

УДК 502.61 (470.53)

М.И. Демидова, Ю.Е. Лихарева, В.К. Лапшина

Пермская государственная сельскохозяйственная академия
им. акад. Д.Н. Прянишникова

ВЛИЯНИЕ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ ОАО «УРАЛКАЛИЙ» ГОРОДА БЕРЕЗНИКИ НА ПОЧВУ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

На территории города Березники расположено четыре солеотвала, принадлежащих ОАО «Уралкалий». Возможно загрязнение почв и растительности окрестностей солеотвалов хлоридами. Проведено обследование почв и фитоценозов в окрестностях солеотвала БКПРУ-4 г. Березники. Поставлен модельный опыт по изучению влияния галитовых отходов по сравнению с хлоридом натрия на морфологические и биохимические характеристики пшеницы.

Ключевые слова: калийное производство, галитовые отходы, загрязнение почвы, модельный опыт.

Калий – один из основных компонентов агрохимии, внесение которого в почву в достаточном количестве обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур и их необходимое качество. Поэтому спрос на содержащие этот элемент соли растет в мире из года в год, а удовлетворяется он весьма ограниченным числом производителей.

Ведущие позиции среди производителей калийных удобрений занимает российское предприятие ОАО «Уралкалий», поставляющее пятую часть всех калийных удобрений в мире. На долю Пермского края приходится 100 % производимых в России калийных удобрений. Вместе с тем, производя продукцию главным образом для других регионов, Пермский край испытывает серьезные экологические проблемы. Выделение хлористого калия из руды связано с образованием значительных по объему галито-

вых отходов и жидких глинисто-солевых шламов, складированных в солеотвалах и шламонакопителях. Существует риск техногенного засоления окружающих солеотвалы почв и угнетающего воздействия на фитоценозы.

Тема влияния естественного засоления на почву и растительность хорошо изучена. Отмечено непосредственное токсическое действие солей на растения, угнетение жизнедеятельности растений в результате нарушения осмотических процессов и минерального питания, изучены механизмы устойчивости растений к солевому стрессу [1, 3, 6]. Техногенное засоление изучено в меньшей степени, большинство работ посвящено солевому загрязнению при нефтедобыче [8, 10], проблемам применения антигололедных покрытий [5]. Работы по изучению влияния отходов калийного производства относительно немногочисленны, с учетом регионального характера экологических проблем в основном представлены специалистами Пермского государственного университета [2, 4]. В литературе не рассматривается специфичность действия галитовых отходов в сравнении с естественным хлоридным засолением.

Целью данной работы являлось изучение воздействия галитовых отходов БКПРУ-4 на почву и растительность и сопоставление его с воздействием хлорида натрия.

В окрестностях солеотвала было заложено три пробных площади размером 100 м² (10×10 м) на расстоянии 50, 100 и 700 м от границы солеотвала. Пробы грунта были отобраны 8 августа 2012 г. по ГОСТ 28168–89. В водной вытяжке определяли содержание [7]:

- хлоридов аргентометрическим методом по Мору;
- ионов кальция и магния трилонометрическим методом;
- сульфатов турбидиметрическим методом.

Дополнительно проведено определение:

- рН солевой вытяжки потенциометрически;
- суммы поглощенных оснований по Каппену–Гильковицу;
- подвижного фосфора по методу Кирсанова;
- гидролитической кислотности (H_t) по методу Каппена в

модификации ЦИНАО;

- гумуса по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову–Гриндель;

- активности каталазы [9].

Исследование фитоценозов проводилось по стандартной методике. Для каждого вида определяли плотность (шт/м²), жизненность в баллах, фенофазу, высоту.

Для постановки модельного опыта отобрана окультуренная дерново-подзолистая средне-суглинистая почва г. Березники. Для моделирования засоления использованы галитовые отходы БКПРУ-4 ОАО «Уралкалий» и хлорид натрия. Химический состав сухих галитовых отходов: NaCl и другие соли – 94,6 %, KCl – 3,1 %, нерастворимый в воде остаток 2,3 %.

В качестве тест-объекта использованы семена пшеницы сорта Горноуральская со всхожестью 99 %. Семена высаживали в пластиковые контейнеры. Растения выращивали при круглосуточном освещении и комнатной температуре в течение 12 дней. Растения ежедневно поливали, доводя почву до полной влагоемкости.

Проводился двухфакторный опыт по исследованию всхожести семян, роста и развития растений пшеницы на фоне загрязнения почвы галитовыми отходами и хлоридом натрия. В качестве индикатора стрессового состояния растений использовали концентрацию аскорбиновой кислоты и каталазы, а также концентрацию фотосинтетических пигментов. Опыт закладывали 1.04.2013, результаты снимали 12.04.2013.

Математическая обработка проводилась методом дисперсионного анализа с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты анализа состава почвенных образцов, отобранных в окрестностях солеотвала, показаны в табл. 1, 2.

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы

Показатель	Расстояние от границы солеотвала, м		
	50	100	700
pH _{KCl}	8,19±0,02	6,38±0,01	7,84±0,01
H _r , мг-экв/100 г почвы	< 0,23	0,37±0,03	< 0,23
S, мг-экв/100 г почвы	43,2±0,5	18,5±0,8	48,3±0,1
Гумус, %	0,9±0,1	1,3±0,1	4,1±0,1
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	25,5±0,5	37,8±0,6	87,8±1,0

Реакция почвенного раствора на расстоянии 50 м от границы солеотвала щелочная, на расстоянии 100 м – нейтральная, в 700 м от границы солеотвала – слабощелочная. Такое ощелачивание связано с постоянным поступлением и перераспределением щелочно-генных ионов из солеотвалов. Значение гидролитической кислотности в исследуемых образцах максимально на расстоянии 100 м от границы солеотвала и достигает 0,37 мг-экв/100 г почвы.

Наибольшие значения суммы поглощенных оснований наблюдались на первом (50 м) и третьем (700 м) участках и составили соответственно 43,2 и 48,3 мг-экв/100 г почвы, это показатели очень высокие. На расстоянии 100 м от границы солеотвала данный показатель в 2,6 раза ниже и характеризуется как повышенный.

Исследуемые грунты характеризуются очень низким содержанием гумуса на расстоянии 50 и 100 м от солеотвала – 0,9 и 1,3 % соответственно. Возможно, накопление гумуса на данных участках слабо выражено из-за молодости образований и воздействия солей на микробиологический комплекс почвы. На третьем участке содержание гумуса ниже среднего и составляет 4,1 %. Содержание подвижных форм фосфора изменяется соответственно содержанию гумуса: низкое на участках 50 и 100 м, среднее на участке 700 м от границы солеотвала.

Таблица 2

Результаты анализа водной вытяжки почвенных проб

Показатель	Расстояние от границы солеотвала, м		
	50	100	700
Концентрация, мг-экв/100 г почвы:			
Ca ²⁺	1,8±0,3	0,8±0,3	1,3±0,3
Mg ²⁺	0,5	1,5±0,6	1,0±0,3
SO ₄ ²⁺	0,034±0,004	0,037±0,004	Ниже предела обнаружения
Cl ⁻	0,33±0,06	0,27±0,06	0,35±0,06

Концентрация ионов кальция на расстоянии 50 м от границы солеотвала максимальна. Такое распределение можно объяснить ветровым переносом частиц галитовых отходов. Содержание магния в исследуемых образцах характеризуется как очень низ-

кое (50 и 700 м) и среднее (100 м). Содержание сульфатов в почве не отличается на расстоянии 50 и 100 м и не превышает предельно допустимой концентрации сульфат-иона (160 мг/кг почвы).

По содержанию хлорид-ионов участки на расстоянии 50 и 700 м от границы солеотвала характеризуются как слабозасоленные (0,01–0,05 %), 100 м – незасоленный (<0,01 %).

На участках с более высоким уровнем засоления происходило снижение каталазной активности почвы, но разница статистически незначима. На расстоянии 50 м от границы солеотвала активность каталазы составила $0,6 \pm 0,1$ мл O_2 /1 г почвы, на расстоянии 100 и 700 м соответственно $0,8 \pm 0,1$ и $0,7 \pm 0,1$ мл O_2 /1 г почвы.

Окрестности солеотвала заняты луговым фитоценозом. Количество растений уменьшается с удалением от солеотвала, что сопровождается увеличением их размеров (табл. 3). Проективное покрытие также увеличивается. Результаты изучения почв и растительности в окрестностях солеотвала соответствуют данным предыдущих авторов [2, 4].

Таблица 3

Характеристика фитоценозов
в районе влияния солеотвала БКПРУ-4

Показатель	Расстояние до границы солеотвала, м		
	50	100	700
Общее количество видов	17	17	18
Проективное покрытие, %	70	80	90
Общая плотность растений, экз./м ²	146	106	86
Средняя высота, см	58,5	66,3	77,3
Доминант	Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i> L.	Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth

По результатам модельного опыта видно, что каталазная активность почвенных микроорганизмов снижается под влиянием засоления (табл. 4). Угнетение активности фермента происходит пропорционально концентрации хлорид-иона. Таким образом, каталазная активность является хорошим индикатором уровня засоления почвы. Влияние галитовых отходов и поваренной соли

на почвенный микробиологический комплекс при одинаковых концентрациях хлорид-иона не имеет существенных различий ($HCP_{05} = 0,11$).

Таблица 4

Активность каталазы и дыхание почвы
после завершения модельного опыта

Вариант	Концентрация Cl^- , г/кг почвы	Активность каталазы, мл O_2 /1 г почвы	Дыхание, мг CO_2 /10 г почвы
Контроль		1,4	77,0
Cl^- в составе галитовых отходов	0,1	1,0	67,8
	0,2	0,8	55,4
	0,5	0,6	49,3
	1,0	0,3	33,9
Cl^- в составе NaCl	0,1	0,9	70,8
	0,2	0,8	61,6
	0,5	0,5	46,2
	1,0	0,4	43,1
HCP_{05}		0,11	2,7

Почвенное дыхание является интегральным показателем работы всей биоты [9]. Анализ результатов исследования дыхания почвы после проведения модельного опыта позволяет сделать вывод о том, что наблюдается существенное снижение активности самоочищающих процессов в почве при действии солей. Дыхание почвы в концентрации хлоридов в составе галитовых отходов 1,0 г/кг почвы снижается в 2,2 раза, для хлорида натрия – в 1,8 раза по сравнению с незасоленной почвой контрольного образца.

Результаты изучения влияния загрязнения почвы галитовыми отходами и хлоридом натрия на динамику прорастания семян пшеницы представлены на рис. 1. Пониженная энергия прорастания семян наблюдается во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Характер кривых, отражающих энергию прорастания, сходен во всех вариантах опыта, кроме максимальных концентраций хлорида натрия и галитовых отходов. Всхожесть семян по итогам опыта была пропорциональна уровню со-

левого загрязнения: наибольшая – в контроле (100 %), наименьшая – при содержании хлорида в составе галитовых отходов 1,0 г/кг почвы (86,7 %).

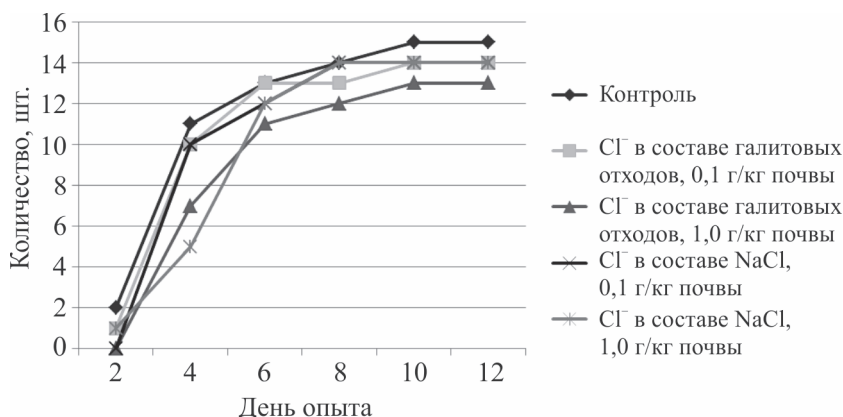


Рис. 1. Динамика прорастания семян пшеницы

По результатам измерений высоты надземной части растений в конце опыта выявлен статистически незначимый стимулирующий эффект концентрации хлорида в составе галитовых отходов 0,1 и 0,2 г/кг почвы на 5,1 и 1,7 % соответственно по отношению к контролю (рис. 2). В остальных концентрациях галитовых отходов и хлорида натрия наблюдается угнетение роста, причем воздействие увеличивается при увеличении засоления. Статистически доказан только эффект наибольших в опыте концентраций. Различия между влиянием соли и галитовых отходов на надземную часть растений несутельны.

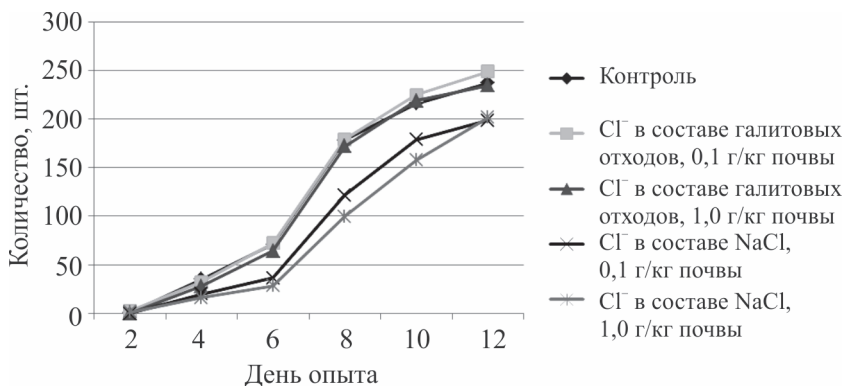


Рис. 2. Динамика роста надземной части растений пшеницы под воздействием солей

Во всех вариантах опыта обнаружено угнетающее влияние засоления на длину корней. Наибольшее угнетение (29,7 %) выявлено при загрязнении хлоридом натрия в концентрации хлорида 0,2 г/кг почвы.

При влиянии галитовых отходов отмечено пропорциональное увеличение степени угнетения на развитие корней с увеличением концентрации солей. Изменение длины корней существенно (табл. 5).

Таблица 5

Динамика развития корней под влиянием засоления

Вариант	Концентрация Cl^- , г/кг почвы	Длина, мм	Изменение ($\pm$) к контролю	
			мм	%
Контроль		182	–	–
Cl^- в составе галитовых отходов	0,1	181	–1	–0,5
	0,2	175	–7	–3,8
	0,5	167	–15	–8,2
	1,0	145	–37	–20,3
Cl^- в составе NaCl	0,1	136	–46	–25,3
	0,2	128	–54	–29,6
	0,5	133	–49	–26,9
	1,0	132	–50	–27,5
НСР ₀₅		5,09	–	

Изменение морфологии зоны деления корешков представлено на рис. 3. В контроле корни (100 %) имели типичную округло-конусовидную форму, корневые волоски слабо развиты (рис. 3, а).

При загрязнении галитовыми отходами форма кончика у большинства корней заостренно-конусовидная, во всех вариантах было отмечено увеличение развития корневых волосков, более сильное с ростом концентрации солей (рис. 3, б). Возможно, образование большого количества корневых волосков компенсирует отставание роста корней при засолении и служит источником дополнительного поступления воды и элементов питания.

При загрязнении хлоридом натрия было отмечено изменение формы корешков от округло-конусовидной до шаровидной при увеличении концентрации. Корневые волоски слабо выражены (рис. 3, в).

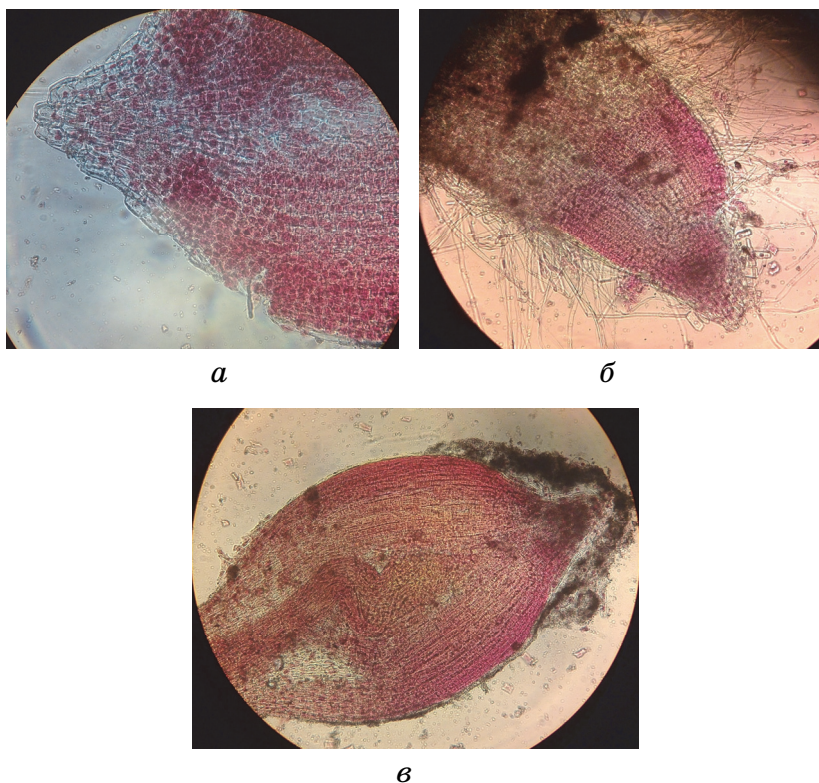


Рис. 3. Кончик корня: *а* – в контрольном варианте;
б – в варианте СГ в составе галитовых отходов 1,0 г/кг почвы;
в – в варианте СГ в составе хлорида натрия 1,0 г/кг почвы

Засоление почвы воздействует не только на рост и развитие растений, но и на протекание биохимических реакций.

Под влиянием засоления происходит торможение биосинтеза фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофилла *а* и *в* и каротиноидов у растений пшеницы в условиях засоления было ниже, чем в контроле. Снижение концентрации пигментов соответствовало возрастанию концентрации солей (табл. 6). Поваренная соль более интенсивно ингибировала биосинтез фотосинтетических пигментов по сравнению с галитовыми отходами, что доказано математически.

В побегах пшеницы наблюдалось снижение содержания аскорбиновой кислоты в зависимости от уровня засоления, так как аскорбиновая кислота затрачивается на ингибирование свободных радикалов, образующихся при загрязнении (рис. 4).

Таблица 6

Содержание пигментов фотосинтеза в листьях пшеницы

Вариант	Концентрация Cl^- , г/кг почвы	Хлорофилл $a + b$, мг/г сырой массы	Каротиноиды, мг/г сырой массы
Контроль		2,63	0,98
Cl^- в составе галитовых отходов	0,1	2,35	0,47
	0,2	2,28	0,34
	0,5	1,99	0,23
	1,0	1,82	0,14
Cl^- в составе NaCl	0,1	2,36	0,40
	0,2	2,35	0,33
	0,5	2,22	0,32
	1,0	2,07	0,24
НСП ₀₅		0,04	0,03

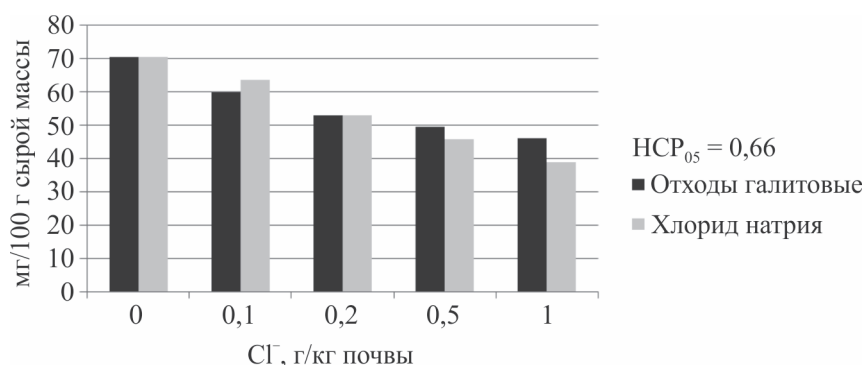


Рис. 4. Изменение содержания аскорбиновой кислоты в надземной части растений под действием засоления

Анализ результатов изменения активности каталазы в листьях позволяет сделать вывод о том, что наблюдается блокирование ферментной системы при действии засоления. Действие хлорида натрия на активность каталазы в концентрациях хлоридов 0,1 и 0,2 г/кг почвы меньше, чем влияние галитовых отходов при этих концентрациях и составляет для соли 16,4 и 13,2 мл O_2 / 1 г сырой массы, для галитовых отходов – 14,7 и 10,3 мл O_2 / 1 г сырой массы соответственно (рис. 5). Наши данные по снижению содержания аскорбиновой кислоты и активности каталазы в растениях при засолении противоречат данным О.З. Еремченко с соавторами [2], наблюдавшими рост показателей. Возможно, это

определяется тем, что в эксперименте мы рассматривали биохимические изменения в растениях на ранних фазах развития.

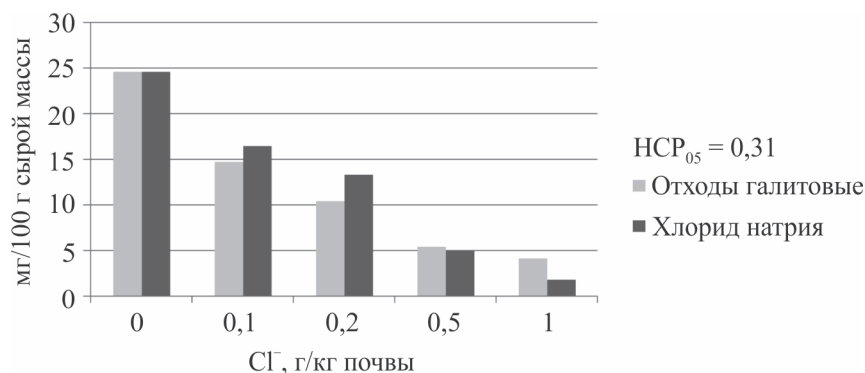


Рис. 5. Изменение активности каталазы в листьях пшеницы

Таким образом, засоление влияет как на ферментативные, так и неферментативные компоненты биохимических процессов растений. Засоление поваренной солью оказывает более негативное влияние на биохимические процессы, чем засоление галитовыми отходами.

Все изученные показатели, как морфологические, так и биохимические, обладают высокой биоиндикационной ценностью, так как их динамика соответствует концентрации загрязнителя.

Библиографический список

1. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, № 5. – С. 482–493.
2. Техногенные поверхностные образования зоны солеотвалов и адаптация к ним растений / О.З. Еремченко, О.А. Четина, М.Г. Кусакина, И.Е. Шестаков; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – 146 с.
3. Загоровская Е.А., Климачев Д.А. Влияние хлорида натрия (NaCl) на физиологические процессы растений кукурузы (*Zea mays* L.) // Экологические проблемы Московской области: сб. науч. тр. – М., 2012. – С. 20–30.
4. Лымарь О.А. Техногенные поверхностные образования зоны солеотвалов и адаптации к ним растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пермь, 2007. – 22 с.
5. Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования многоэтажных жилых районов городов Прикамья: дис. ... канд. биол. наук. – Пермь, 2004. – 213 с.
6. Орлова Н.В., Кусакина М.Г., Сучкова Н.В. Зависимость содержания водорастворимых белков в органах галофитов от уровня засоления // Вестник Перм. ун-та. – 2007. – № 5. – С. 31–34.

7. Пименова Е.В., Леснов А.Е. Химические методы в агроэкологическом мониторинге почвы / Пермская гос. с.-х. акад. – Пермь, 2009. – 120 с.
8. Ронжина Т.В. Техногенная трансформация дерново-подзолистых почв в районах добычи углеводородного сырья при разливе сточных вод // Естественные и технические науки. – 2009. – № 6. – С. 452–454.
9. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Карел. науч. центр РАН. – Петрозаводск, 2009. – 84 с.
10. Цулаия А.М. Функционально-морфологические изменения высших растений при действии нефтяного, солевого и нефтесолевого загрязнения почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тюмень, 2012. – 18 с.

References

1. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. Reaktsiya rastenij na zasolenie i formirovanie soleustojchivosti [Plants' reaction on salification and salinity resistance formation]. *Uspekhi sovremennoj biologii*, 2007, vol. 127, no. 5, pp. 482–493.
2. Eryomchenko O.Z., Chetina O.A., Kusakina M.G., Shestakov I.E. Tekhnogennye poverkhnostnye obrazovaniya zony soleotvalov i adaptatsiya k nim rastenij [Man-made mineral surface formations of salt tailings pile zones and plants' adaptation to them]; Permskiy natsionalnyi issledovatel'skiy universitet, 2013. 146 p.
3. Zagorovskaya E.A., Klimachev D.A. Vliyanie khlorida natriya (NaCl) na fiziologicheskie protsessy rastenij kukuruzy (Zea mays L.) [Sodium chloride (NaCl) influence on physiological processes in corn plants (Zea mays L.)]. *Ekologicheskie problemy Moskovskoj oblasti*. Moscow, 2012, pp. 20–30.
4. Lymar' O.A. Tekhnogennye poverkhnostnye obrazovaniya zony soleotvalov i adaptatsiya k nim rastenij [Man-made mineral surface formations of salt tailings pile zones and zones of plants' adaptation to them]. Abstract of the thesis of the candidate of biological sciences. Perm, 2007. 22 p.
5. Moskvina N.V. Pochvy i tekhnogennye poverkhnostnye obrazovaniya mnogoetazhnykh zhilykh rajonov gorodov Prikm'ya [Soils and man-made mineral surface formations of multistoried residential areas of the Kama Region cities]. Thesis of candidate's degree dissertation. Perm, 2004. 213 p.
6. Orlova N.V., Kusakina M.G., Suchkova N.V. Zavisimost sodержaniya vodorastvorimyykh belkov v organakh galofitov ot urovnya zasoleniya [Dependence of water-soluble proteins content in halophytes organs on saltification level]. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2007, no. 5, pp. 31–34.
7. Pimenova E.V., Khimicheskie metody v agroekologicheskom monitoring pochvy [Chemical methods of agroecological monitoring of the soil]. Permskaya gosudarstvennaya selskokhozyastvennaya akademiya, 2009. 120 p.
8. Ronzhina T.V. Technogennaya transformatsiya dernovo-podzolistykh pochv v rajonah dobychi uglevodorodnogo syr'ya pri razlive stochnykh vod [Man-made transformation of sod-podzol soil in hydrocarbon crude mining areas under waste water pouring]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2009, no. 6, pp. 452–454.
9. Fedorets N.G., Medvedeva M.V. Metodika issledovaniya pochv urbanizirovannykh territoriy [Methods of studying soils of urban lands]. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchny Tsentr RAN, 2009. 84 p.

10. Tsulaiya A.M. Funktsionalno-morfologicheskie izmeneniya vysshikh rastenij pri dejstvii neftyanogo, solevogo i neftesolevogo zagryazneniya pochv [Functional and morphological changes of higher plants under oil, salt, oil-and-salt soil pollution]. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences. Tyumen, 2012. 18 p.

Получено 27.05.2014

M. Demidova, Yu. Likhareva, V. Lapshina

THE INFLUENCE OF HALITE WASTE OF OAO «URALKALI» IN THE CITY OF BEREZNIKI ON SOIL AND FLORA

Four salt dumps of OAO «Uralkali» are situated within the territory of the city of Berezniki. It is likely that the soil and the flora in the neighborhood of the salt dumps are polluted by chlorides. Examination of soils and phytocenosis near the salt dump of Berezniki Potassium Production Mining Plant Administration № 4 has been carried out. Model experiment has been conducted in order to study the influence of halite waste on morphologic and biochemical characteristics of wheat in comparison with the influence of sodium chloride.

Keywords: potassium industry, halite waste, soil pollution, model experiment.

Демидова Марина Иосифовна (Пермь, Россия) – доцент кафедры экологии, Пермская государственная сельскохозяйственная академия (614000, г. Пермь, ул. Краснова, 10, e-mail: demidovami@rambler.ru).

Лихарева Юлия Евгеньевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры общей химии, Пермская государственная сельскохозяйственная академия (614000, г. Пермь, ул. Краснова, 10, e-mail: ullix@yandex.ru).

Лапшина Василина Константиновна (Пермь, Россия) – учащаяся, МАОУ «Лицей № 2» (614000, г. Пермь, ул. Самаркандская, 102, e-mail: vasilina96@mail.ru).

Demidova Marina (Perm, Russia) – Associate Professor of Ecology Department, Perm State Agricultural Academy (614000, Perm, Krasnova str., 10, e-mail: demidovami@rambler.ru).

Likhareva Yuliya (Perm, Russia) – Postgraduate Student of General Chemistry Department, Perm State Agricultural Academy (614000, Perm, Krasnova str., 10, e-mail: ullix@yandex.ru).

Lapshina Vasilina (Perm, Russia) – Student of Municipal Autonomous Educational Institution Lyceum № 2 (614000, Perm, Samarkandskaya str., 102, e-mail: vasilina96@mail.ru).