

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ХИМИИ

УДК 581.821

М. А. АДАМЧУК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – С. Э. Кароза, канд. биол. наук, доцент

АНАЛИЗ РОСТРЕГУЛЯТОРНОЙ АКТИВНОСТИ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ НА ПРИМЕРЕ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH.) СОРТА ВЛАДА

Гречиха посевная является одной из наиболее ценных крупяных культур, т. к. в ее крупе содержатся все вещества, необходимые для нормального функционирования человеческого организма [1]. В Республике Беларусь ее производство в последние десятилетия было не очень развито из-за невысокой урожайности и низкой устойчивости к неблагоприятным погодным условиям, особенно к недостатку влаги и низким температурам, которые характерны для нашей местности в весенний период. Это вело к меньшей рентабельности производства и более высокой себестоимости по сравнению с российскими производителями. Только в последние несколько лет в связи с периодически возникающим ажиотажным спросом на гречневую крупу и введением ограничений на ее экспорт площади посевов под эту культуру стали увеличиваться, возникла потребность в стимулировании начального роста и повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Эту роль, наряду с традиционными методами повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям могут выполнять биологически активные вещества, в том числе и стероидной природы, способные как стимулировать рост и развитие растений, так и повышать их иммунитет к стрессовым факторам [2]. К таким веществам относят брассиностероиды (БС), у которых была выявлена высокая рострегулирующая активность и широкий диапазон физиологического действия в очень низких концентрациях [3]. Установлена их способность к повышению урожайности и улучшению качества сельскохозяйственной продукции на многих культурах [4]. Поэтому два соединения (эпибрассинолид и гомобрассинолид) зарегистрированы как стимуляторы корнеобразования, роста, развития и устойчивости растений под торговыми марками «Эпин» и «Эпин-плюс» [5]. Но большой интерес представляет исследование биологической активности новых соединений, созданных на основе БС, в том числе их конъюгатов с кислотами. Анализ их влияния на показатели всхожести, роста и развития гречихи необходим для подбора оптимальных доз препаратов для последующих полевых экспериментов и определения возможности их использования в сельском хозяйстве. Кроме того, исследование их влияния на эти параметры позволит лучше понять механизм их действия на растения.

Целью исследования являлось определение наиболее перспективных концентраций растворов эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами для стимулирования роста и развития гречихи посевной сорта Влада на основе анализа их влияния на морфометрические показатели в лабораторных условиях. Тест-объектом являлась гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) районированного во всех областях Республики Беларусь сорта Влада [6]. Предметом исследования была рострегулирующая активность растворов ЭК и двух его конъюгатов: 22-моно-салицилат 24-эпикастастерона

(S23) и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31) в концентрациях от 10^{-7} до 10^{-11} М, анализ которой осуществлялся по СТБ 1073-97 [7]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Excel по П. Ф. Рокицкому [8].

Анализ результатов показал, что в целом исследуемые препараты оказали неоднозначное влияние на энергию прорастания гречихи сорта Влада в зависимости от используемой концентрации. Все три вещества в концентрации 10^{-7} М незначительно снижали ее примерно до 60 %, а растворы с концентрацией 10^{-11} М или не оказывали существенного влияния, или незначительно понижали этот показатель. Значимо повышали энергию прорастания растворы только в среднем диапазоне концентраций, но для разных препаратов максимум положительного влияния наблюдался при разных значениях: для ЭК – 10^{-9} , для S23 – 10^{-8} , а для S31 – 10^{-9} и 10^{-8} М (рисунок 1). Влияние ЭК и его конъюгатов на всхожесть в целом было сходным, но выраженным в более слабой степени. Максимально повышало ее использование растворов ЭК в концентрации 10^{-9} , S23 – 10^{-8} , S31 – 10^{-9} и 10^{-8} М. Сравнительный анализ показал, что энергию прорастания максимально повышало применение ЭК в концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М, а использование конъюгатов дало менее выраженный эффект: для S23 максимальное повышение обеспечила концентрация 10^{-8} М, а для S31 – 10^{-9} М. На всхожесть максимальное положительное влияние оказало применение раствора ЭК с концентрацией 10^{-9} М, а S23 и S31 – 10^{-8} М.



Рисунок 1 – Влияние эпикастерона и его конъюгатов на энергию прорастания и всхожесть гречихи посевной, % к контролю: –11, –10, –9, –8, –7 – молярные концентрации ЭК, S23 и S31

Максимальное влияние ЭК на высоту проростков проявлялось при применении растворов с концентрациями 10^{-11} , 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М, и только раствор в концентрации 10^{-7} М оказал незначительное подавляющее действие (рисунок 2). Максимальное стимулирующее действие на высоту проростка оказали растворы S23 с концентрациями 10^{-8} М и 10^{-9} М, однако самая низкая доза значительно ухудшила этот показатель. S31 во всех концентрациях оказывал положительное влияние на показатели высоты проростка.

Влияние растворов на длину корней существенно отличалось от влияния на высоту побегов: две минимальные концентрации вызывали или уменьшение этого показателя, или не влияли на него. Замачивание семян в растворе ЭК вызывало снижение исследуемого показателя в трех минимальных концентрациях: 10^{-11} , 10^{-10} и 10^{-9} М.

При использовании раствора ЭК в концентрации 10^{-8} М длина увеличивалась. Обработка семян растворами S23 концентрациями 10^{-8} и 10^{-9} М на длину корешка оказала благоприятное влияние. Но три из пяти опробованных концентраций оказали на итоговые показатели длины подавляющее действие. Применение S31 дало отрицательный эффект в минимальной концентрации с уменьшением длины корней. В остальных вариантах происходило увеличение длины корней, но значимым оно было только при использовании растворов в концентрациях 10^{-9} и 10^{-8} М.

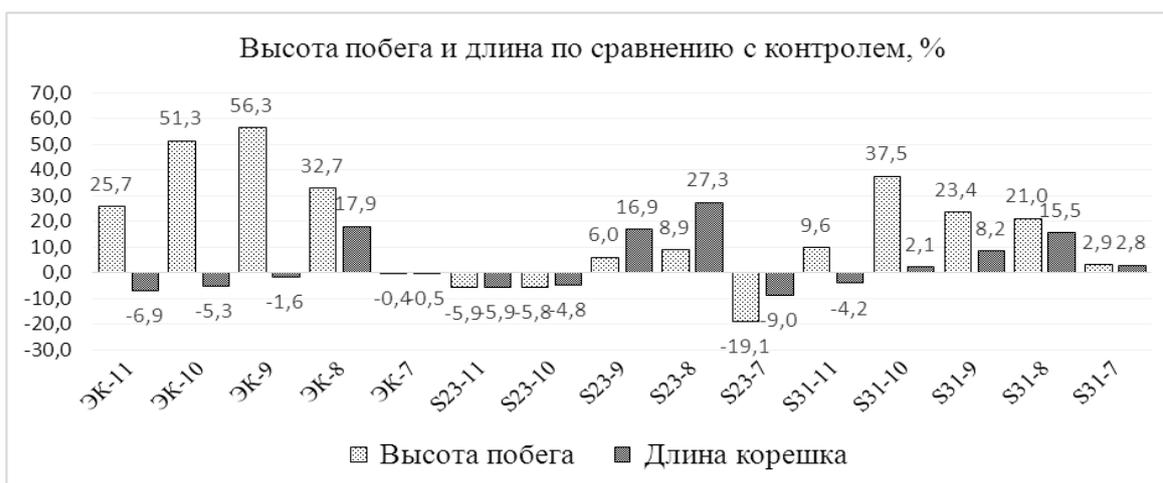


Рисунок 2 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры гречихи посевной, % к контролю: –11, –10, –9, –8, –7 – молярные концентрации ЭК, S23 и S31

Таким образом, почти по всем анализируемым показателям максимальные стимулирующие свойства проявил эпикастастерон, его конъюгаты действовали слабее, хотя общая закономерность сохранялась. В следующем этапе исследований можно ограничиться тремя концентрациями всех трех препаратов: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехаев, А. А. Высокие урожаи гречихи – каждый год / А. А. Нехаев, А. Н. Анохин. – Минск : Ураджай, 1988. – 39 с.
2. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
3. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука и техника, 1993. – 287 с.
4. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
5. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Л. В. Плешко [и др.]. – Минск : Земледелие и защита растений, 2014. – 628 с.
6. Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2020-1>. – Дата доступа: 10.03.2021.
7. Семена зерновых культур. Сортные и посевные качества. Технические условия: СТБ 1073-97. – Введ. 01.10.97. – Минск, 1986. – 18 с.
8. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.

УДК 582.3/.99

В. Ю. ВЬЮН

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – С. Э. Кароза, канд. биол. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH.) СОРТА АЛЕКСАНДРИНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Актуальность. Гречиха посевная относится к ценным крупяным культурам, т. к. в ее крупе содержатся все вещества, способные поддерживать нормальную жизнедеятельность человека [1]. Белковый состав ее семян очень разнообразен, характеризуется биологической полноценностью, высокой усвояемостью и питательной ценностью. Однако в Республике Беларусь ее производство, несмотря на наличие таких ценных качеств, пока еще не слишком развито, т. к. эта культура является влаго- и теплолюбивой, и результаты возделывания даже при соблюдении агротехники не гарантируют высокую урожайность и рентабельность. Только в последние годы в связи с наблюдающимся дефицитом гречневой крупы хозяйства стали ее выращивать более активно, и особенно актуальным стал вопрос о повышении устойчивости гречихи к неблагоприятным факторам среды, в том числе и климатическим условиям. Перспективным в данном отношении методом является использование биологически активных веществ, способных стимулировать рост и развитие растений в очень малых дозах и параллельно повышать их иммунитет к стрессовым факторам. Одними из таких веществ являются брассиностероиды [2]. Их биологическая активность была исследована в широком диапазоне концентраций на различных культурах в том числе и в БрГУ имени А. С. Пушкина [3]. Для гречихи были выявлены наиболее перспективные препараты и их дозы [4]. Сейчас с целью изменения химических и биологических свойств в ИБОХ НАН Беларуси синтезированы конъюгаты брассиностероидов с кислотами, и появилась необходимость анализа их влияния на показатели всхожести, роста и развития гречихи посевной для подбора оптимальных доз препаратов для оценки возможности их применения в сельском хозяйстве. Поэтому исследование действия конъюгатов брассиностероидов на гречихе очень актуально как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Цель – оценить влияние эпикастастерона и его конъюгатов на начальные этапы роста и развития гречихи посевной сорта Александрина в экспериментальных условиях путем анализа морфометрических характеристик.

Материалы и методы. Для лабораторного эксперимента использовали тетраплоидный индетерминантный сорт Александрина (регистрационный № 2003061), включенный в Государственный реестр сортов Беларуси в 2006 г., заявитель – РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» [5]. Сорт среднеспелый, отличается крупностью и выполненностью зерна и по всем характеристикам подходит для цели нашего исследования. Обработку семян производили путем их замачивания в растворах трех предоставленных со-

трудниками лаборатории стероидов ИБОХ НАН Беларуси препаратов (24-эпикастастерон (ЭК), 22-моно-салицилат 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетат 24-эпи-кастастерона (S31)) в широком диапазоне концентраций: 10^{-7} , 10^{-11} , 10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} и 10^{-11} М. Статистическую обработку всех данных проводили с использованием программы Excel по П. Ф. Рокицкому [6].

Результаты и обсуждение. Анализ исследования рострегулирующей активности не позволил выявить строго однозначную зависимость, одинаковую для всех трех препаратов (таблица).

Таблица – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на высоту проростка и длину корешков гречихи посевной сорта Александрина

Концентрация, М	Высота проростка		Длина корешка	
	мм	% к контролю	мм	% к контролю
24-эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	96,7 ± 3,29	100,0	55,0 ± 1,67	100,0
10^{-11}	113,1 ± 3,55*	117,0	56,9 ± 1,92	102,5
10^{-10}	115,9 ± 2,59**	119,9	61,9 ± 1,92**	111,5
10^{-9}	122,1 ± 4,42*	126,3	59,8 ± 1,60*	107,7
10^{-8}	114,5 ± 4,23*	118,4	58,0 ± 1,71	104,5
10^{-7}	78,6 ± 2,07***	81,3	54,7 ± 1,47	98,6
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	98,4 ± 3,14	100,0	60,4 ± 1,45	100,0
10^{-11}	99,9 ± 2,53	101,5	59,3 ± 1,44	98,2
10^{-10}	103,1 ± 1,58*	104,8	61,1 ± 1,29	101,2
10^{-9}	115,4 ± 3,08**	117,3	74,8 ± 1,92***	123,8
10^{-8}	96,4 ± 2,77	98,0	69,7 ± 1,23**	115,4
10^{-7}	86,2 ± 2,71**	87,6	50,2 ± 1,37**	83,1
Тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	90,2 ± 2,92	100,0	57,3 ± 1,12	100,0
10^{-11}	89,3 ± 2,38	99,0	58,1 ± 1,02	101,4
10^{-10}	118,1 ± 3,15***	130,9	63,7 ± 1,43**	111,2
10^{-9}	109,6 ± 3,78**	121,5	60,5 ± 1,29*	105,6
10^{-8}	113,3 ± 2,86***	125,6	58,1 ± 1,57	101,4
10^{-7}	85,3 ± 3,73	94,6	56,3 ± 1,99	98,3
Примечание: * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.				

Наиболее показательными характеристиками были высота проростков и длина корешков. Раствор эпикастастерона в самой высокой концентрации снижал оба эти показателя, но достоверно только первый. Во всех остальных вариантах наблюдалось стимулирование ростовых процессов, проявившееся слабее по отношению к корням и максимальное при использовании растворов в концентрациях 10^{-10} и 10^{-9} М. Действие конъюгата с салициловой кислотой несколько отличалось: он сильнее действовал на корни, чем на побеги, но стимулирующее действие наблюдалось в первом случае в двух вариантах, а во втором – только в одном. Конъюгат с индолилуксусной кислотой действовал подобно самому эпикастастерону, но ингибирующее влияние было выражено слабее, а стимулирующее – сильнее, и его максимум наблюдался в варианте с концентрацией 10^{-10} М. Действие эпикастастерона и его конъюгатов на массу проростков и корней было схожим, но наблюдались отклонения по концентрациям максимума положительного влияния.

Заключение. Почти по всем анализируемым показателям максимальные стимулирующие свойства проявил эпикастастерон и его конъюгат с индолилуксусной кислотой. Растворы в максимальной концентрации (10^{-7} М) оказывали ингибирующее влияние, а в минимальной – слабый эффект. Таким образом, на следующем этапе исследований можно использовать только три концентрации всех трех препаратов: 10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нехаев, А. А. Высокие урожаи гречихи – каждый год / А. А. Нехаев, А. Н. Анохин. – Минск : Ураджай, 1988. – 39 с.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука и техника, 1993. – 287 с.
3. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2020 – 260 с.
4. Кароза, С. Э. Влияние брассиностероидов на морфометрические показатели гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2018. – № 2. – С. 38–44.
5. Государственный реестр сортов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2017-1.html>. – Дата доступа: 12.03.2022.
6. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

УДК 628.01

К. С. ЖУК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – Н. Ф. Ковалевич, ст. преподаватель

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ СВИНЦА НА ЭМБРИОНАЛЬНУЮ ПЛОДОВИТОСТЬ ОСОБЕЙ F1 ЛИНИИ BERLIN *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Среди химических факторов загрязнения окружающей среды одну из наибольших опасностей из-за своего сильного токсического действия на живые организмы представляет группа тяжелых металлов. Одним из наиболее распространенных соединений тяжелых металлов являются соли свинца. Свинец, попадающий в атмосферу, осаждается на почву, растительность и поверхность водоемов. Основными антропогенными источниками свинца являются автотранспорт, работающий на топливе с антидетонационной присадкой тетраэтилсвинец, а также отработанные автомобильные аккумуляторы и батарейки. Из атмосферы свинец попадает в почву в виде оксидов, которые затем растворяются и могут принимать форму катионов. Из загрязненной почвы свинец поступает в растения и может в них накапливаться. Употребление в пищу растений, содержащих высокие концентрации свинца, может привести к отравлению организма, поражению нервной и сердечно-сосудистой систем, а также органов репродукции [1, с. 147]. Соединения свинца обладают канцерогенным действием.

Удобным объектом для изучения влияния ионов свинца на жизнедеятельность животных организмов является плодовая мушка *Drosophila melanogaster*. Она является модельным объектом, культура дрозофилы легко разводится и поддерживается в лабораторных условиях. Имеет короткий цикл развития, что позволяет проследить эффект от воздействия на протяжении нескольких поколений [2, с. 46].

Целью нашей работы является анализ влияния ионов свинца (Pb^{2+}) на эмбриональную плодовитость особей первого поколения (F1) линии Berlin *Drosophila melanogaster*.

Для постановки эксперимента использовалась линия Berlin *D. melanogaster* из коллекции кафедры зоологии и генетики БрГУ имени А. С. Пушкина. Это дикая линия, все гены нормальные. Мухи содержались на сахаро-дрожжевой среде при температуре 23 °С. Для оценки биологического действия ионов свинца (Pb^{2+}) на эмбриональную плодовитость линии дрозофилы использовались 4 варианта опыта: контроль, предельно допустимая концентрация действующего вещества (ПДК), 10 ПДК и 100 ПДК. ПДК для свинца в питьевой воде составляет 0,03 мг/дм³ [3, с. 7]. Действующее вещество добавлялось в питательную среду дрозофилы. Мухи проходили в данной среде полный цикл развития. После чего мухи потомства F1 попарно высаживались в баночки с чистой средой. Плодовитость мух при различных вариантах воздействия оценивали у поколения F1 по количеству отложенных яиц парой мух в трех кладках, при этом учет численности проводился в течение трех суток.

Результаты анализа эмбриональной плодовитости особей F1 линии Berlin *Drosophila melanogaster* в зависимости от концентрации ионов свинца (Pb^{2+}) представлены на рисунке. Динамика откладки яиц сходна у всех вариантов воздействия. Минимальное количество яиц было отложено в первые сутки (кладка 1), далее наблюдается рост численности отложенных яиц, достигая своего максимума на третьи сутки (кладка 3). Сравнительный анализ количества отложенных яиц в каждой кладке позволил

установить отсутствие достоверных отличий между кладкой 1 и кладкой 2 во всех вариантах воздействия.

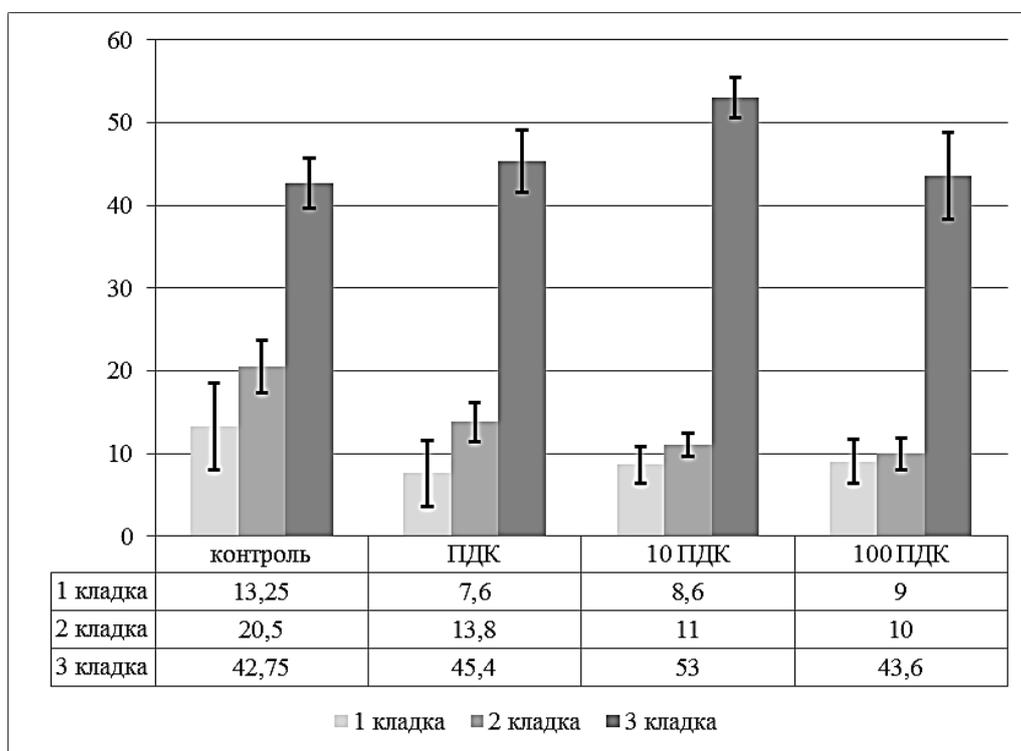


Рисунок – Динамика откладки яиц особями F1 линии Berlin *D. melanogaster*

Численность яиц в кладке 3 значительно превышает их численность в кладке 1 и кладке 2, что подтверждается статистически. Сравнение количества яиц в кладках 1 и 3 при различных вариантах воздействия не показало отличий. При воздействии концентрацией 10 ПДК выявлена тенденция к увеличению количества яиц в кладке 3 по сравнению с контролем. Численность яиц при всех вариантах воздействия в кладке 2 не имеет достоверных отличий, однако наблюдается тенденция к уменьшению их количества при воздействии концентрациями свинца 10 ПДК и 100 ПДК по сравнению с контролем. Таким образом, установлено, что воздействие ионов свинца в концентрациях ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК не приводит к существенному изменению эмбриональной плодовитости особей F1 линии Berlin *Drosophila melanogaster*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние свинца на живые организмы / А. Ф. Титов [и др.] // Журн. общ. биологии. – 2020. – Т. 81, № 2. – С. 147–160.
2. Юрченко, Н. Н. История открытий на дрозофиле – этапы развития генетики / Н. Н. Юрченко, А. В. Иванников, И. К. Захаров // Вавил. журн. генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 39–49.
3. СанПиН 10-124 РБ 99, ВУ. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 204 : с изм. (2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест) // Коммунальная гигиена. – Минск, 2010. – Вып. 2 (10). – С. 3–53.

УДК 582.26

Е. И. ИЛЬЮТЧИК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – Н. М. Матусевич, канд. биол. наук, доцент

ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В РАЙОНЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ЗЕЛЕНЬ БОР

В настоящее время возрастает интерес к методам биодиагностики состояния сред, среди которых особое место занимает почва – главный биохимический барьер на пути миграции загрязнителей в сопредельные среды. Перспективность использования микроорганизмов для биодиагностики загрязненных почв показана в ряде исследовательских работ (Штина и другие, 1998; Полянская, Звягинцев, 2005; Домрачева и др., 2008).

Почвенные водоросли составляют неотъемлемую часть эдафона, имеют многочисленные трофические и топические связи, участвуют в почвообразовательном процессе, обладают специфической чувствительностью к различным видам антропогенного воздействия и быстрой ответной реакцией на изменение экологической ситуации (Кабиров, 2007). В связи с этим почвенные водоросли как объекты биодиагностики представляют значительный научный и практический интерес, но реакция почвенного альгоцинобактериального сообщества на загрязнение соединениями потенциально токсичных элементов изучена недостаточно. Кроме того, в приоритетном списке загрязнителей почвы одно из первых мест занимает свинец вследствие широкого использования, высокой токсичности и способности к аккумуляции в цепях питания живых организмов.

Совместно с экспедицией Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси был посещен район геохимической аномалии Зеленый Бор (Ивацевичский район), где были отобраны 25 проб почв для исследования. В окрестностях поселка, где хранились отходы переработки золы свинцовой, относящейся к 3-му классу опасности, количество свинца в почве превышает предельно допустимую концентрацию в 14 раз.

В полевые исследования входили маршрутные наблюдения и сборы почвенных образцов для качественного и количественного анализа альгофлоры. Маршрутные наблюдения включают в себя выявление общих позеленений почвы, появление корок и наростов, слизистых групп.

Отбор почвенных образцов производили по методу пробных площадей по юго-восточному направлению (рисунок).

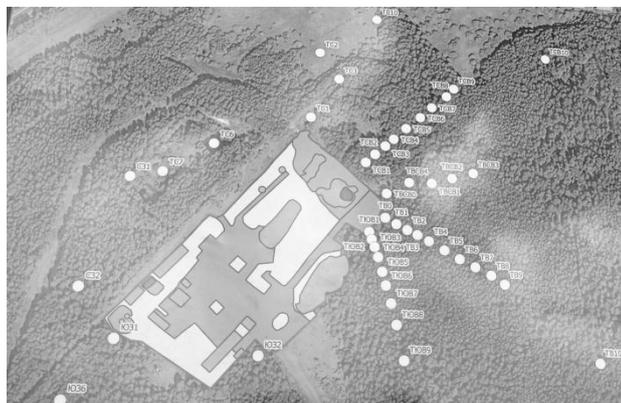


Рисунок – Направления отбора почвенных проб

Изучение таксономического состава производилось при помощи методов прямого микроскопирования – непосредственный просмотр небольшой порции почвы под микроскопом, препарат в капле воды дает представление о доминирующих видах, а также метод «стеклообрастания».

На шести пробных площадях юго-восточного направления было выявлено и определено 11 родов водорослей, относящихся к 4 отделам (*Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Xanthophyta*, *Chlorophyta*). Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, получили спектр жизненных форм по Штиной и Голлербаху [1]: Ch₅H₃B₂C₁ (таблица).

Таблица – Таксономическая структура почвенных водорослей юго-восточного направления исследуемого полигона

Отдел	Класс	Порядок	Род	Жизненная форма
<i>Cyanophyta</i>	<i>Chroococcophyceae</i>	<i>Chroococcales</i>	<i>Gloeocapsa</i>	<i>Ch</i>
	<i>Hormogoniophyceae</i>	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Ch</i>
<i>Bacillariophyta</i>	<i>Pennatophyceae</i>	<i>Araphales</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>B</i>
	<i>Pennatophyceae</i>	<i>Naviculales</i>	<i>Navicula</i>	<i>B</i>
<i>Xanthophyta</i>	<i>Xanthococcophyceae</i>	<i>Tribonematales</i>	<i>Tribonema</i>	<i>H</i>
<i>Chlorophyta</i>	<i>Volvocophyceae</i>	<i>Chlamydomonadales</i>	<i>Chlamydomonas</i>	<i>C</i>
	<i>Protococcophyceae</i>	<i>Chlorococcales</i>	<i>Chlorella</i>	<i>H</i>
	<i>Protococcophyceae</i>	<i>Chlorococcales</i>	<i>Palmella</i>	<i>Ch</i>
	<i>Protococcophyceae</i>	<i>Chlorococcales</i>	<i>Coccomyxa</i>	<i>Ch</i>
	<i>Ulothrichophyceae</i>	<i>Chaetophorales</i>	<i>Pleurococcus</i>	<i>H</i>
	<i>Ulothrichophyceae</i>	<i>Ulothrichales</i>	<i>Elacatothrix</i>	<i>Ch</i>

Среди выявленного разнообразия почвенных водорослей доминируют представители отдела *Chlorophyta*. Исходя из этого, можно сделать следующий вывод: зеленые водоросли более устойчивы к воздействию соединений свинца по сравнению с цианобактериями, диатомовыми и желто-зелеными водорослями.

Доминирование Ch-формы объясняется тем, что ее составляют виды, способные вызывать «цветение почвы», отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, а также чрезвычайной конкурентоспособностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штина, Э. А. Экология почвенных водорослей / Э. А. Штина, М. М. Голлербах. – М. : Наука, 1976. – 143 с.
2. Зенова, Г. М. Почвенные водоросли / Г. М. Зенова, Э. А. Штина. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 80 с.

УДК 58.04

М. В. ЛЕОНОВА

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – А. Н. Тарасюк, канд. биол. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ ГРЕЧИХИ В УСЛОВИЯХ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НИТРАТА СВИНЦА

Одной из важнейших задач растениеводства является повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и устойчивости их к неблагоприятным факторам среды. С развитием промышленности в окружающей среде увеличивается содержание ряда токсичных химических веществ, в том числе соединений тяжелых металлов, которые негативно влияют на физиологические процессы в растениях и приводят к снижению урожайности. Обработка растений биологически активными веществами, к числу которых относятся brassinosteroids, является одним из способов защиты от токсического действия тяжелых металлов. В связи с этим исследование влияния brassinosteroids на сельскохозяйственные культуры в условиях токсического действия тяжелых металлов является актуальным.

Цель работы – выявить влияние различных концентраций brassinosteroids 24-эпикастерона (ЭК) и его производного тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) на митотическую активность гречихи в условиях токсического действия ионов свинца.

Исследования проводились в лабораторных условиях на базе кафедры зоологии и генетики БрГУ имени А.С. Пушкина. Объекты исследования – 24-эпикастерон (ЭК) и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31). Тест-объект – гречиха сорта Влада. Для обработки семян гречихи использовались растворы 24-эпикастерона (ЭК) и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) в концентрациях 10^{-7} , 10^{-8} и 10^{-9} М, а также раствор нитрата свинца в концентрации 10^{-2} М. Воздействие на семена осуществлялось путем их замачивания в течение 5 часов в растворах 24-эпикастерона (ЭК), тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) или в воде, а затем – 4 часа в растворе соли нитрата свинца или в воде, в зависимости от варианта опыта. В контроле семена замачивали в воде. Далее семена проращивали в термостате при $t = 25$ °С. На третьи сутки, после достижения корешками длины 1-1,5 см, материал фиксировали в спиртуксусном (3:1) фиксаторе. Окрашивание и приготовление препаратов проводили стандартным ацетоорсеиновым методом. Препараты анализировали под микроскопом Микмед при увеличении 15×40 . Статистическая обработка результатов осуществлялась при помощи программы MSExcel 2010. Критерий митотической активности – митотический индекс – рассчитывался как доля делящихся клеток от общего числа проанализированных клеток и выражался в промилле (‰). Достоверность различий оценивалась при помощи t-критерия Стьюдента.

Результаты исследований влияния 24-эпикастерона на митотическую активность клеток корневой меристемы гречихи в условиях токсического действия нитрата свинца приведены в таблице 1. Как следует из данных таблицы 1, растворы 24-эпикастерона во всех исследуемых концентрациях не вызывают статистически значимых изменений митотического индекса, тогда как нитрат свинца в концентрации

10^{-2} М достоверно снижает данный показатель с 63,84 до 14,72 промилле ($P < 0,001$). Предварительная обработка семян растворами 24-эпикастастерона, предшествующая воздействию $Pb(NO_3)_2$, существенно увеличивает значения митотического индекса, по сравнению с результатами обработки только нитратом свинца, причем для всех исследуемых концентраций 24-эпикастастерона различия высоко достоверны ($P < 0,001$). Наиболее выраженным протекторным действие обладает ЭК в концентрации 10^{-9} М.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастастерона (ЭК) на митотическую активность клеток корневой меристемы гречихи в условиях токсического действия нитрата свинца

Вариант опыта	Митотический индекс (%)	t-критерий Стьюдента
Контроль	63,84 ± 4,17	–
$Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	14,72 ± 1,36 ***	11,19 (сравнение с контролем)
ЭК 10^{-9} М	60,84 ± 5,11	0,45 (сравнение с контролем)
ЭК 10^{-8} М	58,89 ± 3,33	0,93 (сравнение с контролем)
ЭК 10^{-7} М	64,90 ± 3,49	0,19 (сравнение с контролем)
ЭК 10^{-9} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	59,89 ± 3,90***	10,94 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)
ЭК 10^{-8} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	53,56 ± 1,79***	17,26 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)
ЭК 10^{-7} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	34,08 ± 4,23***	4,36 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)

Примечание – *** – различия достоверны при $P < 0,001$.

Данные по влиянию тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) на митотическую активность клеток корневой меристемы гречихи в условиях токсического действия нитрата свинца приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) на митотическую активность клеток корневой меристемы гречихи в условиях токсического действия нитрата свинца

Вариант опыта	Митотический индекс (%)	t-критерий Стьюдента
Контроль	63,84 ± 5,21	–
$Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	14,72 ± 1,36***	11,19 (сравнение с контролем)
S31 10^{-9} М	40,08 ± 3,94***	4,14 (сравнение с контролем)
S31 10^{-8} М	48,79 ± 4,73*	2,39 (сравнение с контролем)
S31 10^{-7} М	38,00 ± 2,75***	5,18 (сравнение с контролем)
S31 10^{-9} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	45,15 ± 4,19***	6,90 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)
S31 10^{-8} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	33,72 ± 2,84***	6,03 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)
S31 10^{-7} М + $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М	56,77 ± 3,91***	10,16 (сравнение с $Pb(NO_3)_2$ 10^{-2} М)

Примечание – *, *** – различия достоверны при $P < 0,05$ и $0,001$ соответственно.

Как следует из таблицы 2, тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона достоверно снижает митотическую активность клеток корневой меристемы гречихи, причем наиболее выраженным действием обладает раствор с концентрацией 10^{-7} М. В то же время предварительная обработка семян растворами тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона в концентрациях 10^{-7} , 10^{-8} и 10^{-9} М, предшествующая воздействию $Pb(NO_3)_2$, достоверно увеличивает митотический индекс ($P < 0,001$).

Таким образом, установлено, что brassinостероиды 24-эпикастастерон (ЭК) и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31) в концентрациях 10^{-7} , 10^{-8} и 10^{-9} М не оказывают влияния на митотическую активность (ЭК) клеток корневой меристемы гречихи или даже снижают ее (S31), но существенно увеличивают данный показатель при воздействии нитратом свинца, т. е. обладают выраженной протекторной активностью в отношении негативного действия данного соединения.

УДК 372.854

Н. К. ЛЕШКЕВИЧ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель: О. В. Корзюк, ст. преподаватель

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕМЫ «КИСЛОРОД» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ХИМИИ

На современном этапе развития общества вопрос экологического воспитания приобретает особую остроту. Главная причина этого – экологическая безответственность. В связи с этим необходимо усилить и больше уделять внимания экологическому воспитанию в современной школе уже с первых лет воспитания детей. Именно в школьном возрасте закладываются основы бережного отношения к окружающей среде. Учитель должен прививать любовь к природе, потому что человек является частью природы и во многом его жизнь зависит от неё.

Такие известные методисты, как И.Д. Зверев и Т. И. Суравегина, активно занимались экологическим образованием подрастающего поколения. В своей монографии «Экологическое образование школьников» авторы рассматривают пути и средства экологического воспитания школьников в учебном процессе, обобщают опыт школ по воспитанию у учащихся ответственного отношения к природе. По их мнению, экологическое воспитание – это процесс формирования ценностного отношения к природе, базирующегося на потребности общения с природой, проявляющегося в заботе о природе в настоящем и будущем [1].

Вопросы экологии, несомненно, поднимаются во многих дисциплинах: биологии, географии, истории, охране безопасности жизнедеятельности, но все же из всех дисциплин особое место отводится школьному курсу химии в экологическом образовании и воспитании.

Роль школьного курса химии в экологическом образовании обуславливается тем, что данная наука связана с познанием законов природы, химической формы движения материи, и её значимостью в материальной жизни общества. При изучении многих тем в начальном школьном курсе химии, возможна реализация экологического образования и воспитания, но одной из благоприятнейших тем для экологического просвещения является тема «Кислород».

Изучение данной темы начинается в 7 классе, и на нее программой отводится 7 часов. Первым делом учащихся знакомят с составом воздуха, одним из основных компонентов которого является кислород. Здесь необходимо вспомнить роль зеленых насаждений в поддержании нормального состава воздуха. Далее учащиеся переходят к изучению кислорода как химического элемента и простого вещества, а также его алло-

тропной модификации – озона. В рамках данной темы вводится новое понятие – «фреоны». Учащимся необходимо четко уяснить, что фреоны – продукты производственной деятельности человека, которые оказывают губительное влияние на верхний «защитный» слой атмосферы – озоновый слой. Для лучшего восприятия нового материала учащимся можно продемонстрировать видеofilm на данную тематику. При сравнении влияния кислорода и озона на организм человека следует подчеркнуть, что небольшое содержание озона в воздухе благотворно действует на организм, особенно при болезнях дыхательных путей. Напротив, в более высоких концентрациях озон сильно ядовит, чего нельзя сказать о самом кислороде. Поскольку кислород – важная составная часть воздуха, следует подробно остановиться на главных источниках загрязнения атмосферы и последствиях этого процесса [2].

При изучении способов получения кислорода подробно рассматривается реакция фотосинтеза. Для наглядности возможна демонстрация описанного ранее опыта, а также опыт, который доказывает образование в результате фотосинтеза органических веществ. Для данного эксперимента необходимо поместить комнатное растение (пеларгонию, бегонию) в темное место, например в шкаф. Через двое-трое суток срежем один лист и опустим его на 2–3 минуты в кипяток, а потом в горячий спирт. Лист потеряет зеленую окраску: хлорофилл, содержащийся в хлоропластах, растворится в спирте. Промоем лист в воде, поместим его в стеклянную чашечку и зальем слабым раствором йода. При этом лист практически не изменит окраску, а лишь частично пожелтеет от йода. Следовательно, крахмал в листьях растения, помещенного в темное место, не образовался. Вывод: органическое вещество в растении образуется только на свету.

Продолжим опыт. На одном из листьев этого же растения закрепим с двух сторон полоску плотной бумаги. Выставим растение на солнечный свет. Через сутки срежем подопытный лист. Опустим его на 2–3 минуты в кипяток, потом – в горячий спирт. Промоем лист в воде, а затем в стеклянной чашечке зальем его слабым раствором йода. В этом случае большая часть листа окрасится в синий цвет. Участок листа, на который не попадал свет, только слегка пожелтеет от йода. Вывод: образование крахмала происходит в листьях только на свету.

Убедиться в том, что для образования органического вещества необходим углекислый газ, можно на опыте. Поместим два растения (пеларгонию, бегонию) в темный шкаф. Переставим через двое-трое суток оба растения на стекло под стеклянные колпаки и выставим их на свет. Под один колпак рядом с растением поставим раствор щелочи, который способен поглощать из воздуха углекислый газ, а под другой – стакан с раствором соды для создания в воздухе избытка углекислого газа. Края колпаков смажем вазелином, чтобы ограничить в них доступ свежего воздуха.

Срежем через сутки с каждого растения по листу и обработаем их, как и при проведении предыдущих опытов. При этом будет видно, что крахмал образовался только в листьях того растения, которое находилось под колпаком с углекислым газом. Вывод: углекислый газ поступает в листья растений из воздуха через устьица, а вода – по сосудам жилок [3]. Доказать, что в результате реакции фотосинтеза выделяется кислород, можно с помощью следующего опыта. Для этого необходима вода, обогащенная углекислым газом, сами зеленые водоросли и сосуд, в котором вы будете проводить эксперимент. При проведении эксперимента образуются пузырьки бесцветного газа на листьях водорослей, которые спустя некоторое время собираются в верхней части сосуда. Данным экспериментом мы наглядно продемонстрируем учащимся, что в результате фотосинтеза выделяется кислород [4].

При изучении процесса окисления учащиеся знакомятся с понятием «топливо», а также с его разнообразием: каменный уголь, торф, древесина, нефть, природный газ.

В заключении изучения темы «Кислород» учащимся предлагается изучить вопрос охраны окружающей среды. В данном пункте учащиеся знакомятся с такими природными явлениями, как смог, кислотные дожди, парниковый эффект. Для большего интереса учащихся к данным вопросам возможна демонстрация видеофильмов, описывающих данные природные явления, а также последствия, вызванные ими. Далее необходимо познакомить учащихся с различными проектами Республики Беларусь, которые направлены на защиту окружающей среды.

Также необходимо напомнить учащимся, что кислород является одним из важнейших элементов, которые необходимы для жизни любого живого существа на нашей планете, в том числе и человека. Он необходим всем для дыхания. Если бы на Земле его не было, не зародилась бы и жизнь. Через кровь этот газ поступает ко всем клеткам живого организма, в теле человека их более 70 миллиардов. При существенном сокращении количества этого ценнейшего вещества в крови человека, клетки начинают страдать от кислородного голодания, которое приводит к их смерти или мутации. Следствием нехватки становится плохая работа всего организма. Способов повышения уровня кислорода достаточно много. Во-первых, надо постараться чаще бывать на свежем воздухе, проводить на природе больше времени.

Закрепление и обобщение информации по данной теме можно организовать с использованием межпредметной интеграции с экологическим уклоном между предметами естественно-научного цикла: биологией и географией (таблица).

Таблица – Значение кислорода

Биология	География	Химия
<i>Кислород</i> участвует во всех видах обмена веществ в организме, в процессах разложения погибших животных и растений. <i>Кислород</i> в медицине	Роль <i>кислорода</i> в неживой природе	<i>Кислород</i> в химической промышленности и металлургии

Таким образом, сегодня школа призвана заложить основы экологической культуры. Стоит отметить, что школьные учебные пособия по химии достаточно насыщены экологическими основами. Объяснение темы по химии с использованием экологических фактов способствует проявлению большего интереса учащихся к предмету, и для формирования у школьников компонентов экологической культуры целесообразно применять на уроках химии ситуационные задачи с экологическим содержанием, а также включать старшеклассников в проектно-исследовательскую деятельность, предлагая темы работ химико-экологической направленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев, И. Д. Экологическое образование школьников / И. Д. Зверев, И. Т. Суравегина : Акад. пед. наук СССР. – М. : Педагогика, 1983. – 160 с.
2. Иноземцева, Е. В. Экологическое воспитание на уроках химии / Е. В. Иноземцева // Молодой ученый. – 2014. – № 18 (77). – С. 561–564.
3. Образование в листьях органического вещества и его использование в питании растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.blgy.ru/. – Дата доступа: 27.03.2016.
4. Опыт «Кислород и фотосинтез» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lmagic.info/. – Дата доступа: 27.03.2016.

УДК 581.821

В. Ю. ЛИТВИНОВА

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – С. Э. Кароза, канд. биол. наук, доцент

**ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ
НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ГРЕЧИХЕ
ПОСЕВНОЙ (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH.) СОРТА ВЛАДА**

В современных условиях один из наиболее важных запросов в сфере сельского хозяйства – это не только повышение количества продукции, но и повышение ее качества без причинения вреда как ей самой, так и окружающей среде. Применение биологически активных веществ природного происхождения для стимуляции роста, развития растений и их иммунитета не наносит ущерба окружающей среде, т. к. они используются в чрезвычайно малых дозах. Одними из таких веществ являются брассиностероиды (БС), которые являются признанными гормонами растений [1]. Их положительное влияние было установлено на многих сельскохозяйственных культурах [2]. Исследование действия БС на широкий спектр растений как открытого, так и закрытого грунта осуществлялось и в БрГУ имени А. С. Пушкина [3]. При этом было выявлено положительное влияние некоторых из них на рост, развитие и продуктивность гречихи посевной в лабораторных и полевых экспериментах [4]. Также было определено влияние БС на изменение содержания фотосинтетических пигментов и антоцианов [3]. Два представителя БС (эпибрассинолид и гомобрассинолид) зарегистрированы в Республике Беларусь как стимуляторы корнеобразования, роста развития и устойчивости многих сельскохозяйственных культур под торговыми марками «Эпин» и «Эпин-плюс» [5]. Но сейчас в Лаборатории стероидов Института биоорганической химии НАН РБ синтезированы конъюгаты БС с различными кислотами, часть из которых является гормонами или обладает определенной биологической активностью. Поэтому исследование их влияния на растения, в том числе и на гречиху посевную, является очень актуальным.

Целью нашего исследования являлся анализ влияния конъюгатов эпикастастерона с кислотами на содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях гречихи посевной при выращивании в почвогрунте в лабораторных условиях.

Тест-объектом исследования являлась гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench.) районированного во всех областях Республики Беларусь сорта Влада [6]. Для получения ее вегетативной массы семена замачивали в растворах 24-эпикастастерона (ЭК), 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31). Растворы были взяты в концентрациях, которые в ранее проведенных лабораторных экспериментах оказали положительное влияние на растения (10^{-10} , 10^{-9} и 10^{-8} М). Семена проращивали в растильнях на фильтровальной бумаге по стандартной методике [7]. Затем производили посадку наклонувшихся семян гречихи в горшки с универсальным почвогрунтом «Хозяин». В каждый горшок помещали по 5 семян, повторность опыта была четырехкратной и, таким образом, общее количество растений в варианте составляло 20 штук. Для экстракции пигментов использовали высечки диаметром 1 см из средней части листьев, взятых со всех растений каждого варианта. Для одной пробы делали 10 высечек, объединяли их и устанавливали массу навески. Из каждого сосуда отбирали две пробы, следовательно общая повторность опыта была восьмикратной. Массу высечек определяли на электронных весах. Экс-

тракцию хлорофилла и каротиноидов производили в 10 мл 100 %-го ацетона. Пробы настаивали в холодильнике при +4 °С в течение 2 суток. Оптическую плотность экстракта определяли на спектрофотометре SOLAR CM2203 при длинах волн, характерных для максимумов поглощения данных пигментов. Статистическую обработку вели согласно методикам П. Ф. Рокицкого [8].

Статистическая обработка результатов эксперимента по оценке влияния на содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) сорта Влада в вегетационном опыте растворов эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами в трех выбранных концентрациях показала, что отличия от контроля в большинстве вариантов были недостоверными, что объясняется только восьмикратной повторностью опытов. Но в отдельных вариантах достоверность все же была достаточно высокой и можно было выявить определенные закономерности (рисунок).

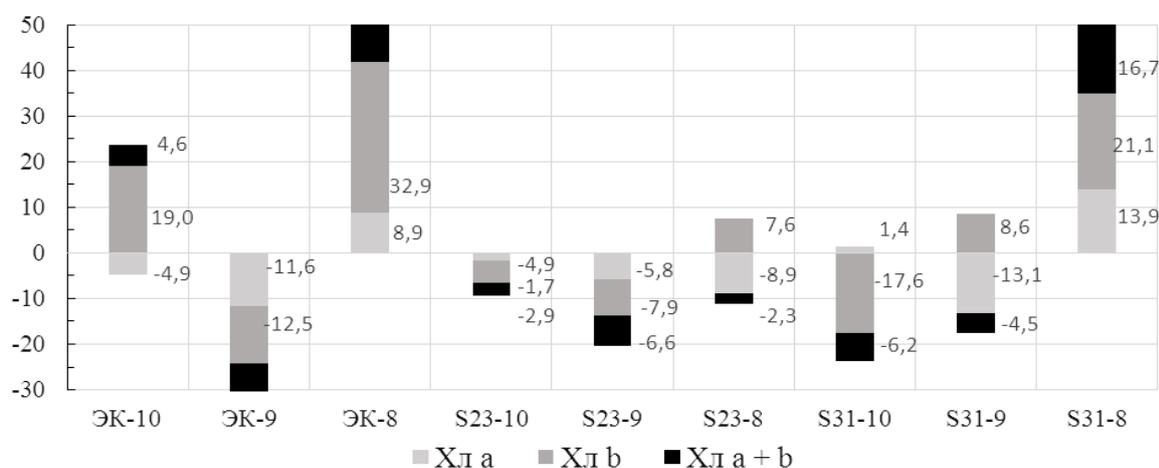


Рисунок 1 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание основных фотосинтетических пигментов гречихи посевной сорта Влада (в % относительно контроля): –11, –10, –9, –8, –7 – молярные концентрации ЭК, S23 и S31

Содержание хлорофилла *a* в расчете на сырую массу в большинстве вариантов было ниже контроля, но различия в основном были недостоверными, кроме варианта с обработкой семян раствором S31 в концентрации 10^{-9} М. Положительное, но также недостоверное влияние по сравнению с контролем оказало воздействие растворов ЭК и S31 в концентрациях 10^{-8} и 10^{-10} М соответственно. В варианте с S31 в концентрации 10^{-8} М наблюдалось достоверное увеличение содержания этого пигмента (+ 13,9 %). Максимальное отрицательное влияние на этот показатель оказали два используемых соединения в концентрации 10^{-9} М. В этих же дозах их растворы оказывали максимальное положительное влияние на энергию прорастания и высоту побегов, ускоряя, таким образом, рост растений в начальной фазе. Возможно, уменьшение содержания этого пигмента в нашем эксперименте связано с более быстрым развитием гречихи за счет стимулирующего действия эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами, что в итоге вело к более быстрому старению одинаковых пар листьев в этих вариантах опыта.

Содержание хлорофилла *b* не всегда имело прямую корреляцию с содержанием хлорофилла *a*, но в целом изменялось сильнее. Максимальное положительное и достоверное влияние на этот показатель оказали обработки растворами ЭК и S31 в концентрации 10^{-8} М (+ 32,9 и 21,1 % соответственно), хотя разница была достоверной и в варианте с ЭК

в минимальной используемой концентрации. Сильнее всего его снижали обработки растворами ЭК и S23 в концентрации 10^{-9} М и S31 – 10^{-10} М, но разница была достоверной только в последнем случае. Возможно, эти результаты также связаны с более быстрым старением листьев. Суммарное содержание обоих видов хлорофилла увеличивалось только при замачивании семян гречихи в растворах ЭК и S31 в концентрации 10^{-8} М (+ 18,4 и 16,7 % соответственно). При действии ЭК в концентрации 10^{-9} М данный показатель, наоборот, уменьшался на 12 %, но данный результат нельзя назвать достоверным по отношению к контролю. В остальных вариантах результаты отличались от контроля на небольшую величину, и при этом наблюдалось незначительное и недостоверное уменьшение суммарного содержания хлорофиллов *a* и *b*.

Влияние исследуемых препаратов на содержание каротиноидов было также не совсем однозначным, и результаты выглядели следующим образом: минимальное содержание наблюдалось при обработке семян растворами ЭК и S31 в концентрации 10^{-8} М, а максимальное – в варианте с ЭК в концентрации 10^{-9} М.

Таким образом, влияние эпикастастерона и его конъюгатов с двумя органическими кислотами на содержание фотосинтетических пигментов было следующим: максимальное содержание хлорофилла наблюдалось при обработке семян растворами ЭК и S31 в концентрации 10^{-8} М, а минимальное – в варианте с ЭК в концентрации 10^{-9} М, а для каротиноидов ситуация была обратной. Вероятно, содержание каротиноидов увеличивалось для компенсации снижения концентрации хлорофилла. В целом конъюгаты эпикастастерона с кислотами оказали на содержание фотосинтетических пигментов более слабое влияние, чем сам данный brassinosteroid, что может быть связано с достаточно длительным периодом от обработки семян до взятия проб. В следующих экспериментах необходимо проводить дополнительные обработки растений методом их опрыскивания по зеленой массе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука и техника, 1993. – 287 с.
3. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
4. Кароза, С. Э. Влияние брассиностероидов на морфометрические показатели гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2018. – № 2. – С. 38–44.
5. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Л. В. Плешко [и др.]. – Минск : Земледелие и защита растений, 2014. – 628 с.
6. Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sorttest.by/gosudarstvennyu-reyestr-sortov-2020-1>. – Дата доступа: 10.03.2021.
7. Семена зерновых культур. Сортные и посевные качества. Технические условия : СТБ 1073-97. – Введ. 01.10.97. – Минск, 1986. – 18 с.
8. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.

УДК 504.064

А. А. ПЛИНДА

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – И. В. Бульская, канд. биол. наук, доцент

ВЫБОР ТЕСТ-ОБЪЕКТА ПРИ БИОТЕСТИРОВАНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ), гербицидами, органическими растворителями, радионуклидами является актуальной проблемой XXI века. Особенно большую опасность представляют тяжелые металлы и радионуклиды.

Одним из наиболее удобных методов оценки окружающей среды является биотестирование. С помощью биотеста можно относительно быстро провести исследование, получить достаточно точные результаты. Помимо этого, тестируемые организмы можно подвергнуть глубокому разностороннему анализу с применением высокоточной лабораторной техники и получить при этом множество результатов по разным направлениям.

В основе использования метода биотестирования лежат тест-объекты. Тест-объектами называются определенные представители животного или растительного мира, отражающие условную степень токсической загрязненности участка территории, на котором они находятся [1]. Тест-объекты – это «датчики», которые подают информации о токсичности среды.

С помощью тест-объектов возможно следующее:

- обнаруживать в экологических системах места загрязнения;
- определить качественный и количественный состав загрязнителя;
- определить степень вредности загрязнителя;
- создать прогноз на дальнейшее развитие данной экологической системы.

В качестве тест-объекта могут выступать бактерии, протисты, водоросли, грибы, лишайники, высшие растения, животные.

При выборе тест-объекта следует учитывать следующие показатели: распространенность данного объекта, простоту содержания и культивирования в лаборатории, легкодоступность и малостоймость, легкость наблюдения. Помимо вышесказанного, тест-объект должен быть высокочувствителен.

Один из наиболее востребованных методов в биотестировании является метод с применением культуры водорослей – альготестированием. Он основан на измерении отклонений определенной характеристики культуры водорослей (тест-функции) при развитии в опытной пробе относительно контрольной. Микроводоросли проявляют чувствительность к различным группам токсикантов. В лабораторных условиях достаточно легко поддерживать чистую культуру водорослей с минимальными затратами. По этой причине именно микроводоросли широко применяют для оценки токсичности веществ различных классов (тяжелых металлов, фосфоорганических и хлороорганических соединений, поверхностно-активных веществ и др.).

Наиболее изученными и распространенными видами микроводорослей, которые используются в биотестировании, являются: *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb., *Chlorella vulgaris* Beij., *Pseudokirchneriella subcapitata* Hindak, *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve.

Биотестирование с использованием высших растений называется фитотестированием (фитотестом). В фитотестировании часто рекомендуется использовать следующие

виды: рожь (*Secale cereale* L.), райграсс (*Lolium perenne* L.), рис (*Oryza sativa* L.), овес (*Avena sativa* L.), мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), зимний или весенний ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорго (*Sorghum bicolor* L.), горчица (*Sinapis alba* L.), рапс (*Brassica napus* L.), редис (*Raphanus sativus* L.), китайская капуста (*Brassica campestris* L.), салат латук (*Lactuca sativa* L.), крес-салат (*Lepidium sativum* L.), томат (*Lycopersicon esculentum* M.), бобы (*Phaseolus aureus* R.).

В биотестировании для характеристики отклика тест-объекта на повреждающее действие среды используют критерий токсичности – тест-функцию. Тест-функции, используемые в качестве показателей биотестирования для различных объектов:

– для культур одноклеточных водорослей и инфузорий – гибель клеток, изменение (прирост или убыль) численности клеток в культуре, коэффициент деления клеток, средняя скорость роста, суточный прирост культуры;

– для растений – энергия прорастания семян, длина первичного корня и др.

Для определения токсичности проб используются мелкие семена с небольшим запасом питательных веществ. Так, например, семена редиса характеризуются достаточно высокой энергией прорастания, помимо этого, для них характерна повышенная отзывчивость на токсичные вещества, оптимальные сроки экспозиции. Следовательно, их часто применяют в биотестировании почв. В ходе исследований фиксируют разность показателей (всхожесть, длина и сухая масса проростков и др.) между растениями контрольного варианта и анализируемого образца [2].

Как правило, для точной оценки уровня токсичности экологической системы используют не один тест-объект, а несколько принадлежащих к разным эколого-физиологическим группам различного систематического положения (от бактерий до рыб). Не существует универсального тест-организма, который бы одинаково хорошо чувствовал поллютанты различного рода, поэтому для обеспечения наиболее полной и качественной оценки потенциальной опасности необходимо применять несколько тест-организмов.

Существует такое понятие, как «батарея тест-организмов», т. е. это набор тест-организмов, подобранных таким образом, чтобы обеспечить наиболее полный и достаточный контроль возможных поллютантов для исследуемой среды. Выбор тест-организмов определяется их распространенностью, простотой содержания и культивирования в лаборатории, низкой стоимостью, легкостью наблюдений эффектов ксенобиотиков на организм и разработанностью простых методик таких наблюдений [3].

Таким образом, одним из главных условий грамотного применения метода биотестирования является корректный подбор тест-объекта. Он должен быть достаточно чувствителен к действию токсикантов, но при этом прост в использовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наука.Club [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nauka.club/biologiya/protsedura-biotestirovaniya-sut-zadachi-i-metody.html>. – Дата доступа: 22.04.2022.

2. Лихачев, С. В. Биотестирование в экологическом мониторинге : учеб.-метод. пособие / С. В. Лихачев, Е. В. Пименева, С. Н. Жакова. – Пермь : Прокрость, 2020. – 89 с.

3. ООО «ЕВРОПОЛИТЕСТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://europolytest.com/information/testobjekts/>. – Дата доступа: 22.04.2022.

УДК 582.291

К. А. РАЗМЫСЛОВИЧ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – Н. В. Шкуратова, канд. биол. наук, доцент

**ЭКОЛОГО-ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭПИФИТНОЙ ЛИХЕНОБИОТЫ
ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ МОСКОВСКОГО РАЙОНА Г. БРЕСТА**

В условиях урбанизированных территорий кора древесных пород, применяемых для озеленения, является наиболее приемлемым субстратом для обитания лишайников. Около 68 % видового состава лишенобиоты Беларуси произрастают на коре древесных растений. Из этого количества видов чуть более трети – облигатные эпифиты [1].

Цель работы – установить эколого-таксономическую структуру эпифитной лишенобиоты зеленых насаждений Московского района г. Бреста.

В ходе проведения исследования маршрутным методом обследованы зеленые насаждения Южного сквера, парка Воинов-интернационалистов, парка Мира, городского леса в окрестностях УЗ «Брестская областная клиническая больница», а также зеленые насаждения на улице Янки Купалы г. Бреста. Систематическое положение видов приводили в соответствии с изданием «Флора Беларуси. Лишайники» [2].

В ходе исследования было обнаружено 10 видов эпифитной лишенобиоты (таблица).

Таблица – Таксономический состав эпифитной лишенобиоты исследованной территории г. Бреста

Порядок	Семейство	Вид
<i>Teloschitales</i> D. Hawksw. et O. E. Erikss.	<i>Teloschistaceae</i> Zahlbr.	<i>Xantoria parietina</i> (L.) Th. Fr.
<i>Lecanorales</i> Nannf.	<i>Parmeliaceae</i> Zenker	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.
		<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.
		<i>Parmelia sulcata</i> Taylor
		<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i> (Willd.) Hale
<i>Caliciales</i> Bessey	<i>Physciaceae</i> Zahlbr.	<i>Physcia stellaris</i> (L.) Nyl.
		<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr.
<i>Lecanorales</i> Nannf.	<i>Cladoniaceae</i> Zenker	<i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr.
<i>Lecideales</i> Vain.	<i>Lecideaceae</i> Chevall.	<i>Lecidea</i> sp. Ach.
<i>Candelariales</i> Miadl., Lutzoni et Lumbsch	<i>Candelariaceae</i> Hakul.	<i>Candelariella pacifica</i> M. Westb.

Выявленные виды эпифитных лишайников относятся к 8 родам, 6 семействам, 6 порядкам класса *Lecanoromycetes* O. E. Erikss. et Winka из отдела *Ascolichenes*. Наибольшим видовым многообразием представлен порядок *Lecanorales* и семейство *Parmeliaceae* – 4 вида из 3 родов. По два вида относятся к родам *Hypogymnia* и *Physcia*.

В лишенологии не существует единого взгляда на систему жизненных форм лишайников [2]. Согласно иерархической системе лишайников Н. С. Голубковой, выявленные виды относятся к 6 группам. Наиболее многочисленна группа листоватых расчеченнолопастных ризоидальных лишайников, к которой относятся 4 вида: *Xantoria*

parietina, *Physcia stellaris*, *Physcia caesia*, *Parmelia sulcata*. К листоватым вздутолопастным неризоидальным лишайникам относятся 2 вида: *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*. По одному виду представлено в группах листоватых широколопастных ризоидальных (*Tuckermanopsis chlorophylla*), накипных аталлических (*Lecidea* sp.), накипных однообразно-чешуйчатых (*Candelariella pacifica*) и чешуйчато-кустистых (*Cladonia fimbriata*) лишайников.

В лишенобиоте Беларуси выделено 7 географических элементов [3]. Лишенобиота исследованной территории г. Бреста включает мультизональный, бореальный, нотобореальный, неморальный географические элементы. По характеру ареала видов и широтному распространению наиболее многочисленны группы мультизонального голарктического (*Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata*, *Physcia caesia*, *Cladonia fimbriata*) и бореального евразийского (*Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, *Lecidea* sp.) геоэлементов. В одинаковом объеме представлены бореальный голарктический (*Candelariella pacifica*), нотобореальный евразийский (*Tuckermanopsis chlorophylla*), неморальный паннеморальный (*Physcia stellaris*) геоэлементы.

Относительно занимаемых субстратов к наибольшему числу форофитов приурочены *Xanthoria parietina* (9 видов форофитов), *Hypogymnia physodes* (9 видов форофитов), *Parmelia sulcata* (6 видов форофитов). Узкую приуроченность имеют *Tuckermanopsis chlorophylla*, *Lecidea* sp., *Candelariella pacifica*. Наибольшее видовое разнообразие лишайников было выявлено у таких форофитов, как *Betula pendula*, *Aesculus hippocastanum*, *Sorbus aucuparia*, *Acer negundo*. *Betula pendula* выступает в качестве форофита для большинства лишайников, на коре этой породы произрастает 77 % от общего числа видов.

Из 10 выявленных видов лишайников 9 видов – это облигатные эпифиты, и только *Cladonia fimbriata* – факультативный эпифит. В нашем исследовании *Cladonia fimbriata* выявлена на экземплярах *Betula pendula* в нижней и комлевой частях стволов.

Наиболее часто встречаемыми фоновыми видами в исследованных местообитаниях являются представители экологической группы нитрофитов: *Xanthoria parietina*, *Hypogymnia physodes* и *Parmelia sulcata*. Повышению экологической активности данных видов и расширению спектра занятых ими местообитаний способствует возрастание трофности субстратов и их защелачивании.

Таким образом, на исследованной территории г. Бреста на коре деревьев зеленых насаждений выявлено 10 видов лишайников, в том числе 9 видов облигатных эпифитов. Большую часть видов составляют лишайники, представленные листоватыми жизненными формами. Фоновыми видами в исследованных местообитаниях следует считать *Xanthoria parietina*, *Hypogymnia physodes* и *Parmelia sulcata*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуриков, А. Г. Эпифитные лишайники Беларуси. II. Облигатные и факультативные эпифиты / А. Г. Цуриков // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». – 2021. – Т. 35. – С. 51–60.
2. Флора Беларуси. Лишайники. В 4 т. Т. 1 / А. П. Яцына [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларус. навука, 2019. – 341 с.
3. Цуриков, А. Г. Географический анализ лишенофлоры Гомельского Полесья / А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова // Весн. МДПУ імя І. П. Шамякіна. – 2007. – С. 48–52.

УДК 628.01

Е. А. ТАРАНИЮК

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – Н. Ф. Ковалевич, ст. преподаватель

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ СВИНЦА НА ПЛОДОВИТОСТЬ ИМАГО В F1 ЛИНИИ BERLIN *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Тяжелые металлы включают широкую группу химических веществ, которые представляют собой большую опасность из-за своего сильного токсического действия на живые организмы. Свинец в виде различных соединений является одним из наиболее распространенных соединений тяжелых металлов. Свинец накапливается в почве, на поверхности водоемов, в растительных и животных организмах. Основными антропогенными источниками свинца являются автотранспорт, использующий в качестве топлива бензин с антидетонационной присадкой тетраэтилсвинец, а также отработанные автомобильные аккумуляторы и батарейки. Свинец содержится в выбросах предприятиями металлургии, металлообработки, электротехники, нефтехимии и автотранспорта. Из атмосферы свинец попадает в почву в виде оксидов, которые затем растворяются и могут принимать форму катионов. Из загрязненной почвы свинец поступает в растения и может в них накапливаться. Употребление в пищу растений, содержащих высокие концентрации свинца, может привести к отравлению организма, поражению нервной и сердечно-сосудистой систем, а также органов репродукции [1, с. 147]. Соединения свинца обладают канцерогенным действием.

Удобным объектом для изучения биологического действия различных химических и физических факторов является *Drosophila melanogaster*. Это обусловлено рядом преимуществ: короткий цикл развития, высокая плодовитость, большое число изученных генов, определяющих легко различимые признаки, малое число хромосом, удобство и дешевизна разведения.

Целью нашей работы является анализ биологического действия ионов свинца (Pb^{2+}) на плодовитость имаго в F1 линии Berlin *Drosophila melanogaster*.

Для постановки эксперимента использовалась линия Berlin *D. melanogaster* из коллекции кафедры зоологии и генетики БрГУ имени А. С. Пушкина. Это дикая линия, все гены нормальные. Мухи содержались на сахаро-дрожжевой среде при температуре 23 °С. Для оценки биологического действия ионов свинца (Pb^{2+}) на эмбриональную плодовитость линии дрозофилы использовались 4 варианта опыта: контроль, предельно допустимая концентрация действующего вещества (ПДК), 10 ПДК и 100 ПДК. ПДК для свинца в питьевой воде составляет 0,03 мг/дм³ [2, с. 7]. Действующее вещество добавлялось в питательную среду дрозофилы. Мухи проходили в данной среде полный цикл развития. Плодовитость мух при различных вариантах воздействия оценивали у поколения F1 по количеству вышедших имаго от двух пар мух, при этом проводился полный учет численности мух. Подсчет мух проводился ежедневно в течение 14 суток. При оценке плодовитости учитывали соотношение полов.

Результаты анализа плодовитости в F1 линии Berlin *Drosophila melanogaster* в зависимости от концентрации ионов свинца (Pb^{2+}) представлены на рисунке 1. Ионы свинца (Pb^{2+}) в концентрациях, равных ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК, приводят к увеличению численности мух в потомстве F1 по сравнению с контролем, что подтверждается статистически.

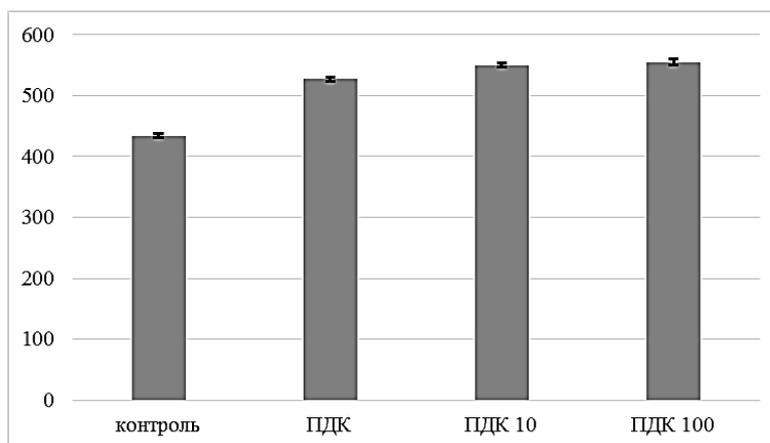


Рисунок 1 – Плодовитость в F1 линии Berlin *D. melanogaster*

Сравнительный анализ численности самцов (рисунок 2) при различных вариантах воздействия позволил установить, что концентрации ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК действующего вещества приводит к статистически достоверному увеличению численности самцов по сравнению с контролем. Для самок показано достоверное увеличение численности при действии концентраций ПДК и 10 ПДК в сравнении с контролем.

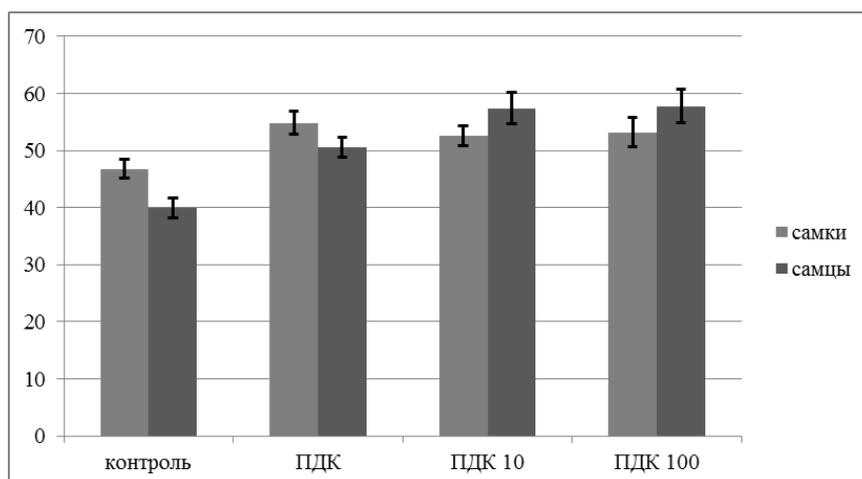


Рисунок 2 – Численность самок и самцов в F1 линии Berlin *Drosophila melanogaster*

Таким образом, установлено, что ионы свинца (Pb^{2+}) в концентрациях, равных ПДК, 10 ПДК и 100 ПДК, приводит к увеличению численности мух в культуре и не вызывают изменения соотношения полов в F1 линии Berlin *D melanogaster*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние свинца на живые организмы / А. Ф. Титов [и др.] // Журн. общ. биологии. – 2020. – Т. 81, № 2. – С. 147–160.
2. СанПиН 10-124 РБ 99, ВУ. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 204 : с изм. (2.1.4. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест) // Коммунальная гигиена. Вып. 2 (10). – Минск, 2010. – С. 3–53.

УДК 661.551.546.621

М. Д. ШРУБОК

Минск, БГУ

Научные руководители – Т. В. Свиридова, д-р хим. наук, профессор; А. С. Лагвинович, канд. хим. наук, доцент

УПРАВЛЕНИЕ ЗАЩИТНО-КОРРОЗИОННЫМИ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ РЕДОКС-КАТАЛИЗА

Современные металл-матричные композиты, представляющие собой металл-носитель с инкорпорированными частицами иной природы (оксидными, карбидными, нитридными), позволяют совмещать в рамках единой системы свойства обоих компонентов (в частности, пластичность матрицы с твердостью и прочностью дисперсной фазы) [1]. Наиболее распространенными на практике являются никель-матричные композиты, получаемые электрохимическим осаждением из электролитов-суспензий на основе стандартных растворов осаждения гальванического никеля с распределенными в объеме частицами дисперсной фазы. Выполненные ранее исследования [2] показали, что использование в качестве фаз внедрения оксидов с выраженной редокс-активностью (к числу которых могут быть отнесены высшие оксиды молибдена, вольфрама и ванадия) обеспечивает получение композитов с высоким содержанием инкорпорированной составляющей даже из разбавленных электролитов-суспензий. Редокс-активность такого рода оксидных фаз делает возможным перелокализацию процесса электрохимического осаждения матричного металла со свободной поверхности катода на поверхность оксидных частиц, что создает предпосылки для мультицентрового зарождения растущего гальванического осадка и открывает, тем самым, широкие возможности по регулированию его структуры. Можно предположить, что дополнительные возможности по управлению процессом зарождения и роста гальванических никелевых осадков на поверхности оксидных частиц могут открываться в случае перехода от индивидуальных оксидных фаз к их смешаннооксидным аналогам в виде твердых растворов замещения, которые, как показали выполненные ранее исследования [3], могут быть получены в сольвотермических условиях как продукт совместной поликонденсации оксованадатных и оксомолибдатных олигомеров. Такого рода твердые растворы замещения изоморфны ксерогелю пентаоксида ванадия, в структуре которого часть позиций в катионной подрешетке заменена на ионы молибдена (VI). Последнее обеспечивает переход части ионов V(V) в V(IV) [1; 3], которые обеспечивают зародышеобразование при электрохимической кристаллизации растущего никелевого осадка.

Таким образом, целью настоящего исследования являлось изучение возможности управления структурой гальванических осадков путем использования редокс-активных твердых растворов замещения оксидов молибдена-ванадия и изучения свойств (в первую очередь, коррозионной и трибологической устойчивости) получаемых при этом никель-матричных композитов.

Дисперсные оксиды молибдена и ванадия были получены в сольвотермических условиях из водных растворов индивидуальных и смешанных оксомолибден-ванадиевых кислот (состава $\text{MoO}_3 : \text{V}_2\text{O}_5 = 3 : 1, 3 : 2, 1 : 1, 2 : 3, 1 : 3$), синтезированных по ионообменной методике. Никель-матричные композиты осаждали электрохимически на медную фольгу из суспензий на основе стандартного сульфатного электролита никелирования

(NiSO_4 – 200 г/л, NiCl_2 – 50 г/л, H_3BO_3 – 35 г/л, pH 4,5 – 5,5; температура осаждения составляла 25 °С). Исследование морфологии поверхности металлических покрытий, а также размера и габитуса инкорпорируемых частиц оксидных фаз проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Leo-1420 с рентгеновским микроанализатором Rontec Edwin (диаметр зондируемого участка 3 мкм). Устойчивость к коррозии металлических покрытий изучали гравиметрически в контакте с раствором серной кислоты концентрации 0,5 моль/дм³. Гравиметрическое исследование трибологической устойчивости пленок индивидуального никеля и никель-матричных композитов выполняли в условиях сухого трения на лабораторной установке.

Исследование, выполненное с помощью электронной микроскопии, дополненной результатами рентгенофлуоресцентного анализа (рисунок 1), показало, что размерно-габитусные характеристики частиц смешанных оксидов молибдена-ванадия в существенной мере определяются мольным соотношением молибдена-ванадия в растворе оксокислоты-прекурсора.

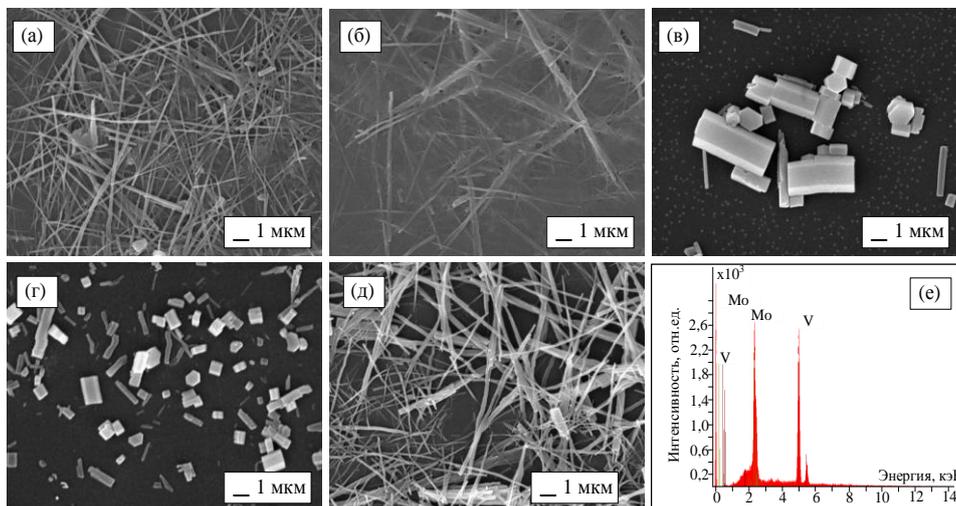


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения частиц смешаннооксидных фаз, выращенных из оксокислотных прекурсоров, состава $\text{MoO}_3 : \text{V}_2\text{O}_5 = 3 : 1$ (а), $3 : 2$ (б), $1 : 1$ (в), $2 : 3$ (г), $1 : 3$ (д) и типичный вид рентгенофлуоресцентного спектра смешанно-оксидных фаз молибдена-ванадия (е)

В случае паритетного соотношения молибдена и ванадия в оксокислотном прекурсор габитус смешанно-оксидного продукта оказывается близок к габитусу классических кристаллов гексагонального триоксида молибдена. В случае преобладания в прекурсор одной из оксидных составляющих, наблюдается вырождение формы гексагональных кристаллов в двух направлениях с формированием протяженных смешанно-оксидных усов. Можно предположить, что близкое к паритету отношение индивидуальных оксидов в прекурсор оказывается способным обеспечить сопоставимое их отношение в продукте, что гарантирует накопление большого количества ионов V(IV), потенциально способных обеспечить кристаллизацию металлической матрицы. Последнее подтверждается данными электронно-микроскопического исследования, свидетельствующими, что при перелокализации осаждения никеля со свободной металлической поверхности катода на поверхность смешаннооксидных частиц размер металлических зерен падает более чем в 2,5 раза (рисунок 2).

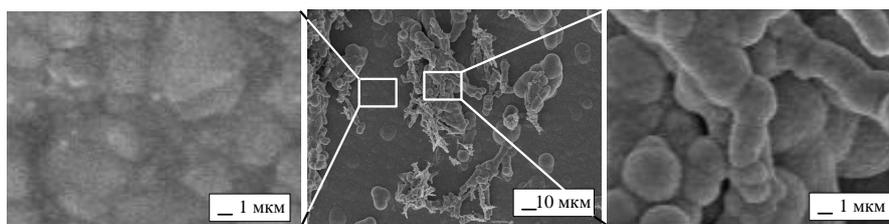


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения поверхности композиционного покрытия Ni – MoO₃ : V₂O₅ (дисперсная фаза выращена из прекурсора состава MoO₃ : V₂O₅ = 3 : 2)

Тем самым обеспечивается компактирование растущего гальванического осадка, а, следовательно, повышение его устойчивости как в условиях высоких контактных нагрузок, так и в агрессивных средах (рисунок 3); последнее, отметим, оказывается выраженным в большей степени.

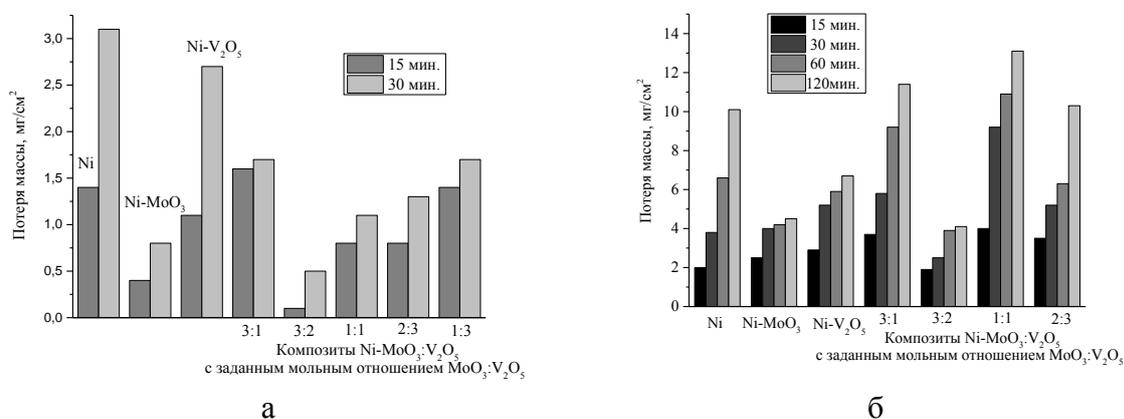


Рисунок 3 – Результаты изучения устойчивости никель-матричных композитов в агрессивной среде (а) и в условиях сухого трения (б)

В целом полученные результаты демонстрируют принципиальную возможность контроля процесса электрохимического зародышеобразования металлической матрицы металл-матричных композитов за счет использования в качестве фазы внедрения твердых растров оксидной природы, обеспечивающих накопление в кристаллической решетке большого количества центров хранения заряда, потенциально способных обеспечить рост зародышей металлической фазы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sviridova, T. V. Nano- and microcrystals of molybdenum trioxide and metal-matrix composites on their basis In: Molybdenum: Characteristics, Production and Applications / T. V. Sviridova, L. I. Stepanova, D. V. Sviridov Ed. by M. Ortiz [et al.] Nova Sci. Publishers. – New York, 2012. – P. 147–179.
2. Sviridova, T. V. Electrochemical synthesis of Ni-MoO₃ composite films: redox-mediated mechanism of electrochemical growth of metal-matrix composite / T. V. Sviridova, L. I. Stepanova, D. V. Sviridov // J. Solid-State Electrochem. – 2012. – Vol. 16. – P. 1–5.
3. Antonova A.A., Kokorin A.I, Degtyarev E.N., Sviridov D.V. Nanostructured vanadium-molybdenum mixed oxides prepared by the solvothermal method / T. V. Sviridova [et al.] // Russian Journal of Physical Chemistry B. – 2015. – Vol. 9. – P. 22–28.

УДК 541.138.2

В. Б. ЩЕРБАКОВА

Минск, БГУ

Научные руководители – Т. В. Свиридова, д-р хим. наук, профессор;

Л. Ю. Садовская, канд. хим. наук

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОСТЬЮ ОКСИДНЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ЗА СЧЕТ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В последние десятилетия на фоне роста значимости экологической повестки активно развиваются научные разделы, направленные на использование принципов фотохимии для инициирования интересных с практической точки зрения химических процессов, в том числе процессов деструкции загрязнителей органической и биологической природы. В качестве нетоксичного, доступного и устойчивого по отношению к фотокоррозии фотокатализатора часто используется диоксид титана модификации анатаз [1]. В то же время недостатком классических фотокаталитических систем на основе диоксида титана является необходимость непрерывного их облучения, что ставит задачу создания фотокаталитических систем с возможностью темнового высвобождения активных форм кислорода (супероксид-ионов, пероксидных соединений). В частности, ранее было экспериментально продемонстрировано, что комбинирование диоксида титана (фотоактивная составляющая) с дисперсными оксидами переходных элементов (такими как $h\text{-MoO}_3$, $h\text{-WO}_3$, *xerogel-V₂O₅* [2] – заряд-аккумулирующая составляющая) выражено слоистого строения, способными к обратимым редокс-превращениям, создает условия для накопления в системе заряда и пролонгированного (в течение нескольких часов) его расходования. В основе функционирования гетерооксидных композитов такого рода лежат процессы межфазного переноса заряда, генерируемого в диоксид-титановой матрице в процессе актиночного облучения. Основную роль в процессах зарядового транспорта играет количество межфазных контактов, число которых может быть повышено как за счет измельчения обоих компонентов гетерооксидной системы, так и за счет изменения габитусных и структурных характеристик входящих в их состав кристаллитов. Одновременное достижение указанных целей может быть реализовано при условии инициирования топохимических превращений в условиях высоких контактных нагрузок [3]. Масштаб воздействия такого рода может быть сопоставим с гидротермальным или трибологическим, однако не сопровождается локальным повышением температуры, что должно исключить протекание паразитных процессов, связанных с полиморфными превращениями.

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности изменения свойств (в первую очередь фотоактивности и наведенной окислительной активности) сложнооксидных композитов $\text{TiO}_2 / \text{V}_2\text{O}_5$ в процессе воздействия высоких контактных нагрузок.

Сложнооксидные композитные пленки на поверхности глазурированной керамической плитки получали методом пульверизации смешаннооксидных золей диоксида титана и пентаоксида ванадия ($\text{TiO}_2 : \text{V}_2\text{O}_5 = 5 : 1$). Золи TiO_2 были синтезированы путем контролируемого гидролиза тетрахлорида титана в водно-аммиачной среде. Золи *xerogel-V₂O₅* получали сольвотермическим методом за счет инкубирования водных растворов ванадиевой оксокислоты. По данным сканирующей электронной микроскопии средний размер частиц в полученных золях диоксида титана (представляют собой аг-

ломераты) составлял 1,5–2 мкм, а в золях пентаоксида ванадия ~ 200 нм. Свежеприготовленные золи высушивали при комнатной температуре и подвергали механохимической активации в течение 90 минут. Величина давления в зоне контакта составляла 39 МПа. Фотокаталитическая (в условиях актиничного излучения) и наведенная окислительная (в темновых условиях) активность пленочных композитов оценивалась по снижению поверхностной концентрации адсорбированного красителя Родамин 6G.

Выполненное исследование продемонстрировало возможность эффективной трансформации габитуса оксидных кристаллитов в условиях высоких контактных нагрузок. Так, по данным электронно-микроскопического исследования (рисунок 1) высокое контактное давление, оказываемое на дисперсный V_2O_5 , способствует диспергированию исходных частиц, причем формирующаяся при этом оксидная нанозфаза является химически активной, что способствует ее трансформации в палочкообразные кристаллиты в процессе дальнейшего механического воздействия. С другой стороны, продолжительное механохимическое воздействие на дисперсный диоксид титана вызывает коалесценцию его кристаллитов с формированием образований мультимикронных размеров.

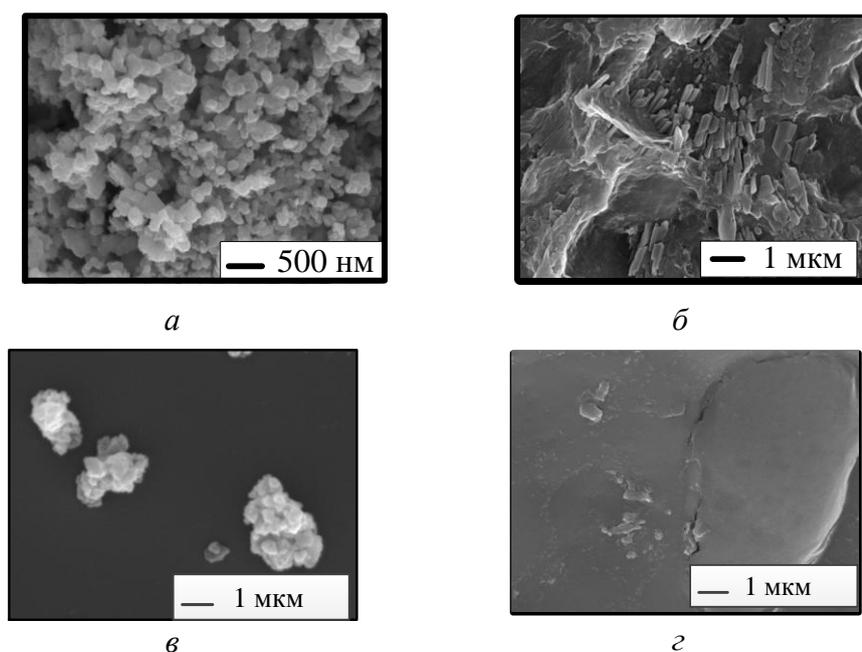


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения частиц дисперсных V_2O_5 (а, б) и TiO_2 (в, г) до (а, в) и после механохимического воздействия в течение 90 минут (б, г)

Изменение габитуса оксидных кристаллитов в условиях высоких контактных нагрузок способствует существенному росту как фотокаталитической, так и наведенной окислительной активности гетерооксидных слоев (рисунок 2). Следует отметить, что в случае прямой фотохимической деградации красителя лучшие результаты демонстрирует композит, в состав которого входит нанозфаза V_2O_5 , сформированная в результате механохимического воздействия, чему, можно предположить, способствует рост площади поверхности гетерооксидной границы, облегчающий межфазный зарядовый транспорт. В случае процессов темновой генерации активных форм кислорода предварительно облученным фотокатализатором наибольшую эффективность демонстрирует композит, в состав которого входят палочкообразные кристаллиты пентаоксида вана-

дия, сформированные в результате 90-минутного механохимического воздействия, которые, таким образом, обеспечивают наибольшие возможности по накоплению и долговременному хранению фотогенерированного заряда.

Отметим, что долговременное механохимическое модифицирование пентаоксида ванадия оказывается способным нивелировать процессы коалесценции частиц дисперсного диоксида титана, способствующие падению площади его активной поверхности.

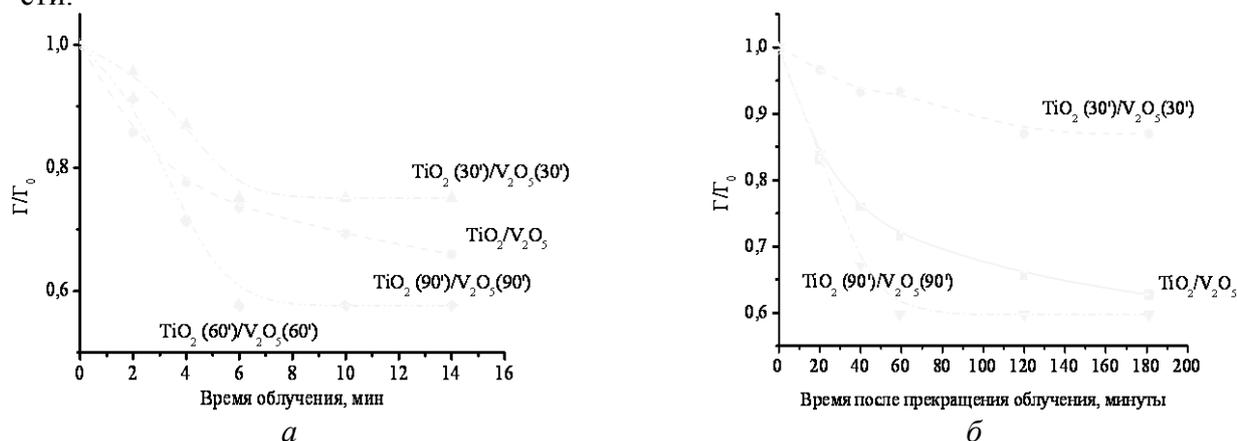


Рисунок 2 – Зависимость поверхностной концентрации красителя Родамин 6G от времени при его разложении на поверхности немодифицированной подложки, пленок TiO_2 и композитных пленок $\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$ с различным временем механохимической обработки: каталитический фотолиз (а); темновое окисление после экспонирования в течение 10 мин. (б)

Таким образом, полученные результаты продемонстрировали возможность эффективного управления габитусными характеристиками оксидных кристаллитов в условиях высокого контактного давления как метода управления активностью получаемых на их основе гетерооксидных композитов как в процессах прямого фотокаталитического окисления, так и в условиях темновой разрядки после предварительного экспонирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shchukin, D. G. Photocatalytic processes in spatially confined micro- and nanoreactors / D. G. Shchukin, D. V. Sviridov // J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. – 2006. – Vol. 7 – P. 23–26.
2. Nanoengineered thin-film $\text{TiO}_2/h\text{-MoO}_3$ photocatalyst capable accumulate photoinduced charge / T. V. Sviridova [et al.] // J. Photochem. Photobiol. A: Chem. – 2016. – № 327. – P. 44–50.
3. Mechanochemistry for Synthesis. Angewandte Chemie / T. Friscic [et al.] // Angewandte Chemie. – 2019. – № 53. – P. 1018–1029.