

Выход питательных веществ зеленой массы кукурузы на фоне применения биоудобрения «Никфан»

№ п/п	Показатели	Варианты опыта				
		К (контроль)	НС-1	НС-2	НСР-1+1	НСР-2+2
1	Зеленая масса, кг	1422	1755	1827	1823	1878
	% к контролю	100	123	128	128	132
2	Сухое вещество, кг	262	357	355	394	363
	% к контролю	100	136	135	150	138
3	Сырой протеин, кг	28,5	36,0	34,8	42,5	35,2
	% к контролю	100	126	122	149	124
4	Сырой жир, кг	5,48	7,58	7,69	8,84	8,71
	% к контролю	100	138	140	161	159
5	Сырая клетчатка, кг	55,7	78,2	77,1	80,8	73,4
	% к контролю	100	140	138	145	132
6	БЭВ, кг	144	201	198	223	208
	% к контролю:	100	139	138	155	144
	в т.ч. крахмал, кг	19,6	27,7	28,3	37,7	39,7
	% к контролю	100	141	144	192	202
	сахар, кг	49,7	67,9	58,5	59,0	62,1
7	В-каротин, г	3,79	10,4	6,33	14,3	7,17
	% к контролю	100	275	167	377	190

Библиографический список

1. Кукуруза: учебно-практическое руководство по выращиванию кукурузы. – Минск, 1999. – 191 с.
 2. Кобылкин А.М. Совершенствование технологии возделывания кукурузы в условиях темно-серых лесных почв Среднерусской лесостепи: автореф. дис. канд. с.-х. наук / А.М. Кобылкин. – Курск, 2001. – 17 с.
 3. Васин А.В. Применение стимуляторов роста при выращивании кукурузы и

ячменя / А.В. Васин, А.В. Дарлин, В.В. Брежнев // Кормопроизводство. – 2009. – № 2. – С. 17-19.
 4. Уваров Г.И. Выращивание гибридов кукурузы на силос. Эффективность удобрений с добавками микроэлементов / Г.И. Уваров, Д.Г. Васильев // Кормопроизводство. – 2010. – № 6. – С. 23-25.
 5. Шмаков П.Ф. Условия получения силоса высокого качества / П.Ф. Шмаков, Е.А. Чаунина, И.А. Лошкормейников // Кормление с.-х. животных и кормопроизводство. – 2010. – № 10. – С. 63-70.



УДК 614.778

А.М. Цулаия

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО, СОЛЕВОГО И НЕФТЕСОЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОВСА ПОСЕВНОГО *Avena sativa*

Ключевые слова: овес посевной, нефтяное загрязнение, солевое загрязнение, нефтесолевое загрязнение, морфометрические показатели, фотосинтез, гибель клеток, хромосомные аберрации.

Введение

В последние десятилетия увеличение добычи углеводородов в России осуществляется на наиболее уязвимых северных

территориях, в частности в Западной Сибири [1]. Наиболее характерные процессы преобразования природных систем, возникающие в районах добычи нефти, связаны с загрязнением нефтью и засолением почв, грунтов, поверхностных, внутрипочвенных и подземных вод. Иногда интенсивность воздействия минерализованных вод на почвы и растительный покров более значительны, чем нефти [1-3].

Посев сельскохозяйственных трав на техногенно-нарушенных территориях является одним из эффективных приемов восстановления земель [3]. Влияние на растения солевого и особенно нефтяного загрязнения изучено достаточно хорошо. Однако экспериментальных данных по совместному действию нефти и хлоридов в литературе мы не встретили.

Целью данной работы явилась оценка токсичности нефтезагрязненных и засоленных почв методом биотестирования на овсе посевном, который входит в состав комплекса растений, используемых при рекультивации.

Материал и методика

В опытах использовали нефть, поступающую по трубопроводу из п. Шаим Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) на нефтеперерабатывающий завод г. Тюмени, и хлорид натрия. Групповой состав шаимской нефти представлен парафинами – 54,3%, нафтено-ароматическими углеводородами – 40,2% и асфальтено-смолистыми компонентами – 5,5%. Почва (верховой торф) была отобрана в удаленном от промобъектов районе ХМАО.

Было проведено 3 серии опытов. **I серия.** Нефтяное загрязнение. Нефтезагрязненный (концентрации 0,1; 0,5; 2,5; 12,5 г/кг) и чистый (контроль) торф увлажняли, помещали в контейнеры для проращивания семян. Полив производили отстоянной водопроводной водой. Длительность опыта 10 сут. Замеры производили на 5-е и 10-е сут. **II серия.** Солевое загрязнение. Растворами NaCl (концентрации 0,05; 0,25; 1,25 и 5,0 г/л) и отстоянной водой (контроль) увлажняли почву. Овес проращивали в течение 15 дней. Замеры производили на 10-е и 15-е сут. **III серия.** Нефтесолевое загрязнение. Нефтезагрязненный торф (концентрации 0,1; 0,5; 2,5; 12,5 г/кг) увлажняли рас-

твором NaCl (5,0 г/л). Длительность опыта 20 дней. Замеры производили на 15-е и 20-е сут.

Во всех исследуемых сериях использовались однотипные контейнеры, одна и та же почва (верховой торф), каждый эксперимент проводился в 4 повторностях по 100 семян в каждой, растворы соли готовили на дистиллированной воде. Во всех сериях в качестве контроля (К) использовали верховой торф без нефти и соли. Контролировали появление и рост корней и листьев, изменение общей массы растений, содержание пигментов (хлорофилл «а», «б» и их соотношение, каротиноиды), число хромосомных aberrаций (ХА) и погибших клеток в корнях по стандартным методикам [4]. Все полученные данные подвергали статистической обработке [5]. В таблицах и рисунках указаны величины статистически достоверных различий с контролем по критерию Стьюдента: * P < 0,05, ** P < 0,01, *** P < 0,001.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты **I серии** показали, что на 2-е сут. в почвах с минимальным содержанием нефти и в К у растений появились первые корешки (1-3 мм) и проростки. В вариантах опыта 0,5; 2,5 и 12,5 г/кг происходила задержка в появлении проростков овса. К 5-м сут. масса, длина листьев и корней овса в почве, содержащей 0,1 г/кг нефти, превышали контрольные значения на 13,6 и 33,3% соответственно, в вариантах 0,5 и 2,5 г/кг нефти длина листьев была снижена против К на 28,7-30,7% (P < 0,05). В остальных вариантах различия с контролем были незначительными (рис. 1А). К 10-м сут. разница с К в минимальных концентрациях сохранилась только по показателю длины листьев, а в концентрации 0,5 г/кг возросла масса растений на 21,6% против К (рис. 1Б).

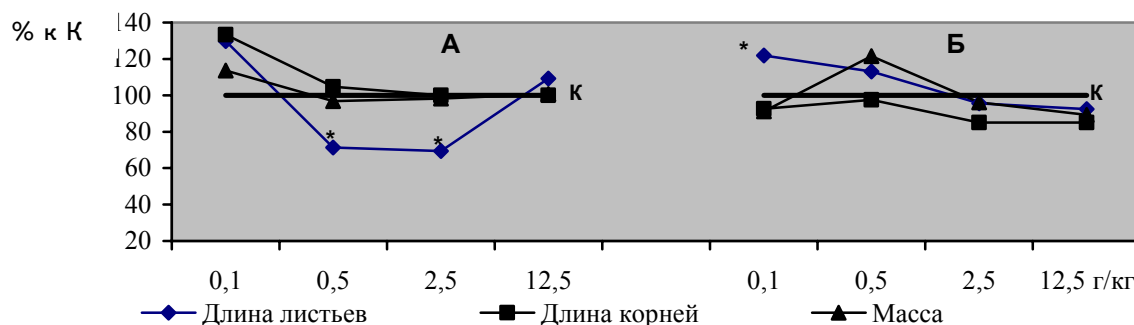


Рис. 1. Средние морфометрические показатели овса в опытах с нефтезагрязненным торфом на 5-е (А) и 10-е (Б) сутки опыта

Стимуляция активности фотосинтетического аппарата листьев овса отмечалась в вариантах опытов с содержанием нефти 0,5-2,5 г/кг (рис. 2А, Б): увеличение по сравнению с К содержания хлорофилла «а» – на 42-211%, хлорофилла «б» – на 35-237% и каротиноидов – на 48-186% ($P < 0,05-0,01$). К 10-м сут. разница с К в этих концентрациях по содержанию хлорофилла «а» сократилась до 14,5-32,6%, а в максимальной концентрации возросла до 75,9% (рис. 2Б). Содержание хлорофилла «б» превысило К в минимальной концентрации на 44%, в концентрации 0,5 и 2,5 г/кг – на 30% ($P < 0,05$), а в максимальной концентрации – на 24,9%. При этом соотношение хлорофилла «а» к «б» во всех случаях было выше, чем в контроле, в 2 раза.

Содержание каротиноидов также увеличилось, начиная с концентрации 0,5 г/кг, достигая максимума в наибольших концентрациях. Увеличение содержания хлорофиллов свидетельствует об активации системы, накапливающей энергию, а каротиноидов – об усилении антиоксидантной защиты.

Вместе с тем частота хромосомных aberrаций в клетках корней овса к 5-м сут. опыта увеличилась против К во

всех вариантах опыта на 26-94%. Рост числа aberrантных клеток свидетельствует о потенциально мутагенном действии нефти на растения. Количество мертвых клеток в корнях овса возросло на 23-123%, что свидетельствует о прямой зависимости токсического действия от содержания нефти в почве (рис. 3А). Причиной гибели клеток являются энергетический стресс и нарушение генетического аппарата. Основными хромосомными нарушениями были: фрагменты, отставания хромосом, в меньшей степени мосты и только в максимальных концентрациях множественные нарушения. К 10-м сут. хромосомных aberrаций было на 28-93%, а мертвых клеток – на 26-94% выше, чем в К, что свидетельствует о сохранении негативного действия нефти на клетки корней на протяжении всего эксперимента (рис. 3Б).

Во II серии опытов с NaCl на 3-и сут. появились корешки и проростки в К и во всех опытных вариантах, за исключением максимальной концентрации (5 г/л). К 10-м сут. произошла задержка в появлении проростков на 26 и 48% в вариантах опыта 1,25 и 5,0 г/л.

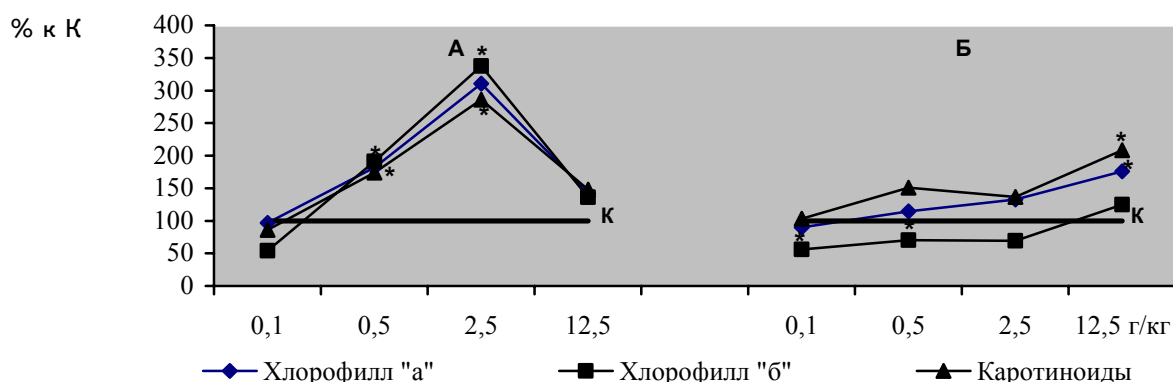


Рис. 2. Среднее содержание пигментов фотосинтеза в листьях овса на 5-е (А) и 10-е (Б) сутки в опыте с нефтезагрязненным торфом

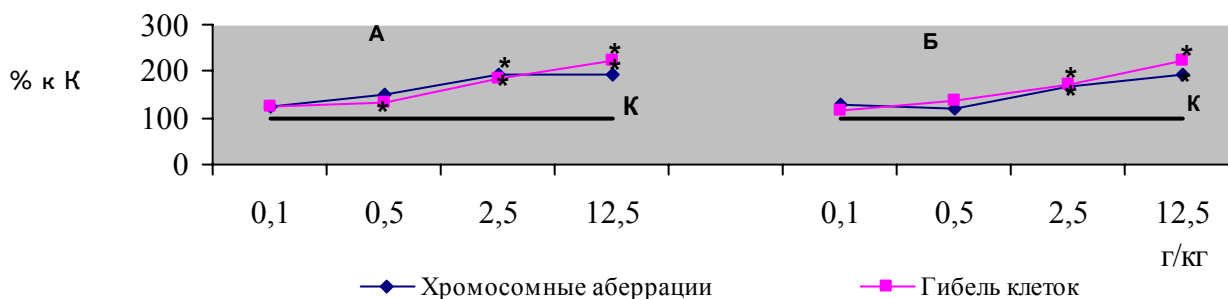


Рис. 3. Среднее число хромосомных aberrаций и погибших клеток в корнях овса под влиянием нефтяного загрязнения на 5-е (А) и 10-е (Б) сутки

% к К

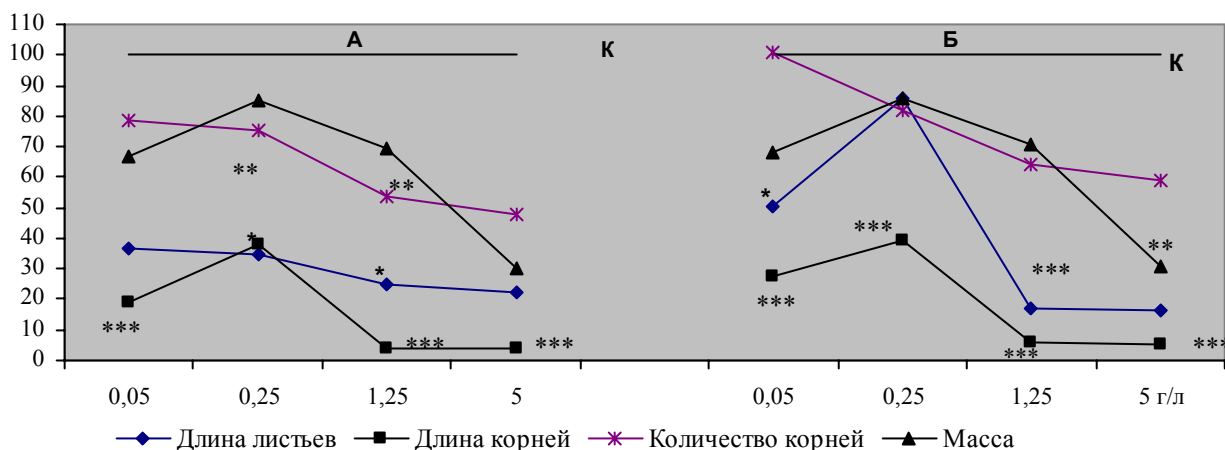


Рис. 4. Средние морфометрические показатели овса в опытах с соевым (NaCl) загрязнением на 10-е (А) и 15-е (Б) сутки опыта

Показатели роста овса были статистически достоверно снижены против К во всех вариантах опыта: длина листьев – на 63,4-77,7%, количество листьев – на 25-37,5, количество корней – на 21,2-52%. Наибольшее угнетение испытала корневая система растений: в максимальных концентрациях (1,25 и 5,0 г/л) длина корней была меньше К на 96% (рис. 4А). К 15-м сут. в опытных вариантах (рис. 4Б) длина и количество листьев было ниже, чем в К, на 37,5 и 83,9% соответственно, длина корней – на 60,9-94,7%, количество корней – на 18,3-40,9%. Таким образом, засоление почвы вызывает угнетение роста растений овса посевного, что свидетельствует о негативном влиянии NaCl в концентрациях выше 0,05 г/л на обмен ве-

ществ и поглощение питательных элементов растениями, что подтверждается и снижением функциональных показателей.

К 10-м сут. содержание хлорофилла «а» и «б» в опытных пробах было снижено против К на 36,9 и 50,7% соответственно, а содержание каротиноидов превышало контрольные значения на 30,7-63,1%, что свидетельствует о напряжении защитных механизмов растений овса под влиянием солевого стресса (рис. 5А). К 15-м сут. увеличилась разница с К в содержании хлорофиллов и каротиноидов во всех вариантах опыта: хлорофилла «а» – на 61,1-75,6%, хлорофилла «б» – на 78,1-93,4, каротиноидов – на 51,5-74,5%, что свидетельствует об истощении защитных механизмов.

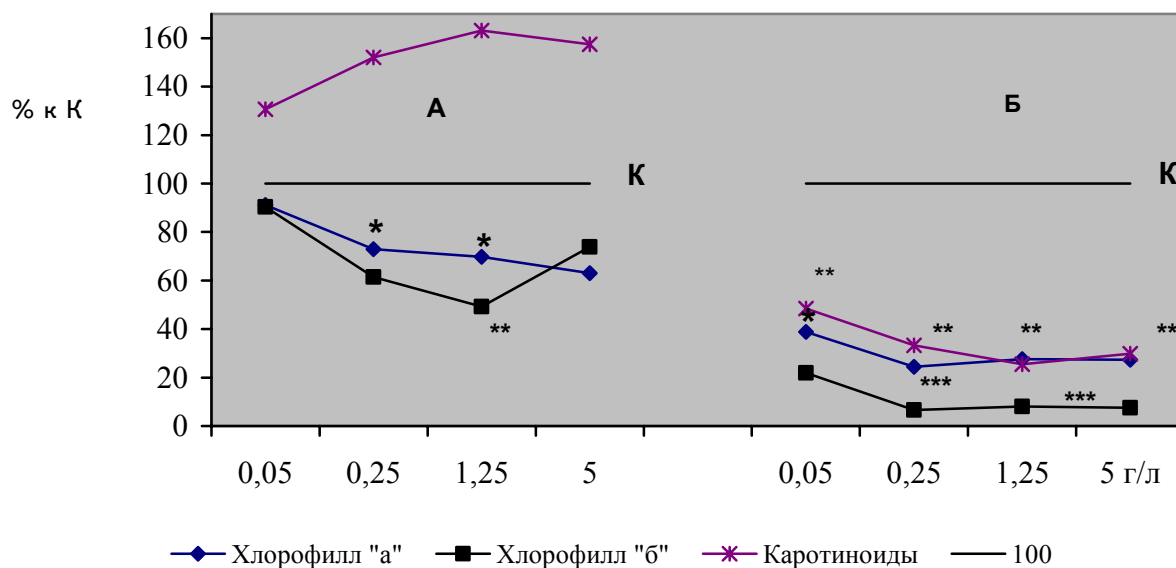


Рис. 5. Среднее содержание пигментов фотосинтеза в листьях овса при соевом загрязнении на 10-е (А) и 15-е (Б) сутки опыта

Обычный экологический фактор среды – NaCl не обладает мутагенным действием на растения овса (табл.), но оказывает повреждающее действие на клетки корней. Нарушения хромосом, регистрируемые в максимальной концентрации на 5-е сут., в дальнейшем статистически достоверно не подтвердились. Гибель клеток в корнях овса, начиная с минимальной концентрации, превысила контроль в 2-12 раз и напрямую зависела от концентрации соли (табл.). Гибель клеток в корнях растений в минимальных концентрациях NaCl отмечалась с 10-е сут, в остальных концентрациях – с 5-х сут. ($P < 0,05-0,001$).

В III серии на 3-и сут. корешки и проростки появились лишь в контроле. При совместном нефтесолевом загрязнении на фоне одинаковой солевой нагрузки (5 г/л) даже в минимальных концентрациях нефти (0,1-0,5 г/кг) прорастаемость семян по отношению к К составила всего 36-44% и всхожесть семян растянулась на 20 сут., что свидетельствует о подавляющем совместном действии нефти и соли на растения.

К 15-м сут. эксперимента длина листьев овса в опытных вариантах, начиная с концентрации нефти 0,5 г/кг, статистически достоверно превышала контрольные значения на 27,07-33,16% (рис. 6А). Одновременно количество, длина корней и масса растений были ниже контроля на 19,3-48,7, 40,9-82,6 и 19,6-5,5% соответственно ($P < 0,05-0,01$). При этом зависимости «концентрация нефти – эффект» не наблюдалось. Следовательно, угнетение корневой системы является результатом действия соли, стимуляция роста листьев – это компенсаторная реакция на стресс. При удлинении срока воздействия до 20 сут. разница с К по показателю длины листьев в тех же концентрациях нефти еще больше возросла – до 46,5-73,1%, за счет чего увеличилась по сравнению с К и средняя масса растений на 124,5-174,3%. Вместе с тем к концу эксперимента во всех опытных вариантах наблюдались пожелтение и суховершинность листьев, отсутствие тургора, полегание побегов, что, судя по литературным дан-

ным, свидетельствует об обезвоживании и хлорозе растений под действием солевого стресса [6]. Количество и длина корней оставались более низкими по сравнению с К на 31,9-36,06 и 63,7-85,2% соответственно ($P < 0,05-0,001$).

Таким образом, при совместном действии нефти и соли, лимитирующее действие на рост овса оказывает соль. Нефть может выступать как источник азота и других питательных веществ для растений, нивелируя замедление поступления питательных элементов, возникающее при солевом стрессе [6].

Несмотря на усиленный рост листьев в опытных вариантах их функциональная активность была угнетена. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях овса на 15-е сут. эксперимента было снижено против контрольных значений на 54,1-82,8% (хлорофилла «а»), 74,4-89,3% (хлорофилла «б»), 54,5-81,8% (каротиноиды) (рис. 7А). При удлинении срока воздействия до 20 сут. разница с контролем в содержании пигментов сократилась, но осталась достаточно высокой: хлорофилл «а» – 30,7-32,4%, хлорофилл «б» – 57,2-70,4%, каротиноиды – 30,1-52,4% (рис. 7Б). К 20-м сут. сильнее проявился эффект совместного действия соли и нефти в максимальной концентрации нефти (12,5 г/кг). Угнетение пигментной системы в опыте с нефтесолевым загрязнением на более раннем этапе развития свидетельствует о подавлении защитных систем растений в связи с существенным нарушением сопряженности вещественно-энергетических процессов.

В опытах с нефтью и солью отдельно показано, что мутагенным действием обладает нефть. При совместном действии нефти и соли частота хромосомных аберраций статистически достоверно отличалась от К лишь в максимальных концентрациях нефти 2,5 и 12,5 г/кг (рис. 8А). Это свидетельствует о сохранении мутагенного действия нефти на фоне солевого загрязнения. По сравнению с более низкими концентрациями в этих вариантах наблюдались множественные нарушения хромосом.

Таблица

Гибель клеток в корнях овса при солевом загрязнении

Варианты опыта	Число мертвых клеток, %			Число хромосомных аберраций, %		
	5 сут.	10 сут.	15 сут.	5 сут.	10 сут.	15 сут.
К	3,2	3,5	3,2	100,0	100,0	100,0
0,05 г/л	7,2	8,5*	10,1*	126,0	126,0	100,0
0,25 г/л	13,2*	10,8*	16,1**	152,0	126,0	126,0
1,25 г/л	16,2**	19,4**	29,5**	194,0*	152,0	126,0
5,0 г/л	24,1**	27,1**	36,0***	194,0*	152,0	152,0

Примечание. Живые и мертвые клетки n = 3000, хромосомные аберрации n = 110.

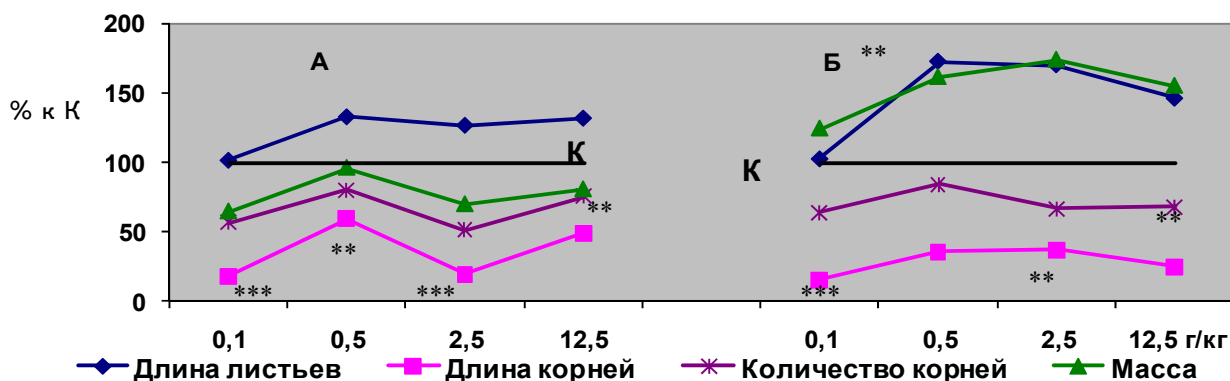


Рис. 6. Средние морфометрические показатели овса при нефтесолевом загрязнении на 15-е (А) и 20-е (Б) сут. по отношению к К, принятому за 100%

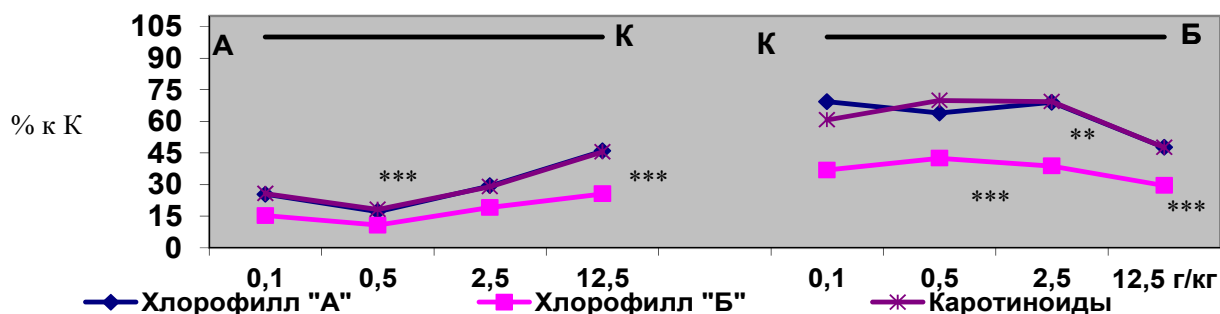


Рис 7. Среднее содержание пигментов фотосинтеза в листьях овса при нефтесолевом загрязнении на 15-е (А) и 20-е (Б) сут.

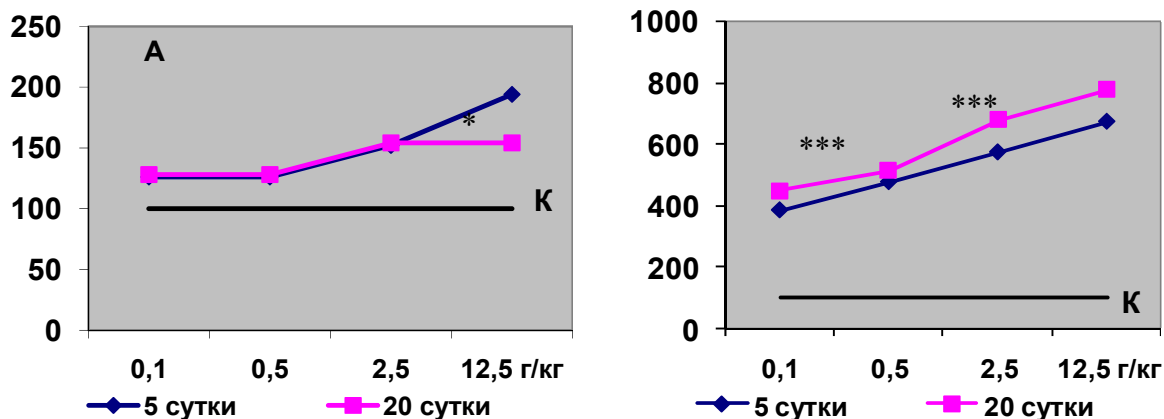


Рис. 8. Хромосомные aberrации (А) и гибель клеток (Б) в корнях овса при нефтесолевом загрязнении на 5-е и 20-е сут.

Гибель клеток в корнях овса во всех концентрациях нефти на фоне солевого загрязнения превышала контрольные значения в 3,5-7,7 раза (рис. 8Б), что свидетельствует о губительном действии как соли, так и нефти на жизнеспособность клеток корней. Причем количество погибших клеток четко коррелировало с концентрацией нефти в почве.

Заключение

Таким образом, выполненные исследования показали, что нефть в минимальных концентрациях стимулирует рост листьев и корней овса в течение 5 сут. и содержание пигментов фотосинтеза во всех опытных вариантах до 10 сут., хотя частота ХА и количество мертвых клеток в корнях увеличиваются с ростом концен-

траций нефти. Солевое загрязнение в диапазоне от 0,05 до 5,0 г/л оказывает **угнетающее** действие на рост растений и их функциональную активность. Нефтесолевое загрязнение верхового торфа в еще большей степени угнетает корневую систему, подавляет фотосинтез, вызывает гибель клеток в корнях во всем диапазоне исследуемых концентраций и нарушение хромосом при значительных концентрациях нефти (2,5 г/кг и выше).

Библиографический список

1. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П. Солнцева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
2. Радюкина Н.Л. Гомеостаз полиаминов и антиоксидантные системы корней и листьев *Plantago major* при солевом стрессе / Н.Л. Радюкина, С. Мапелли, Ю.В. Иванов, А.В. Карташов, И. Брам-

билла // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 3. – С. 359-368.

3. Чижов Б.Е. Лесная рекультивация шламовых амбаров / Б.Е. Чижов, А.И. Захаров, Г.А. Гаркунов // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2006. – Вып. 7. – С. 201-213.

4. Временное методическое руководство по нормированию уровней содержания химических веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов (на примере нефти). – М.: РЭФИА, НИИ-Природа, 2002. – 134 с.

5. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 344 с.

6. Яо Ц. Влияние солевого стресса на экспрессию в корнях томата генов транспорта и ассимиляции нитратов / Ц. Яо, И.М. Ши, В.Ф. Су // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 2. – С. 235-261.

