

УДК: 10.18522/2308-9709-2012-1-2  
<https://new.jbks.ru/archive/issue-1/article-2>

## Влияние сочетанного загрязнения свинцом и переменным магнитным полем на численность почвенных микроорганизмов серопесков

[Мазанко М. С.<sup>1</sup>](#), [Колесников С. И.<sup>2</sup>](#), [Денисова Т. В.<sup>3</sup>](#)

1. Кафедра экологии ФАОУ ВПО «Южный Федеральный Университет» E-mail: Mary.bio@list.ru
2. зав. кафедрой экологии ФАОУ ВПО «Южный Федеральный Университет»
3. Доктор биологических наук

Было исследовано влияние загрязнения свинцом, переменным магнитным полем, а также их сочетания на такие группы почвенных микроорганизмов, как аммонифицирующие, амилитический, азотфиксирующие бактерии, а также микромицеты. Загрязнение оказывало существенное и разнонаправленное действие на численность почвенных микроорганизмов. Характер и степень этого влияния изменялись в зависимости от уровня воздействия каждого из факторов, при этом они не носили линейный характер.

На Юге России песчаные почвы встречаются в Ростовской, Астраханской, Волгоградской областях, в Дагестане и Калмыкии. В Ростовской области их площадь составляет около 220 тыс. га.

Пески — геологические образования, формировавшиеся при выветривании горных пород и переотложении продуктов выветривания, преимущественно, под влиянием подвижных вод. На песках не образуются зональные типы почв, всегда формируются интразональные почвы. В Ростовской области песчаные почвы получили оригинальное название «серопески» и всегда рассматривались самостоятельно вне зональности почвообразования (Вальков и др, 2008).

Данный тип почв слабо освещен в литературе. Большинство исследований посвящено влиянию на серопески таких загрязнителей, как нефть, тяжелые металлы, электромагнитное излучение. Однако сочетанное воздействие этих факторов до сего момента не изучалось (Денисова и др., 2009, 2011а, 2011б; Колесников и др., 2006, 2009; Колесников, 2000, 2010;)

Целью нашего исследования было установить степень влияния сочетанного загрязнения свинцом и переменным магнитным полем на численность основных групп почвенных микроорганизмов серопесков. В задачи входило установить влияние данного типа сочетанного загрязнения на численность таких физиологических групп бактерий, как почвенные аммонификаторы, азотфиксаторы, амилитики, а также на численность почвенных микромицетов.

В качестве объекта исследований были выбраны серопески, образцы которых отбирались в Шолоховском районе Ростовской области рядом со ст. Вешенская. Тип угодий — разнотравно-злаковая степь на песках, pH 7, 4, гранулометрический состав — песчаный, содержание гумуса 1,3% (Колесников и др., 2006).

Почву высушивали до воздушно-сухого состояния, увлажняли до 60% влагоемкости, образцы загрязняли PbO в концентрациях 100, 500, 1000, 1500 и 2000 мг/кг, что составляет соответственно 1, 5, 10, 15, 20 ПДК для загрязнения почвы свинцом (ссылка) и подвергали воздействию переменного магнитного поля (ПеМП) промышленной частоты (50Гц) индукцией 300, 1500 и 3000 мкТл. Облучение магнитным полем проводилось в специальных установках — соленоидах, создающими НЧ МП промышленной частоты.

В результате в опыте присутствовали все варианты сочетания загрязнений, а так же отдельно химические и отдельно электромагнитные загрязнения. При этом контролем служил образец, не подвергавшийся воздействию ПеМП и загрязнению оксидом свинца.

Затем все 24 варианта компостировали при комнатной температуре (20—22°C) и оптимальном увлажнении (60% от полевой влагоемкости) в течение 10 суток.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием общепринятых в биологии почв методов.

Численность микроорганизмов определяли в свежих незагрязненных и загрязненных образцах. Численность аммонифицирующих, амилолитических, азотфиксирующих бактерий и микроскопических грибов учитывали методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды. Численность аммонифицирующих бактерий учитывали на среде МПА, амилолитических — на КАА (Казеев и др., 2003), обилие микромицетов — на кислой среде Чапека. Бактерии рода *Azotobacter* учитывали методом комочков обрастания на среде Эшби (Казеев и др., 2003).

Статистическая обработка данных (дисперсионный и корреляционный анализы) была выполнена с использованием статистического пакета Statistica 6.0 для Windows.

Полученные данные показаны в таблице 1.

Таблица 1 — Влияние сочетанного загрязнения на численность аммонифицирующих и амилолитических бактерий серопесков, а также почвенных микромицетов

Вариант загрязнителя	Амилолитические бактерии		Актиномицеты		Аммонификаторы		Микромицеты тыс. КОЕ/г
	млн. КОЕ/г	% от контр	млн. КОЕ/г	% от контр	млн. КОЕ/г	% от контр	
Контроль	6,99	100	2,82	100	6,36	100	99,68
ПеМП 300 мкТл	6,28*	90	3,53*	125	8,32*	131	89,97
ПеМП 1500 мкТл	10,10*	145	2,53	90	5,98	94	113,86
ПеМП 3000 мкТл	15,42**	221	1,47	52	7,35	116	59,16*
свинец 100 мг/кг	5,51	79	2,55	90	6,60	104	73,09*
ПеМП 300 мкТл +свинец 100 мг/кг	5,25*	75	2,27	81	5,68	89	70,20*
ПеМП 1500 мкТл +свинец 100 мг/кг	6,91	99	4,04*	143	5,84	92	64,20*
ПеМП 3000 мкТл +свинец 100 мг/кг	12,04**	172	3,89*	138	9,16*	144	104,47
свинец 500 мг/кг	13,31**	190	3,99**	141	8,99*	141	78,81*
ПеМП 300 мкТл +свинец 500 мг/кг	15,72*	225	1,40*	50	5,43	85	66,12*
ПеМП 1500 мкТл +свинец 500 мг/кг	12,52*	179	1,64*	58	10,06*	158	54,39*

ПеМП 3000 мкТл +свинец 500 мг/кг	4,95	71	1,76*	62	6,91	109	67,44*
свинец 1000 мг/кг	4,76*	68	1,73*	61	5,55	87	84,38
ПеМП 300 мкТл +свинец 1000 мг/кг	2,51*	36	4,17*	68	5,64	89	99,51*
ПеМП 1500 мкТл +свинец 1000 мг/кг	0,99**	14	0,80**	13	3,11**	49	65,08
ПеМП 3000 мкТл +свинец 1000 мг/кг	1,40*	20	1,00**	16	4,28*	67	74,06

Достоверные отличия по отношению к контролю: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$

*Продолжение таблицы 1*

1	2	3	4	5	6	7	8
свинец 1500 мг/кг	5,30*	76	3,31*	54	6,03	95	94,46
ПеМП 300 мкТл + свинец 1500мг/кг	1,73**	25	1,36*	22	4,61	72	73,65*
ПеМП 1500 мкТл + свинец 1500мг/кг	2,29*	33	2,01*	33	4,63*	73	66,33
ПеМП 3000 мкТл + свинец 1500мг/кг	2,34*	33	1,77*	29	4,38*	69	149,61*
свинец 2000 мг/кг	3,02*	43	3,07*	50	5,62	88	87,50
ПеМП 300 мкТл +свинец 2000 мг/кг	4,28*	61	2,82*	46	6,11	96	66,38**
ПеМП 1500 мкТл +свинец 2000 мг/кг	1,71**	24	1,35**	22	2,32*	37	48,33*
ПеМП 3000 мкТл +свинец 2000 мг/кг	2,22*	32	2,21*	36	2,37*	37	36,33*

Достоверные отличия по отношению к контролю: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$

Аммонифицирующие бактерии — это бактерии, способные использовать аминокислоты и белки для получения энергии. Они обеспечивают процессы гниения, разлагая мертвую органику до простых веществ, и, тем самым, играют ключевую роль в круговороте веществ (Гусев, Минеева, 2007). Влияние сочетанного свинцового и электромагнитного загрязнения на число аммонифицирующих бактерий в почве показано на рисунке 1.

Рисунок 1 — Влияние сочетанного загрязнения на численность аммонифицирующих бактерий серопесков

Переменное магнитное поле индукцией 1500 мкТл вызвало увеличение численности бактерий-аммонификаторов на 31% ( $p < 0,05$ ), при этом другие уровни индукции не вызвали изменений в численности бактерий

Оксид свинца, внесенный в почву в концентрации 100 мг/кг, не вызывал достоверных изменений в численности данных бактерий, как и его сочетание с ПеМП индукцией 300 и 1500 мкТл. В то же время увеличение уровня индукции до 3000 мкТл повлекло за собой стимуляцию роста численности аммонификаторов — их число увеличилось на 44% ( $p < 0,05$ ).

Присутствие в почве свинца концентрацией 500 мг/кг вызвало возрастание числа аммонификаторов на 41% ( $p < 0,05$ ). Подобный эффект стимуляции бактерий низкими дозами тяжелых металлов широко описан в литературе. В данном случае ионы металлов служат для бактерий микроэлементами, входящими в состав тех или иных ферментов, при этом их губительный эффект еще недостаточно выражен (Емцов, 2006). Также рост численности бактерий был отмечен в случае сочетания данной концентрации свинца с ПеМП индукцией 1500 мкТл — на 58% относительно контрольных значений ( $p < 0,01$ ). В двух других вариантах сочетанного воздействия стимулирующий эффект малых доз свинца выявлен не был.

Увеличение количества оксида свинца в почве до 1000 мг/кг нивелировало эффект стимуляции роста. В отсутствие ПеМП оксид свинца не оказывал достоверного воздействия на почвенные аммонифицирующие бактерии, как и в присутствии ПеМП индукцией 300 мкТл. Однако дальнейшее увеличение уровня индукции вызывало снижение численности бактерий — на 51% ( $p < 0,01$ ) и 33% ( $p < 0,05$ ) при ПеМП 1500 и 3000 мкТл соответственно.

Похожую ситуацию можно наблюдать и в случае с концентрацией оксида свинца в почве 1500 мг/кг и 2000 мг/кг. В отсутствие ПеМП или при ПеМП уровнем индукции 300 мкТл не происходило снижения числа почвенных бактерий-аммонификаторов, однако с увеличением индукции до значений 1500 и 3000 мкТл численность исследуемых бактерий снижалась на 27 и 31% ( $p < 0,05$ ) соответственно при концентрации оксида свинца 1500 мг/кг почвы и на 63% ( $p < 0,05$ ) при концентрации оксида свинца 3000 мг/кг.

Амилолитические бактерии составляют значительную долю от общего числа бактерий в почве. Основным отличительным признаком этой группы является способность разрушать крахмал и поставлять питательные элементы другим микроорганизмам почвы.

В эту группу так же относятся актиномицеты — особая группа прокариотических организмов, обладающая подобием мицелия, способная разлагать высокомолекулярные соединения, недоступные другим видам бактерий, а так же вырабатывать сложные органические вещества, такие, как антибиотики, пигменты, пахучие вещества (Гусев, Минеева, 2003).

Особенности изменения числа амилолитических бактерий серопесков под воздействием сочетанного влияния показаны на рисунке 2.



(А)

(Б)

Рисунок 2 — Влияние сочетанного загрязнения на численность амилолитических бактерий серопесков

Переменное магнитное поле индукцией 300 мкТл не вызывало достоверных изменений в численности амилолитических бактерий, однако стимулировало рост численности актиномицетов на 25% ( $p < 0,05$ ). Последующее увеличение уровня индукции до 1500 мкТл и 3000 мкТл вызывало увеличению численности амилолитиков в первом случае на 45% ( $p < 0,05$ ), и более чем в два раза — во втором: на 225% ( $p < 0,01$ ). При этом численность актиномицетов не отличалась достоверно от контроля при уровне индукции ПеМП 1500 мкТл и снижалась на 48% ( $p < 0,05$ ) при уровне в 3000 мкТл.

Внесение в почву оксида свинца концентрацией 100 мг/кг не вызывало достоверных изменений числа амилोलитиков, так же как и сочетание данного загрязнителя с ПеМП индукцией 300 мкТл и 1500 мкТл. При этом при увеличении индукции до 3000 мкТл оксид свинца вызывал увеличение численности данных бактерий на 72% ( $p < 0,01$ ).

Аналогично загрязнение свинцом 100 мг/кг отдельно или в сочетании с ПеМП 300 мкТл не вызывало достоверный изменений числа почвенных актиномицетов. Однако рост численности этих бактерий был установлен уже при сочетанном влиянии оксида свинца данной концентрации и ПеМП индукцией 1500 мкТл — на 43% ( $p < 0,01$ ). При увеличении индукции до 3000 мкТл численность бактерий повышалась на 38% ( $p < 0,05$ ).

Внесение в почву оксида свинца в концентрации 500 мг/кг вызывало рост численности амилолитических бактерий на 90, 125 и 79% ( $p < 0,05$ ) в случае отсутствия ПеМП либо сочетанного воздействия с ПеМП индукцией 300 и 1500 мкТл соответственно. Дальнейшее увеличение индукции до 3000 мкТл приводило к снижению численности амилолитиков на 29% ( $p < 0,05$ ).

Число актиномицетов в почве при концентрации свинца 500 мг/кг так же заметно возрастало — на 41% ( $p < 0,05$ ), однако дополнительное загрязнение переменным магнитным полем приводило к снижению численности на 50, 42 и 38% ( $p < 0,05$ ) при уровне индукции 300, 1500 и 3000 мкТл.

Свинцовое загрязнение в концентрации 1000 мг/кг приводило только к снижению численности обоих типов бактерий. Число амилолитиков снижалось на 32% ( $p < 0,01$ ) при отдельном загрязнении почвы оксидом свинца и на 44, 86 и 80% ( $p < 0,05$ ) при сочетанном воздействии оксида свинца данной концентрации и ПеМП с уровнем индукции 300, 1500 и 3000 мкТл соответственно.

В тех же условиях численность актиномицетов падала на 39% ( $p < 0,05$ ) при загрязнении почвы только оксидом свинца и на 42% ( $p < 0,05$ ), 87 и 84% ( $p < 0,01$ ) при сочетанном воздействии оксида свинца данной концентрации и переменного магнитного поля с уровнем индукции 300, 1500 и 3000 мкТл соответственно.

Аналогичную ситуацию можно отметить и при увеличении концентрации оксида свинца в почве до 1500 и 2000 мг/кг. Эти уровни загрязнения снижали число амилолитических почвенных бактерий на 24 и 57% ( $p < 0,05$ ) соответственно, а актиномицетов — на 46 и 50% ( $p < 0,01$ ).

Сочетанное загрязнение магнитным полем и свинцом так же оказывало угнетающее воздействие на амилолитиков — на 75% ( $p < 0,01$ ), 67% ( $p < 0,05$ ) и 67% ( $p < 0,01$ ) при указанных выше уровнях индукции, если концентрация свинца составляла 1500 мг/кг и на 39, 76 и 68% ( $p < 0,05$ ), если концентрация составляла 2000 мг/кг.

Актиномицеты в тех же условиях снижали численность на 78%, 67% и 71% ( $p < 0,05$ ) соответственно при концентрации оксида свинца 1500 мг/кг и на 54, 78% ( $p < 0,05$ ) и 64% ( $p < 0,01$ ) при концентрации оксида свинца 2000 мг/кг.

Почвенные микромицеты обладают широкими адаптивными способностями и занимают разнообразные экологические ниши. Они участвуют в аммонификации органических соединений, усвоении молекулярного азота, разложении углеводов и лигнина, превращении соединений калия и микроэлементов. Они поставляют большое количество органического вещества, идущего на построение гумуса (Мирчик, 1988).

Влияние сочетанного загрязнения на почвенные микромицеты показано на рисунке 3.

*Рисунок 3 — Влияние сочетанного загрязнения на обилие микромицетов серопесков*

Переменное магнитное поле не вызывало достоверных изменений численности грибов при уровне индукции 300 и 1500 мкТл, однако при уровне индукции 3000 мкТл снижало число микромицетов в почве на 41% ( $p < 0,05$ ).

Обратная ситуация наблюдалась в случае внесения в почву оксида свинца в концентрации 100 мг/кг. Отдельное свинцовое загрязнение данной концентрации вызывало снижение численности микромицетов на 27% ( $p < 0,05$ ), его сочетание с переменным магнитным полем с индукцией 300 мкТл — на 30% ( $p < 0,05$ ), а сочетание с переменным магнитным полем индукцией 1500 мкТл — на 36% ( $p < 0,05$ ). При этом увеличение уровня магнитной индукции до 3000 мкТл не вызвало достоверных отклонений численности микромицетов от контрольных значений.

Оксид свинца концентрацией 500 мг/кг вызывал снижение численности микромицетов во всех рассматриваемых нами вариантах. Снижение составило 21% ( $p < 0,05$ ) в случае действия только свинцового загрязнения и 34, 45 и 32% ( $p < 0,05$ ) в случае сочетания свинцового загрязнения с описанными выше уровнями магнитной индукции.

Повышение уровня загрязнения свинцом почвы до 1000 мг/кг вызвало описанный выше эффект снижения межвидовой конкуренции — достоверного снижения численности исследуемых организмов не было выявлено,

напротив, в случае сочетанного загрязнения почвы свинцом и ПеМП 300 мкТл был отмечен рост числа микромицетов на 34% ( $p < 0,05$ ) от контроля.

Так же повлияла на число почвенных микромицетов концентрация оксида свинца 1500 мг/кг, в то же время ее сочетание с ПеМП индукцией 300 и 3000 мкТл вызвало увеличение численности исследуемых организмов на 41 и 33% ( $p < 0,05$ ) соответственно.

Свинцовое загрязнение концентрацией 2000 мг оксида свинца на кг почвы не влияло на число микромицетов, его сочетание с переменным магнитным полем индукцией 300 мкТл влекло за собой рост числа почвенных грибов на 42% ( $p < 0,01$ ), а увеличении индукции до 1500 и 3000 мкТл вызывало снижение численности организмов на 26 и 28% ( $p < 0,05$ ) соответственно.

Так же было проведено исследование влияния сочетанного загрязнения на бактерии рода *Azotobacter*, фиксирующих атмосферный азот и переводящих его в доступную для растений форму. Однако достоверных изменений не было зафиксировано ни в одном из вариантов загрязнения образцов.

Представленные группы микроорганизмов по чувствительности к сочетанному загрязнению образуют следующий ряд: амилотические бактерии = актиномицеты > аммонифицирующие бактерии > микромицеты. Таким образом, наиболее информативным биоиндикатором загрязнения для серопесков являются аммонифицирующие бактерии, как в целом, так и отдельно группа актиномицетов.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в большинстве случаев дополнительная электромагнитная нагрузка способна усиливать негативные последствия загрязнения серопесков свинцом, а также элиминировать положительные эффекты, возникающие при слабых свинцовых загрязнениях. Однако в некоторых случаях ПеМП, напротив, снижало негативное воздействие свинца и усиливало показатели биологической активности серопесков.

Это говорит о глубоком, системном взаимовлиянии сочетанного воздействия свинца и переменного магнитного поля на ферменты и живые организмы серопесков, которое невозможно представить как простую сумму воздействия каждого из этих факторов по отдельности.

Для объяснения механизмов взаимодействия этих загрязнителей требуются дополнительные исследования.

#### **Список использованных литературных источников**

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2008. —; 276 с.
2. Гусев М.В. Микробиология: Учебник для студ. биол. специальностей вузов / М.В. Гусев, Л. А.Минеева. - 4-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 464 с.
3. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние электромагнитных полей на биологические свойства почв. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2011а. —; 286 с.
4. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности и фитотоксических свойств почв Юга России под влиянием СВЧ-излучения // *Агрохимия*. 2011. №6. С. 49-54.
5. Денисова Т.В., Колесников С.И. Влияние СВЧ-излучения на ферментативную активность и численность микроорганизмов почв Юга России // *Почвоведение*. 2009. №4. С. 479-483.
6. Емцев В.Т. Микробиология. —; М.: Дрофа, 2006. —; 444 с.
7. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
8. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2006. 385 с.
9. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Моделирование загрязнения чернозема свинцом с целью установления экологически безопасной концентрации // *Экология и промышленность России*. 2009. №8 (август). С. 34-36.
10. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2006. 385 с.
11. Колесников, С.И. Биоэкологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // *Научная мысль Кавказа*. Изд-во СКНЦ ВШ. - 2000. - №4. - С. 31-39.