

ческих показателей и отсутствием программных средств поддержки принятия решений при внедрении принципов циркулярной экономики на конкретных предприятиях.

Поэтому научная идея, которая базируется на предположении, что комплексные учёт и оптимизация принципов циркулярной экономики и технологий переработки производственных отходов при выполнении требований экологической безопасности на основе математического моделирования (нейронных сетей) и информационных систем позволят обеспечить соблюдение требований охраны окружающей среды при улучшении экономических показателей животноводческих предприятий является актуальной.

#### Список использованных источников

1. Ellen MacArthur Foundation (2016). Money makes the world goes round (and will it help to make the economy circular as well?), онлайн: [goo.gl/wlahzp](http://goo.gl/wlahzp).
2. CACE (2018) Overview. China Association of Circular Economy. – <http://en.chinacace.org/about?tag=Overview>
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г./Национальная комиссия по устойчивому развитию Республики Беларусь. — Мн.: Юни, пак. — 143 с.
4. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 2017 // – Режим доступа: [http://www.minpriroda.gov.by/ru/new\\_url\\_1649710582-ru/](http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/) (дата обращения: 15.02.2019)

УДК 581.19: 581.2.02

В.И. Домаш, О.Л. Канделинская, О.А. Иванов,  
Т.П. Шарпио, Е.Р. Грищенко, С.А. Забрейко  
ГНУ «Институт экспериментальной ботаники  
им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси», г. Минск

### БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ ДИКОРАСТУЩИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

На территории Беларуси среди наиболее преобразованных регионов по степени техногенной трансформации земной поверхности признан район Солигорских калийных производств. Отмечено, что их воздействие на окружающую среду связано не только с изъятием земель и преобразованием поверхности, заболачиванием и подтоплением территорий в результате просадок, но и интенсивным загрязнением воздушной среды, почв, подземных вод, угнетением растительности. Количество промышленных отходов, накопленных на земной поверхности Солигорского района, превышает 700 млн т.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории Солигорского горно-промышленного района являются промышленные предприятия и автотранспорт. Стационарные источники здесь выбрасывают около 10 тыс. т загрязняющих веществ в год, причем на долю ПО «Беларуськалий» приходится около 98 %. Специфическими загрязнителями воздушной среды в зоне воздействия калийных производств является хлористый водород. Кроме того, в атмосферу попадают выбросы диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода, хлористого калия и других загрязняющих веществ, которые негативно воздействуют на животный и растительный мир, как вблизи расположения предприятия, так и далеко за его пределами. Так, например, на производственной площадке 4 рудоуправления ОАО «Беларуськалий» выявлено 310 источников выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Источники предприятия выбрасывают загрязняющие вещества 59-ти наименований. Все это оказывает существенное влияние на формирование экологической обстановки [1].

Как показали исследования Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, распределение загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к ПО «Беларуськалий» определялось почвенным покровом и степенью гидроморфизма почв, расстоянием от источника эмиссии направлением господствующих ветров. По мере перехода от дерново-подзолистой супесчаной почвы нормального увлажнения к дерново-подзолистым легкосуглинистой глееватой почвам наблюдается увеличение концентрации загрязнителя подвижных форм хлора во всех горизонтах почвенного профиля [2–5].

В связи с этим, представляется важным исследование действия загрязнений ПО «Беларуськалий» на дикорастущие виды растений с целью выявления биохимических маркеров их устойчивости. Таковыми могут служить компоненты протеиназно-ингибиторной системы, антиоксидантной защиты, углеводсвязывающие белки лектины. Указанные белки играют существенную роль в жизнедеятельности растительного организма, принимая участие в процессах деградации запасных белков при прорастании, синтезе их при созревании семян, при формировании защитных механизмов и пр.

**Целью** работы являлось изучение влияния солеотвалов ПО «Беларуськалий» на активность белков, выполняющих защитные функции в растениях: ингибиторов трипсина, ферментов антиоксидантной защиты, углеводсвязывающих белков лектинов в дикорастущих видах растений Беларуси.

Объектом исследований служили дикорастущие растения семейств Зонтичные (морковь дикая, *Daucus carota*), Сложноцветные (полынь обыкновенная, *Artemisia vulgaris*, пижма обыкновенная, *Tanacetum vulgare*) и Злаки (вейник наземный, *Calamagrostis epigejos*).

Содержание подвижных форм калия, фосфора, натрия и хлора в почве определяли согласно ГОСТ 26207-91, ГОСТ 26425-85 п.1 и ГОСТ 26950-86.

*Активность белков-ингибиторов трипсина* определяли по уменьшению скорости гидролиза субстрата ферментом в присутствии белков-ингибиторов. В качестве субстрата использовали синтетический  $N\alpha$ -бензоиларгининнитроанилид (БАПА)

*Антиоксидантную активность* определяли с использованием фотохимической системы генерирования радикалов супероксида, которая основана на реокислении фотовосстановленного рибофлавина.

*Гемагглютинирующую активность лектинов* определяли с использованием эритроцитов кролика посредством микротитрования на иммунологических планшетах с U-образными лунками с последующим добавлением в них 2,5% суспензии эритроцитов кролика. Активность лектинов выражали в величинах, обратных минимальной концентрации белка, при которой отмечали реакцию гемагглютинации (Ед/г сыр. массы).

**Результаты исследований** показали различное содержание подвижных форм хлора, фосфора и натрия на участках, удаленных на 50 и 70 м от солеотвалов ПО «Беларуськалий» (табл. 1). Как видно из представленных данных, наиболее высокое содержание элементов обнаружено на расстоянии 70 м от солеотвала. Контролем служил участок на расстоянии 500 м от солеотвала.

**Таблица 1 – Содержание подвижных форм элементов в образцах почвы ( в мг/кг)**

Образец	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na водн.	Cl
Контроль (500 м от отвала)	30,6	105,1	13,5	7,97
50 м от отвала	138,8	341,9	10,5	6,62
70 м от отвала	97,2	450,7	10,5	17,83
130 м от отвала	70,3	301,2	20,5	30,92

В таблицах 2 и 3 представлены результаты исследований действия загрязнителей ПО «Беларуськалий» на некоторые биохимические показатели у дикорастущих видов растений, которые были собраны на территориях, прилегающих к солеотвалам.

Таблица 2 – Влияние ПО «Беларуськалий» на активность лектинов (содержание от контроля, %).

Варианты опыта	Морковь дикая	Пижма обыкновенная	Полынь обыкновенная
Контроль (500 м от отвала)	100	100	100
50 м от отвала	97,8	64,6	72,3
70 м от отвала	82,2	202,5	109,4

Согласно данным таблицы 2, выявлена видоспецифичность показателя активности лектинов в зависимости от уровня загрязнения почв различными ионами, в частности, ионами хлора. Наиболее чувствительными к действию загрязнителей были растения пижмы обыкновенной и полыни обыкновенной на расстоянии 70 м от солеотвала ПО «Беларуськалий». Согласно данным таблицы 3, уровень антиоксидантной активности у растений пижмы обыкновенной был на 24% выше на расстоянии 50 м от отвала, а у моркови дикой – на 70–170% на расстоянии 50 и 70 м от отвала. В остальных случаях этот показатель оказался ниже контрольных значений. Показатель активности ингибиторов трипсина, в основном, находился на уровне контрольных значений. Однако, данный показатель у моркови дикой повышался на 24% на расстоянии 70 м от отвала, где были зафиксированы более высокие концентрации ионов хлора.

Таблица 3 – Влияние ПО «Беларуськалий» на антиоксидантную активность и активность ингибиторов трипсина у дикорастущих видов растений

Варианты опыта	Антиоксидантная активность, %	% к контролю	Активность ингибиторов трипсина, ИЕ/г а.с.м.	% к контролю
<b>Пижма обыкновенная</b>				
Контроль (500 м от отвала)	43,55±0,14	100	6,52 ±0,23	100
50 м от отвала	54,31± 0,92	124,7	11,56 ± 0,32	45,3
70 м от отвала	28,23±0,81	64,82	22,75 ± 0,18	89,1
<b>Полынь обыкновенная</b>				
Контроль (500 м от отвала)	70,98±0,61	100	13,34±0,00	100
50 м от отвала	25,54±0,46	35,98	13,28± 0,14	<b>99,5</b>
70 м от отвала	<b>57,67±0,40</b>	<b>81,25</b>	12,95± 0,13	<b>97,1</b>
<b>Морковь дикая</b>				
Контроль (500 м от отвала)	20,17±0,80	100	17,20±0,00	100
50 м от отвала	<b>34,68±0,81</b>	<b>171,9</b>	16,50± 0,16	<b>95,9</b>
70 м от отвала	<b>54,84±0,30</b>	<b>271,9</b>	21,35±0,14	<b>124,1</b>
<b>Вейник наземный</b>				
Контроль (500 м от отвала)	67,35±0,40	100	15,50 ± 0,05	100
50 м от отвала	<b>55,65±0,81</b>	<b>82,6</b>	13,50± 0,07	<b>87,1</b>
70 м от отвала	<b>62,72±0,14</b>	<b>93,1</b>	14,65± 0,09	<b>94,5</b>

Как показали результаты исследований, образцы растений, взятые в конце вегетации в осенний период, имеют более высокую антиоксидантную активность и более низкую активность ингибиторов трипсина, связанную, возможно, с присутствием более высоких концентрации подвижных ионов элементов в почве и ответной реакции на них.

Таким образом, результаты исследований позволили установить действие техногенных загрязнений ПО «Беларуськалий» на биохимические показатели дикорастущих видов растений. Отмечена более высокая реакция растений на содержание хлора в почве по отношению к контролю (фоновая засоленность). Установлено, что общая антиоксидантная активность и активность ингибиторов трипсина листьев исследуемых растений в начале вегетации снижалась в среднем, соответственно, на 23,8% и 42% по сравнению с контролем. К концу вегетации установлено повышение активности данных показателей в среднем на 20,4 и 10,2% соответственно. Отмечена более высокая активность ингибиторов трипсина у моркови дикой, что говорит о ее более высокой чувствительности к загрязнителям. Установлена видоспецифич-

ность активности лектинов в зависимости от уровня загрязнения почвы различными ионами, в частности, ионами хлора.

Исследование влияния воздействий ПО «Беларуськалий» на антиоксидантную активность, активность ингибиторов трипсина, лектинов в листьях исследованных растений и их связи с уровнем загрязнения почв солеотвалов подвижными ионами хлора, фосфора, натрия и калия позволило разработать биохимический метод индикации техногенного загрязнения ПО «Беларуськалий» с помощью дикорастущих видов растений. Результаты исследований вносят вклад в выявление биохимических маркеров устойчивости различных видов растений к стрессовым воздействиям, в том числе солеотвалов ПО «Беларуськалий», которые могут быть использованы для оценки экологического состояния как его территорий, так и физиологического статуса представителей дикорастущей флоры.

#### Список использованных источников

1. Куликов Я.К. Экологические проблемы Беларуси. Мн., БГУ. 2006, 103 с.
2. Экологические проблемы районов крупных разработок минеральных солей (на примере Солигорских калийных комбинатов) / А.В. Матвеев [и др.] // Проблемы экологической геологии в Прибалтике и Белоруссии. – Вильнюс, 1990. – С. 116–120.
3. Головатый С.Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий» // Почвоведение и агрохимия. Хлориды. – 2008. – №1(40). – С. 297–313.
4. Головатый С.Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий» // Почвоведение и агрохимия. Натрий – 2008. – №2(41). – С. 244–255.
5. Логинов, В.Ф. Природная среда Беларуси– Мн.: НОООО «БИП\_С», 2002. – 246 с.