

## ВЛИЯНИЕ АТРАНОВ НА РОСТ *RHODOCOCCLUS QINGSHENGII* VKM Ас-2784D В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА И НА ЕГО СПОСОБНОСТЬ К РАЗЛОЖЕНИЮ НАФТАЛИНА

© 2023 г. Л. А. Беловежец<sup>а</sup>, \*, Ю. А. Маркова<sup>б</sup>, А. А. Левчук<sup>а</sup>, Е. Н. Оборина<sup>а</sup>, С. Н. Адамович<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, 664033 Россия

<sup>б</sup>Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, 664033 Россия

\*e-mail: lyu-sya@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.05.2022 г.

После доработки 27.05.2022 г.

Принята к публикации 06.06.2022 г.

*Rhodococcus qingshengii* VKM Ас-2784D, выделенный из ризосферы пырея, является перспективным нефтеструктуром. Для увеличения его биотехнологического потенциала было изучено влияние атранов (потенциальных стимуляторов роста) на рост и деструкцию нафталина данным микроорганизмом. Показано, что сила и характер влияния исследуемых атранов на все изучаемые параметры функционирования *R. qingshengii* VKM Ас-2784D зависят от природы источника углерода: внесение атранов в богатую питательную среду БТН практически не влияло на скорость роста бактерий; в минеральной среде 8E и в среде 8E с глюкозой происходила кратковременная активация роста, характеризующаяся сокращением лаг-фазы; в присутствии нафталина данные соединения действовали на прирост популяции *R. qingshengii* VKM Ас-2784D преимущественно негативно. Исследованные атраны оказывали неблагоприятное воздействие на скорость разложения нафталина *R. qingshengii* VKM Ас-2784D, а также снижали гидрофобность клеточной стенки и синтез внеклеточных биосурфактантов. Предполагается, что исследованные соединения будут негативно влиять на скорость разложения нефти данным микроорганизмом.

**Ключевые слова:** *Rhodococcus qingshengii* VKM Ас-2784D, атраны, разложение нафталина, гидрофобность клеточной стенки

DOI: 10.31857/S0026365622600390, EDN: NNLXFM

Род *Rhodococcus* объединяет преимущественно непатогенные микроорганизмы (Ившина и соавт., 2021), широко распространенные во внешней среде. В большинстве своем это почвенные микроорганизмы, но отдельные представители высеваются из шламовых вод и очистных сооружений промышленных предприятий (Krivoruchko et al., 2019; Ившина и соавт., 2021). Это связано со способностью родококков метаболизировать большой спектр соединений, включая поллютанты. Известно разложение родококком таких соединений, как диклофенак, бетулин, дротаверин (Шаханов и соавт., 2019; Ившина и соавт., 2021). Все это обуславливает использование родококков в биотехнологических процессах, одним из которых является нефтеструкция. Родококки входят в состав некоторых микробиологических препаратов для очистки почв от нефти и ее компонентов (Рогозина и соавт., 2010, Ерофеевская, Чернявский, 2016). Недостатком таких препаратов является относительно медленный рост и набор биомассы родококками. Поэтому для введения

этих микроорганизмов в производство перспективно применять вещества, стимулирующие их рост.

Ранее в ИРИХ СО РАН были синтезированы вещества атрановой природы, у которых обнаружен стимулирующий эффект для ряда микроорганизмов (Adamovich, 2019). Атраны, как класс соединений, был открыт в Институте химии им. А.Е. Фаворского СО РАН. Несмотря на очевидный биологический потенциал данного класса соединений, наиболее широко изучены кремний-содержащие атраны (силатраны) (Воронков, Барышок, 2005, Леменовский и соавт., 2008).

Поэтому представляло интерес исследовать влияние атранов на рост культуры *R. qingshengii* VKM Ас-2784D и способность этих бактерий к деструкции компонентов нефти на примере нафталина.

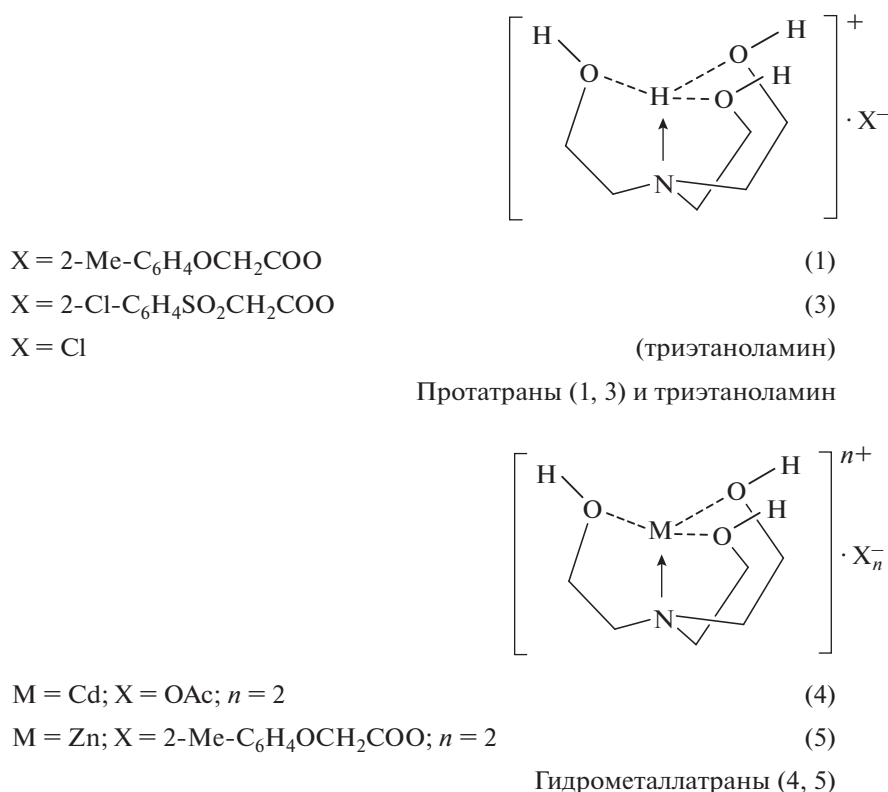


Рис. 1. Используемые в работе протатраны (1–3), гидрометаллатраны (4, 5) и триэтаноламин.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D (Petrushin et al., 2021) (ранее *R. erythropolis* VKM Ac-2784D) выделен из ризосферы пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), произрастающего на нефтезагрязненной территории Заларинского района Иркутской области (Третьякова и соавт., 2015). Штамм входит в состав запатентованных препаратов для биоремедиации почв от нефти и защиты растений, произрастающих в неблагоприятных условиях (Беловежец и соавт., 2019).

Для исследования были выбраны протатраны (соединения 1 и 3) и гидрометаллатраны (соединения 4 и 5) (рис. 1). В качестве контроля был выбран триэтаноламин (ТЭА), являющийся исходным соединением для их синтеза. Исследуемые вещества представляют собой бесцветные нетоксичные ( $\text{LD}_{50} = 1300\text{--}6000$  мг/кг) низкоплавкие порошки, устойчивые при хранении, хорошо растворимые в воде, спирте и в других органических растворителях. Их состав и строение полностью подтверждены методами элементного анализа, ИК-,  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии и рентгеновской дифрактометрии (Adamovich, 2019). Чистота исследуемых соединений составляла до 99.87%.

Определение минимальной ингибирующей концентрации (МИК) атранов для штамма

*R. qingshengii* VKM Ac-2784D проводили стандартным диск-диффузионным методом (Решедько, Стецюк, 2001) на ГРМ-агаре (Оболенск, Россия).

Для изучения влияния атранов на рост штамма *R. qingshengii* VKM Ac-2784D и биodeградацию нафталина проводили культивирование в колбах и планшетах на качалке в течение 7 сут. Для инокуляции использовали смывы средой 8Е двухсуточной агаровой культуры. Для культивирования использовали максимально сбалансированную по углероду и азоту богатую питательную среду БТН-бульон (ООО “Биотехновация”, Россия) и минеральную питательную среду 8Е следующего состава (г/л):  $\text{NH}_4\text{NO}_3 - 1.0$ ;  $\text{MgCl}_2 - 0.1$ ;  $\text{KH}_2\text{PO}_4 - 3.0$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 7.0$ ;  $\text{CaCO}_3 - 1.0$ ; pH 7.0. В качестве источника углерода в среду 8Е вносили 0.5% глюкозы или нафталина (“СКМ”, Россия).

Показатель гидрофобности бактериальных клеток определяли по методу, описанному в работе (Серебрякова и соавт., 2002). Суспензию клеток микроорганизма, выращенную в питательной среде 8Е с добавлением глюкозы или гексадекана (в концентрации 0.5%) в виде единственного источника углерода, встряхивали с гексаном (в соотношении 1 : 1), затем определяли ОП ( $\lambda = 530$  нм) водной фазы. Контролем служила стерильная питательная среда. Количество

внеклеточных биосурфактантов определяли гра-  
виметрически.

Процент разложения нафталина определяли, рассчитывая площадь пика с помощью ВЭЖХ (система Agilent 1260 Infinity II с диодно-матричным детектором) при двух длинах волн – 280 и 272 нм. Чистота нафталина (“СКМ”, Россия) подтверждена хроматографически.

Градиент элюента отражен в табл. 1. Скорость потока 1 мл/мин, колонка Kromasil 100-5-C18 4.6 × 150 мм, температура термостата колонки 30°C, объем ввода 10 мкл. В результате проведенных параллельных анализов были построены кривые и определены уравнения прямой линии тренда. Угловой коэффициент этого уравнения является характеристикой эффективности атрана.

Эффективность биodeградации нафталина выражали в процентах, рассчитывая по формуле:

$$\text{ЭБ}(\%) = (\text{Sk} - \text{Ss}) / \text{Sk} \times 100,$$

где Sk – площадь пика нафталина контрольного образца, Ss – площадь пика нафталина образца с добавкой атрана.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что некоторые атраны являются запатентованными стимуляторами роста микроорганизмов (Mirskova et al., 2016), мы сочли необходимым определить их минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) для *R. qingshengii* VKM Ас-2784D. Показано, что МИК варьировала от  $6 \times 10^{-4}$  до  $2.5 \times 10^{-3}$  г/л в зависимости от конкретного соединения. Поэтому для дальнейших исследований были взяты концентрации выше и ниже МИК ( $10^{-3}$ – $10^{-6}$  г/л).

На БТН-среде без внесения атранов фаза экспоненциального роста начиналась на 2 сут культивирования, а переход в стационарную фазу – после 4 сут (рис. 2). Рост на питательной среде с глюкозой характеризуется длительной (до 3 сут) лаг-фазой и небольшим приростом биомассы. Безуглеродная среда закономерно не дает возможности роста микроорганизма, давая отрицательную динамику численности до 4 сут культивирования, а прирост биомассы в данной среде минимальный. Интересно, что в присутствии нафталина в качестве единственного источника углерода практически отсутствует лаг-фаза, а фаза экспоненциального роста наступает уже на первые сутки культивирования. В то же время фаза стационарного роста быстро сменяется фазой снижения биомассы. Вероятно, это связано с быстрым исчерпанием источника углерода и переходом культуры в зону автолизиса.

Внесение атранов в полную питательную среду (БТН-бульон) практически не оказало воздействия на прирост *R. qingshengii* VKM Ас-2784D. В

Таблица 1. Градиент элюента

Время, мин	2% уксусная кислота, %	Ацетонитрил, %
0–2	45	55
2–3	45	55
3–5.5	40	60
5.5–7	40	60
7–8	45	55

1-е сут культивирования наблюдалась активация роста под действием атрана 3 в концентрации  $10^{-5}$  и  $10^{-6}$  г/л, атрана 4 в концентрации  $10^{-5}$  г/л и атрана 5 в концентрации  $10^{-6}$  г/л. На рис. 3 представлены данные по влиянию атрана 3 как наиболее активного среди исследуемых соединений (рис. 3а). Таким образом, низкие концентрации атранов 3, 4 и 5 способны привести к сокращению лаг-фазы, однако в последующие сутки культивирования значимых отличий от контроля нами не зафиксировано. Следовательно, при избытке питательных веществ, атраны практически не влияют на скорость роста *R. qingshengii* VKM Ас-2784D.

В среде 8E все атраны показали сходное действие (рис. 3б). В 1-е сут атраны, вероятно, оказывали протективное действие, снижая степень отмирания клеток, о чем говорит менее резкое изменение оптической плотности. В течение эксперимента этот эффект нивелировался, и к концу культиви-

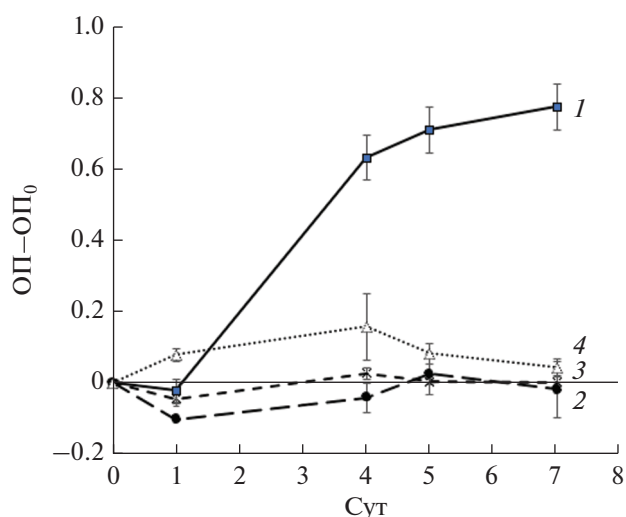
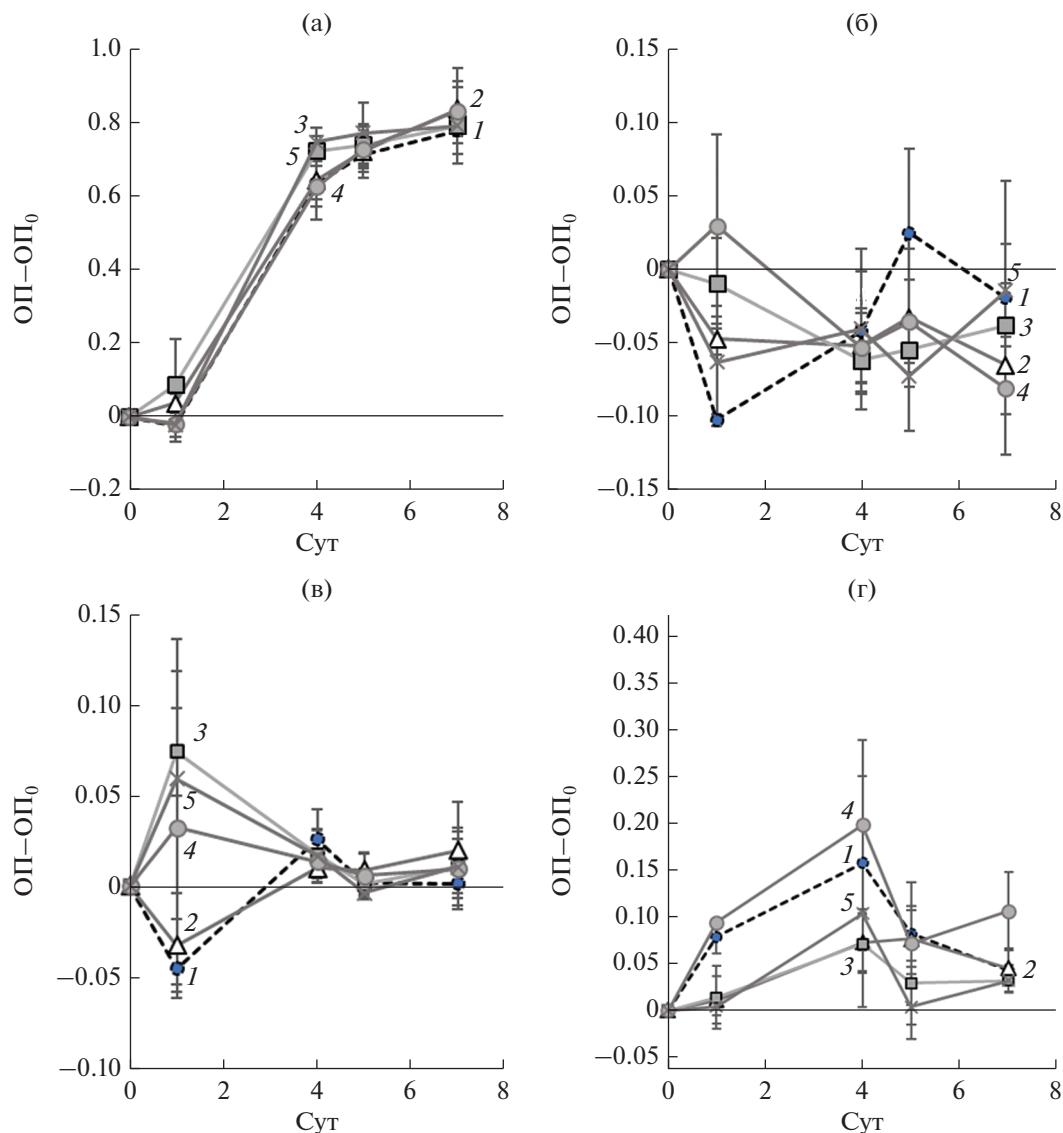


Рис. 2. Динамика роста *R. qingshengii* VKM Ас-2784D в зависимости от среды культивирования: (1) БТН; (2) 8E; (3) 8E с глюкозой; (4) 8E с нафталином.



**Рис. 3.** Влияние атранов (на примере протатрана 3) на рост *R. qingshengii* VKM Ac-2784D в зависимости от среды культивирования: а – БТН; б – 8Е; в – 8Е с глюкозой; г – 8Е с нафталином. Обозначения: (1) контроль; (2) концентрация  $10^{-6}$  г/л; (3) концентрация  $10^{-5}$  г/л; (4) концентрация  $10^{-4}$  г/л; (5) концентрация  $10^{-3}$  г/л.

рования рост клеток был значительно ниже контрольных значений. Исключением был атран 1 в концентрации  $10^{-5}$  г/л, оказавший резко негативное влияние на популяцию бактерий. Действие атрана 3 в отсутствии углерода заключается в сокращении лаг-фазы, однако к 4 сут влияние исчезает, а в дальнейшем идет угнетение роста культуры. Причем нет четко выраженной фазы экспоненциального роста. Действие атрана 5 в безуглеродной среде заключается в сокращении лаг-фазы (максимально эффективна концентрация  $10^{-5}$  г/л) и торможении дальнейшего роста культуры. Триэтаноламин, как и атраны, в 1-е сут не активировал рост бактерий. Таким образом, в данной среде происходило сокращение лаг-фазы, однако из-за

отсутствия питательных веществ в среде данный эффект не сохранялся, и отмирание клеток в конце эксперимента превосходило данный показатель в контроле.

Влияние атранов в среде 8Е с глюкозой похоже на их влияние в голодной среде. В начале культивирования наблюдается скачок роста, связанный, вероятно, с сокращением лаг-фазы, а в конце культивирования для большинства атранов отличия от контроля были незначительны (рис. 3в). Некоторые исключения не влияют на общую тенденцию.

Совершенно другая картина наблюдалась при культивировании бактерий в среде 8Е, где в качестве единственного источника углерода исполь-

**Таблица 2.** Количество сурфактантов, продуцируемых *R. qingshengii* VKM Ac-2784D, и гидрофобность его клеточной стенки

Параметр	Варианты опыта						
	контроль	протатраны		гидрометаллатраны		триэтаноламин	
		1	3	4	5		
Внеклеточные сурфактанты, г/л	0.418	0.286	0.185	0.29	0.267	0.281	
Гидрофобность клеточной стенки, %	Гексадекан	55.1	33.1	57.6	9.3	9.0	28.1
	Глюкоза	45.6	4.5	0.95	20.5	20.2	13.2

**Таблица 3.** Эффективность биодеградации нафталина штаммом *R. qingshengii* VKM Ac-2784D через 7 сут культивирования в присутствии атранов (%)

Концентрация атранов	Протатран		Гидрометаллатраны		Триэтаноламин
	1	3	4	5	
10 <sup>-3</sup>	-166	-182	-132	-113	-98
10 <sup>-4</sup>	-172	-171	-141	-68	-188
10 <sup>-5</sup>	-177	-98	-112	-30	-183
10 <sup>-6</sup>	-185	6	10	9	-110

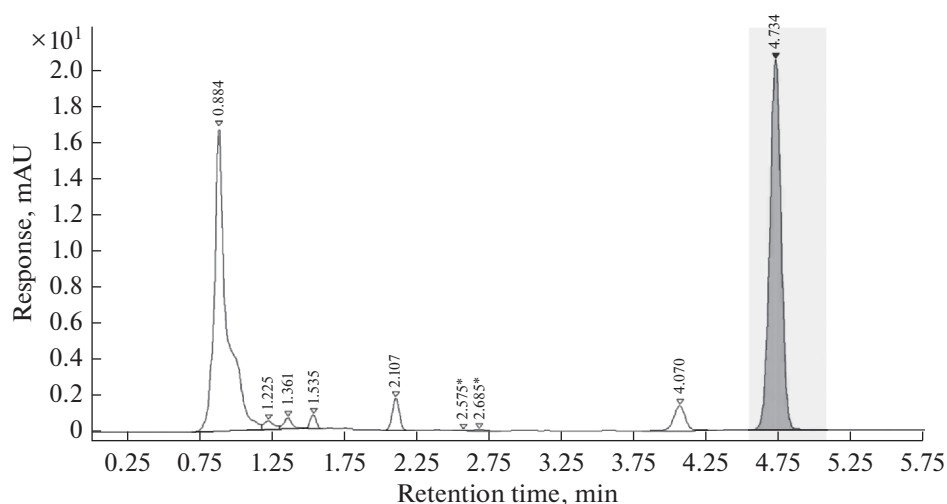
зовался нафталин (рис. 3г). В данных условиях атраны не активировали рост бактерий в лаг-фазу; напротив, мы либо не наблюдали значимых отличий от контроля, либо прирост популяции *R. qingshengii* VKM Ac-2784D существенно снижался. На 4 и 7 сут культивирования было отмечено незначительное превышение прироста в варианте, обработанном атраном 3 в концентрации 10<sup>-4</sup> г/л. Таким образом, в присутствии нафталина характер действия атранов значительно отличается от наблюдаемого в средах 8E и 8E с глюкозой; данные соединения действуют на прирост популяции *R. qingshengii* VKM Ac-2784D преимущественно негативно.

Для того чтобы микроорганизм мог успешно осуществлять разложение неполярных компонентов нефти, необходима выработка биологических поверхностно-активных веществ (биосурфактантов). Родококки способны синтезировать клеточно-связанные и внеклеточные сурфактанты, что позволяет им реализовать две стратегии разложения предельных углеводородов (Куюкина, 2006). Увеличение гидрофобности клеточной стенки, обусловленное присутствием клеточно-связанных сурфактантов, способствует адгезии клеток на поверхности нефтяных капель, а синтез внеклеточных биосурфактантов – их эмульгированию.

Установлено, что атраны в концентрации 10<sup>-4</sup> г/л существенно снижают гидрофобность клеточной стенки у бактерий, культивируемых в вышеуказанных средах (табл. 2). Это касается и синтеза внеклеточных биосурфактантов. Их количество в присутствии атранов в среднем вдвое меньше, чем в контроле. Исключение составляет атран 3 в среде с гексадеканом, в присутствии которого гидрофобность клеточной стенки была немного выше, чем в контроле.

Так как исследуемый штамм родококка является эффективным нефтедеструктором, было необходимо оценить влияние атранов на скорость разложения углеводородов. Наиболее простой, удобный и информативный способ оценки – это использование модельных соединений ароматической составляющей нефти, в частности, нафталина (Василенко и соавт., 2008; Тимергазина, Переходова, 2012).

Установлено, что все исследуемые атраны, включая триэтаноламин, оказывали неблагоприятное воздействие на скорость разложения нафталина. Исключение составляют атраны 3, 4 и 5 в концентрации 10<sup>-6</sup> г/л, эффективность биодеградации (ЭБ) нафталина в присутствии которых равнялась 6, 10 и 9% соответственно. В остальных случаях разложение нафталина полностью ингибировалось (табл. 3).



**Рис. 4.** Хроматограмма культурального фильтрата *R. qingshengii* VKM Ac-2784D в контрольном образце в присутствии бактерий на 3 сут.

В результате ВЭЖХ исследования обнаружено 7 пиков, предположительно относящихся к интермедиатам деструкции нафталина (рис. 4). Эти пики не соответствовали известным продуктам распада нафталина, таким как пирокатехин, салициловая, гентизиновая и протокатеховая кислоты. Для оценки действия атранов мы провели сравнение в динамике площади хроматографических пиков.

Пик с временем выхода 1.598 мин отсутствует в контрольной пробе и проявляется только в образцах с атранами 1 и 5. Дополнительные исследования показали, что данный пик относится к продукту диссоциации исходных атранов, а именно к аниону *o*-крезола.

Следующий пик с временем выхода 1.543 мин обнаружен практически на всех хроматограммах (рис. 5а). В контроле данный интермедиат накапливается на 3–5 и 7 сут культивирования, тогда как в присутствии атранов, особенно в низких их концентрациях, он образуется в существенно

меньших количествах. Исключение составляет атран 4, в присутствии которого на 7-е сут культивирования наблюдается увеличение концентрации данного интермедиата, превышающее контроль.

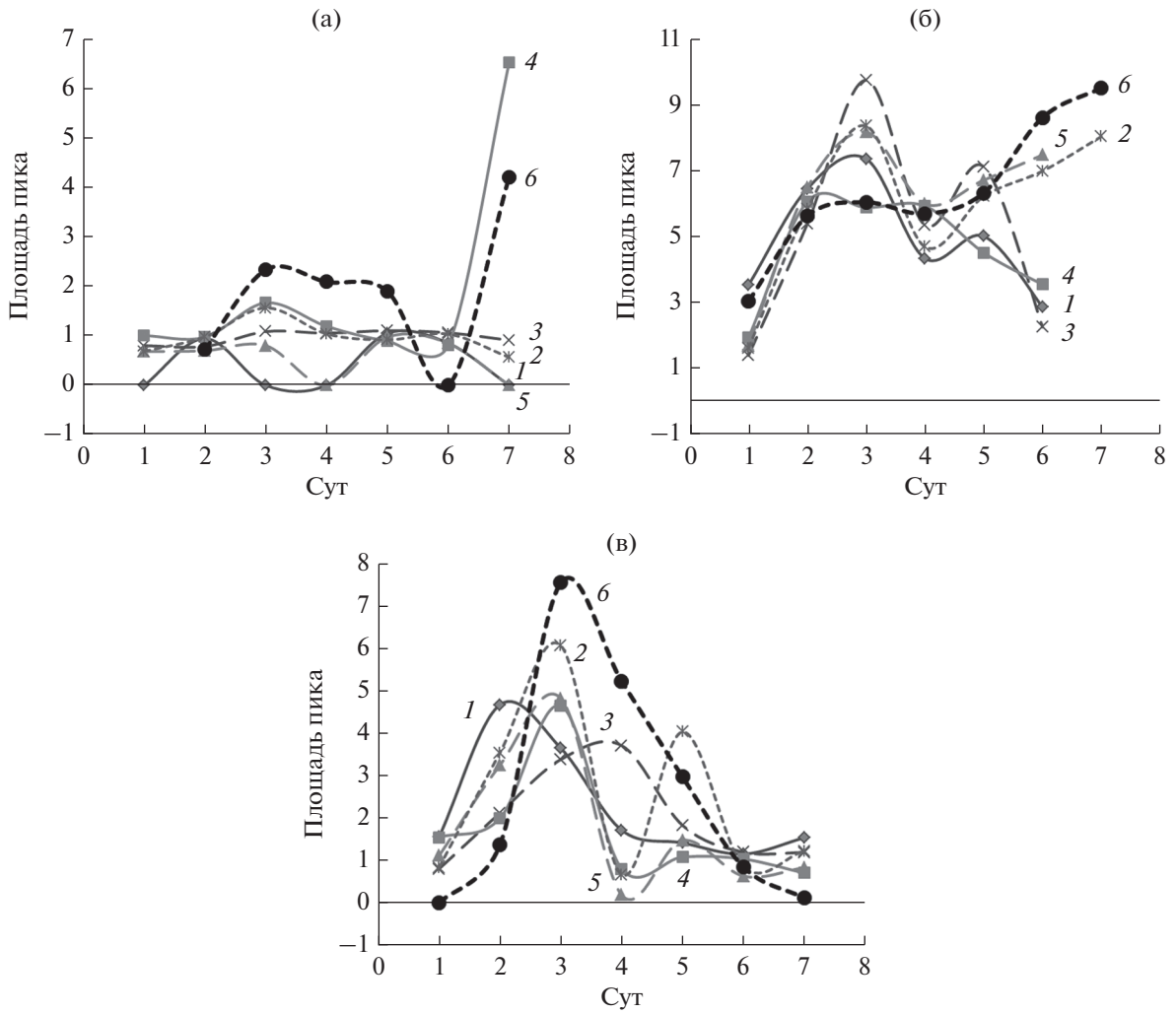
Еще один пик, который присутствует на всех хроматограммах, – соединение со временем выхода 2.102 мин. Динамика накопления данного вещества совпадает для стерильного образца и в присутствии бактерий (рис. 5б). Добавка атранов оказывает незначительное влияние на процесс. Следует отметить, что на 7-е сут, по данным УФ спектрального анализа, происходит изменение вещества на другое во всех концентрациях и практически у всех атранов (табл. 4, рис. 6).

Пик со временем выхода 4.068 мин также наблюдается на всех хроматограммах (рис. 5в). Во всех концентрациях содержание вещества в пробах с атранами ниже по сравнению с контролем. Только у атрана 4 в концентрации  $10^{-6}$  г/л профиль кривой совпадает с контролем. В присутствии атранов динамика площади пиков ближе к наблюдаемой для абиотического разложения нафталина, что свидетельствует о блокировании процесса деструкции данного модельного соединения. Площадь остальных пиков незначительна, поэтому сложно отличима от шума.

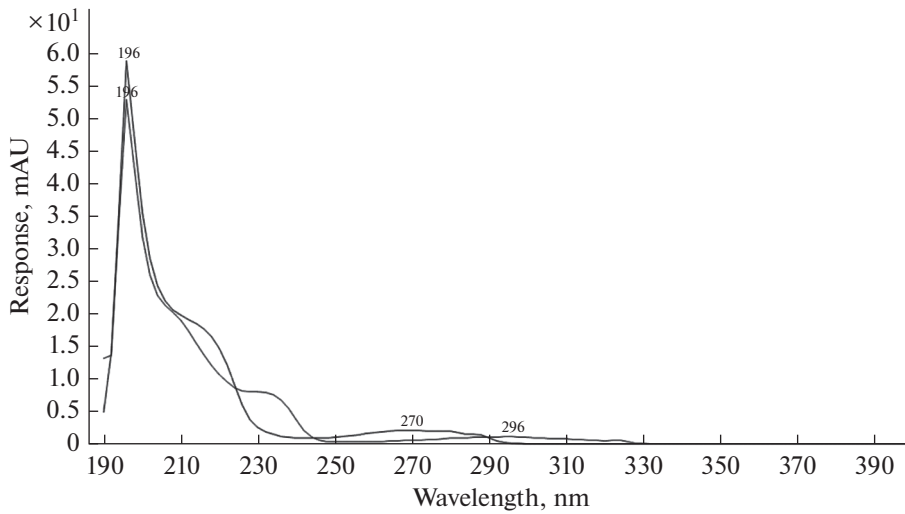
Таким образом, показано, что характер влияния исследуемых атранов на все изучаемые параметры функционирования *R. qingshengii* VKM Ac-2784D зависят от природы источника углерода. Внесение атранов в богатую питательную среду БТН практически не влияло на скорость роста бактерий. В минеральной среде 8Е с добавлением глюкозы и без нее происходила кратковременная активация роста микроорганизма, характеризующаяся сокращением лаг-фазы. В присутствии

**Таблица 4.** Образцы атранов, в которых происходит смена вещества на 7 сут

Соединение	Концентрация, г/л			
	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$
Протатран 1	+	–	+	–
Протатран 3	–	+	+	+
Гидрометаллатран 4	–	+	+	+
Гидрометаллатран 5	+	+	+	+
Триэтаноламин	+	–	–	+



**Рис. 5.** Площади пиков веществ со временем выхода: а – 1.543 мин; б – 2.102 мин; в – 4.068 мин. По данным ВЭЖХ (концентрация атранов  $10^{-4}$  г/л). Обозначения: (1) протатран 1; (2) триэтаноламин; (3) протатран 3; (4) гидрометаллатран 4; (5) гидрометаллатран 5; (6) контроль.



**Рис. 6.** УФ-спектр веществ со временем выхода 2.102 и 2.17 мин.



нафталина данные соединения действовали на прирост популяции *R. qingshengii* VKM Ac-2784D преимущественно негативно. Интересно, что большинство показателей роста и развития микроорганизма было схожим, как для исследованных атранов, так и для триэтанолamina. Это позволяет сделать предположение, что основной эффект атранов связан именно с наличием триэтанолamina в молекуле данных соединений.

Показано, что все исследуемые атраны оказывали неблагоприятное воздействие на скорость разложения нафталина *R. qingshengii* VKM Ac-2784D, а также снижали гидрофобность клеточной стенки и синтез внеклеточных биосурфактантов. Следовательно, исследуемые соединения будут негативно влиять на скорость разложения нефти данным микроорганизмом.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа поддержана грантами РФФИ № 20-016-00114 А и 20-43-380001.

### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит результатов исследований с использованием животных в качестве объектов.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беловежец Л.А., Третьякова М.С., Маркова Ю.А. Микробный препарат для биоремедиации почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами. Патент РФ № 2705290. 2019.

Беловежец Л.А., Третьякова М.С., Маркова Ю.А. Микробный препарат для защиты растений, произрастающих на нефтезагрязненных почвах. Патент РФ № 2744094. 2021.

Василенко С.Л., Кохановская Е.Ю., Перова В.А., Титок М.А. Характеристика природных деструкторов нафталина // Материалы III Межд. науч. конф. "Ксенобиотики и живые системы". Минск, 22–24 октября 2008 г. С. 21–23.

Воронков М.Г., Барышок В.П. Силатраны в медицине и сельском хозяйстве. Новосибирск: СО РАН, 2005. 255 с.

Ерофеевская Л.А., Чернявский В.Ф. Потенциал использования *Rhodococcus* для активации процессов очищения почв от нефтезагрязнений // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 9–10. С. 3–6.

Ившина И.Б., Куюкина М.С., Каменских Т.Н., Криворучко А.В., Тюмина Е.А., Елькин А.А. Углевородакисляющие родококки: особенности биологической организации под воздействием экполлютантов: атлас-монография / Под ред. Ившиной И.Б. Екатеринбург: УрО РАН, 2021. 140 с.

Куюкина М.С. Биосурфактанты актинобактерий рода *Rhodococcus*: индуцированный биосинтез, свойства, применение. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. Пермь, 2006. 45 с.

Леменовский Д.А., Зайцева Г.С., Карлов С.С. Атраны – молекулярные бутаны // Природа. 2008. № 3. С. 28–34.

Решедько Г.К., Стецюк О.У. Особенности определения чувствительности микроорганизмов диско-диффузионным методом // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2001. Т. 3. С. 348–354.

Рогозина Е.А., Андреева О.А., Жаркова С.И., Мартынова Д.А., Орлова Н.А. Сравнительная характеристика отечественных биопрепаратов, предлагаемых для очистки почв и грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. № 3. С. 1–18.

Серебрякова Е.В., Дармов И.В., Медведев Н.П., Алексеев С.А., Рыбак С.И. Оценка гидрофобных свойств бактериальных клеток по адсорбции на поверхности капель хлороформа // Микробиология. 2002. Т. 70. С. 237–239.

Тимергазина И.Ф., Переходова Л.С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов углеводородо-кисляющими микроорганизмами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 1. С. 1–28.

Третьякова М.С., Беловежец Л.А., Маркова Ю.А. Скрининг бактерий, ассоциированных с растениями, по способности деструктурировать компоненты нефти // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 4(28). С. 138–142.

Шаханов А.В., Досаев А.А., Скичко А.С. Математическое моделирование процесса биоразложения дротаверина гидрохлорида клетками родококков // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 11(221). С. 101–104.

Adamovich S.N. New atranes and similar ionic complexes. Synthesis, structure, properties // Appl. Organomet. Chem. 2019. V. 33. Art. e4940.

Krivoruchko A., Kuyukina M., Ivshina I. Advanced rhodococcus biocatalysts for environmental biotechnologies // Catalysts. 2019. V. 9. Art. 236.

Mirskova A.N., Adamovich S.N., Mirskov R.G. Protatranes as effective biostimulators for agriculture, biotechnology, and microbiology // Chem. Sustain. Develop. 2016. V. 24. P. 713–729.

Petrushin I.S., Markova Y.A., Karepova M.S., Zaytsev Y.V., Belovezhets L.A. Complete genome sequence of *Rhodococcus qingshengii* strain VKM Ac-2784D, isolated from *Elytrigia repens* rhizosphere // Microbiol. Resour. Announc. 2021. V. 10. Art. e00107-21.



## The Effect of Atranes on the Growth of *Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D in the Presence of Various Carbon Sources and on Its Ability to Degrade Naphthalene

L. A. Belovezhets<sup>1</sup>, \*, Ю. А. Markova<sup>2</sup>, А. А. Levchuk<sup>1</sup>, Е. N. Oborina<sup>1</sup>, and S. N. Adamovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia

<sup>2</sup>Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia

\*e-mail: lyu-sya@yandex.ru

Received May 12, 2022; revised May 27, 2022; accepted June 6, 2022

**Abstract**—*Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D isolated from the rhizosphere of *Elytrigia repens*, is a promising oil degrader. To increase its biotechnological potential, the effect of atranes (potential growth stimulants) on its growth and naphthalene degradation was studied. The effect of the studied atranes on *R. qingshengii* VKM Ac-2784D was shown to depend on the nature of the carbon source: addition of atranes had practically no effect on the growth rate of bacteria in the rich BTN medium; in the media 8E and 8E with glucose, it caused short-term activation of growth, characterized by a shorter lag phase. In the presence of naphthalene, atranes had a predominantly negative effect on the growth of *R. qingshengii* VKM Ac-2784D. The studied atranes had a negative effect on the rate of naphthalene decomposition by *R. qingshengii* VKM Ac-2784D, and also decreased the cell wall hydrophobicity and the synthesis of extracellular biosurfactants. It may therefore be assumed that the studied compounds will have a negative effect on the rate of naphthalene decomposition by this microorganism.

**Keywords:** *Rhodococcus qingshengii* VKM Ac-2784D, atranes, naphthalene decomposition, cell wall hydrophobicity