

## РОЛЬ ФИТОГОРМОНОВ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ-ФИТОРЕМЕДИАНТОВ В УСЛОВИЯХ ПОЧВЕННОГО НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОНЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ

Ю. М. Сотникова<sup>1</sup>, В. В. Федяев<sup>1,2</sup>, А. С. Григориади<sup>1</sup>, М. И. Гарипова<sup>1</sup>, И. Р. Галин<sup>2</sup>,  
Г. Ф. Габидуллина<sup>1</sup>, Р. Г. Фархутдинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет

<sup>2</sup>Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН

Поступила в редакцию 11.10.2021 г.

**Аннотация.** Растения могут быть толерантны к некоторым загрязняющим веществам окружающей среды и часто используются в стратегиях фиторемедиации, однако при высоких концентрациях загрязнителя нарушается рост, развитие и физиолого-биохимические параметры самих растений. В этой связи представляется важным использование дополнительных способов повышения устойчивости растений к действию поллютантов. Одним из таких способов является применение микробиологических биопрепаратов, которые сочетают способности деградации нефти и стимулирования роста растений в одной и той же бактериальной культуре. В настоящее время фиторемедиация является одним из перспективных методов очистки и восстановления нефтезагрязненных земель. Имеется множество исследований, посвященных оценке устойчивости растений-фиторемедиантов к нефтяному загрязнению. Однако, множество растительных объектов, видов поллютантов и физиолого-биохимических параметров остаются неизученными. Для эффективной фиторемедиации нефтезагрязненных почв необходимо использовать растения с высокой адаптивной устойчивостью. Продолжаются поиски растений, пригодных для фиторемедиации, предполагающей извлечение загрязнителей из почв корневой системой растений с последующим их переносом и аккумуляцией в надземной части растений. Целью данной работы являлась оценка роли гормональной системы в повышении устойчивости растений-фиторемедиантов в условиях нефтяного загрязнения.

Изучена роль гормональной системы в повышении устойчивости и регуляции ростовых процессов у растений *Secale cereale* L. и *Medicago sativa* L. в условиях почвенного нефтяного загрязнения на фоне применения биопрепарата «Ленойл» и комплексов «Ленойл+Елена», «Ленойл+Азолен».

При применении комбинаций биопрепаратов «Ленойл+Елена» и «Ленойл+Азолен» у исследуемых растений наблюдалось незначительное увеличение или снижение ростовых показателей, препарат-деструктор «Ленойл» оказал наибольшее ростостимулирующее действие.

Установлена роль эндогенной гормональной системы растений в адаптации к разрабатываемой технологии применения ржи и люцерны в качестве фиторемедиантов. Наблюдалось накопление фитогормонов стимулирующего характера (ИУК и цитокинины) в вариантах обработки биопрепаратом «Ленойл» и комплексом «Ленойл+Елена», снижение интенсивности ростовых процессов происходило на фоне увеличения АБК в побегах и корнях растений, росших на нефтезагрязненной почве без внесения биопрепаратов и при внесении комплекса «Ленойл+Азолен».

Определение уровня содержания фитогормонов важен для подбора концентраций биопрепаратов и создания их комбинаций при проведении фиторемедиационных мероприятий на почвах загрязненных нефтью.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение почвы, биопрепараты «Ленойл», «Елена», «Азолен», фиторемедиация, фитогормоны

Негативное влияние разливов нефти и нефтепродуктов на окружающую среду, на почву и растительность подтверждена многочисленными исследованиями. Для очистки почвы применяют различные методы, однако самым экологически безопасным

считаются методы биоремедиации, основанные на использовании взаимодействия растений и бактерий-деструкторов нефти [1, 2]. Растения и микроорганизмы потенциально способны самостоятельно выполнять функцию очистки почвы от нефтяных углеводородов, однако их ассоциация функционирует более эффективно [3, 4, 5, 6]. Бактерии-деструкторы нефти снижают токсичность почвы, тем самым

© Сотникова Ю. М., Федяев В. В., Григориади А. С., Гарипова М. И., Галин И. Р., Габидуллина Г. Ф., Фархутдинов Р. Г., 2021

создавая благоприятные условия для роста растений. При этом бактерии могут синтезировать регуляторы роста, которые непосредственно влияют на развитие растений [7]. Способность фитогормонов микроорганизмов влиять на адаптационный потенциал растений в неблагоприятных условиях окружающей среды дает возможность рассматривать их как один из факторов формирования устойчивости растений к различным видам загрязнений [8, 9].

Целью данного исследования являлась оценка роли гормональной системы в повышении устойчивости и регуляции ростовых процессов у растений-фиторемедиантов в условиях почвенного нефтяного загрязнения на фоне комплексного применения биопрепаратов.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе предварительных исследований нами было установлено, что наиболее устойчивые к 4% нефтяному почвенному загрязнению рожь посевная (*Secale cereale* L.) сорта «Татьяна» и люцерна посевная (*Medicago sativa* L.) сорта «Надежда» [10].

Лабораторные опыты проводили на серых лесных почвах, которые были отобраны для исследований в северо-восточной части Уфимского района Республики Башкортостан. Почву отбирали согласно требованиям описанных в ГОСТ 17.4.4.02.-2017 [11]. Почву измельчали, просеивали через сито 3 мм. Почва имела следующие агрохимические и агроэкологические показатели: гумусовый горизонт серого цвета, мощностью 25 - 30 см, содержание гумуса 4 - 5%, реакция слабо-кислая (рН 5.0-6.0).

В почву вносили товарную нефть в концентрации 4% от сухой массы почвы. Почву увлажняли до 60% полной влагоемкости почвы, тщательно перемешивали и поддерживали влажность на протяжении всего периода выращивания растений. Затем в течение 72 часов вегетационные сосуды с почвой находились при комнатной температуре для полного распределения нефти в почве.

В работе были использованы биопрепараты «Ленойл», «Елена» и «Азолен». В состав биопрепарата «Ленойл» – NORD, СХП (производитель ЗАО НПП «Биомедхим» ТУ 9291-007-33822935-2014) входят бактерии *Pseudomonas turukhanskensis* ИБ 1.1 (титр не менее  $1 \cdot 10^8$  КОЕ/г). «Азолен» - микробиологическое удобрения (*Azotobacter vinelandii* ИБ 4-8 $\cdot 10^9$  КОЕ/мл) с фунгицидными ростостимулирующими свойствами и азотофиксирующей способностью. В состав биопрепарата «Елена» Ж, входят бактерии *Pseudomonas aureofaciens* ИБ 51 (титр 2-3  $10^9$  КОЕ/мл) [12].

Спустя 30 суток проводили биодegradацию нефти, содержащейся в почве с помощью биопрепарата «Ленойл». Затем в часть сосудов высаживали семена ржи и люцерны прошедшие предпосевную обработку биопрепаратами «Елена» или «Азолен», согласно рекомендациям производителя, и спустя 30 суток оценивали морфометрические показатели. Растения выращивали в сосудах объемом 0.5 л, при 12-часовом светопериоде, интенсивности освещения 30 клк и температуре воздуха 22-25 °С.

Опытными вариантами служили биопрепарат «Ленойл» и комплексы биопрепаратов «Ленойл+Елена» и «Ленойл+Азолен», в качестве контроля рассматривали варианты почва с внесением нефти (ПСН) и почва без внесения нефти (ПБН).

Для определения уровня содержания фитогормонов проводилась экстракция, очистка, концентрирование и их последующее определение с помощью твердофазного иммуноферментного анализа. Побеги и корни 30-ти суточных растений экстрагировали отдельно в 80%-ном этаноле в течение 12 ч при температуре +4°С. Затем экстракт отфильтровывали и упаривали до водного остатка. Экстракцию АБК и ИУК из аликвоты проводили по модифицированной схеме с уменьшением объема. После экстракции образцы упаривали досуха и непосредственно перед проведением иммуноферментного анализа растворяли в 100 мкл 80% этанола. Цитокинины, содержащиеся в водном остатке, концентрировали на картридже C18 (Bond-Elut, RP-C18). Водный остаток, предварительно осветленный центрифугированием, наносили на колонку, которую затем промывали 20 мл дистиллированной воды. Цитокинины элюировали 5 мл 80%-ного этанола. После упаривали досуха и непосредственно перед проведением иммуноферментного анализа растворяли в 100 мкл 80% этанола.

Имуноферментный анализ проводили в лунках полистиролового планшета с применением конъюгат гормона с белком который сорбировали на твердой фазе. Затем в лунки вносили антисыворотку к гормону вместе с раствором стандарта гормона или растительным экстрактом. Для определения количества сыворотки, прореагировавшей с сорбированными в лунках белковыми конъюгатами гормонов, использовали препарат антикродных бараньих антител, меченых пероксидазой. Количество иммуносорбированных антител определяли по цветной реакции субстрата. Оптическую плотность измеряли на фотометре Titertek-Uniskan (Швеция) при длине волны 492 нм [13].

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета

прикладных программ Statistica 10.0, рассчитывали средние значения, стандартные отклонения и доверительный интервал при  $P \leq 0.05$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее нами было установлено, что использование биопрепаратов приводило к усилению ростовых процессов у растений-фиторемедиантов в условиях нефтяного загрязнения [10]. Применение комплексов микробных препаратов на основе разных видов микроорганизмов, которые применяются для активации роста в неблагоприятных условиях, за счет синтеза ими фитогормонов (ауксинов и цитокининов), могут дополнительно повышать устойчивость растений [8, 12]. В связи с этим нами была апробирована схема, в которой первоначальную деградацию нефти проводили с помощью препарата «Ленойл», а затем дополнительно в почву были внесены биопрепараты «Елена» и «Азолен».

У растений люцерны в опытном варианте с препаратом «Ленойл» длина побегов и корней практически не отличалась от контрольного варианта ПБН и была значительно выше контрольного варианта ПСН (табл.1). В варианте с препаратом сырая масса побегов была ненамного выше контрольного варианта ПБН, но в 2.5 раза выше контрольного варианта ПСН. Сырая масса корней в варианте с препаратом «Ленойл» была выше контрольных вариантов ПБН и ПСН в 3.7 и 8 раза соответственно.

У растений ржи наблюдалась несколько иная реакция на внесение препарата «Ленойл». Длина побегов превышала в 2.5 раза вариант ПБН и в 4.3 раза вариант ПСН. Сырая масса надземной части превышала контрольный вариант ПСН в 3.6 раза и практически не отличалась от контрольно-

го варианта ПБН. Зато при сравнении показателей длины и сырой массы корней с вариантами ПБН и ПСН препарат «Ленойл» оказал значительное стимулирующее действие (табл.1).

При внесении комплексов биопрепаратов «Ленойл+Елена» у растений люцерны не обнаружены значительные отличия с контрольными вариантами ПБН и ПСН в надземной части растения, однако длина корней была ниже варианта ПБН в 1.5 раза и выше варианта ПСН в 4 раза. Сырая масса корней при использовании комплекса «Ленойл+Елена» была выше контрольных вариантов ПБН и ПСН в 4.3 и 5.3 раза соответственно (табл.1).

У растений ржи значительно отличались значения всех исследуемых параметров при внесении комплекса «Ленойл+Елена» по сравнению с контрольными вариантами ПБН и ПСН (табл.1).

Комплекс «Ленойл+Азолен» проявил наименьшее стимулирующее действие на морфометрические показатели растений люцерны. Лишь при сравнении сырой массы корней значения опытного варианта были выше в 2.8 раза контрольного варианта ПСН (табл.1).

Однако у растений ржи ростостимулирующее действие комплекса «Ленойл+Азолен» было ярче. Длина побегов и корней была значительно выше контрольных вариантами ПБН и ПСН. Сырая масса побега практически не отличалась от варианта ПБН, но превышала вариант ПСН в 3.7 раза. Особенно выраженные отличия наблюдались при сравнении сырой массы корней. Так при использовании комплекса «Ленойл+Азолен» сырая масса корневой части была выше варианта ПБН в 5.2 раза и выше варианта ПСН в 8.3 раза (табл.1).

Таким образом, комплексное применение биопрепаратов для адаптации растений-фиторемедиантов к условиям нефтяного загрязнения по-

Таблица 1

Сравнительная оценка морфометрических показателей растений *Medicago sativa* L. и *Secale cereale* L. на фоне применения комплексов биопрепаратов

Исследуемые части	Показатели	Почва без нефти	Почва с нефтью	Почва с нефтью+ Ленойл	Почва с нефтью+ Ленойл+ Елена	Почва с нефтью+ Ленойл+ Азолен
Люцерна						
Надземная часть	Длина, см	3.8±0.2	2.8±0.2	3.25±0.3	3.41±0.2	2.37±0.2
	Сырая масса, г	2.6±0.1	1.1±0.05	2.88±0.2*	1.62±0.1	1.34±0.1
Корневая часть	Длина, см	5.1±0.3	0.83±0.1	4.69±0.3	3.44±0.4*	2.87±0.2*
	Сырая масса, г	0.55±0.02	0.25±0.01	1.99±0.2*	1.32±0.1*	0.7±0.03*
Рожь						
Надземная часть	Длина, см	13.5±0.8	8.00±0.5	34.11±1.3*	33.21±2.81*	31.61±2.2*
	Сырая масса, г	8.3±0.7	2.31±0.2	8.4±0.1*	9.37±0.1*	8.56±0.4*
Корневая часть	Длина, см	5.00±0.3	7.00±0.5	18.41±1.2*	18.21±1.91*	16.71±1.2*
	Сырая масса, г	0.75±0.02	0.47±0.01	2.83±0.2*	2.02±0.031*	3.92±0.4*

Примечание: представлены средние значения ± стандартная ошибка; \*- отмечены значимо разные средние значения ( $p \leq 0,05$ , t-критерий).

казало, что их применение приводило к разной ростовой реакции у растений.

Способность фитогормонов влиять на процессы приспособления растений к условиям нефтезагрязненной среды обитания возможность рассматривать их как один из основных факторов формирования устойчивости растений [14]. Важным является также взаимодействие растений и микроорганизмов в загрязненной нефтью почве, которое осуществляется также в результате взаимобмена фитогормонами [15,9].

У растений контрольного варианта ПБН наблюдалось максимальное содержание ИУК в надземной части у люцерны и ржи (рис. 1 а,b). В контрольном варианте растений люцерны с нефтью содержание ИУК в побегах у растений люцерны было в 2 раза меньше, а у ржи в 7.2 раза.

У растений люцерны в варианте обработки «Ленойл+Азолен» также был установлен высокий уровень содержания ИУК в побегах. Как известно из литературы, накопление ИУК в надземной части тормозит ростовые процессы побега [16]. У растений выросших на фоне обработки препаратом «Ленойл+Елена» напротив, мы наблюдали накопление ИУК в корнях, что могло стимулировать ростовые процессы в них и стимулировать ветвление корневой системы, которое выражалось в увеличении биомассы корней [16].

У растений ржи в варианте «Ленойл» наблюдался достаточно высокий уровень содержания ИУК в корнях, что в свою очередь может стимулировать рост корней в длину, как видно в таб. 1 [17]. Наиболее низкие значения содержания ИУК были установлены в варианте контроля ПСН, что является отображением торможения ростовых процессов корней у данного варианта (таб. 1; рис. 1а,b).

Определение уровня содержания АБК у растений люцерны показало, что в побегах растений растущих в условиях нефтяного загрязнения концентрация гормона в тканях была выше по сравнению с контролем ПБН (рис. 2а). Наблюдавшееся подавление роста побега в этих условиях, очевидно, было связано с обнаруженным накоплением в них АБК [18, 19]. В корнях растений люцерны, уровень содержания АБК в контрольном варианте ПБН был ниже по сравнению с вариантами «Ленойл» и «Ленойл+Азолен» на 24%, а в варианте комплексной обработки препаратами «Ленойл+Елена» мы наблюдали увеличение уровня содержания АБК в корнях на 54%. Накопление АБК в побегах растений является ответной реакцией на

стрессовое воздействие и как правило приводит к снижению ростовых процессов побега [18]. Однако, накопление АБК в корнях в некоторых случаях может приводить к увеличению гидравлической проводимости корней и таким образом поддерживать ростовые процессы в побегах и корнях [20].

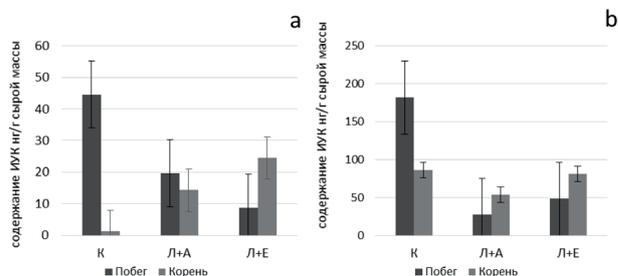


Рис. 1. Содержание ИУК (нг/г сырой массы) в побегах и корнях растений люцерны (а) и ржи (b); К - контроль почва без нефти, КН – контроль почва с нефтью, Л – «Ленойл», Л+А-«Ленойл+Азолен», Л+Е-«Ленойл+Елена»

Сходная картина наблюдалась и у растений ржи, где уровень содержания АБК в побегах опытных растений был выше, чем в варианте контроля ПСН, но ниже чем контроль ПБН. Интересным является тот факт, что в варианте обработки - «Ленойл+Азолен», уровень содержания АБК был сопоставим в контроле ПСН. Это говорит о ингибировании ростовых процессов в надземной части растений ржи (табл. 1). В корнях растений ржи обработанных препаратами «Ленойл+Елена», уровень содержания АБК был выше контроля ПБН на 54% (рис. 2b). У варианта «Ленойл+Азолен» уровень содержания АБК в корнях, напротив, было ниже значений контрольного варианта ПБН на 40%.

В побегах и корнях растений люцерны и ржи во всех вариантах обработанных нефтью, в том числе и с применением биопрепаратов, уровень содержания АБК был выше значений установленных в контроле ПБН (рис. 2 а,b), что свидетельствует о стрессовом состоянии растений в условиях нефтяного загрязнения [19]. Однако, следует отметить, что применение биопрепаратов к снижению уровня содержания АБК, что указывает на участие биопрепаратов в процессах адаптации растений к условиям нефтяного загрязнения. В контрольных вариантах ПСН у обоих видов растений уровни АБК были значительно выше уровней опытных вариантов как в надземной, так и в корневой частях (рис. 2 а,b).

Анализ данных полученных при определении уровня содержания зеатина (З), зеатиннуклеотида (ЗН) и зеатинрибозид (ЗР) в растениях люцерны

показал, что в побегах растений контрольного варианта ПБН содержание ЗН было выше, чем у растений обработанных микробиологическими препаратами, однако содержание фитогормона в контрольном варианте ПСН было резко снижено (рис. 3 а, б). Но в корнях наблюдалась обратная картина - у обработанных растений наблюдалось накопление ЗН, особенно в варианте «Ленойл+Елена» почти в 3 раза был выше уровень содержания, чем в ПБН, а по сравнению с контролем ПСН у всех вариантов, кроме комплекса «Ленойл+Елена», уровень ЗН был ниже, что говорит о торможении загрузки и транспорта в надземную часть ЗН [21].

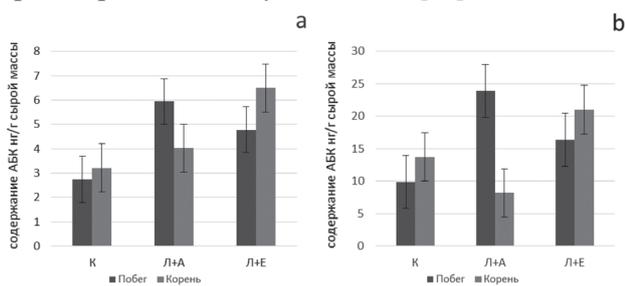


Рис. 2. Содержание АБК (нг/г сырой массы) в побегах и корнях растений люцерны (а) и ржи (б); К - контроль почва без нефти, КН – контроль почва с нефтью, Л – «Ленойл», Л+А-«Ленойл+Азолен», Л+Е-«Ленойл+Елена»

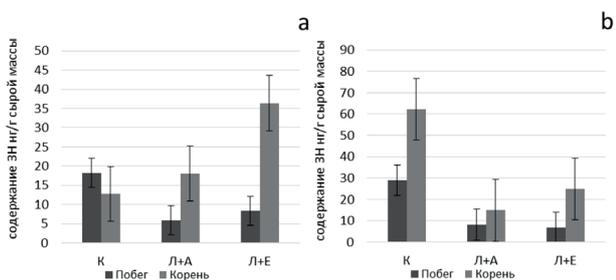


Рис. 3. Содержание ЗН (нг/г сырой массы) в побегах и корнях растений люцерны (а) и ржи (б); К - контроль почва без нефти, КН – контроль почва с нефтью, Л – «Ленойл», Л+А-«Ленойл+Азолен», Л+Е-«Ленойл+Елена»

Установлено, что уровень содержания ЗР в побегах растений люцерны и ржи контрольного варианта ПБН был выше контроля ПСН, в корневой системе растений ржи контроля ПБН наблюдали накопление ЗР превышающее уровень содержания гормона в побеге почти в 2 раза (рис. 4 а, б). Также в вариантах обработки растений ржи комплексом «Ленойл+Елена», а растений люцерны - комплексом «Ленойл+Азолен», наблюдалось торможение транспорта ЗР в надземную часть, что проявлялось в низком их уровне сопоставимом с содержанием ЗР в контроле ПСН (рис. 4 а, б). Как известно из литературы транспорт ЗР зависит от образования конъюгированных

форм в месте синтеза и физиологического состояния в котором находится растение [22]. Следовательно под действием препаратов происходило снижение уровня загрузки транспортной формы цитокининов во флоэмный поток [18].

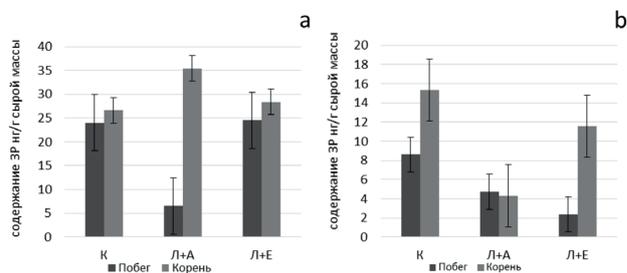


Рис. 4. Содержание ЗР (нг/г сырой массы) в побегах и корнях растений люцерны (а) и ржи (б); К- контроль почва без нефти, КН – контроль почва с нефтью, Л – «Ленойл», Л+А-«Ленойл+Азолен», Л+Е-«Ленойл+Елена»

Сравнивая уровень содержания З у растений люцерны и ржи контрольного варианта ПБН с данными по концентрации гормона в контроле ПСН, мы установили, что происходит перераспределение З в надземную часть в варианте ПБН, а в контроле ПСН – их накопление в корнях (рис. 5 а, б). Обработка растений композициями «Ленойл+Азолен» и «Ленойл+Елена» приводит, как и в случае с контролем ПСН, к накоплению З в корнях. В растениях обработанных композициями биопрепаратов, мы наблюдали более короткие корни относительно контрольного варианта (табл. 1), одним из следствий накопления З в корнях, как известно из литературы, является торможение их роста [22].

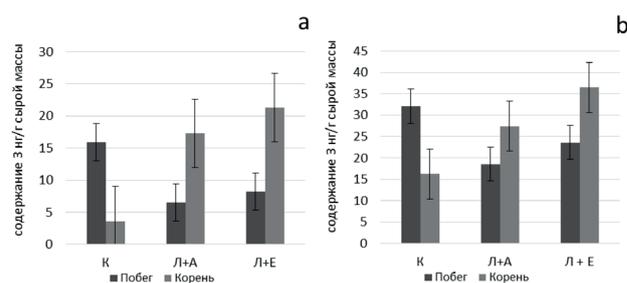


Рис. 5. Содержание З (нг/г сырой массы) в побегах и корнях растений люцерны (а) и ржи (б); К - контроль почва без нефти, КН – контроль почва с нефтью, Л – «Ленойл», Л+А-«Ленойл+Азолен», Л+Е-«Ленойл+Елена»

По сравнению с растениями ржи контрольного варианта ПБН у обработанных биопрепаратами растений мы наблюдали низкий уровень содержания запасной и транспортной формы цитокининов (ЗН и ЗР) в побегах (рис. 3, 4 а, б). Это также может быть связано с подавлением процессов загрузки во

флоэмный поток, который мы наблюдали у растений люцерны (табл.1). В корнях мы видели накопление запасных цитокининов (рис. 3,4 a,b), известно, что накопление ЗР связано с регулируемым растением снижением расщепления в свободную активную форму [18]. Особенно хорошо виден этот процесс у контрольных растений с ПБН и в корнях растений обработанных «Ленойлом». Интересным, на наш взгляд, является относительно высокий уровень содержания, активной формы цитокининов - З, который наблюдался у растений ржи на фоне «Ленойла». Это могло привести к активации процессов деления в побегах и повышению устойчивости к стрессовому фактору [22], что проявлялось в морфометрических показателях у растений ржи росших в условиях обработки растений биопрепаратом «Ленойл» (табл. 1).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в условиях нефтяного загрязнения и обработки почвы биопрепаратом деструктором нефти «Ленойл», в том числе и в комбинации с ростостимулирующими препаратами «Азолен» и «Елена», содержащими штаммы других видов микроорганизмов, нам удалось установить роль эндогенной гормональной системы растений в адаптации к разрабатываемой технологии применения ржи и люцерны в качестве фиторемедианта. Применение композиций биопрепаратов не всегда имеет ростостимулирующий эффект для растений-фиторемедиантов (табл. 1), который необходим для успешного проведения работ по восстановлению почв после нефтяного загрязнения. Определение уровня содержания как фитогормонов стимулирующего характера (ИУК и цитокинины), так и показывающих уровень стрессовой ситуации растения (АБК) важен для подбора концентраций биопрепаратов и создания их комбинаций при проведении фиторемедиационных мероприятий на почвах загрязненных нефтью.

Применение бактерий, способных синтезировать гормоны растений, является большим преимуществом для формирования устойчивости растений-фиторемедиантов. Синтез ауксинов может стимулировать рост корней и повышать продуктивность растений при благоприятных условиях или умеренном стрессе. При более сильном стрессе продуктивность может быть повышена при сочетании других видов бактерий в консорциуме. Чтобы предотвратить ингибирующее действие бактериальных цитокининов на рост корней, важно, чтобы микробы производили цитокинины в формах, которые легко экспортируются в побегах для стимуляции деления и размножения клеток. Влияние микроорганизмов на

уровни АБК в растениях заслуживает дальнейшего изучения, так как снижение содержания АБК кажется полезным при умеренном стрессе, в то время как бактерии, продуцирующие АБК, полезны при сильном стрессе [23].

Роль гормонов во взаимодействиях между растениями и микроорганизмами крайне важна для эффективной фиторемедиации загрязненных нефтью почв, поэтому эти взаимодействия требуют дальнейшего изучения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yavari A., Javadi M., Mirmiran P., Bahadoran Z. // Asian J of Sports Med. 2015. Vol. 6, No 1, pp. 1-7.
2. Adipah S. // Journal of Environmental Science and Public Health. 2018. Vol. 2, No 4, pp. 168-178.
3. Kamath R., Rentz J.A., Schnoor J.L., Alvarez P.J.J. // Studies in Surface Science and Catalysis. 2004. Vol. 151, pp. 447-478.
4. Kewei H., Chen X., Lu Z. // The Review of Financial Studies. 2015. Vol. 28, No 3, pp. 650-705.
5. Agnello A.C., Bagard M., van Hullebusch E.D., Esposito G., Huguenot D. // Sci. Total Environ. 2016. Vol. 563-564, pp. 693-703.
6. Коршунова Т.Ю., Четвериков С.П., Валиуллин Э.Г., Мухаматдырова С.Р., Логинов О.Н. // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. No 2. С. 25-31.
7. Kudoyarova G.R., Veselov D.S., Dodd I.C., Rothwell S.A., Yu. Veselov S. // Journal of Experimental Botany. 2015. Vol. 66, No. 8, pp. 2133-2144.
8. Архипова Т.Н., Веселов С.Ю., Мелентьев А.И., Мартыненко Е.В., Кудоярова Г.Р. // Биотехнология. 2006. No 4. С. 50-55.
9. Bakaeva M., Kuzina E., Vysotskaya L., Kudoyarova G., Arkhipova T., Rafikova G., Chetverikov S., Korshunova T., Chetverikova D., Loginov O. // Plants. 2020. Vol. 9, No.3, pp. 379.
10. Сотникова Ю.М., Григориади А.С., Хисамов Р.Р., Фархутдинов Р.Г. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. No 5 (85). С. 79-83.
11. ГОСТ 17.4.4.02-2017. ГОСТ 17.4.4.02-2017. 2018.
12. Логинов О.Н., Силищев Н.Н., Бойко Т.Ф., Галимзянова Н.Ф. Биорекультивация: микробиологические технологии очистки нефтезагрязненных почв и техногенных отходов. Москва, Наука, 2009, 112 с.
13. Веселов Д.С., Веселов С.Ю., Высоцкая Л.Б., Кудоярова Г.Р., Фархутдинов Р.Г. Гормоны рас-

Сотникова Ю. М., Федяев В. В., Григориади А. С., Гарипова М. И., Галин И. Р., Габидуллина Г. Ф., Фархутдинов Р. Г.

тений. Регуляция концентрации и связь с ростом и водным обменом. Москва, Наука, 2007, 157 с.

14. Maksimov I.V., Veselova S.V., Nuzhnaya T.V., Sarvarova E.R., // Russian Journal of Plant Physiology. 2015. Vol. 62, No. 6, pp. 715-726.

15. Коршунова Т.Ю., Бакаева М.Д., Логинов О.Н. // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. No 9. С. 18–22.

16. Высоцкая Л.Б., Архипова Т.Н., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Ахтямова З.А., Иванов Р.С., Тимергалина Л.Н., Кудоярова Г.Р. // Биомика. 2019. No 1. С. 86–100.

17. Трекозова А.В., Ахиярова Г.Р., Высоцкая Л.Б., Веселов С.Ю., Кудоярова Г.Р. // Агрехимия. 2015. No 8. С. 32–38.

18. Архипова Т.Н., Высоцкая Л.Б., Мартыненко Е.В., Иванов И.И., Кудоярова Г.Р. // Физиология растений. 2015. Т. 62. No 4. С. 560.

19. Высоцкая Л. Б., Ахтямова З. А., Архипова Т. Н., Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф., Феоктистова А. В., Тимергалина Л. Н., Четверикова Д. В., Бакаева М. Д. // Экобиотех. 2020. Т. 3. No 1. С. 51–58.

20. Кудоярова Г.Р., Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Ахиярова Г.Р., Dodd I.C., Веселов С.Ю. // Физиология растений. 2014. Т. 61. No 2. С. 207-213.

21. Hallmark H.T., Rashotte A.M. // Plant Science. 2019. Vol. 289, pp. 1-5.

22. Veselov S.Yu., Timergalina L.N., Akhiyarova G.R., Kudoyarova G.R., Korobova A.V., Ivanov I.I., Arkhipova T.N., Prinsen E. // Protoplasma. 2018. pp. 1581–1594.

23. Kudoyarova G., Arkhipova T., Korshunova T., Bakaeva M., Loginov O., Dodd I.C. // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol.10, pp. 1-11.

*Башкирский государственный университет  
Сотникова Ю. М., Старший преподаватель  
кафедры биохимии и биотехнологии  
E-mail: sotnikova-bashedu@mail.ru*

*Bashkir State University  
Sotnikova Y., Senior Lecturer, Department of  
Biochemistry and Biotechnology  
E-mail: sotnikova-bashedu@mail.ru*

*Федяев В. В., кандидат биологических наук, доцент  
кафедры биохимии и биотехнологии, старший науч-  
ный сотрудник лаборатории физиологии растений  
E-mail: vadim.fedyayev@gmail.com*

*Fedyayev V. V., PhD., Associate Professor of the  
Department of Biochemistry and Biotechnology,  
Senior Researcher, Plant Physiology Laboratory  
E-mail: vadim.fedyayev@gmail.com*

*Григориади А. С., кандидат биологических  
наук, доцент кафедры биохимии и биотехнологии  
E-mail: nysha111@yandex.ru*

*Grigoriadi A. S., PhD., Associate Professor of the  
Department of Biochemistry and Biotechnology  
E-mail: nysha111@yandex.ru*

*Гарипова М. И., доктор биологических наук,  
профессор кафедры биохимии и биотехнологии  
E-mail: margaritag@list.ru*

*Garipova M. I., PhD., DSci., Full Professor,  
Department of Biochemistry and Biotechnology  
E-mail: margaritag@list.ru*

*Габидуллина Г. Ф., кандидат биологических  
наук, доцент кафедры экологии и безопасности  
жизнедеятельности  
E-mail: gabidullinag@mail.ru*

*Gabidullina G. F., PhD., Associate Professor of  
the Department of Ecology and Life Safety  
E-mail: gabidullinag@mail.ru*

*Фархутдинов Р. Г., доктор биологических  
наук, профессор кафедры биохимии и биотехно-  
логии  
E-mail: frg2@mail.ru*

*Farkhutdinov R. G., PhD., DSci., Professor of the  
Department of Biochemistry and Biotechnology,  
E-mail: frg2@mail.ru*

Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН

Галин И. Р., кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии растений  
E-mail: [ilshat.rafkatovitch@gmail.com](mailto:ilshat.rafkatovitch@gmail.com)

Ufa Institute of Biology - a separate structural unit of the FSBSI Ufa Federal Research Center of the RAS

Galin I. R., PhD., Researcher, Laboratory of Plant Physiology  
E-mail: [ilshat.rafkatovitch@gmail.com](mailto:ilshat.rafkatovitch@gmail.com)

## THE ROLE OF PHYTHORMONES IN THE FORMATION OF THE RESISTANCE OF PLANTS-PHYTOREMEDIANTS UNDER SOIL OIL CONTAMINATION ON THE BACKGROUND OF THE COMPLEX APPLICATION OF BIOPREPARATIONS

Yu. M. Sotnikova<sup>1</sup>, V. V. Fedyaev<sup>1</sup>, A. S. Grigoriadi<sup>1</sup>, M. I. Garipova<sup>1</sup>, I. R. Galin<sup>2</sup>, G. F. Gabidullina<sup>1</sup>, R. G. Farkhutdinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bashkir State University

<sup>2</sup>Ufa Institute of Biology, UFIC RAS

**ABSTRACT.** The role of the hormonal system in increasing the stability and regulation of growth processes in *Secale cereale* L. and *Medicago sativa* L. plants was studied under conditions of soil oil pollution against the background of the use of the biological product "Lenoil" and the complexes "Lenoil + Elena", "Lenoil + Azolene".

When using combinations of biopreparations "Lenoil + Elena" and "Lenoil + Azolene", the studied plants showed a slight increase or decrease in growth rates, the destructor drug "Lenoil" had the greatest growth-stimulating effect.

The role of the endogenous hormonal system of plants in adaptation to the developed technology of using rye and alfalfa as phytoremediates has been established. An accumulation of stimulating phytohormones (IAA and cytokinins) was observed in the variants of treatment with the biological product Lenoil and the Lenoil + Elena complex; complex "Lenoil + Azolene".

Determination of the level of phytohormones is important for the selection of concentrations of biological products and the creation of their combinations when carrying out phytoremediation measures on soils contaminated with oil.

**Key words:** oil pollution of soil, biological products "Lenoil", "Elena", "Azolene", phytoremediation, phytohormones

### REFERENCES

1. Yavari A., Javadi M., Mirmiran P., Bahadoran Z., *Asian J of Sports Med.*, 2015, Vol. 6, No 1, pp. 1-7.
2. Adipah S., *Journal of Environmental Science and Public Health*, 2018, Vol. 2, No 4, pp. 168-178.
3. Kamath R., Rentz J.A., Schnoor J.L., Alvarez P.J.J., *Studies in Surface Science and Catalysis*, 2004, Vol. 151, pp. 447-478.
4. Kewei H., Chen X., Lu Z., *The Review of Financial Studies*, 2015, Vol. 28, No 3, pp. 650-705.
5. Agnello A.C., Bagard M., van Hullebusch E. D., Esposito G., Huguenot D. *Scientifique Total Environ*, 2016, Vol. 563–564, pp. 693–703.
6. Korshunova T.Yu., Chetverikov S.P., Valiullin E.G., Mukhamatdyarova S.R., Loginov O.N., *Ecology and Industry of Russia*, 2016, Vol. 20, No 2, pp. 25-31.
7. Kudoyarova G. R., Veselov D. S., Dodd I. C., Rothwell S. A., Yu. Veselov S., *Journal of Experimental Botany*, 2015, Vol. 66, No. 8, pp. 2133-2144.
8. Arkhipova T.N., Veselov S.Yu., Melent'ev A.I., Martynenko E.V., Kudoyarova G.R., *Biotechnology*, 2006, No. 4. pp. 50-55.
9. Bakaeva M., Kuzina E., Vysotskaya L., Kudoyarova G., Arkhipova T., Rafikova G., Chetverikov S., Korshunova T., Chetverikova D., Loginov O., *Plants*, 2020, Vol. 9, No.3, pp. 379.
10. Sotnikova Yu.M., Grigoriadi A.S., Khisamov R.R., Farkhutdinov R.G., *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 2020, No. 5 (85), pp. 79-83.
11. GOST 17.4.4.02-2017. GOST 17.4.4.02-2017. 2018.
12. Loginov O.N., Silishchev N.N., Boyko T.F., Galimzyanova N.F. *Bioremediation: microbiological technologies for the purification of oil-contaminated soils and industrial waste*. Moscow, Nauka Publ, 2009, 112 p.

Сотникова Ю. М., Федяев В. В., Григориади А. С., Гарипова М. И., Галин И. Р., Габидуллина Г. Ф., Фархутдинов Р. Г.

13. Veselov D.S., Veselov S.Yu., Vysotskaya L.B., Kudoyarova G.R., Farkhutdinov R.G. Plant hormones. Regulation of concentration and relationship with growth and water exchange. Moscow, Nauka Publ, 2007, 157 p.
14. Maksimov I.V., Veselova S.V., Nuzhnaya T.V., Sarvarova E.R., Russian Journal of Plant Physiology, 2015, Vol. 62, No. 6, pp. 715-726.
15. Korshunova T.Yu., Bakaeva M. D., Loginov O.N., Ecology and Industry of Russia, 2018, No. 9, pp. 18–22.
16. Vysotskaya L.B., Arkhipova T.N., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Akhtyamova Z.A., Ivanov R.S., Timergalina L.N., Kudoyarova G.R., Biomics, 2019, No. 1, pp. 86–100.
17. Trekozova A.V., Akhiyarova G.R., Vysotskaya L.B., Veselov S.Yu., Kudoyarova G.R., Agrochemistry, 2015, No. 8, pp. 32–38.
18. Arkhipova T.N., Vysotskaya L.B., Martynenko E.V., Ivanov I.I., Kudoyarova G.R., Plant Physiology, 2015, Vol. 62, No. 4, pp. 560.
19. Vysotskaya L.B., Akhtyamova Z.A., Arkhipova T.N., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Feoktistova A.V., Timergalina L.N., Chetverikova D.V., Bakaeva M.D., Ecobiotech, 2020, Vol. 3, No. 1, pp. 51–58.
20. Kudoyarova G.R., Veselov D.S., Sharipova G.V., Akhiyarova G.R., Dodd I.C., Veselov S.Yu., Plant Physiology, 2014, Vol. 61, No. 2, pp. 207-213.
21. Hallmark H.T., Rashotte A.M., Plant Science, 2019, Vol. 289, pp. 1-5.
22. Veselov S. Yu., Timergalina L.N., Akhiyarova G.R., Kudoyarova G.R., Korobova A.V., Ivanov I.I., Arkhipova T.N., Prinsen E., Protoplasma, 2018, pp. 1581-1594.
23. Kudoyarova G., Arkhipova T., Korshunova T., Bakaeva M., Loginov O., Dodd I.C., Frontiers in Plant Science, 2019, Vol. 10, pp. 1-11.