsis thaliana*)

В статье приведены результаты анализа интегрального уровня токсичности и мутагенности почв из 10 различных мест Северного района г. Орла. Анализ мутагенности проведён с использованием эмбрион-теста на *Arabidopsis thaliana*. Тестерные растения выращивали в лабораторных условиях на почве собранных образцов. Морфологический анализ мутаций проводили в фазу плодоношения. Учитывали частоты стерильных яйцеклеток, доминантных летальных (*sicca*, *brevis*, *vana*, *diffusa*, *murca*, *parva*, *fusca*) и рецессивных хлорофильных (*albina*, *chlorina*, *xantha*) мутаций. Почва двух образцов индуцировала частоту эмбриональных летелей статистически достоверно отличающиеся от контроля. Три образца почвы индуцировали статистически достоверно более высокие частоты стерильных яйцеклеток. Шесть почвенных образцов вызывали статистически достоверное увеличение суммарных частот всех проанализированных аномалий. Эти результаты указывают, что в Северном районе города Орла существуют участки с высоким содержанием мутагенных и фитотоксичных загрязнений.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, генетический мониторинг, мутагенез, эмбриональные летальные мутации, Арабидопсис

**Введение.** Важнейшей проблемой современной прикладной экологии является поиск путей борьбы с загрязнением окружающей среды, уровень которого становится всё более угрожающим и воздействие которого отрицательно влияет на состояние не только локальных экосистем, но и на биосферу в целом. Загрязнение окружающей среды городов оказывает существенное влияние на здоровье населения, особенно детей и молодёжи [1].

Многие химические вещества, составляющие сложных комплекс загрязнителей окружающей среды, обладают мутагенными свойствами, и их накопление в окружающей среде может усиливать риск возникновения мутаций в популяциях растений, животных и человека. Наибольшему загрязнению подвергается окружающая среда населённых пунктов, особенно, мегаполисов и крупных промышленных центров. Обусловлено это загрязнение большим количеством промышленных выбросов и отходов, высокой концентрацией выхлопных газов транспорта, большими объёмами бытовых отходов и коммунальных стоков. Загрязнению подвергается атмосфера и водоёмы. Однако большая часть антропогенных за-

The article presents the results of the analysis of the integral level of toxicity and mutagenicity of soils from 10 different places in the Northern region of Orel. Analysis of mutagenicity was performed using an embryo-test for *Arabidopsis thaliana*. Tester plants were grown in laboratory conditions on the soil of the collected samples. Morphological analysis of mutations was performed in the phase of fruiting. The frequencies of sterile eggs, dominant lethal (*sicca*, *brevis*, *vana*, *diffusa*, *murca*, *parva*, *fusca*) and recessive chlorophyll (*albina*, *chlorina*, *xantha*) mutations were taken into account. The soil of the two samples induced frequencies of embryonic lethal, which was statistically significantly different from the control. Three soil samples induced statistically significantly higher frequencies of sterile eggs. Six soil samples caused a statistically significant increase in the total frequencies of all analyzed anomalies. These results indicate that there are areas with a high content of mutagenic and phytotoxic pollutants in the Northern region of Orel.

**Key words:** ecological monitoring, genetic monitoring, mutagenesis, embryonic lethal mutations, *Arabidopsis*

грязнений аккумулируется в почве. При сопутствующем воздействию других негативных факторов (водной или воздушной эрозии, потере гумуса, уплотнении структуры) почва теряет свои плодородные свойства. В городах эти процессы могут вести к формированию урбанозёмов, менее пригодных для жизнедеятельности растений. В зоне промышленных аэрозольных выбросов в селитебных зонах могут формироваться участки, в которых уровень загрязнения вредными веществами может многократно превышать гигиенические нормы. Почвы районов индивидуальной застройки промышленных городов могут быть загрязнены тяжёлыми металлами, содержание которых превышает ПДК в десятки раз [2, с.148]. Совершенствование системы биомониторинга городских почв является одной из главных задач прикладной урбэкологии поскольку его результаты могут быть использованы в практической деятельности городских природоохранных служб и учреждениями здравоохранения.

Сельскохозяйственные угодья также испытывают сильное химическое загрязнение вредными веществами поступающих вместе с минеральными удоб-

рениями и используемыми пестицидами, а также из-за глобальных выпадений аэрозолей, переносимых из промышленных зон. По этой причине разработка методологии биоиндикации почв сельхозугодий мутагенными веществами также актуальна. Негативные изменения экосистем агросферы, обусловленные как традиционным землепользованием, так и всё усиливающейся урбанизацией территорий ставит перед экологами задачу всестороннего анализа и профилактики негативных антропогенных воздействий на агроценозы.

В ЦЧЗ РФ, где хозяйственная деятельность очень интенсивна, практически не осталось значительных по площади участков черноземов, сохранивших своё естественное плодородие. Чернозёмы занимают лишь 7% общей площади, но на них находится более 40% всей площади пахотных угодий и производится около 80% всей сельскохозяйственной продукции. [3, с. 3.]. Поэтому антропогенное нарушение плодородия чернозёмов будет иметь, помимо экологических, очень серьёзные экономические потери. Во избежание таких потерь организация экологического и в его рамках – генетического мониторинга в чернозёмной зоне сельскохозяйственного производства является одной из существенных задач.

Большая часть веществ, загрязняющих экосистемы, из-за отсутствия оборудования, методик и стандартов не может быть определена инструментальными методами. Биота же является наиболее чувствительной компонентой, быстро реагирующей на любые изменения в экосистемах. Поэтому анализ состояния биотической компоненты позволяет получить характеристику суммарной токсичности и мутагенности природных сред независимо от состава загрязняющих веществ. С этой целью для контроля экологической ситуации широко используют методы анализа изменений, происходящих у биоиндикаторов – определённых видов микроорганизмов, растений или животных. Изменение генетических, биохимиче-

ских, физиологических, или морфологических признаков у биоиндикаторов позволяют диагностировать экологические нарушения в экосистемах на ранних стадиях их антропогенного нарушения.

Для профилактики загрязнения окружающей среды необходима информация о наиболее критических территориях, уровень загрязнения которых может представлять опасность для нормального существования популяций растений, животных и человека. Одним из путей получения такой информации является создание комплексной системы экологического мониторинга, включающего в себя геофизический, геохимический и биотический мониторинг. Составной частью биомониторинга является мониторинг генетический. Один из путей осуществления генетического мониторинга антропогенного загрязнения среды является анализ изменений генетических структур у тестерных видов организмов свободноживущих в природных популяциях. Другой подход связан с анализом образцов различных объектов среды (воздуха, воды, почв) в лабораторных условиях с использованием тестерных видов организмов. Для этих целей используют тест-организмы различных уровней организации.

Целью наших исследования являлось определение мутагенности для растений суммарного загрязнения почв в городе Орле. В настоящем сообщении описаны результаты анализа почвенных образцов из различных мест Северного района г. Орла.

#### **Материалы и методы исследований**

Материалом для исследования служили 10 образцов почвы, собранных в различных местах Северного района г. Орла. Координаты, определённые по Google Maps, городские адреса и краткая характеристика мест отбора проб приведены в таблице 1 и на схеме (см. рисунок).

**Таблица 1 – Координаты и краткая характеристика мест отбора почвенных проб**

№	Координаты	Городской адрес и примечания
Контроль	52.974713 36.022826	Территория дачного массива, на западной окраине г. Орла (на рис. не показано), бровка оврага, целинный участок, почва из слоя от 10 до 20 см
1	53.009743, 36.150956	Микрорайон СПЗ, ул. Московская, зелёная зона перед фасадом дома 155А.
2	53.007104, 36.109097	Ул. Кузнецова, газон перед фасадом дома № 2
3	53.001245, 36.100574	Лесополоса у автодорожного моста над железнодорожными путями на ул. Раздольная
4	53.001589, 36.127648	Прокуровский лесопарк, ул. Д. Блынского, перед домом № 10, рядом со средней шк. № 45
5	53.002421, 36.156260	Ул. Дениса Давыдова (на Яндекс-карте –пересечение ул. Осенняя и Приветливая), 20 м. от берега пруда
6	52.996310, 36.160160	Ул. Вьяльцевой, 15 м от северного берега пруда
7	52.986672, 36.117138	Московское шоссе, зелёная зона перед фасадом дома № 17
8	52.990370, 36.117504	Ул. Михалицина, газон перед фасадами домов № 13 и 15
9	52.981819, 36.124519	Газон у перекрёстка ул. Шульгина и Переходного переулка, около средней школы № 30 .
10	52.981915, 36.145932	Пустырь у перекрёстка ул. Берёзовой. с ул. Пяецкого

Образцы отбирали из верхнего слоя почвы до глубины 10 см. Контролем служил образец почвы, собранный на западной окраине города, на удалённом от автомагистралей и промышленных предприятий целинном участке, без видимых следов нарушения почвенного профиля. Почва для контроля была собрана не с поверхностного десятисантиметрового слоя, а с глубины 10-20 см. Техника отбора и подготовки почвенных образцов к анализу, методы выращивания тестерных растений арабидопсиса описаны ранее [4].

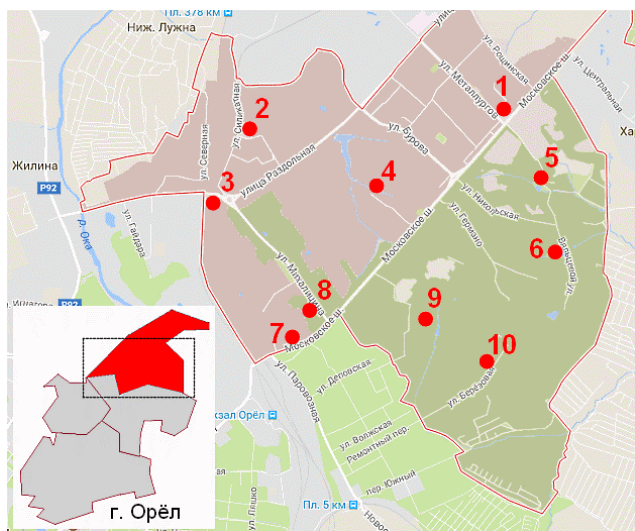


Рис. 1 - Схема Северного района г. Орла с указанием мест отбора почвенных проб

Мутагенность почв определяли по частоте возникновения доминантных летальных (*sicca*, *brevis*, *vana*, *diffusa*, *mutca*, *parva*, *fusca*) и рецессивных хлорофильных (*albina*, *chlorogina*, *xantha*) мутаций у эмбрионов  $M_1$  [5]. Установленные частоты аномалий у растений, выращенных на анализируемых образцах почвы, сравнивали с частотами мутаций у растений, выращенных на контрольном образце относительно чистой почвы, характеристика которой дана в предыдущем сообщении [4, с. 3]. Статистический анализ достоверности различий частот аномалий у растений, выращенных на почве различных образцов, определяли после ( $\phi$ -преобразования частот аномалий для сравнения малых ( $p < 0.2$ ) и больших ( $p > 0.8$ ) долей [6, с. 166-169]. Все расчёты были выполнены с использованием программы MS Excel.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Почвы г. Орла в настоящее время являются антропогенно трансформированными урбаноземами. Некоторые участки в городе фрагментарно сохранили зональные характеристики исторически сформировавшимися серыми лесными почвами и чернозёмами различных подтипов. Однако в большинстве случаев в результате строительных работ почва имеет нарушенный почвенный профиль с верхним слоем в разной степени загрязнённым строительным мусором. Почва большинства газонов вокруг недавно построенных зданий представлена 10-20-сантиметровым слоем привезённого чернозёма под которым находят-

ся мощный слой строительного мусора, образованного при строительстве. Такие участки при отборе проб избегали.

Всесторонняя оценка экологического состояния почв представляет собой достаточно сложную задачу потому, что в отличие от однокомпонентных сред (аква- и гидросферы) педосфера является сложно организованной многокомпонентной системой, представленной тремя фазами – твёрдой, жидкой и газообразной, служащими средой для существования большой массы почвенных организмов. Каждая из этих фаз может иметь свои индивидуальные концентрации вредных веществ и поэтому воздействие этих загрязнителей на разные виды организмов с различной экологией может быть различно.

Существует широкий спектр инструментальных и биоиндикационных методов определения токсичности почв. Спектр методов оценки мутагенных загрязнений почвы менее широк. Большинство методов тестирования мутагенности почв основаны на элюатном биотестировании, т.е. анализе почвенных водных вытяжек. Однако не все мутагенные вещества могут быть элюированы из почвы. Поэтому для корректной оценки мутагенного загрязнения почв рекомендовано выполнять анализ аппликативным способом, т.е. оценивать биологическую активность и твёрдой фазы почвы, используя для этого штаммы микроорганизмов [7, с. 193]. Вместе с тем высшие растения могут формировать иной отклик на присутствие мутагенов в почве благодаря более совершенным механизмам поддержания гомеостаза. По этой причине использование высших растений в генетическом мониторинге оправдано и, вероятно, получит дальнейшее развитие.

Одним из модельных растений для проведения различных генетических исследований является ризоховидка Таля (*Arabidopsis thaliana*) – небольшое растение из семейства Крестоцветных (Капустовых). Ряд особенностей (небольшие размеры, короткое время развития, самоопыление и высокая продуктивность растений) сделал этот вид растений очень удобным для проведения генетических исследований. Нами этот модельный вид был использован для изучения мутагенности почв. Был применён метод учёта доминантных эмбриональных леталей и рецессивных хлорофильных мутаций [5], позволяющий определять частоты возникновения мутаций сразу в нескольких локусах.

Результаты анализа стерильных яйцеклеток и мутантных эмбрионов, образовавшихся в стручках арабидопсиса, выращенного на почве анализируемых образцов, показаны в табл. 2 и 3.

Мутационные события в каждом отдельном из анализируемых локусов довольно редки. Поэтому ни в одном из классов эмбриональных леталей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций частоты аномалий во всех 10 исследованных выборках не имели статистически достоверных различий с частотами соответствующих классов аномалий контрольной выборки. Однако суммарные частоты в локусах этих двух групп аномалий могут представлять интерес для характеристики влияния химического загрязнения почвы города.

Таблица 2 – Количество стерильных яйцеклеток, нормальных и мутантных эмбрионов в стручках растений *Arabidopsis thaliana*, выращенных на почве из различных мест Северного района города Орла.

№№ проб	Всего исследовано	Количество яйцеклеток и эмбрионов различных типов												Суммарное количество		
		нормальные	стерильные	sicca	brevis	vana	diffusa	murca	parva	fusca	albina	chlorina	xantha	ДЛМ <sup>1</sup>	ЛХМ <sup>2</sup>	всех аномалий
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Конт.	4803	3954	612	60	54	24	22	16	17	17	17	4	6	210	27	849
1	4129	3204	614	66	49	39	33	18	29	33	27	8	9	267	44	925
2	4354	3369	712	63	56	31	24	21	19	15	21	5	18	229	44	985
3	4202	3207	642	59	63	42	31	26	37	35	17	19	24	293	60	995
4	3628	2830	515	73	43	29	24	17	26	22	18	16	15	234	49	798
5	4812	3908	631	49	46	42	37	24	21	21	15	6	12	240	33	904
6	4925	3971	627	66	75	27	28	20	23	26	23	18	21	265	62	954
7	3945	3121	543	43	66	38	26	21	20	18	16	19	14	232	49	824
8	3951	3111	568	61	55	27	18	23	22	34	8	14	10	240	32	840
9	3692	2996	447	45	51	22	21	24	18	26	19	12	11	207	42	696
10	4063	3284	520	72	41	38	27	10	23	11	15	9	13	222	37	779
Сумма <sup>3</sup>	41701	33001	5819	597	545	335	269	204	238	241	179	126	147	2429	452	8700

<sup>1</sup> – ДЛМ – доминантные летальные мутации.

<sup>2</sup> – ЛХМ – рецессивные хлорофильные летальные мутации

<sup>3</sup> – Суммы указаны только для 10 анализируемых образцов, без контрольных величин

Таблица 3 – Частоты (в %) аномальных яйцеклеток и эмбрионов у *Arabidopsis thaliana*, выращенного на почве из различных мест Северного района города Орла

№№ проб	Всего исследовано	Частоты яйцеклеток и эмбрионов различных типов (±стандартн. ошибка), %												Суммарные частоты (%)		
		нормальные	стерильные	sicca	brevis	vana	diffusa	murca	parva	fusca	albina	chlorina	xantha	ДЛМ	ЛХМ	всех аномалий
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Конт.	4803	82,32 ±0,55	12,74 ±0,48	1,25 ±0,16	1,12 ±0,15	0,50 ±0,10	0,46 ±0,10	0,33 ±0,08	0,35 ±0,09	0,35 ±0,09	0,35 ±0,09	0,08 ±0,04	0,12 ±0,05	4,37 ±0,30	0,56 ±0,11	17,68 ±0,31
1	4129	77,60 ±0,65	<b>14,87*</b> ±0,55	1,60 ±0,20	1,19 ±0,17	0,94 ±0,15	0,80 ±0,14	0,44 ±0,10	0,70 ±0,13	0,80 ±0,14	0,65 ±0,13	0,19 ±0,07	0,22 ±0,07	<b>6,47*</b> ±0,38	1,07 ±0,16	<b>22,40**</b> ±0,41
2	4354	77,38 ±0,63	<b>16,35**</b> ±0,56	1,45 ±0,18	1,29 ±0,17	0,71 ±0,13	0,55 ±0,11	0,48 ±0,10	0,44 ±0,10	0,34 ±0,09	0,48 ±0,10	0,11 ±0,05	0,41 ±0,10	5,26 ±0,34	1,01 ±0,15	<b>22,62**</b> ±0,37
3	4202	76,32 ±0,68	<b>15,28*</b> ±0,59	1,40 ±0,18	1,50 ±0,19	1,00 ±0,15	0,74 ±0,13	0,62 ±0,12	0,88 ±0,14	0,83 ±0,14	0,40 ±0,10	0,45 ±0,10	0,57 ±0,12	<b>6,97*</b> ±0,39	1,43 ±0,18	<b>23,68**</b> ±0,43
4	3628	78,00 ±0,69	14,20 ±0,58	2,01 ±0,23	1,19 ±0,18	0,80 ±0,15	0,66 ±0,13	0,47 ±0,11	0,72 ±0,14	0,61 ±0,13	0,50 ±0,12	0,44 ±0,11	0,41 ±0,11	6,45 ±0,41	1,35 ±0,19	<b>22,00**</b> ±0,45
5	4812	81,21 ±0,56	13,11 ±0,49	1,02 ±0,14	0,96 ±0,14	0,87 ±0,13	0,77 ±0,10	0,50 ±0,10	0,44 ±0,10	0,44 ±0,10	0,31 ±0,08	0,12 ±0,05	0,25 ±0,07	4,99 ±0,31	0,69 ±0,12	18,79 ±0,33
6	4925	80,63 ±0,56	12,73 ±0,47	1,34 ±0,16	1,52 ±0,17	0,55 ±0,11	0,57 ±0,11	0,41 ±0,09	0,47 ±0,10	0,53 ±0,10	0,47 ±0,10	0,37 ±0,09	0,43 ±0,09	5,38 ±0,32	1,26 ±0,16	19,37 ±0,35
7	3945	79,11 ±0,65	13,76 ±0,55	1,09 ±0,17	1,67 ±0,20	0,96 ±0,16	0,66 ±0,13	0,53 ±0,12	0,51 ±0,11	0,46 ±0,11	0,41 ±0,10	0,48 ±0,11	0,35 ±0,09	5,88 ±0,37	1,24 ±0,08	<b>20,89**</b> ±0,41
8	3951	78,00 ±0,65	14,38 ±0,56	1,54 ±0,20	1,39 ±0,19	0,68 ±0,13	0,46 ±0,11	0,58 ±0,12	0,56 ±0,12	0,86 ±0,15	0,20 ±0,07	0,35 ±0,09	0,25 ±0,08	6,07 ±0,38	0,81 ±0,14	<b>21,26**</b> ±0,40
9	3692	81,15 ±0,67	12,11 ±0,58	1,22 ±0,18	1,38 ±0,19	0,60 ±0,13	0,57 ±0,12	0,65 ±0,13	0,49 ±0,11	0,70 ±0,14	0,51 ±0,12	0,33 ±0,09	0,30 ±0,09	5,61 ±0,38	1,14 ±0,17	18,85 ±0,41
10	4063	80,83 ±0,63	12,80 ±0,54	1,77 ±0,21	1,01 ±0,16	0,94 ±0,05	0,66 ±0,13	0,25 ±0,08	0,57 ±0,12	0,27 ±0,08	0,37 ±0,10	0,22 ±0,07	0,32 ±0,09	5,46 ±0,36	0,91 ±0,15	19,17 ±0,38
Средняя частота по району	41701	79,14 ±0,20	13,95 ±0,17	1,43 ±0,06	1,31 ±0,06	0,80 ±0,04	0,65 ±0,04	0,49 ±0,03	0,57 ±0,04	0,58 ±0,04	0,43 ±0,03	0,30 ±0,03	0,35 ±0,03	5,82 ±0,11	1,08 ±0,05	<b>20,86**</b> ±0,20

Примечание: ДЛМ – доминантные летальные мутации. ЛХМ – рецессивные хлорофильные летальные мутации

\* – Отличия от контрольных частот статистически достоверны при P≤05

\*\* – Отличия от контрольных частот статистически достоверны при P≤01

Суммарные частоты эмбриональных леталей (sicca, brevis, vana, diffusa, murca, parva, fusca) в исследованных выборках варьировали от 4,99% до 6,97% (графа 15 в табл. 2 и 3) при контрольной частоте 4,37%. Статистически достоверные отличия от частоты эмбриональных леталей в контрольной выборке были обнаружены у растений, выращенных на почве образцов № 1 и № 3. Обе почвенные пробы были собраны на газонах, расположенных в непо-

средственной близости от автомобильных дорог с интенсивным движением транспорта, чем, вероятно, и объясняется высокий уровень мутагенности почвы. В остальных 8 выборах суммарные частоты эмбриональных леталей не имели статистически достоверных отличий от контрольной величины. Средняя величина суммарных частот всех семи классов эмбриональных леталей по всем десяти выборкам Северного района г. Орла была равна 5,82% и не имела

статистически достоверных различий с контрольной величиной.

**Суммарные частоты рецессивных летальных хлорофильных мутаций** трёх анализируемых классов (albino, chlorina, xantha) варьировали от 0,69% до 1,43% при 0,56% мутаций в контрольной выборке (графа 16 в табл. 2 и 3). Во всех проанализированных 10 выборках суммарные частоты не имели статистически достоверных отличий от контрольных величин. Средняя величина суммарных частот рецессивных ЛХМ по всем десяти выборкам городского района была равна 1,08% и также не имела статистически достоверных различий от контрольной величины.

**Частоты стерильных яйцеклеток** в выборках варьировали от 12,11 до 16,35% при 12,74% этих аномалий в контроле (графа 4 в табл. 2 и 3). В выборках № 1, 2 и 3 частоты стерильных семян (14,87, 16,35 и 15,28%, соответственно) были статистически достоверно выше, чем в контрольной выборке. Почва семи остальных образцов почвы не вызвала статистически достоверного изменения доли стерильных яйцеклеток в стручках арабидопсиса. Средняя для всех десяти выборок частота стерильных семян в стручках арабидопсиса, составила 13,95% и статистически достоверно не отличалась от контрольной величины.

Таким образом, из 10 проанализированных проб почвы семь проб (№№ 4-10) не вызвали у тестерных растений статистически достоверного увеличения, по сравнению с контролем, частот стерильных семян, доминантных эмбриолетелей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций. На основании этих данных можно предположить, что в почве этих образцов токсичные и мутагенные вещества либо отсутствовали, либо их содержание было меньше критических концентраций, способных индуцировать статистически достоверное увеличение частоты аномалий.

Почва двух образцов (№№ 1 и 3) индуцировала в растениях статистически достоверное увеличение частот стерильных семян и частот эмбриональных летелей. Следовательно, содержание токсичных и мутагенных веществ в почве тех участков, где были собраны эти пробы, были столь высоким, что было способно увеличивать долю стерильных семян и мутантных эмбрионов у растений.

Наконец, один почвенный образец (№ 2) не увеличивал частоты доминантных летелей в развивающихся эмбрионах, но индуцировал статистически достоверно более высокую, чем в контроле, частоту стерильных семян. Этот факт позволяет сделать вывод, что почва участка, где был собран этот образец, загрязнена веществами, оказывающими токсичное действие на растения, но не являющимися мутагенными.

Тот факт, что среди проанализированных 10 почвенных образцов семь не вызвали статистически достоверного увеличения частот стерильных семян и эмбриональных летелей можно рассматривать как доказательство относительно благополучного состояния урбаноземов в Северном районе г. Орла. Однако даже незначительный рост частот каждой из аномалий вносит определённый вклад в снижение

жизнеспособности популяции в целом. Поэтому интегральную величину ущерба, наносимого растениям химическим загрязнением урбаноземов можно оценить по суммарным частотам всех аномалий (ДЛМ + ЛХМ + стерильные), обнаруживаемых при анализе выборок. В контроле суммарная частота всех аномалий составила 17,68% (графа 17 в табл. 2 и 3). В проанализированных выборках она была выше и варьировала от 18,79 до 23,68%. Шесть почвенных образцов (1- 4 и 7-8) вызвали статистически достоверное увеличение суммарных частот всех аномалий у растений. Средняя частота всех аномалий для 10 выборок составила 20,86% и статистически достоверно отличалась от контрольной величины.

Обнаруженный факт следует рассматривать как доказательство существования в Северном районе г. Орла таких уровней загрязнения почв, которые могут представлять опасность для жизнеспособности популяций растений. Если такие загрязнённые участки будут находиться в районах частной застройки, домохозяйства которых окружены земельными участками, используемыми для выращивания пищевых растений, то подобная ситуация уже может быть опасной для здоровья людей. Городские почвы могут накапливать большое количество токсичных и мутагенных веществ. Например, почвы техногенных зон в г. Ставрополе содержат до 2 ПДК цинка, до 3 ПДК меди, до 4 ПДК кадмия и хрома, до 7 ПДК свинца, [8]. Пищевые растения, выращиваемые на приусадебных участках в частном секторе, могут такие вещества накапливать. Так, показано, что клубника способна накапливать в плодах тяжёлые металлы, причём у некоторых её сортов процесс накопления происходит очень интенсивно [9]. Загрязнение городских почв тяжёлыми металлами уделяется много внимания, опубликовано большое количество работ по этой теме. Ряд авторов приходят к заключению о том, что ТМ являются одним из главных загрязнителей почвы в городах [10, с.27]. Однако, вероятнее всего, в почве находится много других загрязнителей, особенно органической природы, многие из которых могут быть мутагенными и, кроме того, проявлять синергидные эффекты [11]. Ряд опубликованных работ подтверждают это. Например, с использованием анафазного метода учёта aberrаций хромосом в корешках лука-батун (*Allium fistulosum* L.) была установлена мутагенность почвы в городе Якутске. Частота этих аномалий коррелировала с интенсивностью транспортной нагрузки в районах сбора почвенных проб [12].

Ограниченные возможности адаптации человека к резко возрастающим концентрациям мутагенных веществ в окружающей среде, а также невысокий потенциал размножения человека по сравнению с другими организмами, обуславливают, по мнению медиков, острейшую необходимость исследований мутационной изменчивости в популяциях людей с целью оптимизации взаимоотношений человека и окружающей его внешней среды. Для этих целей авторы предлагают вести анализ по неблагоприятным исходам беременности (спонтанные выкидыши, мертворождённые и умершие в первую неделю, врождённые пороки развития, «сторожевые» феноти-

пы, ранняя детская смертность) [13]. Однако цель мониторинга состоит не в констатации негативных изменений среды по числу погибших эмбрионов и мёртвых новорожденных детей, а обнаружение угрожающих здоровью человека ситуаций до того, как они отразятся на исходах беременностей и здоровье людей. Поэтому в целях профилактики антропогенных загрязнений основной упор должен быть сделан на то направление генетического мониторинга, которое даст возможность избежать увеличения частот спонтанных аборт и мертворождений у человека. К этим направлениям относится генетический мониторинг животных, растений и микроорганизмов.

### **Заключение**

Методологические подходы к созданию системы экологического мониторинга состояния окружающей среды в городах рассмотрены в большом количестве публикаций. Каждая из них предлагает свой круг индикаторных видов, методов и показателей для исследований. Однако, несмотря на большое количество опубликованных работ в этой области исследований, единая система биоиндикации и оценки токсического и мутагенного загрязнения городских почв остаётся не разработанной [14]. В этом направлении необходимы дальнейшие исследования. Существует необходимость стандартизации видового состава и анализируемых параметров индикаторных организмов, поскольку информация полученная из множества контролируемых географических точек при анализе стандартных видов, стандартизированными методами и по стандартным параметрам для анализа экологической ситуации в стране будет представлять много большую ценность по сравнению с данными, полученными по нескольким десяткам разных видов растений и животных, а также множеству параметров, трудно поддающихся сравнению.

Зарубежные экологи считают, что тестерными видами в биомониторинге должны быть представители трёх основных звеньев трофической цепи экосистем: продуцентов, консументов, редуцентов. Это предложение поддерживают отечественные специалисты и считают необходимым внедрение этого подхода в практику биотестирования на территории России. Минимальный биоиндикационный набор должен включать, как минимум три необходимых биотеста [7, с. 196]. Данные интегральной мутагенности почв могут быть использованы для совершенствования системы их экологической характеристики, которая, в свою очередь, может быть применена для усовершенствования подхода к экономической оценке почв.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что некоторые участки почвы в Северном районе города Орла, как и в ранее исследованном Советском

районе, имеют существенное загрязнение токсичными и мутагенными веществами. Дальнейший систематический мониторинг почв города мог бы способствовать уточнению экологической обстановки в городе, установлению возможно существующих зон повышенного загрязнения и следовательно более высокого риска для здоровья населения. Результаты детального картирования токсичного и мутагенного загрязнения почв могли бы представлять интерес не только для экологов и медиков, но и для коммерческих организаций, например, инвесторов в строительство жилья, фирм, торгующих вторичным жильём, а также, страховых компаний.

### **Выводы**

1. Из 10 почвенных проб, собранных в различных местах Северного района г. Орла и проанализированных с использованием эмбрион-теста у *Arabidopsis thaliana* 7 проб не вызывали в тестерных растениях статистически достоверного изменения, по сравнению с контролем, частот стерильных семян, доминантных эмбриолетелей и рецессивных летальных хлорофильных мутаций. На основании этих данных можно предположить, что в почве этих образцов токсичные и мутагенные вещества либо отсутствовали, либо их содержание было меньше критических концентраций, способных индуцировать статистически достоверное увеличение частоты аномалий.

2. Почва двух образцов индуцировала в растениях статистически достоверное увеличение частот стерильных семян и частот эмбриональных летелей. Следовательно, содержание токсичных и мутагенных веществ в почве тех участков, где были собраны эти пробы, было столь высоким, что способствовало увеличению доли стерильных семян и мутантных эмбрионов у растений.

3. Один почвенный образец не увеличивал частоты доминантных летелей в развивающихся эмбрионах, но индуцировал статистически достоверно более высокую, чем в контроле, частоту стерильных семян. Этот факт позволяет сделать вывод, что почва участка, где был собран этот образец, загрязнена веществами, оказывающими токсичное действие на растения, но не являющимися мутагенными.

4. Необходимы дальнейшие систематические исследования загрязнения почв г. Орла токсичными и мутагенными веществами, т.к. эта информация может быть практически использована природоохранными службами, учреждениями здравоохранения, а также коммерческими организациями, занимающимися вопросами строительства, продажи и страхования жилья.

5. Необходимо дальнейшее совершенствование и унификация системы биоиндикации антропогенных воздействий на почвы

### **Литература**

1. Никифорова, В.А. и др. 2013. Проблемы здоровья современной студенческой молодёжи в условиях экологического неблагополучия / В.А. Никифорова, Т.Г. Перцева, Е.А. Прохоренко,

А.А.Никифорова // «Системы. Методы. Технологии». –2013 –№ 4 (20) –С. 192-196.

2. Васильев, А.А. 2011. Тяжёлые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загряз-

- нения [Текст]: монография. / А.А. Васильев, А.Н. Чащин, М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197с.
3. **Романенко Г.А. и др.** 2008. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / Романенко Г.А., Иванов А.Л., Ушачев И.Г., Лачуга Ю.Ф. и др. Под ред. А.В. Гордеева и Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.
  4. **Крюков В.И.** Анализ загрязнения мутагенами почв Советского района города Орла с использованием *Arabidopsis thaliana* // Биология в сельском хозяйстве. 2018 № 4 (21) –С. 2-10. <http://www.orelsau.ru/upload/iblock/506/5068818d2a7323ac7d6a735703d05acb.pdf>
  5. **Усманов П.Д., Мюллер А.** Применение эмбрион-теста для анализа эмбриональных деталей, индуцированных облучением пыльцевых зёрен *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. // Генетика. 1970. - Т. 6, №7. – С. 50-60. <https://www.twirpx.com/file/2114332/>
  6. **Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. – М.: Медицина, 1975. - 295 с.
  7. **Терехова, В.А.** 2011. Биотестирование почв: подходы и проблемы. // Почвоведение. 2011, № 2, –С. 190-198.
  8. **Багдасарян, А.С.** 2005. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов / Багдасарян, Александр Сергеевич. Дисс. ...канд. биол. наук. Специальность: 03.00.16 – Экология. – Ставрополь. 2005. –159 с.
  9. **Ветрова, О.А.** 2015. Особенности поступления тяжёлых металлов в растения земляники садовой в условиях техногенного загрязнения : дисс...канд. с.-х. наук : специальность: 06.01.08 – плодководство, виноградарство / Ветрова Оксана Альфредовна –Мичуринск, 2015. –128 с.
  10. **Попова Л.Ф.** 2015 Комплексная эколого-химическая оценка и нормирование качества почвенно-растительного покрова городских экосистем (на примере Архангельска) / Попова Людмила Федоровна. Дисс... докт. биол. наук. Специальность 03.02.08 – Экология – Архангельск. 2015.–396 с.
  11. **Белкина С.В.** Прогнозирование синергизма мутагенных, канцерогенных и летальных эффектов при взаимодействии различных факторов окружающей среды / Автореф. дисс канд биол наук. Специальность 03.00.01 – радиобиология и 03.00.16 – экология. – Обнинск. 2007. –20 с.
  12. **Пудова, Т.М., Шадрин Е.Г.** 2017. Биотестирование загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий по показателям всхожести и мутагенной активности лука-батуна *Allium fistulosum* L. (на примере г. Якутска) // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 2.; URL: <http://science-education.ru/article/view?id=26346> (дата обращения: 15.05.2018). <https://science-education.ru/article/view?id=26346>
  13. **Чимаров В.М. и др.** 2002. Эколого-генетический мониторинг популяций людей города и села / В.М Чимаров, Д.Н. Нигматунлина, Н.Я. Проккопьев, Л.С. Тупицина // Валеология. 2002. № 3. –С. 109-117.
  14. **Меркулова, М.Ю.** 2016. Оценка эколого-биологического состояния почв функциональных зон г. Саратова с учётом особенностей овражно-балочной сети / Меркулова Мария Юрьевна Дисс. ...канд.биол. наук Специальность 03.02.08 – экология – Ростов-на-Дону. –2016. –148с

-----  
Поступила в редакцию: 10.05.2019 г.

**Крюков Владимир Иванович**, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник ИНИИ ЦКП ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», email: [ecogenet@mail.ru](mailto:ecogenet@mail.ru), тел. 8 (4862) 47-51-71, e-mail: [iniic@mail.ru](mailto:iniic@mail.ru)