



УДК 577.114.083

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛИКОПОЛИМЕРОВ ПОВЕРХНОСТИ ГАЛОФИЛЬНЫХ ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ *CHROMOHALOBACTER SALEXIGENS* EG1QL3 И *HALOMONAS VENTOSAE* RU5S2EL

И. М. Ибрахим, Д. А. Рыбальченко, Е. Н. Сигида,
Ю. П. Федоненко, С. А. Коннова



Ибрахим Мохаммед Ибрахим, аспирант кафедры биохимии и биофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ibrahim.egypt2016@yandex.ru

Рыбальченко Дарья Александровна, студент кафедры биохимии и биофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, arashis@mail.ru

Сигида Елена Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биохимии, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, si_elena@mail.ru

Федоненко Юлия Петровна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биохимии, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, доцент, fedonenko_yu@ibppm.ru

Коннова Светлана Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биохимии и биофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского; ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, konnovasa@yandex.ru

Экстраклеточные и мембранные полисахариды галофильных бактерий вызывают интерес исследователей как перспективные биополимеры, активно участвующие в адаптации и обеспечении нормальной физиологии микроорганизмов в засоленных средах, сопутствующих многим биотехнологическим процессам. Целью настоящей работы являлось выделение, фракционирование и характеристика состава гликополимеров поверхности галофильных грамотрицательных бактерий, выделенных из образцов соли озер Карун (Египет) и Эльтон (Россия) – штаммов *Chromohalobacter salexigens* EG1QL3 и *Halomonas ventosae* RU5S2EL соответственно. Бактерии культивировали в жидкой среде S-G. Экзополисахариды (ЭПС) осаждали из культуральной жидкости этанолом и фракционировали гель-проникающей хроматографией. Липополисахариды (ЛПС) экстрагировали 45% горячим водным раствором фенола из сухой биомассы. Определяли биополимерный состав ЛПС, соотношение жирных кислот липидов А и моносахаридный состав ЭПС и ЛПС. Установлено, что исследуемые культуры *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL продуцируют ЭПС с выходом 11.5 и 3 г/л соответственно. ЭПС *H. ventosae* RU5S2EL представляет собой смесь гетерополисахаридов различного состава из рамнозы, маннозы и

глюкозы, в то время как ЭПС *C. salexigens* EG1QL3 является фруктаном, гетерогенным по молекулярной массе. Анализ SDS ПААГ показал, что в ЛПС *H. ventosae* RU5S2EL преобладали S-формы молекул, а штамм *C. salexigens* EG1QL3 продуцировал R-формы ЛПС. Газожидкостная хроматография (ГЖХ) ацетилированных 2-(S)-октилгликозидов позволила обнаружить в углеводной части ЛПС обоих штаммов наличие D-глюкозы и L-рамнозы в разных соотношениях. 3-Гидроксидодекановая, гексадекановая и октадекановая кислоты были идентифицированы в качестве основных компонентов гидрофобной части ЛПС обоих штаммов. Показана перспективность штамма *H. ventosae* RU5S2EL для проведения дальнейших исследований структуры ОПС.

Ключевые слова: галофильные и галотолерантные микроорганизмы, экзополисахарид, липополисахарид.

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-312-317

Природные и искусственные гиперсоленые среды с концентрацией солей, дважды превышающей таковую для морской воды (такие как соленые озера и испарительные пруды), встречаются на всех континентах. Для них характерно большое разнообразие аборигенной микрофлоры, адаптированной к жизни при высоких концентрациях солей, в составе которой встречаются представители архей, бактерий и эукариот [1]. Прогресс в методологии молекулярно-генетических исследований и биоинформатики существенно расширил понимание особенностей микробного метаболизма в экстремально засоленных условиях. Для ряда галофильных микроорганизмов была показана способность разлагать углеводороды и другие токсичные химические вещества, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных агентов биоремедиации различных сред от комплексных загрязнений [2, 3]. Помимо экологического аспекта использования экстремофилов эти микроорганизмы востребованы в биотехнологии. Например, галофильные гамма-протеобактерии семейства Halomonadaceae (включая представителей родов *Aidingimonas*, *Carnimonas*, *Chromohalobacter*, *Cobetia*, *Halomonas*, *Halotalea*, *Kushneria*, *Modicisalibacter*, *Salinicola* и *Zymbacter*) являются продуцентами солеустойчивых ферментов (амилаз, протеаз и нуклеаз), биосурфактантов и



внеклеточных полисахаридов, используемых в различных биотехнологических процессах [4–6]. Полисахариды бактериальной поверхности обладают большим потенциалом для использования в процессах извлечения нефти, фармацевтической и пищевой промышленности. Некоторые из них, связываясь с токсичными соединениями, такими как фенол, фосфорорганические соединения и другие, образующиеся при производстве либо использовании пестицидов и гербицидов, способствуют их дальнейшему разложению и, следовательно, очистке от них окружающей среды [4–6]. При этом гликополимеры могут обладать выраженной биологической активностью в отношении теплокровных животных. В связи с этим характеристика структурных особенностей гликополимеров является актуальной задачей.

Целью настоящего исследования являлось выделение, фракционирование и характеристика химического состава ЭПС и ЛПС внешних мембран двух штаммов – представителей семейства Halomonadaceae – *Chromohalobacter salexigens* EG1QL3 и *Halomonas ventosae* RU5S2EL, выделенных из образцов соли озер Карун (мухафаза Эль-Файюм, Египет) и Эльтон (Волгоградская область, Россия).

Материалы и методы

Объектами исследования являлись два штамма граммотрицательных галофильных бактерий *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL. Исследуемые штаммы микроорганизмов были идентифицированы нами ранее и отнесены к пограничным экстремальным галофилам (выдерживающим концентрации хлорида натрия до 15%) и слабым галофилам (до 5%) соответственно. Бактерии культивировали в модифицированной жидкой среде S-G (500 мл) с добавлением 10% NaCl в среду для *C. salexigens* EG1QL3 и 5% NaCl для *H. ventosae* RU5S2EL в литровых колбах Эрленмейера в течение 7 суток при 37°C в условиях постоянного перемешивания. Выбор концентраций соли был осуществлен на основе оптимизации условий выращивания бактерий и продукции ЭПС. Бактериальные клетки осаждали центрифугированием (3500×g, 40 мин). Клетки дважды ресуспендировали 0.15 М раствором NaCl и переосаждали центрифугированием, после чего пятикратно обрабатывали ацетоном, высушивали на воздухе и мелко диспергировали. Из ацетонового порошка клеток (~4 г) выделяли ЛПС модифицированным водно-фенольным методом Вестфала без разделения фаз [7]. Культуральную жидкость концентрировали

на роторном вакуумном испарителе Laborota 4000 («Heidolph», Германия) при 40°C до объема ~100 мл, диализовали против дистиллированной воды 48 ч (диализный мешок OrDial D14, размер пор 12–14 кДа) и вновь концентрировали. ЭПС осаждали трехкратным объемом этилового спирта (–18°C, 16 ч). После центрифугирования (3500×g, 30 мин) осадок ЭПС перерастворяли в воде и вновь осаждали спиртом. Препараты ЭПС и ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL лиофилизировали. Фракционирование ЭПС осуществляли методом гель-фильтрации на колонке с носителем Sepharose CL-4B (40×1.5 см) («GE Healthcare», США) в 25 мМ NH₄HCO₃. ЛПС подвергали мягкой кислотной деградации 2 %-ной CH₃CO₂H (100°C, 2 ч). Выпавший осадок липида А удаляли после центрифугирования (12000×g, 20 мин), а водорастворимую часть гель-проникающей хроматографией разделяли на колонке с носителем Sephadex G-50 (55×1.5 см) («GE Healthcare», США) в пиридин-ацетатном буфере (pH 4.1). График элюции строили по оптической плотности продуктов реакции компонентов фракций с фенолом и серной кислотой при $\lambda = 490$ нм.

Электрофорез ЛПС проводили в денатурирующих условиях с додецил-сульфатом натрия в 15% полиакриламидном геле (SDS ПААГ) [8] с последующей визуализацией продуктов разделения красителем на основе нитрата серебра [9].

Определение содержания в гликополимерах углеводов, белков, 3-дезоксид-манно-окт-2-улозоновой кислоты (КДО) и фосфорной кислоты проводили общепринятыми методами, описанными в работе [10]. Измерения выполняли на спектрофотометре Specord 40 («Analytik Jena AG», Германия). Определение состава жирных кислот в виде их метиловых эфиров (МЖЭК) осуществляли с помощью ГЖХ на хроматографе GC-2010 («Shimadzu», Япония). Метилирование проводили по методу, изложенному в работе [11]. Определение моносахаридного состава и установление абсолютных конфигураций сахаров проводили методом ГЖХ ацетатов полиолов и ацетилированных октил-гликозидов [12, 13]. Моносахаридный состав ЭПС также определяли методом ТСХ на алюминиевых пластинах с целлюлозным покрытием после гидролиза гликополимеров, визуализацию результатов осуществляли опрыскиванием пластин фталатом анизида. Результаты 5 независимых экспериментов (не менее 3 повторностей) подвергали статистической обработке с использованием пакета «Анализ данных» MS Excel. Доверительные интервалы приведены для надежности 95%.



Результаты и их обсуждение

Из культуральной жидкости бактерий *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL были получены препараты ЭПС с выходом 11.5 и 3 г/л соответственно. Препараты ЭПС исследуемых штаммов практически не содержали белковых примесей (менее 1%). Гель-фильтрация с использованием носителя Sepharose CL-4B позволила выделить две высокомолекулярные фракции в ЭПС EG1QL3 в соотношении ~ 2.3 : 1 и три фракции в ЭПС RU5S2EL в соотношении ~ 4.5 : 1 : 5 (рис. 1). Моносахаридный анализ выделенных фракций ЭПС обоих штаммов методом ГЖХ ацетатов полиолов и ТСХ позволили идентифицировать в составе первой фракции ЭПС *H. ventosae* RU5S2EL рамнозу, маннозу и глюкозу в соотношении 1.3 : 1.1 : 1, в то время как во второй и третьей фракциях преобладала манноза. Состав моносахаридов обеих фракций ЭПС *C. salexigens* EG1QL3, выявляемый методом ГЖХ ацетатов полиолов, был идентичным, а доминирующими сахарами являлись манноза и глюкоза. Однако методом ТСХ в составе этих же препаратов была выявлена фруктоза, из которой, очевидно, в процессе пробоподготовки для анализа ГЖХ образовывались ее два энантиомера – манноза и глюкоза. Следовательно, установлено, что ЭПС

H. ventosae RU5S2EL представляет собой смесь гликополимеров различного строения, в то время как *C. salexigens* EG1QL3 продуцирует в качестве ЭПС гетерогенный по молекулярной массе фруктан. Синтезируемые бактериями фруктаны являются весьма востребованными биополимерами и широко используются в пищевой, химической и фармацевтической промышленности. Учитывая довольно высокий выход фруктана, бактерии *C. salexigens* EG1QL3 представляются весьма перспективным объектом для биотехнологии.

Выход препаратов ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL составил 2.8 и 6 % от массы высушенных ацетоном клеток соответственно. Результаты электрофореза в SDS ПААГ препаратов ЛПС (рис. 2) позволили выявить преобладание в ЛПС исследуемого штамма *C. salexigens* молекул R-формы, представленных гидрофобным доменом липидом А и кором. В то же время штамм *H. ventosae* RU5S2EL продуцировал преимущественно S-формы молекул ЛПС с высокой степенью замещения корового олигосахаридом О-специфическим полисахаридом (ОПС), о чем свидетельствует характерная «лестница» на фореграмме ЛПС, обусловленная присутствием ОПС, различающихся степенью полимеризации на одно повторяющееся звено.

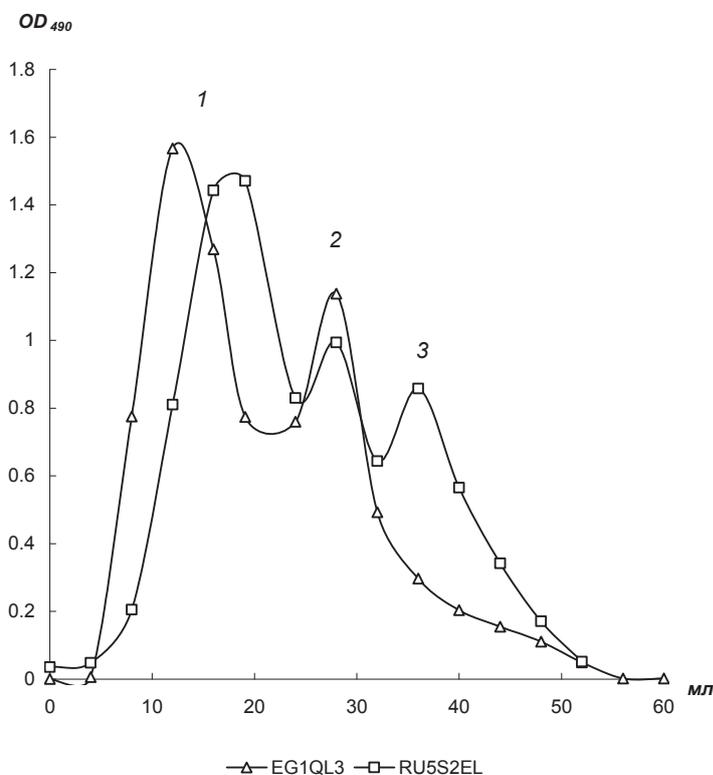


Рис. 1. Профиль элюции ЭПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL на колонке с Sepharose CL-4B: 1–3 – фракции ЭПС

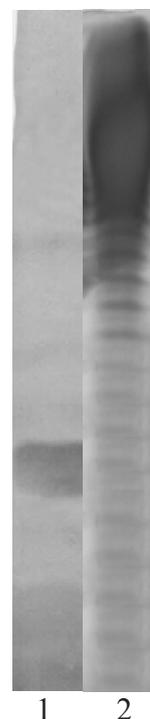


Рис. 2. Результат ДСН-ПААГ электрофореза ЛПС бактерий *C. salexigens* EG1QL3 (1) и *H. ventosae* RU5S2EL (2)



Препараты ЛПС обоих штаммов содержали все характерные для данных молекул компоненты: углеводы, в том числе и КДО, остатки 3-гидроксилированных алкановых кислот и фосфорной кислоты (таблица). Следует отметить, что в ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL было выявлено примерно равное количество КДО. По содержанию углеводов ЛПС существенно различались, что согласовывалось с данными электрофоретического анализа. В процентном соотношении количество остатков фосфорной кислоты в ЛПС штамма EG1QL3 в 1.5 раза превышало таковое для ЛПС RU5S2EL, что также может быть обусловлено преобладанием S-форм молекул в последнем.

Биополимерный состав ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL (содержание, %)

Компонент		ЛПС штамма	
		EG1QL3	RU5S2EL
Углеводы		18.3±1.6	27.9±2.5
Белок		0.71±0.06	1.4±0.1
КДО		0.33±0.01	0.30±0.04
Аосфорная кислота		1.78±0.21	1.14±0.25
МЭЖК*	3-Гидроксидодекановая	32	45
	Додекановая	–	14.8
	Гексадеценная	13.3	–
	Гексадекановая	26.4	25
	Октадеценная	27.7	15.2

Примечание. «–» – отсутствовала; * представлено содержание (%) от суммы идентифицированных МЭЖК.

Методом ГЖХ ацетатов полиолов и октил-гликозидов в составе углеводной части ЛПС обоих штаммов были обнаружены L-рамноза и D-глюкоза, но соотношение их различалось: ~ 1 : 1.5 для ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и ~ 3 : 1 для ЛПС *H. ventosae* RU5S2EL.

Учитывая филогенетическое родство исследуемых штаммов, можно было ожидать близость строения гидрофобного домена ЛПС – липида А – самой консервативной части молекулы. Как известно, 3-гидроксиалкановые кислоты – маркерные компоненты ЛПС грамтрицательных бактерий, являются первичными, т.е. амидными и сложнэфирными связями присоединяются к углеводному остову липида А, чаще всего представленному димером β-D-глюкозамина, фосфорилированным в 1 и 4' положениях [14]. В обоих исследуемых ЛПС преобладающей являлась 3-ги-

дроксидодекановая кислота, а также были идентифицированы гексадекановая и октадеценная кислоты (см. таблицу). Суммарное содержание этих трех кислот в липидах А ЛПС штаммов *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL составляло 85–86% всех идентифицированных жирных кислот. Однако выделенные ЛПС отличались наличием додекановой кислоты (~15%) у штамма RU5S2EL и гексадеценной кислоты (~15%) у штамма EG1QL3.

Исследуемые ЛПС были подвергнуты мягкой кислотной деградации с последующей гель-фильтрацией водорастворимой углеводной части (рис. 3). В результате были получены фракции ОПС и коровых олигосахаридов, по выходу которых ЛПС *H. ventosae* RU5S2EL и *C. salexigens* EG1QL3 сильно различались.

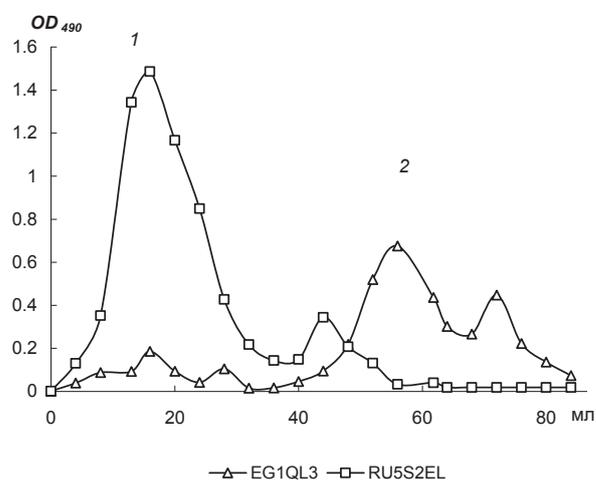


Рис. 3. Профиль элюции углеводных компонентов ЛПС *C. salexigens* EG1QL3 и *H. ventosae* RU5S2EL на колонке с Sephadex G-50: 1 – фракции ОПС, 2 – фракции корового олигосахариды

Для штамма *H. ventosae* RU5S2EL выход ОПС и корового олигосахариды составил 40% и 13.5% от массы ЛПС, в то время как для ЛПС штамма *C. salexigens* EG1QL3 выход этих фракций составил 2.5 и 28%. Эти данные хорошо согласуются с результатами электрофоретического разделения и анализа биополимерного состава. Таким образом, показана перспективность штамма *H. ventosae* RU5S2EL для проведения дальнейших исследований структуры ОПС.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам Центра коллективного пользования научным оборудованием в области физико-химической биологии и нанобиотехнологии «Симбиоз» ИБФРМ РАН за возможность выполнения анализов ГЖХ.



Список литературы

1. Oren A. Halophilic microbial communities and their environments // *Curr. Opin. Biotechnol.* 2015. Vol. 33. P. 119–124.
2. Zhuang X., Han Z., Bai Z., Zhuang G., Shim H. Progress in decontamination by halophilic microorganisms in saline wastewater and soil // *Environ. Pollut.* 2010. Vol. 158(5). P. 1119–1126.
3. Castillo-Carvajal L. C., Sanz-Martín J. L., Barragán-Huerta B. E. Biodegradation of organic pollutants in saline wastewater by halophilic microorganisms: a review // *Environ. Sci. Pollut. Res. Intern.* 2014. Vol. 21 (16). P. 9578–9588.
4. Ventosa A., Nieto J. J., Oren A. Biology of moderately halophilic aerobic bacteria // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 1998. Vol. 62. P. 504–544.
5. Ventosa A., Nieto J. J. Biotechnological applications and potentialities of halophilic microorganisms // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 1995. Vol. 11. P. 85–94.
6. Margesin R., Schinner F. Potential of halotolerant and halophilic microorganisms for biotechnology // *Extremophiles.* 2001. Vol. 5. P. 73–83.
7. Кульшин В. А., Яковлев А. П., Аваева С. Н., Дмитриев Б. А. Улучшенный метод выделения липополисахаридов из грамотрицательных бактерий // *Мол. генетика, микробиол. и вирусол.* 1987. № 5. С. 44–46.
8. Hitchcock P. J., Brown T. M. Morphological heterogeneity among *Salmonella* lipopolysaccharide chemotypes in silver-stain polyacrylamide gels // *J. Bacteriol.* 1983. Vol. 154. P. 269–277.
9. Tsai C. M., Frasch C. E. A sensitive silver stain for detecting lipopolysaccharides in polyacrylamide gels // *Anal. Biochem.* 1982. Vol. 119. P. 115–119.
10. Konnova S. A., Makarov O. E., Skvortsov I. M., Ignatov V. V. Isolation, fractionation and some properties of polysaccharides produced in a bound form by *Azospirillum brasilense* and their possible involvement in *Azospirillum*-wheat root interaction // *FEMS Microbiol. Lett.* 1994. Vol. 118. P. 93–99.
11. Mayer H., Tharanathan R. N., Weckesser J. Analysis of lipopolysaccharides of Gram-negative bacteria // *Methods Microbiol.* 1985. Vol. 18. P. 157–207.
12. Sawardecker J. S., Sloneker J. H., Jeans A. Quantitative determination of monosaccharides as their alditol acetates by gas liquid chromatography // *Anal. Chem.* 1965. Vol. 37. P. 1602–1603.
13. Leontein K., Lindberg B., Lönnegren J. Assignment of absolute configuration of sugars by g.l.c. of their acetylated glycosides formed from chiral alcohols // *Carbohydr. Res.* 1978. Vol. 62. P. 359–362.
14. Molinaro A., Holst O., Di Lorenzo F., Callaghan M., Nurisso A., D'Errico G., Zamyatina A., Peri F., Berisio R., Jerala R., Jimenez-Barbero J., Silipo A., Martin-Santamaria S. Chemistry of lipid A: at the heart of innate immunity // *Chemistry.* 2015. Vol. 21 (2). P. 500–519.

Characterization Surface Glycopolymers from Halophilic Gram-Negative Bacteria *Chromohalobacter salexigens* 1QL3 and *Halomonas ventosae* S5(2)

I. M. Ibrahim, D. A. Rybal'chenko, E. N. Sigida, Yu. P. Fedonenko, S. A. Konnova

Ibrahim M. Ibrahim, ORCID 0000-0002-5374-3508, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia; Fayoum University, Egypt, Fayoum, POBox: 63514 (Egypt), ibrahim.egypt2016@yandex.ru

Darya A. Rybal'chenko, ORCID 0000-0002-3117-8229, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, arashis@mail.ru

Elena N. Sigida, ORCID 0000-0002-9223-4589, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov, 13, Entuziastov Pr., Saratov, 410049, Russia, si_elena@mail.ru

Yulia P. Fedonenko, ORCID 0000-0003-0255-8190, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov, 13, Entuziastov Pr., Saratov, 410049, Russia, fedonenko_yu@ibppm.ru

Svetlana A. Konnova, ORCID 0000-0002-9607-8173, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia; Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov, 13, Entuziastov Pr., Saratov, 410049, Russia, konnovasa@yandex.ru

Extracellular and membrane polysaccharides of halophilic bacteria arouse the interest of researchers as promising biopolymers involved in adaptation and maintenance of normal physiology of microorganisms in saline environments that accompany many biotechnological processes. This work aimed at structural characteristic of surface glycopolymers of halophilic Gram-negative bacteria isolated from the salt samples of the lakes Qarun (Egypt) and Elton (Russia) – strains *Chromohalobacter salexigens* EG1QL3 and *Halomonas ventosae* RU5S2EL, respectively. The strains were cultured in a liquid S-G medium. Exopolysaccharides (EPS) were precipitated from the culture liquid with ethanol and fractionated by gel-permeation chromatography. Lipopolysaccharides (LPS) were extracted from dry biomass by Westphal method. Biopolymer composition of the LPS, fatty acid composition of lipids A, and the monosaccharide composition of the EPS and LPS were determined. It was found that *C. salexigens* EG1QL3 and *H. ventosae* RU5S2EL produce EPS with a yield of 11.5 and 3 g/L, respectively. The EPS of *H. ventosae* RU5S2EL is a mixture of the heteropolysaccharides from rhamnose, mannose and glucose, while *C. salexigens* EG1QL3 EPS is a fructan heterogeneous in molecular weight. SDS PAGE analysis showed that in the LPS from *C. salexigens* EG1QL3 R-forms prevailed, while in *H. ventosae* RU5S2EL LPS S-forms were predominant. GLC of acetylated 2-(S)-octylglycosides demonstrated that the LPS of both strains contained D-glucose and L-rhamnose in a different ratio. 3-Hy-



droxydodecanoic, hexadecanoic and octadecenoic acids were identified among the main components of the hydrophobic part of the LPS of both strains. The LPS from *H. ventosae* RU5S2EL is promising for further research on the structure of OPS.

Key words: halophilic and halotolerant bacteria, exopolysaccharides, lipopolysaccharides.

Acknowledgements: Authors thank the staff of the “Symbioz” center for the collective use of research equipment Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms of Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS) for GLC analysis.

Образец для цитирования:

Ибрагим И. М., Рыбальченко Д. А., Сигида Е. Н., Федоненко Ю. П., Коннова С. А. Характеристика гликополимеров поверхности галофильных грамотрицательных бактерий *Chromohalobacter salexigens* EG1QL3 и *Halomonas ventosae* RU5S2EL // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 3. С. 312–317. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-312-317

Cite this article as:

Ibrahim I. M., Rybal'chenko D. A., Sigida E. N., Fedonenko Yu. P., Konnova S. A. Characterization Surface Glycopolymers from Halophilic Gram-Negative Bacteria *Chromohalobacter salexigens* 1QL3 and *Halomonas ventosae* S5(2). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 3, pp. 312–317 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-312-317
