

9. Бадмаева С.Э., Циммерман В.И. Экологический мониторинг состояния воздуха в зоне действия Красноярского алюминиевого завода (ООО «КРАЗ») // Актуальные проблемы современной науки. – 2014. – № 1 (75). – С. 132.



УДК 574.64+574.21

И.А. Шадрин, Т.В. Васильева

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ ОКРЕСТНОСТЕЙ г. КРАСНОЯРСКА МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Почвы с. Зыково по реакциям выживаемости *Paramecium caudatum* и по ингибированию роста корней и проростков семян пшеницы *Triticum aestivum* оценены в основном как токсичные и малотоксичные.

Ключевые слова: *Paramecium caudatum*, *Triticum aestivum*, инфузории, токсичность, биотестирование.

I.A. Shadrin, T.V. Vasilyeva

ASSESSMENT OF TOXICITY SOIL AROUND BY KRASNOYARSK BIOTESTING

Toxicity to soil village Zykov reactions survival *Paramecium caudatum* and inhibition of root growth and seedling seed wheat *Triticum aestivum* evaluated mainly as toxic and low-toxicity.

Key words: *Paramecium caudatum*, *Triticum aestivum*, ciliates, toxicity, bioassay.

Введение. Почвенный покров Земли представляет собой важнейший компонент биосферы. Именно почвенная оболочка определяет многие процессы, происходящие в биосфере. Почвенный покров выполняет функции биологического поглотителя, разрушителя и нейтрализатора различных загрязнений. Если это звено биосферы будет разрушено, то сложившееся функционирование биосферы необратимо нарушится. Именно поэтому чрезвычайно важно изучение экологического значения почвенного покрова, его современного состояния и изменения под влиянием антропогенной деятельности.

Приоритетными методами экологического контроля наземных и водных экосистем в настоящее время являются биологические методы, и в частности методы биотестирования [1].

Биотестирование в качестве тест-объектов использует организмы, способные дать интегральную оценку экологической ситуации в экосистеме, т.е. токсичности [2, 3].

Цель работы. Оценка токсичности почв по выживаемости инфузорий *Paramecium caudatum* и ингибированию роста проростков зерен пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12).

Задачи: оценить токсичность почв с. Зыково в окрестностях г. Красноярск по выживаемости *Paramecium caudatum* и ингибированию роста проростков семян пшеницы *Triticum aestivum*; проанализировать пространственно-временную динамику реакций тест-объектов на токсическое воздействие; провести сравнительный анализ результатов токсичности почв по выживаемости *Paramecium caudatum* и по динамике роста проростков семян пшеницы *Triticum aestivum*.

Методы исследования. Пробы почвы отбирались в июне-августе 2012 г. из поверхностного горизонта с глубины 0–30 см со следующих станций на территории с. Зыково (в окрестностях г. Красноярск) (рис. 1): станция 1 – юго-западная часть с. Зыково, непосредственно возле лесного массива, состоящего из хвойных деревьев; станция 2 – северо-западная часть с. Зыково на терри-

тории сельскохозяйственного поля; станция 3 – территория действующего кирпичного завода и котельной – расположена в центральной части с. Зыково; станция 4 – восточная часть с. Зыково возле остановочного пункта «Станция Зыково»; станция 5 – юго-восточная часть с. Зыково рядом с антенной сотового оператора; станция 6 – центральная часть с. Зыково в жилом районе с частными домами.

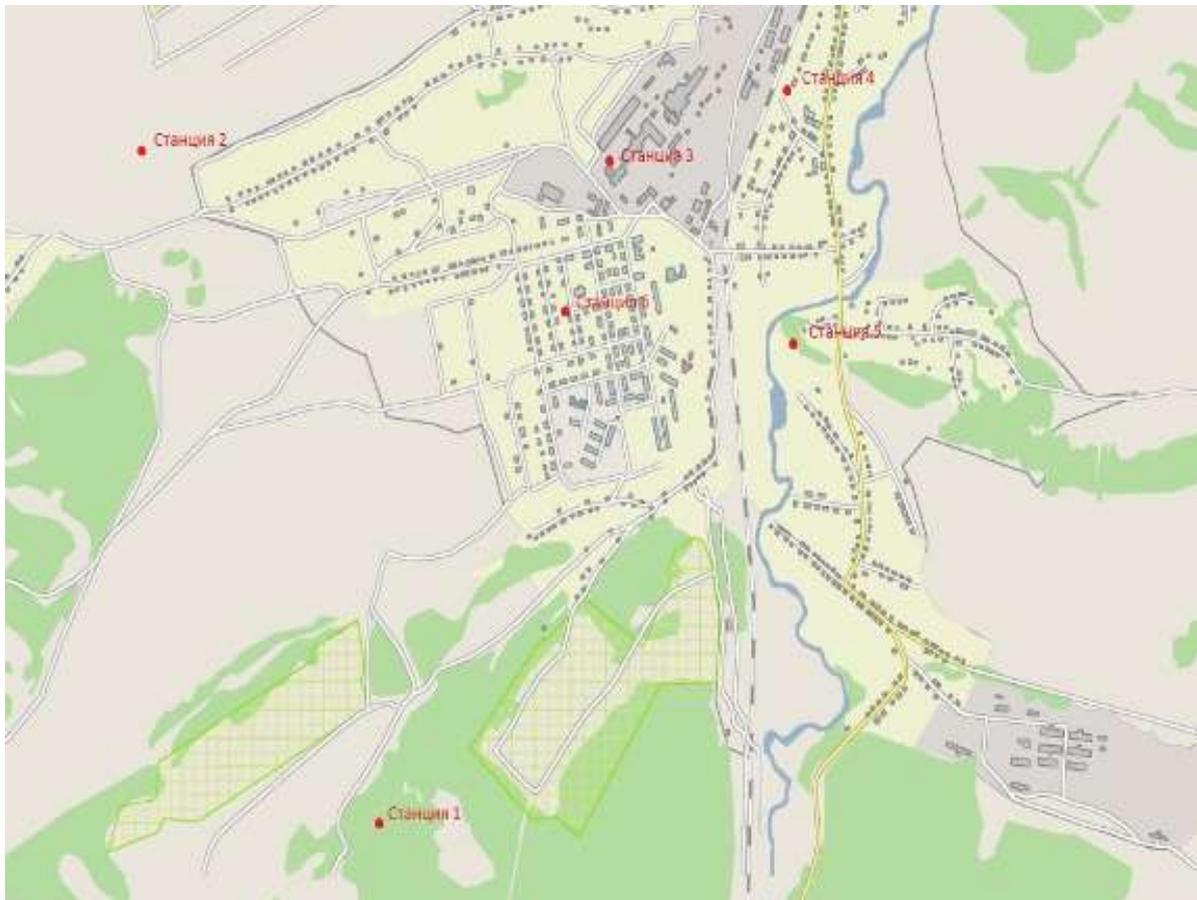


Рис. 1. Карта-схема с. Зыково: 1–6 – станции отбора проб (июнь–август 2012 г.)

Приготовление почвенной вытяжки. Пробы отбирались в трехкратной повторности, из них путем перемешивания готовилась интегральная проба.

Навеску почвы 10 г в трехкратной повторности помещают в три колбы с 90 мл воды и встряхивают в течение 10 минут на встряхивателе (*wstrzasarka uniwersalna typ wu-4*). Затем колбы закрывают пробками и оставляют при комнатной температуре на 1 сутки. Через 24 часа надосадочную жидкость сливают через воронку с фильтром в стеклянный сосуд и закладывается опыт. Контрольный образец закладывался одновременно с основным.

Тест-объект *Paramecium caudatum*. Использовался метод индивидуальных линий парameций. Показателем токсичности служила выживаемость, фиксируемая по числу выживших линий парameций [4, 5].

Достоверность различий между контрольными и опытными вариантами оценивалась по критерию Стьюдента и по индексу токсичности (T_i): $T_i = ((T_{ik} - T_{i0}) / T_{ik}) \cdot 100\%$, где $T_i = 0-0,25$, токсичность допустимая; $T_i = 0,26-0,70$, токсичность умеренная; $T_i > 0,71$, токсичность высокая. Достоверное различие контрольных и опытных показателей по критерию Стьюдента информирует о стрессовом воздействии, т.е. токсичности.

Тест-объект *Triticum aestivum*. Опыт с семенами пшеницы *Triticum aestivum* (рулонный метод). Контрольный образец (отстоянная водопроводная вода) закладывался одновременно с основным. Повторность трехкратная, по 50 зерен в каждой повторности. Экспозиция – 7 суток. Фитотоксическую активность в процентах ингибирования вычислялась по формуле

$$A_{\text{ф}} = 100 - (D_{\text{х}}/D_{\text{к}}) \cdot 100,$$

где $A_{\text{ф}}$ – фитотоксическая активность ингибирования, %;
 $D_{\text{х}}$ – средняя длина корней на опытном варианте, мм;
 $D_{\text{к}}$ – средняя длина корней на контроле, мм.
 Критерием токсичного действия считается ингибирование роста проростков семян на 50 %. Достоверное различие контрольных и опытных показателей определяют по критерию Стьюдента.

Результаты исследования

Оценка токсичности почв по выживаемости *Paramecium caudatum*

В пробах со всех станций, отобранных в июне 2012 г., по истечении первых 5 и 60 минут эксперимента не было отмечено значительного снижения выживаемости *Paramecium caudatum* (по критерию Стьюдента) по сравнению с контролем ($p > 0,05$), например, ст. 1: $X_{\text{к}} \pm m_{\text{к}} = 6,90 \pm 0,60$, $X_{5} \pm m_5 = 6,80 \pm 0,38$; $X_{\text{к}} \pm m_{\text{к}} = 5,20 \pm 0,80$, $X_{60} \pm m_{60} = 5,10 \pm 0,50$, уровень токсичности варьировал в пределах допустимой степени токсичности, что позволяет сделать вывод о нетоксичности проанализированных проб ($T_i = 0,01 - 0,22$) (рис. 2).

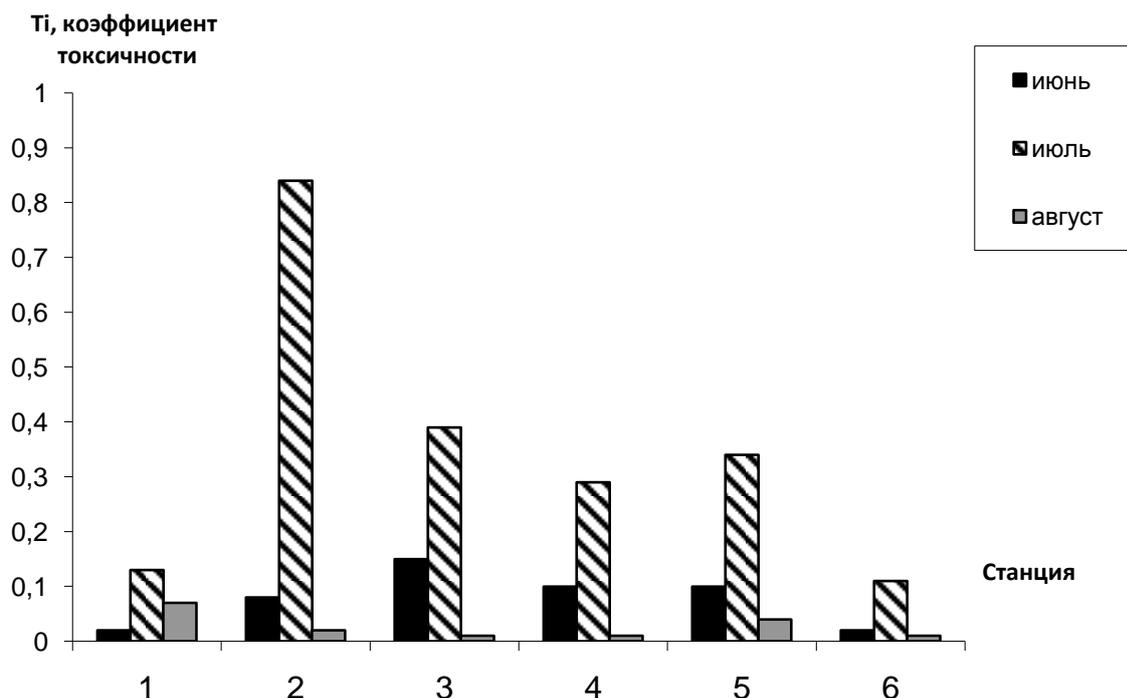


Рис. 2. Токсичность почвенного покрова по реакции выживаемости инфузории *Paramecium caudatum* (с. Зыково, июнь–август 2012 г.)

В пробах со ст. 1 и ст. 6, отобранных в июле 2012 г., по истечении первых пяти минут эксперимента не было отмечено снижения выживаемости *Paramecium caudatum* (по критерию Стьюдента) по сравнению с контролем ($p > 0,05$), например ст. 1: $X_{\text{к}} \pm m_{\text{к}} = 4,70 \pm 0,40$; $X_5 \pm m_5 = 4,20 \pm 0,30$ ($T_i = 0,11$). Токсический эффект не проявлялся по истечении 60 мин эксперимента ($T_i = 0,13$): $X_{\text{к}} \pm m_{\text{к}} = 3,80 \pm 0,40$; $X_{60} \pm m_{60} = 3,30 \pm 0,40$, что позволяет сделать вывод о нетоксичности пробы ($p > 0,05$) (см. рис. 2).

В пробах со ст. 2–5, отобранных в июле 2012 г., по истечении первых пяти минут эксперимента не было отмечено достоверного снижения выживаемости *Paramecium caudatum* (по критерию Стьюдента) по сравнению с контролем ($p > 0,05$), например, ст. 2: $X_k \pm m_k = 4,70 \pm 0,40$; $X_5 \pm m_5 = 3,70 \pm 0,20$ ($T_i = 0,21$). Достоверный токсический эффект проявлялся только по истечении 60 мин эксперимента ($p < 0,05$), например, ст. 2: $X_k \pm m_k = 3,80 \pm 0,40$; $X_{60} \pm m_{60} = 0,60 \pm 0,40$, что свидетельствует о высокой степени токсичности ($T_i = 0,84$) (см. рис. 2).

В пробах со ст. 1–6, отобранных в августе 2012 г., по истечении первых пяти минут эксперимента не было отмечено снижения выживаемости *Paramecium caudatum* (по критерию Стьюдента) по сравнению с контролем ($p > 0,05$), например, ст. 1: $X_k \pm m_k = 9,90 \pm 0,31$; $X_5 \pm m_5 = 40,40 \pm 0,48$ ($T_i = 0,02$). Токсический эффект не проявлялся по истечении 60 мин эксперимента ($T_i = 0,07$), например ст. 1: $X_k \pm m_k = 9,50 \pm 0,27$; $X_{60} \pm m_{60} = 9,20 \pm 0,59$, что позволяет сделать вывод о нетоксичности пробы ($p > 0,05$) (см. рис. 2).

Оценка фитотоксичности почв по проросткам семян пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12)

Июнь 2012 г.

Анализ средних значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность корней пшеницы варьирует в пределах $I_k = 27–69\%$. Наибольшими значениями длины корня достоверно (по критерию Стьюдента) отличаются проростки в пробе со ст. 2 и ст. 3 ($p < 0,05$): $X_k \pm m_k = 36,02 \pm 5,44$; $X_2 \pm m_2 = 58,30 \pm 3,90$; $X_3 \pm m_3 = 52,20 \pm 5,70$, что свидетельствует о стимулирующем эффекте ($I_k = 45–62\%$). Наибольший ингибирующий эффект по показателю фитотоксичности достоверно отмечается в пробах со ст. 4 и ст. 5 ($p < 0,05$): $X_k \pm m_k = 36,02 \pm 5,44$; $X_4 \pm m_4 = 13,30 \pm 1,60$; $X_5 \pm m_5 = 11,20 \pm 2,20$, что свидетельствует о высокой токсичности проб ($I_k = 63–69\%$). Пробы со ст. 1 и ст. 6 оценены по фитотоксической активности как не проявляющие значительного токсического эффекта ($p > 0,05$): $X_k \pm m_k = 36,02 \pm 5,44$; $X_1 \pm m_1 = 45,90 \pm 13,50$; $X_6 \pm m_6 = 21,20 \pm 5,50$ ($I_k = 27–41\%$) (табл. 1).

Таблица 1

Длина корня (X , мм) и фитотоксическая активность (I_k) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (июнь 2012 г.)

Вариант опыта	Длина корня, мм $X \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования корней, +/- I_k , %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	36,02±5,44		
Станция 1	45,90±13,50	+27	Недостоверно
Станция 2	58,30±3,90	+62	Достоверно
Станция 3	52,20±5,70	+45	Достоверно
Станция 4	13,30±1,60	-63	Достоверно
Станция 5	11,20±2,20	-69	Достоверно
Станция 6	21,20±5,50	-41	Недостоверно

Анализ средних значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность побега пшеницы варьирует в пределах $I_p = 10–156\%$. Наибольшими значениями длины побега достоверно (по критерию Стьюдента) отличаются проростки в пробе со ст. 1, 2, 3, 6 ($p < 0,05$): $M_k \pm m_k = 39,80 \pm 8,38$; $M_1 \pm m_1 = 100,50 \pm 13,20$; $M_2 \pm m_2 = 91,60 \pm 9,50$; $M_3 \pm m_3 = 102,10 \pm 11,00$; $M_6 \pm m_6 = 62,50 \pm 19,10$, что свидетельствует о стимулирующем эффекте ($I_p = 57–156\%$). Пробы со ст. 4 и ст. 5 оценены по фитотоксической активности как нетоксичные ($p > 0,05$): $M_k \pm m_k = 39,80 \pm 8,38$; $M_4 \pm m_4 = 51,20 \pm 13,20$; $M_5 \pm m_5 = 36,00 \pm 12,00$ ($I_p = 10–28\%$) (табл. 2).

Длина побега (M, мм) и фитотоксическая активность (I_p) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (июнь 2012 г.)

Вариант опыта	Длина побега, мм $M \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования побега, +/- I_p , %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	39,80±8,38		
Станция 1	100,50±13,20	+152	Достоверно
Станция 2	91,60±9,50	+130	Достоверно
Станция 3	102,10±11,00	+156	Достоверно
Станция 4	51,20±13,20	+28	Недостоверно
Станция 5	36,00±12,00	-10	Недостоверно
Станция 6	62,50±19,10	+57	Достоверно

Июль 2012 г.

Анализ средних значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность корней пшеницы варьирует в пределах $I_k = 36-52\%$.

Наибольший ингибирующий эффект по показателю фитотоксичности достоверно отмечается в пробах со ст. 2, 3 и 4 ($p < 0,05$): $X_k \pm m_k = 44,07 \pm 8,72$; $X_2 \pm m_2 = 21,30 \pm 3,60$; $X_3 \pm m_3 = 15,10 \pm 1,00$; $X_4 \pm m_4 = 24,90 \pm 1,50$, что свидетельствует о высокой токсичности проб ($I_k = 43-52\%$).

Пробы со ст. 1, 5 и 6 оценены по фитотоксической активности как слаботоксичные ($p > 0,05$): $X_k \pm m_k = 44,07 \pm 8,72$; $X_5 \pm m_5 = 27,60 \pm 1,50$; $X_6 \pm m_6 = 28,30 \pm 1,80$ ($I_k = 36-37\%$) (табл. 3).

Длина корня (X, мм) и фитотоксическая активность (I_k) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (июль 2012 г.)

Вариант опыта	Длина корня, мм $X \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования корней, +/- I_k , %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	44,07±8,72		
Станция 1	27,80±1,40	-37	Недостоверно
Станция 2	21,30±3,60	-52	Достоверно
Станция 3	15,10±1,00	-43	Достоверно
Станция 4	24,90±1,50	-43	Достоверно
Станция 5	27,60±1,50	-37	Недостоверно
Станция 6	28,30±1,80	-36	Недостоверно

Анализ значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность побега пшеницы варьирует в пределах $I_p = 10-65\%$.

Наибольшими значениями ингибирующего воздействия по показателю фитотоксичности достоверно (по критерию Стьюдента) отличаются длины побегов в пробе со ст.3 и ст.5 ($p < 0,05$): $M_k \pm m_k = 40,97 \pm 2,99$; $M_3 \pm m_3 = 14,30 \pm 3,10$; $M_5 \pm m_5 = 22,40 \pm 5,40$, что свидетельствует о высоком токсическом эффекте ($I_p = 45-65\%$).

Пробы со ст. 1, 2, 4 и 6 оценены по фитотоксической активности как слаботоксичные и нетоксичные ($p > 0,05$): $M_k \pm m_k = 40,97 \pm 2,99$; $M_1 \pm m_1 = 31,40 \pm 4,40$; $M_2 \pm m_2 = 26,30 \pm 9,50$; $M_4 \pm m_4 = 26,90 \pm 5,30$; $M_6 \pm m_6 = 41,00 \pm 6,40$ ($I_k = 10-36\%$) (табл. 4).

Таблица 4

Длина побега (M, мм) и фитотоксическая активность (I_p) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (июль 2012 г.)

Вариант опыта	Длина побега, мм $M \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования побега, +/- I_p , %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	40,97±2,99		
Станция 1	31,40±4,40	-23	Недостоверно
Станция 2	26,30±9,50	-36	Недостоверно
Станция 3	14,30±3,10	-65	Достоверно
Станция 4	26,90±5,30	-34	Недостоверно
Станция 5	22,40±5,40	-45	Достоверно
Станция 6	41,00±6,40	+0,10	Недостоверно

Август 2012 г.

Анализ средних значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность корней пшеницы варьирует в широких пределах $I_k = -20 - +278$ %.

Наибольший ингибирующий эффект по показателю фитотоксичности достоверно отмечается в пробах со ст.3 и ст.5 ($p < 0,05$): $X_k \pm m_k = 18,0 \pm 2,02$; $X_3 \pm m_3 = 21,30 \pm 3,60$; $X_5 \pm m_5 = 15,10 \pm 1,00$, что свидетельствует о высокой токсичности проб ($I_k = 100\%$).

Пробы со ст.1, ст.4 оценены по фитотоксической активности как слаботоксичные, с проявлением незначительного токсического эффекта ($p > 0,05$): $X_k \pm m_k = 18,0 \pm 2,02$; $X_1 \pm m_1 = 14,12 \pm 2,83$; $X_4 \pm m_4 = 11,90 \pm 2,33$ ($I_k = 20-34$ %). Пробы со ст.2, ст.6 оценены по фитотоксической активности как нетоксичные, с проявлением стимулирующего эффекта ($p > 0,05$): $X_k \pm m_k = 18,0 \pm 2,02$; $X_2 \pm m_2 = 68,20 \pm 13,88$; $X_6 \pm m_6 = 43,65 \pm 8,56$ ($I_k = 143-278$ %) (табл. 5).

Таблица 5

Длина корня (X, мм) и фитотоксическая активность (I_k) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (август 2012 г.)

Вариант опыта	Длина корня, мм $X \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования корней, +/- I_k , %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	18,00±2,02		
Станция 1	14,12±2,83	-20	Недостоверно
Станция 2	68,20±13,88	+278	Достоверно
Станция 3	0,0±0,0	-100	Достоверно
Станция 4	11,90±2,33	-34	Недостоверно
Станция 5	0,0±0,0	-100	Достоверно
Станция 6	43,65±8,56	+143	Достоверно

Анализ значений параметров проростков показывает, что фитотоксическая активность побега пшеницы варьирует в пределах $I_p = 22-102$ %.

Наибольшими значениями ингибирующего воздействия по показателю фитотоксичности достоверно (по критерию Стьюдента) отличаются длина побегов в пробе со ст.3 и ст.5 ($p < 0,05$): $M_k \pm m_k = 90,01 \pm 4,05$; $M_3 \pm m_3 = 0,0 \pm 0,00$; $M_5 \pm m_5 = 0,0 \pm 0,00$, что свидетельствует о высоком токсическом эффекте ($I_p = 100$ %). Пробы со ст.2, 4 и 6 оценены по фитотоксической активности как нетоксичные, с проявлением стимулирующего эффекта ($I_p = 58-102$ %), за исключением пробы со ст. 1, где отмечался не-

значительный ингибирующий эффект ($I_p = 22\%$) ($p > 0,05$): $M_k \pm m_k = 90,01 \pm 4,05$; $M_1 \pm m_1 = 110,14 \pm 15,92$; $M_2 \pm m_2 = 181,62 \pm 26,21$; $M_4 \pm m_4 = 143,73 \pm 20,74$; $M_6 \pm m_6 = 137,87 \pm 19,90$ ($I_k = 10-36\%$) (табл. 6).

Таблица 6

Длина побега (M, мм) и фитотоксическая активность (I_p) пшеницы *Triticum aestivum* (сорт Тулунская 12) в различных вариантах опыта (август 2012 г.)

Вариант опыта	Длина побега, мм $M \pm m$	Фитотоксическая активность ингибирования побега, $+/-I_p$, %	Достоверность различий по критерию Стьюдента, $P < 0,05$
Контроль	90,01±4,05		
Станция 1	110,14±15,92	-22	Недостоверно
Станция 2	181,62±26,21	+102	Достоверно
Станция 3	0,0±0,00	-100	Достоверно
Станция 4	143,73±20,74	+60	Достоверно
Станция 5	0,0±0,00	-100	Достоверно
Станция 6	137,87±19,90	+58	Достоверно

Выводы

1. Токсичность почв с. Зыково по реакциям выживаемости *Paramecium caudatum* оценена в основном на уровне допустимой ($T = 0,02-0,21$) и умеренной токсичности ($T_i = 0,29-0,84$). Установлено, что в первые 5 минут эксперимента пробы почвы характеризовались в основном как нетоксичные. Отмечено усиление токсического эффекта по показателю выживаемости *Paramecium caudatum* по прошествии 60 минут эксперимента, что свидетельствует о токсичности почвенных проб.

2. Почвы, исследованные по ингибированию роста корней и проростков семян пшеницы *Triticum aestivum*, оцениваются по фитотоксической активности в основном как токсичные ($I_k = -52-69\%$; $I_p = -45-65\%$), за исключением проб, отобранных в районе ст. 1 и ст. 6, где отмечены невысокие показатели фитотоксичности – 23–41 %.

3. Токсичный эффект по показателю выживаемости *Paramecium caudatum* проявлялся в основном на уровне 20 % и выше смертности клеток. Фитотоксический эффект по ингибированию роста корней и побегов семян пшеницы проявлялся в основном на уровне 23 % и выше.

4. Почвы с. Зыково характеризуются как малотоксичные и токсичные, поэтому рекомендуется их использовать для выращивания сельскохозяйственной продукции с осторожностью.

Литература

1. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 155 с.
2. Бурковский И.Б. Экология свободноживущих инфузорий. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 208 с.
3. Жмур Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. – М.: Международный Дом Сотрудничества, 1997. – 144 с.
4. Инфузории в биотестировании: тез. докл. Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – СПб, 1998. – 304 с.
5. Кокова В.Е. Непрерывное культивирование беспозвоночных. – Новосибирск: Наука, 1982. – 167 с.

