

АНТИБИОТИКОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Зацаринная Е.А.^{1,2},
Колупаева Н.В.³,
Колупаева Л.В.³

¹ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина» (390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46, Россия)

² Институт проблем промышленной экологии Севера – Обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук» (184209, г. Апатиты, мкр. Академгородок, 14а, Россия)

³ ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» (142279, г.о. Серпухов, п. Оболенск, Территория «Квартал А», 24, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Екатерина Андреевна Зацаринная,
e-mail: microbiog@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Важной проблемой современности является устойчивость бактерий к антимикробным препаратам. Поверхностные водные объекты аккумулируют всевозможные варианты антибиотикоустойчивых бактерий, встречающихся на водосборной территории.

Цель исследования. Сравнить антибиотикоустойчивость энтеробактерий, выделенных из пресноводных экосистем Мурманской и Рязанской областей.

Методы. Выделение энтеробактерий проводили диско-диффузным методом. Для видовой идентификации использовали тест-систему «Рapid-энтеро 200 М». Определение чувствительности проводили к 19 антибактериальным препаратам диско-диффузным методом в соответствии с требованиями МУК 4.2.1980-04 и Клиническими рекомендациями (2014). Интерпретацию данных осуществляли с использованием критериев EUCAST v. 7.0 (2017) и программного пакета «WHONET».

Результаты. В 2016 г. из водных объектов Рязанской области был выделен 771 изолят энтеробактерий, Мурманской области – 323. Результаты показали, что энтеробактерии были обнаружены во всех обследованных поверхностных водных объектах. В Рязанской области доминировали *Citrobacter* (36 %), *Escherichia coli* (21 %) и *Providencia* (21 %), а в Мурманской области – *Citrobacter* (35 %) и *Enterobacter* (21 %). В обоих регионах доминируют энтеробактерии, устойчивые к одному и более антимикробному препарату. Фенотипом множественной лекарственной устойчивости (MDR) обладали 82,62 % изолятов в Рязанской области и 95,98 % – в Мурманской. Фенотип экстремальной резистентности (XDR) чаще встречался среди энтеробактерий, выделенных из водных объектов Рязанской области. В обоих районах был достаточно высокий уровень резистентности к бета-лактамам антибиотикам. В обоих регионах самой эффективной группой антимикробных препаратов, подавляющих рост энтеробактерий, были хинолоны.

Заключение. Результаты исследования показывают, что распространение антибиотикоустойчивых изолятов энтеробактерий в пресноводных экосистемах происходит повсеместно, однако в северных водоёмах этот процесс происходит медленнее.

Ключевые слова: устойчивость к антибиотикам, энтеробактерии, природные изоляты, поверхностные водные объекты

Для цитирования: Зацаринная Е.А., Колупаева Н.В., Колупаева Л.В. Антибиотикоустойчивость энтеробактерий, выделенных из поверхностных водных объектов разных природно-климатических зон. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 142-149. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.15

Статья получена: 16.03.2022

Статья принята: 05.05.2022

Статья опубликована: 05.07.2022

ANTIBIOTIC RESISTANCE OF ENTEROBACTERIA ISOLATED FROM FRESHWATER BODIES OF DIFFERENT CLIMATIC ZONES

Zatsarinnaya E.A.^{1,2},
Kolupaeva N.V.³,
Kolupaeva L.V.³

¹ Ryazan State University named after S.A. Yesenin (Svobody str. 46, Ryazan 390000, Russian Federation)

² Institute of North Industrial Ecology Problems – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center «Kola Science Center» (Akademgorodok 14A, Apatity 184209, Russian Federation)

³ State Research Center for Applied Biotechnology and Microbiology (Territory “Quarter A” 24, Obolensk 142279, Russian Federation)

Corresponding author:
Ekaterina A. Zatsarinnaya,
e-mail: microbiog@mail.ru

ABSTRACT

An important problem of our time is the resistance of bacteria to antimicrobial drugs. Surface water bodies accumulate all kinds of antibiotic-resistant bacteria found in the catchment area.

The aim. *To compare the antibiotic resistance of enterobacteria isolated from freshwater ecosystems of the Murmansk and Ryazan regions.*

Methods. *Isolation was performed by the disk-diffusion method. For species identification, the “Rapid-entero 200 M” test system was used. Sensitivity was determined to 19 antibacterial drugs by the disk diffusion method in accordance with the requirements of MUK 4.2.1980-04 and Clinical guidelines (2014). Data interpretation was carried out using EUCAST v. 7.0 (2017) criteria and the WHONET software package.*

Results. *In 2016, 771 isolates of enterobacteria were isolated from the water bodies of the Ryazan region, 323 isolates from the Murmansk region. The results showed that enterobacteria were found in all surveyed surface water bodies. Citrobacter (36 %), Escherichia coli (21 %) and Providencia (21 %) dominated in the Ryazan region, while Citrobacter (35 %) and Enterobacter (21 %) dominated in the Murmansk region. Enterobacteria resistant to one or more antimicrobials dominate in both regions. The phenotype of multiple drug resistance (MDR) was found in 82.62 % of isolates in Ryazan and 95.98 % in Murmansk regions. The extreme resistance phenotype (XDR) was more common among enterobacteria isolated from water bodies of the Ryazan region. In both districts, there was a fairly high level of resistance to beta-lactam antibiotics. In both regions, the quinolones were the most effective group for inhibiting the growth of enterobacteria.*

Conclusion. *The results of the study show that the spread of antibiotic-resistant isolates of enterobacteria in freshwater ecosystems occurs everywhere, but in northern waters this process is slower.*

Key words: *drug resistance, bacterial, Enterobacteriaceae, natural bacterial isolates, freshwater bodies*

Received: 16.03.2022
Accepted: 05.05.2022
Published: 05.07.2022

For citation: Zatsarinnaya E.A., Kolupaeva N.V., Kolupaeva L.V. Antibiotic resistance of enterobacteria isolated from freshwater bodies of different climatic zones. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(3): 142-149. doi: 10.29413/ABS.2022-7.3.15

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных проблем современности является устойчивость бактерий к антимикробным препаратам. Применение антибиотиков широкого спектра действия в медицинской практике для лечения инфекций без диагностики конкретного патогена, а также в животноводстве считается основным фактором, способствующим распространению устойчивости к противомикробным препаратам среди возбудителей различных инфекций [1].

Однако анализ многочисленных публикаций показывает, что антибиотикорезистентные бактерии и гены устойчивости к антибиотикам можно обнаружить практически во всех объектах окружающей среды, особенно в водных экосистемах [2, 3]. Поверхностные водные объекты аккумулируют всевозможные варианты антибиотикоустойчивых бактерий, встречающихся на водосборной территории, за счёт поверхностного стока, поступления сточных вод, ливневой канализации, перелётных птиц и других животных [4, 5, 6]. Немаловажным фактором в распространении антибиотикоустойчивых бактерий в поверхностных водных объектах является температура воды, которая значительно различается в различных природно-климатических зонах [7].

Среди бактерий представители порядка *Enterobacteriales* в совокупности являются одними из наиболее частых возбудителей как нозокомиальных, так и внебольничных инфекций. По данным AMRmap (онлайн-платформа анализа данных резистентности к антимикробным препаратам в России), энтеробактерии-возбудители инфекции обладают высокими значениями устойчивости ко многим антибиотикам [8]. Кроме того, наблюдаются значительные региональные отличия в антибиотикорезистентности энтеробактерий.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сравнить антибиотикоустойчивость энтеробактерий, выделенных из пресноводных экосистем Мурманской и Рязанской областей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб воды

Отбор проб воды был выполнен в соответствии с общими требованиями ГОСТ 31942-2012 и МУК 4.2.184-04. Пробы воды отбирались с глубины 10–15 см от поверхности в стерильные стеклянные флаконы объёмом 500 мл.

В Рязанской области в июне 2016 г. отбор проб воды был выполнен из 27 поверхностных водных объектов: рек Ока, Лыбедь, Трубезь, Павловка, Плетёнка, Дунайчик и Листвянка (приёмник очищенных коммунально-бытовых и промышленных сточных вод, где обследовано 3 створа – до очистных сооружений, в последнем по каскаду пруду-отстойнике и 500 м ниже по течению), Солотча, Старица, ручья Быстрец, озёр Трубезь, Салого-

ща, Ореховое, Борковских карьеров № 1, 2, 3, используемых для рекреации, а также десяти прудах на территории города Рязани.

Поскольку Рязань является крупным промышленным центром, в Мурманской области был выбран район пгт Никель и г. Заполярный, где расположен крупный комплекс предприятий компании ПАО «ГМК «Норильский никель»». Основной водный объект этой территории – река Паз, исток которой находится в оз. Инари (Финляндия). Далее река течёт по трансграничной территории России и Норвегии. В исследование также были включены притоки реки Паз (реки Шуонийоки, Кувернеринйоки, Котсельйоки, Мениккайоки, Лауккуйоки, Сегийоки, Корнетийоки, Наутсийоки, Колосйоки (приёмник коммунальных сточных вод пгт Никель) и озёрное расширение реки Паз – оз. Куэтсьярви). В районе города Заполярный пробы воды отобраны на нескольких участках из реки Печенга и её притока реки Намайоки, в которую поступает часть сточных вод г. Заполярный.

Выделение энтеробактерий

Выделение энтеробактерий из отобранных проб осуществлялось методом мембранной фильтрации согласно требованиям МУК 4.2.184-04. В работе использовались мембранные фильтры диаметром 35 мм из нитрата целлюлозы с диаметром пор 0,45 мкм («Владисарт», Владимир). Фильтрация проб проводилась на приборе вакуумного фильтрования ПВФ-35 (ООО «БМТ», Владимир). Объём воды для посева выбирали, ориентируясь на результаты предыдущих исследований и на рекомендации МУК 4.2.184-04.

Из поверхностных водных объектов Рязанской области в 2016 г. был выделен 771 изолят энтеробактерий, а в Мурманской области, совокупно из всех источников, было отобрано 323 изолята.

Видовая идентификация

Видовая идентификация изолятов проводилась с помощью тест-системы для ускоренной биохимической идентификации энтеробактерий «Рапид-энтеро 200 М» (ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, Санкт-Петербург), которая основана на микробъёмной технологии с использованием жидких дифференциальных сред.

Определение чувствительности к антибактериальным препаратам

Определение чувствительности к антибактериальным препаратам проводили диско-диффузным методом в соответствии с требованиями МУК 4.2.1980-04 и Клиническим рекомендациям (2014). Данные исследования были выполнены на среде Мюллера – Хилтона (HiMedia, Индия) с использованием бактериальных суспензий (0,5 по стандарту МакФарланда), полученных из клеток, которые были выращены при 37 ± 1 °C в течение 18–24 часов на триптон-соевом агаре (HiMedia, Индия). Уровень устойчивости энтеробактерий к антибиотикам определяли по отношению к 19 препаратам с различным механизмом действия: пенициллины (ампициллин, ампициллин/сульбактам, тикарциллин/клавуланат), цефалоспорины (цефазолин (I поколение), цефуроксим (II поколение), цефтриаксон (III поколение), цефепим (IV поколе-

ние)), карбапенемы (имипенем), аминогликозиды (амикацин, гентамицин, тобрамицин), фторхинолоны (офлоксацин, цiproфлоксацин, левофлоксацин, норфлоксацин), ко-тримоксазол (триметоприм/сульфаметоксазол), производные нитрофурана (фурадонин), тетрациклины (тетрацилин), хлорамфеникол (левомицетин). Отобранные противомикробные препараты являются наиболее значимыми для лечения инфекций, вызванных представителями порядка *Enterobacteriales* (т. е. препаратами первого ряда и препаратами резерва). Интерпретацию данных производили с использованием критериев EUCAST v. 7.0 (2017) и программного пакета аналитической системы контроля антибиотикорезистентности «WHONET».

В соответствии с Международными критериями [9], полирезистентными, т. е. обладающими множественной лекарственной устойчивостью (MDR), считали изоляты, нечувствительные к препаратам (как минимум одному) трёх классов антибиотиков; потенциально экстремально резистентными (XDR) – нечувствительные к препаратам (как минимум одному) всех за исключением 1–2-х классов антимикробных препаратов; вероятно панрезистентными (PDR) – невосприимчивые ко всем агентам всех категорий противомикробных препаратов (т. е. бактериальные изоляты не чувствительны ни к одному клинически доступному лекарственному средству).

Оценка продукции бета-лактамаз расширенного действия (БЛРС) проведена методом двойных дисков (МУК 4.2.1980-04). Метод основан на выявлении продукции БЛРС по наличию расширенной зоны подавления роста вокруг диска с цефалоспорином третьего поколения (использовали цефтазидим и цефотаксим) напротив диска, содержащего клавулановую кислоту (амоксциллин/клавуланат): синергизм отмечается на участке пересечения зон диффузии препаратов с двух дисков, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данного исследования была проведена сравнительная оценка встречаемости энтеробактерий в поверхностных водных объектах Мурманской и Рязанской областей. Представители порядка энтеробактерий были обнаружены во всех обследованных поверхностных водных объектах.

Для Мурманской области встречаемость энтеробактерий в поверхностных водных объектах статистически значимо ниже ($t = 12,265; df = 50,208; p < 2,2e-16$), чем в Рязанском регионе. В целом, для водных объектов Мурманской области характерен очень небольшой разброс значений обнаруженных КОЕ/мл (рис. 1). Среднее значение встречаемости энтеробактерий – 78 КОЕ/мл. Обнаруженные наблюдаемые выбросы (максимальные значения) – это встречаемость в р. Колосйоки, приёмнике сточных вод, и оз. Куэтсьярви, куда эта река впадает.

Для Рязанской области встречаемость энтеробактерий во многом зависела от типа самого водного объекта, особенностей его гидрологического режима, поступления очищенных и неочищенных сточных вод, поверхностного стока и особенностей его хозяйственного окружения. Численность этой группы бактерий варьировала в широких пределах и составляла от десятков единиц до сотни тысяч КОЕ/100 мл. Максимальные выбросы (рис. 1б) опять же характерны для рек-приёмников очищенных коммунально-бытовых сточных вод и неочищенных сточных вод, а также для небольших прудов – мест с очень высокой концентрацией диких уток, прикармливаемых местным населением.

Видовой состав выделенных энтеробактерий в Мурманской и Рязанской областях достаточно сходен (коэффициент Серенсена – Чекановского – 0,63) (рис. 2). В Рязанской области в обследованных водных объектах доминировали

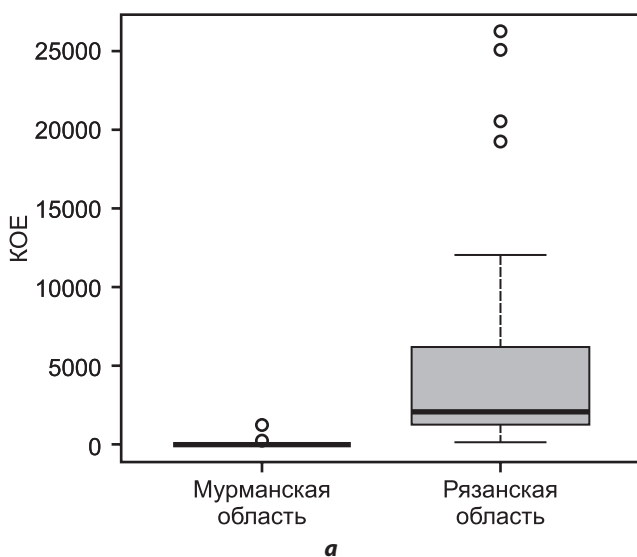


РИС. 1. Сравнение численности энтеробактерий в поверхностных водных объектах Мурманской и Рязанской областей: **а** – сравнение диапазонов; **б** – встречаемость в Мурманской области

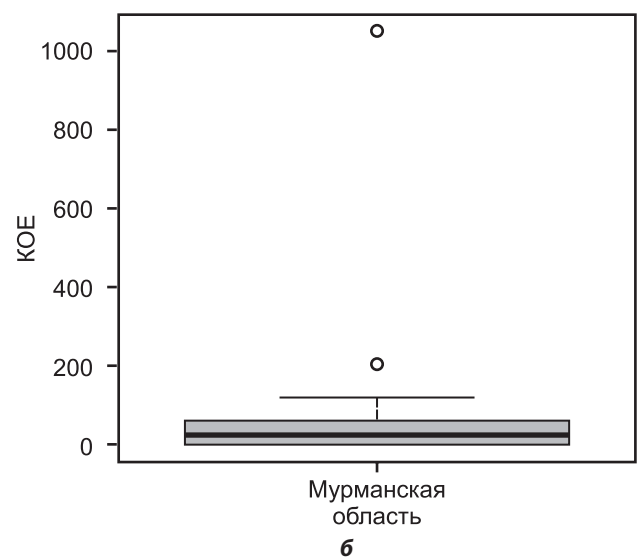


FIG. 1. Comparison of the number of enterobacteria in freshwater bodies of the Murmansk and Ryazan regions: **a** – comparison of ranges; **b** – occurrence in the Murmansk region

Citrobacter (36 %), *Escherichia coli* (21 %) и *Providencia* (21 %). В Мурманской области среди выделенных изолятов наиболее часто встречались *Citrobacter* (35%) и *Enterobacter* (21 %), а *Escherichia coli*, наоборот, отмечены единично и только в водных объектах, где имеется непосредственный привнос коммунально-бытовых сточных вод.

Количественная оценка антибиотикорезистентности показала, что в Рязанской и Мурманской областях, среди энтеробактерий доминируют штаммы, устойчивые к одному и более антимикробному препарату (рис. 3). При этом в Мурманской области не обнаружено изолятов чувствительных ко всем (анализируемым нами) антибиотикам. В Рязанской области их было всего четыре изолята: 3 изолята *Escherichia coli* и 1 изолят *Citrobacter freundii*. Количество энтеробактерий с разной интенсивностью устойчивости к АМП в Мурманской и Рязанской областях статистически значимо отличается ($\chi^2 = 17,9; df = 1; p = 2,331e-05$). Фенотипом множественной лекарственной устойчивости (MDR) обладали 82,62 % изолятов в Рязанской области и 95,98 % – в Мурманской ($\chi^2 = 34,2; df = 1; p = 5,064e-09$). Фенотип экс-

тремальной резистентности чаще встречался среди энтеробактерий, выделенных из водных объектов Рязанской области ($\chi^2 = 20,6; df = 1; p = 5,551e-06$). Кроме того, в водных объектах Рязанской области было обнаружено четыре изолята, которые аналитическая система «WHONET» выделяет как вероятно панрезистентные (PDR). Они были обнаружены в пробах из пруда «на ул. Новосёлов», где наблюдается массовое скопление водоплавающих птиц – крякв (1 изолят *Escherichia coli*), и в ручье Быстрец, куда впадает один из стоков ливневой канализации г. Рязани.

На рисунке 4 представлена встречаемость изолятов с множественной и экстремальной лекарственной устойчивостью в пресноводных экосистемах Рязанской области.

Фенотип MDR имели все изоляты, выделенные в 12 поверхностных водных объектах (из 27 обследованных). В ряде водных объектов частота обнаружения изолятов с экстремальной резистентностью (XDR) составила более 60 %. В р. Листвянка (а именно в створах пруда-отстойника очистных сооружений коммунально-бытовых сточных вод и на участке течения реки в 500 м ниже него

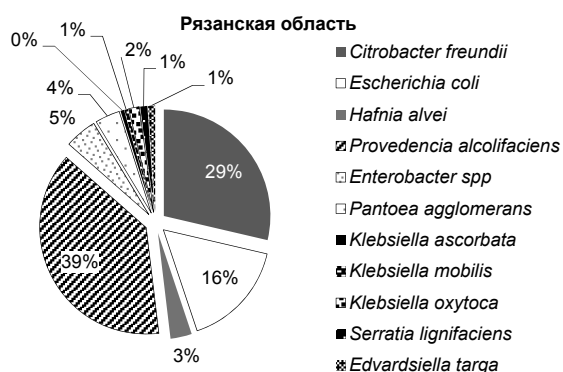


РИС. 2. Видовая идентификация энтеробактерий, выделенных из поверхностных водных объектов

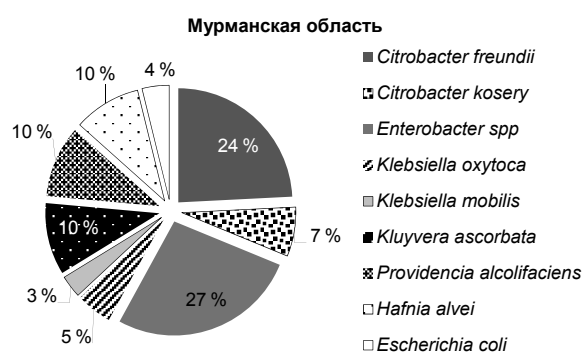


FIG. 2. Species identification of Enterobacteria isolated from surface water bodies

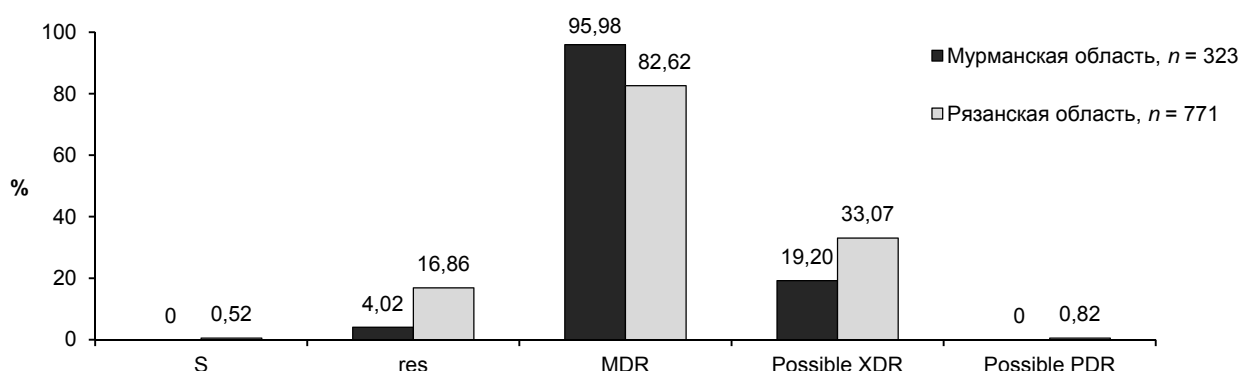


РИС. 3. Сравнение энтеробактерий, выделенных из поверхностных водных объектов Мурманской и Рязанской областей, по количественным характеристикам устойчивости к антибиотикам: S – чувствительные ко всем антибиотикам; res – устойчивые к одному и более антибиотикам, но не MDR; MDR – с множественной лекарственной устойчивостью; Possible XDR – вероятно экстремально резистентные; Possible PDR – вероятно панрезистентные

FIG. 3. Comparison of Enterobacteria isolated from surface water bodies of the Murmansk and Ryazan regions by quantitative characteristics of antibiotic resistance: S – sensitive to all antibiotics; res – resistant to one or more antibiotics, but not MDR; MDR – multiple drug resistant; Possible XDR – probably extremely resistant; Possible PDR – probably pan-resistant

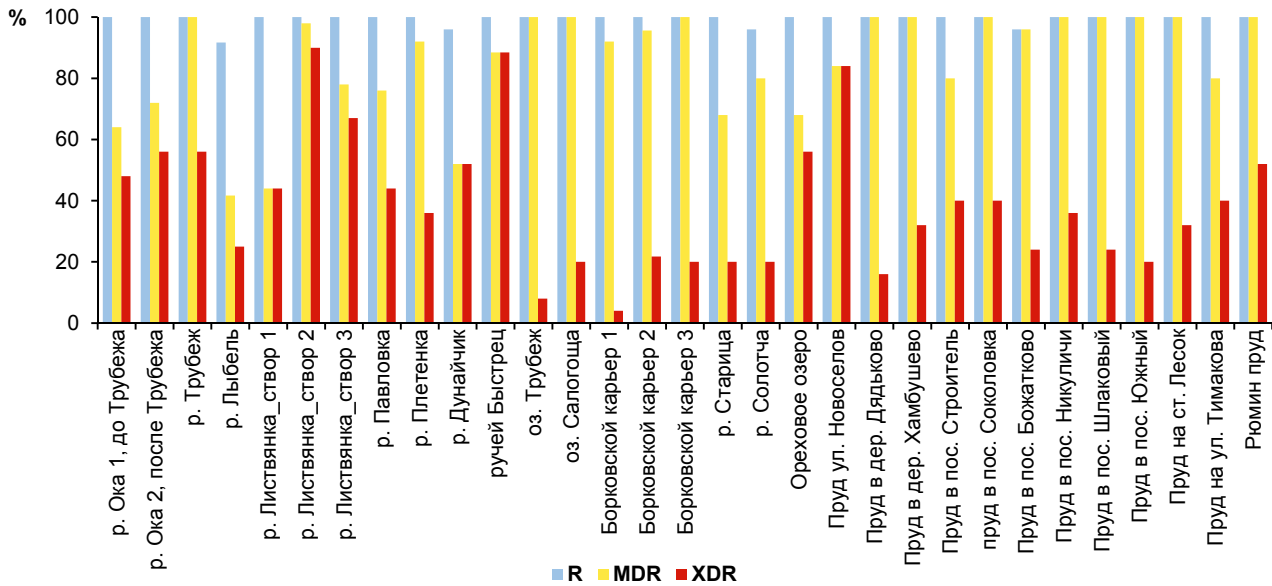


РИС. 4. Частота встречаемости изолятов (%) устойчивых к одному и более АМП (R), с множественной лекарственной устойчивостью (MDR) и обладающих возможной экстремальной резистентностью (XDR), выделенных из пресноводных экосистем Рязанской области

FIG. 4. Frequency of occurrence of isolates (%) resistant to one or more AMP (R), with multiple drug resistance (MDR) and with possible extreme resistance (XDR) isolated from freshwater ecosystems of the Ryazan region

по течению), в ручье Быстрец, который принимает ливневые стоки города, а также в пруду «на ул. Новосёлов» все культуры с множественной резистентностью характеризовались как вероятно экстремально резистентные. При рассмотрении устойчивости энтеробактерий в Мурманской области наблюдается такая же тенденция (рис. 5). Наиболее часто экстремально резистентные изоляты отмечены в водных объектах, где присутствует непосредственной сброс сточных вод (р. Печенга, р. Намайюки и р. Колосйюки).

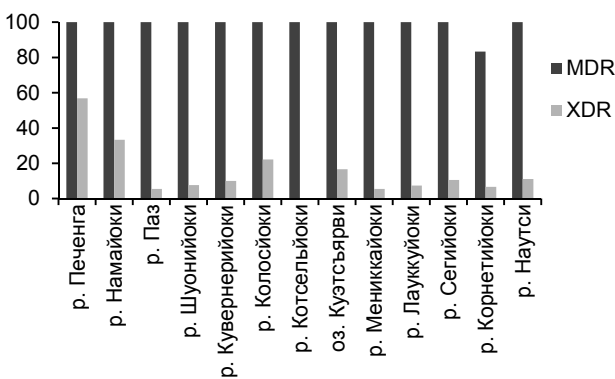


РИС. 5. Частота встречаемости изолятов (%) с множественной лекарственной устойчивостью (MDR) и обладающих возможной экстремальной резистентностью (XDR), выделенных из пресноводных экосистем Мурманской области

FIG. 5. Frequency of occurrence of isolates (%) with multidrug resistance (MDR) and with possible extreme resistance (XDR) isolated from freshwater ecosystems of the Murmansk region

Сопоставление данных текущего исследования с результатами предыдущих работ [10, 11] показывает, что с 2009 г. в Мурманской и с 2010 г. в Рязанской областях произошло колоссальное распространение лекарственной устойчивости среди энтеробактерий. Повсеместно распространились культуры с множественной лекарственной устойчивостью. Активно выявляются изоляты с экстремальной резистентностью.

Рассматривая показатели устойчивости изолятов энтеробактерий к отдельным антимикробным препаратам, требуется отметить достаточно высокий уровень резистентности к бета-лактамам антибиотикам в обоих районах (табл. 1). В частности, наиболее часто встречается устойчивость к ампициллину. Однако среди энтеробактерий, выделенных в Мурманской области, в два раза реже встречается устойчивость к защищенным пеницилинам – ампициллин/сульбактаму и тикарциллин/клавулату. В обоих регионах более половины изолятов обладали устойчивостью к цефепиму (IV поколение цефалоспоринов). В то же время устойчивость к цефалоспорином I–III поколения для обоих регионов оказалась значительно ниже – порядка 20–40%. Принимая во внимание высокую устойчивость выделенных изолятов к бета-лактамам антибиотикам, была выполнена оценка продукции бета-лактамаз расширенного спектра (БЛРС). Её результаты показали, что продукция БЛРС обнаружена у 53,6 % всех выделенных в этот период изолятов в Рязанской области и 45,4 % изолятов в Мурманской области. Среди аминокликозидов наибольшая устойчивость была обнаружена к препарату III поколения – амикацину (49,5 % – в Рязанской области, 35,6 % – в Мурманской области). Более низкий уровень устойчивости анализируемые энтеробакте-

ТАБЛИЦА 1
КОЛИЧЕСТВО УСТОЙЧИВЫХ ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ
К АНТИМИКРОБНЫМ ПРЕПАРАТАМ (%)

TABLE 1
NUMBER OF RESISTANT ENTEROBACTERIA
TO ANTIMICROBIAL DRUGS (%)

	Ампициллин	Ампициллин/сульбактам	Тикарциллин/клавуланат	Цефазолин	Цефуроксим	Цефтриаксон	Цефепим	Имипенем	БЛРС(+)	Амикацин	Гентамицин	Тобрамицин	Ципрофлоксацин	Левифлоксацин	Норфлоксацин	Офлоксацин	Триметоприм/сульфаметоксазол	Нитрофурантоин	Левомецетин	Тетрациклин						
Мурманская область (n = 323)	63,5	39,8	27,9	29,7	32,8	20,7	68,1	22,6	45,4	35,6	16,1	18,3	10,5	17,6	21,1	16,1	17,0	36,6	37,8	31,3						
Рязанская область (n = 771)	65,2	56,6	33,4	36,7	32,9	27,1	69,4	60,5	53,6	45,4	38,1	38,4	3,6	26,1	20,5	14,6	5,6	29,3	13,7	26,2						
Статистически значимые отличия	$\chi^2 = 50,97; df = 1; p = 9,373e-13$		$\chi^2 = 5,87; df = 1; p = 0,01541$				$\chi^2 = 6,10; df = 1; p = 0,01348$				$\chi^2 = 8,53; df = 1; p = 0,003484$		$\chi^2 = 50,09; df = 1; p = 1,469e-12$		$\chi^2 = 41,14; df = 1; p = 1,41e-10$		$\chi^2 = 18,97; df = 1; p = 1,327e-05$		$\chi^2 = 6,81; df = 1; p = 0,009059$		$\chi^2 = 23,19; df = 1; p = 1,471e-06$		$\chi^2 = 30,15; df = 1; p = 3,998e-08$		$\chi^2 = 78,18; df = 1; p < 2,2e-16$	

рии проявляли в отношении антибиотиков II поколения этой группы: к гентамицину и тобрамицину.

В обоих регионах самой эффективной группой АМП, *in vitro* подавляющим рост исследуемых энтеробактерий, были хинолоны. Устойчивость к этой группе не превышала 20%. Действие тетрациклина на энтеробактерии, выделенное в этих двух регионах, практически не различалось. К ко-тримоксазолу (триметоприм/сульфаметоксазолу), нитрофурантоину и левомицетину более устойчивы оказались культуры, изолированные из водных объектов Мурманской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование позволило определить показатели антибиотикоустойчивости энтеробактерий, выделенных из поверхностных водных объектов Рязанской и Мурманской областей с различным типом и интенсивностью антропогенной нагрузки, а также установить соответствующие фенотипы резистентности. Результаты показывают, что в поверхностных водных объектах Мурманской и Рязанской областей среди энтеробактерий абсолютно доминируют культуры с множественной лекарственной устойчивостью. Частота вероятности обнаружения энтеробактерий с экстремальной резистентностью в конкретном водном объекте зависит от поступления в него коммунально-бытовых и ливневых сточных вод. В двух поверхностных водных объектах Рязанской области обнаружены потенциально пан-

резистентные энтеробактерии, представляющие максимальную угрозу, в случае развития инфекции, вызванной данными изолятами.

В целом, результаты исследования показывают, что распространение антибиотикоустойчивых изолятов энтеробактерий в пресноводных экосистемах происходит повсеместно, однако в северных водоёмах этот процесс происходит медленнее.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mohr KI. History of antibiotics research. *Curr Top Microbiol Immunol.* 2016; 398: 237-272. doi: 0.1007/82_2016_499
2. Martinez JL. The role of natural environments in the evolution of resistance traits in pathogenic bacteria. *Proc Biol Sci.* 2009; 276(1667): 2521-2530. doi: 10.1098/rspb.2009.0320
3. Huijbers PMC, Blaak H, de Jong MCM, Graat EAM, Vandenbroucke-Grauls CMJE, Husman AM. Role of the environment in the transmission of antimicrobial resistance to humans: A review. *Environ Sci Technol.* 2015; 49(20): 11993-12004. doi: 10.1021/acs.est.5b02566
4. Wellington EMH, Boxall AB, Cross P, Feil EJ, Gaze WH, Hawkey PM, et al. The role of the natural environment in the emergence of antibiotic resistance in gram-negative bacteria. *Lancet Infect Dis.* 2013; 13(2): 155-165. doi: 10.1016/S1473-3099(12)70317-1

5. Furness LE, Campbell A, Zhang L, Gaze WH, McDonald RA. Wild small mammals as sentinels for the environmental transmission of antimicrobial resistance. *Environ Res.* 2017; 154: 28-34. doi: 10.1016/j.envres.2016.12.014
6. Guenther S, Semmler T, Stubbe A, Stubbe M, Wieler LH, Schaefler K. Chromosomally encoded ESBL genes in *Escherichia coli* of ST38 from Mongolian wild birds. *J Antimicrob Chemother.* 2017; 72(5): 1310-1313. doi: 10.1093/jac/dkx006
7. Burnham JP. Climate change and antibiotic resistance: A deadly combination. *Ther Adv Infectious Dis.* 2021; 8: 2049936121991374. doi: 10.1177/2049936121991374
8. Кузьменков А.Ю., Виноградова А.Г., Трушин И.В., Эйдельштейн М.В., Авраменко А.А., Дехнич А.В. и др. AMRmap – система мониторинга антибиотикорезистентности в России. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2021; 23(2): 198-204. doi: 10.36488/cmac.2021.2.198-204
9. Magiorakos AP, Srinivasan A, Carey RB, Carmeli Y, Falagas ME, Giske CG, et al. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: An international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin Microbiol Infect.* 2012; 18(3): 268-281. doi: 10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x
10. Зацаринная Е.А. Оценка состояния водных объектов Рязанской области на основе анализа распределения и антибиотикорезистентности общих колиформных бактерий. *Естественные и технические науки.* 2014; 1(69): 60-64.
11. Зацаринная Е.А. Микробиологические подходы в оценке антропогенного влияния на реки приграничных районов северо-запада России. *Естественные и технические науки.* 2014; 1(69): 55-59.
3. Huijbers PMC, Blaak H, de Jong MCM, Graat EAM, Vandenbroucke-Grauls CMJE, Husman AM. Role of the environment in the transmission of antimicrobial resistance to humans: A review. *Environ Sci Technol.* 2015; 49(20): 11993-12004. doi: 10.1021/acs.est.5b02566
4. Wellington EMH, Boxall AB, Cross P, Feil EJ, Gaze WH, Hawkey PM, et al. The role of the natural environment in the emergence of antibiotic resistance in gram-negative bacteria. *Lancet Infect Dis.* 2013; 13(2): 155-165. doi: 10.1016/S1473-3099(12)70317-1
5. Furness LE, Campbell A, Zhang L, Gaze WH, McDonald RA. Wild small mammals as sentinels for the environmental transmission of antimicrobial resistance. *Environ Res.* 2017; 154: 28-34. doi: 10.1016/j.envres.2016.12.014
6. Guenther S, Semmler T, Stubbe A, Stubbe M, Wieler LH, Schaefler K. Chromosomally encoded ESBL genes in *Escherichia coli* of ST38 from Mongolian wild birds. *J Antimicrob Chemother.* 2017; 72(5): 1310-1313. doi: 10.1093/jac/dkx006
7. Burnham JP. Climate change and antibiotic resistance: A deadly combination. *Ther Adv Infectious Dis.* 2021; 8: 2049936121991374. doi: 10.1177/2049936121991374
8. Kuzmenkov AYU, Vinogradova AG, Trushin IV, Eidelstein MV, Avramenko AA, Dehnic AV, et al. AMRmap – a system for monitoring antibiotic resistance in Russia. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy.* 2021; 23(2): 198-204. (In Russ.). doi: 10.36488/cmac.2021.2.198-204
9. Magiorakos AP, Srinivasan A, Carey RB, Carmeli Y, Falagas ME, Giske CG, et al. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: An international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin Microbiol Infect.* 2012; 18(3): 268-281. doi: 10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x
10. Zatsarinnyaya EA. Assessment of the state of water bodies of the Ryazan region based on the analysis of the distribution and antibiotic resistance of common coliform bacteria. *Natural and Technical Sciences.* 2014; 1(69): 60-64. (In Russ.).
11. Zatsarinnyaya EA. Microbiological approaches in the assessment of anthropogenic impact on the rivers of the border regions of the north-west of Russia. *Natural and Technical Sciences.* 2014; 1(69): 55-59. (In Russ.).

REFERENCES

1. Mohr KI. History of antibiotics research. *Curr Top Microbiol Immunol.* 2016; 398: 237-272. doi: 10.1007/82_2016_499
2. Martinez JL. The role of natural environments in the evolution of resistance traits in pathogenic bacteria. *Proc Biol Sci.* 2009; 276(1667): 2521-2530. doi: 10.1098/rspb.2009.0320

Сведения об авторах

Зацаринная Екатерина Андреевна – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эволюционной экологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина»; младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии и рационального природопользования Арктики, Институт проблем промышленной экологии Севера – Обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», e-mail: microbiog@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2011-4297>

Колупаева Надежда Вячеславовна – младший научный сотрудник отдела подготовки и усовершенствования специалистов, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», e-mail: nadin.9830@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3743-6046>

Колупаева Любовь Вячеславовна – младший научный сотрудник отдела подготовки и усовершенствования специалистов, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», e-mail: melstryder@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7008-3137>

Information about the authors

Ekatgerina A. Zatsarinnyaya – Junior Research Officer at the Research Laboratory of Evolutionary Ecology, Ryazan State University named after S.A. Yesenin; Junior Research Officer at the Laboratory of Geoecology and Environmental Management, Institute of North Industrial Ecology Problems – Separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center «Kola Science Center», e-mail: microbiog@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2011-4297>

Nadezhda V. Kolupaeva – Junior Research Officer at the Department of Training and Improvement of Specialists, State Research Center for Applied Biotechnology and Microbiology, e-mail: nadin.9830@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3743-6046>

Lyubov V. Kolupaeva – Junior Research Officer at the Department of Training and Improvement of Specialists, State Research Center for Applied Biotechnology and Microbiology, e-mail: melstryder@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7008-3137>

Статья опубликована в рамках Второй Всероссийской научной конференции с международным участием «Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания».