

## **УСТОЙЧИВОСТЬ БАКТЕРИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ К АНТИБИОТИКАМ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМУ**

**Е.В. Верхозина<sup>1</sup>, В.А. Верхозина<sup>2</sup>, О.А. Белых<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

<sup>3</sup> *Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

### **Информация о статье**

Дата поступления  
15 апреля 2021 г.

Дата принятия к печати  
21 июня 2021 г.

Дата онлайн-размещения  
9 июля 2021 г.

### **Ключевые слова**

Антибиотикорезистентность;  
бактерии; экосистема; озеро  
Байкал; антропогенное  
влияние; дисперсионный метод;  
корреляционный анализ

### **Аннотация**

Усиление рекреационной нагрузки на озеро Байкал ставит задачу поиска адекватного показателя антропогенного влияния. В статье приведены результаты мониторинговых исследований, проводившихся с 1995 по 2015 г. и посвященных оценке устойчивости изолированных бактериальных штаммов к антибиотикам. Бактерии были проанализированы на чувствительность и устойчивость к 14 антибиотикам. Выявлено, что бактерии, устойчивые ко многим антибиотикам, были выделены в литорали озера, где наблюдается более интенсивное антропогенное влияние. Впервые показано, что при анализе большого количества данных о штаммах микроорганизмов целесообразно применение дисперсионного и корреляционного методов анализа. Дисперсионный анализ устойчивости бактерий к антибиотикам, сгруппированных по фактору принадлежности к определенному месяцу отбора проб, выявил, что в разные месяцы года усредненная устойчивость достоверно различается ( $P\_value = 0,003 < \alpha$ ), т.е. наблюдается ее сезонная динамика. Согласно кластерному анализу, антибиотико-резистентные штаммы имеют высокую устойчивость ко многим антибиотикам, хорошо выживают при низкой температуре и могут передавать константность к антибиотикам местной микробиоте. Показано, что именно сочетание дисперсионного и корреляционного методов анализа при большом объеме полученных данных многолетних исследований позволяет выявлять изменение бактериального сообщества и составлять достоверный прогноз дальнейших изменений в экосистеме.

## **ANALYSIS OF THE ANTIBIOTIC RESISTANCE OF BACTERIA ISOLATED FROM VARIOUS ECOLOGICAL NICHES OF LAKE BAIKAL ECOSYSTEM**

**Elena V. Verkhovina<sup>1</sup>, Valentina A. Verkhovina<sup>2</sup>, Olga A. Belykh<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation*

<sup>2</sup> *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation*

<sup>3</sup> *Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation*

### **Article info**

Received  
April 15, 2021

Accepted  
June 21, 2021

Available online  
July 9, 2021

### **Abstract**

The article presents the results of monitoring studies of bacterial strains on antibiotic resistance held from 1995 to 2015. Samples were selected from various ecological niches of the Lake Baikal ecosystem. The bacteria was analyzed for sensitivity and resistance to 14 antibiotics. It was revealed that bacteria resistant to many antibiotics were isolated from the lake's littoral. For the first time it has been established that when

**Keywords**

Antibiotic resistance; bacteria; ecosystem; Lake Baikal; anthropogenic influence; dispersion method; correlation analysis

analyzing a large amount of received data, it is advisable to use variance and correlation methods of analysis. A dispersion analysis of bacterial resistance to antibiotics grouped by the factor of belonging to a certain month of sampling has found that in different months of the year, average resistance is reliably different ( $P\_value = 0,003 < \alpha$ ), i.e. seasonal dynamics are observed. Isolated strains are resistant to a range of broad-spectrum antibiotics, especially tetracycline and ampicillin. The most effective antimicrobial action is noted for pefloxacin, cephaloxima, gentamicin, cephalozolin. According to the cluster analysis, antibiotic-resistant strains are cross-resistant to many antibiotics. Bacteria isolated from the pelagial ecosystems of Lake Baikal and deep-sea bottom sediments are highly sensitive to almost all antibiotics.

**Введение**

Нарастающий дефицит пресной питьевой воды на планете актуализирует выявление антропогенного фактора, оказывающего влияние на экосистемы природных вод. Исследования отечественных и зарубежных микробиологов показали, что озерные лентические водоемы и бентосные отложения рыбободных прудов, как и речные лотические водоемы, представляют собой природный резервуар для накопления бактерий, устойчивых к антибиотикам. Это связано с нарастающим антропогенным влиянием и способностью бактерий быстро приспосабливаться к изменениям в окружающей среде [1–7]. Высказанное в ранних работах предположение, что бактерии не жизнеспособны при низких положительных температурах, не подтвердилось фактическими данными.

Антропогенное воздействие на пресноводные экосистемы озера Байкал усиливается ежегодно, и быстрее всего в его южной части. Это связано с развитием в этом районе строительства частных объектов гостиничного бизнеса, стоки которых поступают через ручьи или подземные воды прямо в литоральную зону озера. Также в последние годы к озеру Байкал проявляется все больший бизнес-интерес. Интенсивно идет развитие отечественного и международного туризма, строительство мини-заводов. Как указано Е.В. Потаповой, «число постоянных жителей острова Ольхон и поселка Листвянка не превышает 2 тыс. чел. Всего в 2017 г., например, на остров прибыло 273 тыс. чел. (в 2016 г. — 110 тыс. чел.), паромы перевезли 71,3 тыс. машин (в 2016 г. — 30,4 тыс.). На Ольхоне отсутствует централизованное водоснабжение, канализация и не отлажен сбор и вывоз мусора» [1, с. 7].

Микроорганизмы способны стремительно реагировать на поступление многих веществ в экосистемы водоемов, именно поэтому при антропогенных изменениях микробиологические методы часто ока-

зываются более информативными, чем химические. Определение антибиотической резистентности бактерий при изучении микробиоты водных объектов является одним из информативных показателей антропогенного пресса на водоемы, что обуславливает необходимость микробиологического мониторинга водных объектов.

Бытующее среди некоторых эпидемиологов мнение, что внешняя среда — это могилик для патогенных микроорганизмов, в настоящее время подвержено пересмотру. Анализ фактического материала, полученного в последние годы, свидетельствует о необходимости изучения роли внешней среды в качестве агрегатора патогенных бактерий. Результаты многих исследований свидетельствуют, что частота встречаемости антибиотико-устойчивых штаммов бактерий водных экосистем зависит от степени антропогенного загрязнения среды их обитания [2; 3]. Это напрямую касается и экосистемы озера Байкал. Установлено, что в различных экологических нишах создаются благоприятные условия для формирования и сохранения устойчивых к антибиотикам бактериальных штаммов. За период 1995–2003 гг. в литоральной части экосистемы Байкала были обнаружены штаммы бактерий, устойчивые к антибиотикам. Продолженные в 2005–2012 гг. исследования подтвердили, что 17–19 % штаммов, выделенных из воды селитенных районов литоральной зоны (г. Слюдянка, п. Листвянка и г. Байкальск), отличались устойчивостью к широкому спектру антибиотиков, что в основном связано с антропогенным фактором [4; 5]. Также впервые получены сведения об антибиотической устойчивости гетеротрофных бактерий, изолированных из микробных сообществ обрастаний каменистых субстратов и губок [7].

Попадая в окружающую среду, бактерии, обладая множественной устойчивостью к антибиотикам, могут служить источником генов для автохтонных микроорганизмов — естественных обитателей водных экосистем

[8–11]. Кроме того, факт увеличения численности бактерий, резистентных к широкому ряду антибиотиков и химиопрепаратов, в экосистемах поверхностных водоемов ведет к нарастанию инфекционной заболеваемости населения [12].

Цель работы — с использованием математических методов изучить устойчивость к антибиотикам байкальских штаммов бактерий, принадлежащих к различным экологическим нишам экосистемы озера Байкал.

### Объект и методика исследования

В качестве объекта исследования изучены штаммы гетеротрофных бактерий, выделенные в два этапа: в период активного антропогенного освоения озера с 1995 по 2003 г. и в период накопления и техногенной эксплуатации экосистем в литоральной (прибрежной) зоне озера Байкал (п. Листвянка — порт, г. Байкальск — БЦБК, г. Слюдянка — железнодорожный узел) с 2005 по 2012 г. Также нами изучались бактериальные штаммы, выделенные из глубоководных кернов донных осадков озера (с глубины осадков 1,3 км) и глубоководной части озера (пелагиаль), где отмечено минимальное антропогенное воздействие. За время исследований выделено и проанализировано более 3 500 штаммов микроорганизмов. Проведено экспериментальное определение устойчивости бактерий к 14 антимикробным препаратам шести фармакологических групп: пенициллины, цефалоспорины, аминогликозиды, фторхинолоны, тетрациклины, диаминопиримидины, осуществленное в соответствии с общепринятыми методиками Госсанэпиднадзора Минздрава России<sup>1</sup>. Метод позволяет определить минимальную концентрацию антибиотика, ингибирующую рост изучаемого микроорганизма. Материалы и методы собственных исследований подробно описаны в работе [13, с. 68].

Для статистической обработки и систематизации данных применялись методы дисперсионного и корреляционного анализа [14–15]. Использованы стандартные параметрические и непараметрические критерии и пакет компьютерных программ Statistica.

### Результаты и их обсуждение

Многолетние исследования микробного сообщества озера Байкал позволяют установить, что в прибрежной части южной чаши

устойчивые к антибиотикам штаммы были выявлены во всех населенных пунктах в районе п. Листвянка, г. Слюдянка, г. Байкальска. Из мелководья озера Байкал были выделены гетеротрофные бактерии, «устойчивые к 14 антимикробным препаратам шести фармакологических групп: пенициллинов, цефалоспоринов, аминогликозидов, фторхинолонов, тетрациклинов и диаминопиримидинов» [16]. Штаммы бактерий, выделенные из литорали озера, характеризовались устойчивостью к широкому спектру антибиотиков. Бактерии, выделенные из глубин озера и кернов глубоководных донных осадков озера Байкал, где отсутствует антропогенное воздействие, также оказались чувствительны ко всем 14 пробам с антибиотиками.

На следующем этапе результаты многолетних мониторинговых исследований литоральной зоны экосистемы озера Байкал на наличие гетеротрофных бактерий, устойчивых к антибиотикам, были нами обработаны с применением дисперсионного и корреляционного методов анализа [17–18]. За периоды наблюдений установлено, что сезонная зависимость среднего значения интегральных показателей антибиотикорезистентности бактерий, выделенных из литоральной части озера, варьирует от 20 до 100 мкг/мл. Максимум усредненной устойчивости бактерий к антибиотикам наблюдается в августе — сентябре. В этот период на Байкале отмечается пик туристического сезона и поступление в литоральную зону озера резистентных к антибиотикам штаммов в результате жизнедеятельности отдыхающих. К числу наиболее активных антропогенных факторов относятся судоходство, замусоривание берегов, практически отсутствие туалетов. Несомненно, также влияет наличие построенных туристических баз и иных объектов рекреации, расположенных на берегу и интенсивно эксплуатируемых в летне-осенний период. Неочищенные стоки поступают непосредственно в воду с впадающими в Байкал ручьями или просачиваются из выгребных ям стоящих на берегу строений [16]. Также в летне-осенний период возможны частые осадки, смывающие с прибрежной зоны различный мусор с бактериальным содержанием. Попадая в воду, бактерии накапливаются в экосистеме.

При анализе полученного материала на устойчивость штаммов бактерий к антибиотикам установлено, что исследуемые выборки, усредненные по фактору принадлежности к определенному месяцу отбора проб, не распределены по нормальному закону ( $P\_value < \alpha$ ). Поэтому для дисперсионного

<sup>1</sup> Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам : метод. указания. М. : Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. С. 17.

анализа использовался непараметрический критерий Краскела — Уоллиса. Дисперсионный анализ усредненной устойчивости бактериальных штаммов к антибиотикам, сгруппированных по фактору принадлежности к определенному месяцу отбора проб, выявил, что в разные месяцы года усредненная устойчивость достоверно различается ( $P\_value = 0,003 < \alpha$ ) [13, с. 67].

Определенный интерес представляет рассмотрение значений коэффициента вариации ( $\sigma$ ) устойчивости бактериальных штаммов к антибиотикам (рис. 1). Антибиотико-резистентные штаммы по коэффициенту вариации устойчивости (отношение стандартного отклонения  $\sigma$  к среднему) делятся на две плеяды. Первая — бактериальные штаммы с относительно небольшими значениями коэффициента вариации устойчивости к антибиотикам ( $\sigma < 1$ ). Среди них ампициллин, хлорамфеникол, невигаграмон, триметоприм. Устойчивость к антибиотикам этой группы изменяется в меньшей мере при сезонных переходах.

Вторая плеяда — бактериальные сообщества с относительно высокими значениями коэффициента вариации устойчивости к антибиотикам ( $1 < \text{коэффициент вариации} < 1,75$ ). К ним относятся тетрациклин,

стрептомицин, канамицин, гентамицин, рифампицин, цефазолин, цефотаксим, пefлоксацин. Устойчивость бактериальных штаммов к антибиотикам данной группы меняется в различные месяцы одного года.

Хорошие результаты дал кластерный анализ для исследования устойчивости бактериальных штаммов к определенному типу антибиотиков. Экспериментальные данные были сгруппированы следующим образом: в таблице в первом столбце даны названия антибиотиков, во втором и последующих столбцах введены штаммы, устойчивые к конкретному антибиотику, т.е. средний показатель устойчивости (по датам и точкам отбора проб). В результате для каждого антибиотика мы имеем характеристику — числовой вектор, состоящий из 119 координат.

С помощью евклидова расстояния для всех векторов, характеризующих антибиотики, была построена матрица попарных различий, на основе которой был проведен кластерный анализ бактериальных штаммов, выделенных из разных точек отбора проб в различное время. Расшифровка антибиотиков дана в таблице.

Результаты кластерного анализа представлены в виде дендрограммы на рис. 2. На полученной дендрограмме выделяются

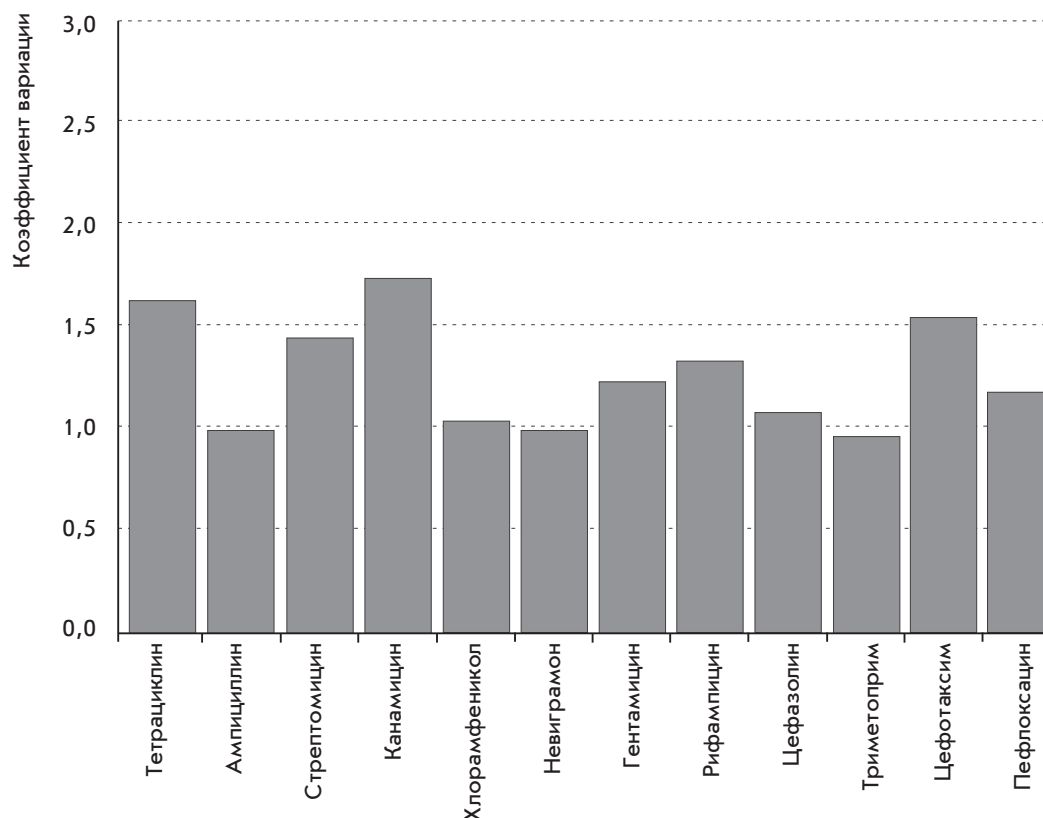


Рис. 1. Значения коэффициента вариации устойчивости бактерий к антибиотикам, мкг /мл

## Расшифровка названий антибиотиков

Шифр антибиотика	Название антибиотика
T	Тетрациклин
A	Ампициллин
S	Стрептомицин
K	Канамицин
CH	Хлорамфеникол
NEV	Невиграмон
GEN	Гентамицин
R	Рифампицин
CEF	Цефазолин
TS	Триметоприм
CFT	Цефотаксим
PF	Пефлоксацин

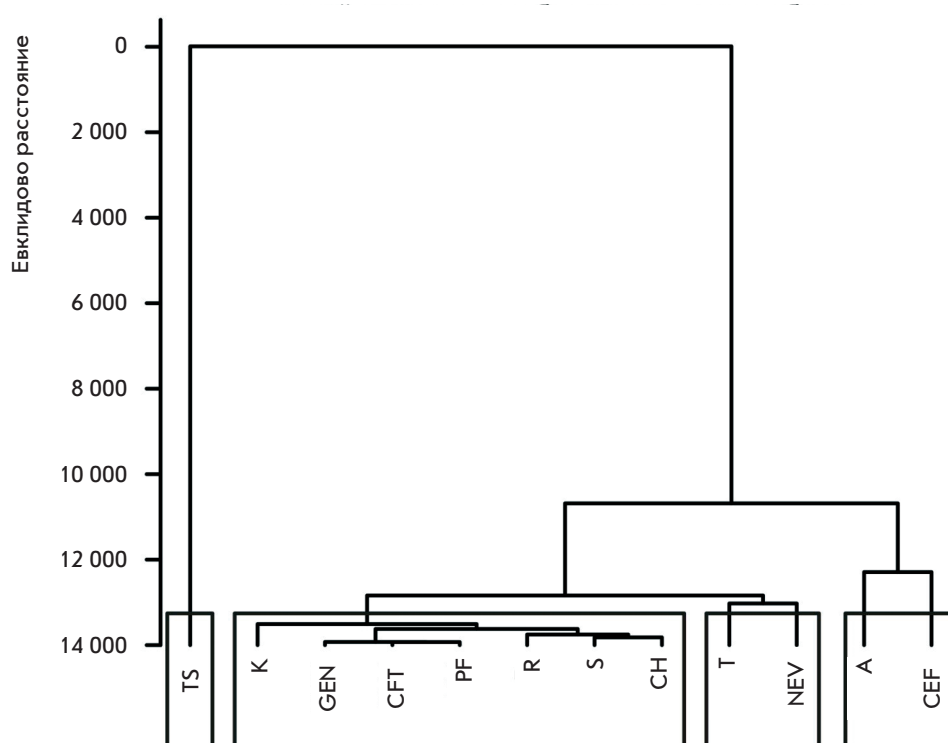


Рис. 2. Кластерная дендрограмма распределения антибиотиков по устойчивости к ним бактериальных штаммов

четыре кластера (клады) по степени устойчивости к ним бактериальных штаммов. В первый кластер (клада 1) вошли триметоприм (TS), к которому бактериальные штаммы показали наибольшую устойчивость. Во второй кластер (клада 2) вошли антибиотики K, GEN, CFT, PF, R, S, CH. Это антибиотики, к которым бактериальные штаммы показали высокую чувствительность. В третий кластер (клада 3) вошли антибиотики T и NEV, к которым бактериальные штаммы показали среднюю чувствительность. В четвертый кластер (клада 4) вошли антибиотики A и CEF, к которым бактериальные штаммы

продемонстрировали низкий уровень подавления роста.

Как видно из полученных результатов, большинство антибиотиков существенно подавляют рост микробных сообществ — это канамицин, гентамицин, цефотаксим, пефлоксацин, рифампицин, стрептомицин, хлорамфеникол. Наименее эффективен антибиотик триметоприм. Среднюю эффективность показали антибиотики тетрациклин и невигамон, ниже среднего уровня эффективны ампициллин и цефазолин. Результаты проведенных исследований устойчивости бактериальных штаммов к конкретному

антибиотику методом кластерного анализа получены на основе данных коллекции байкальских микроорганизмов.

Для изучения перекрестной устойчивости бактериальных штаммов к различным антибиотикам был рассчитан попарный коэффициент корреляции, что позволило разделить антибиотики на три группы. Первая — устойчивость пар антибиотиков формируется независимо друг от друга, коэффициент корреляции равен нулю ( $r \approx 0$ ). Вторая — пары с достоверными положительными значениями коэффициента корреляции ( $r > 0$ ), т.е. увеличение устойчивости к одному антибиотику сопровождается увеличением устойчивости к другому антибиотику, следовательно, формируется перекрестная устойчивость. Третья — это пары антибиотиков с достоверными отрицательными значениями коэффициентов корреляции ( $r < 0$ ). В бактериальных сообществах для таких пар антибиотиков увеличение устойчивости к одному антибиотику ведет к уменьшению устойчивости к другому.

Установлено, что антибиотико-резистентные штаммы, изолированные из литорали озера, имеют перекрестную устойчивость к антибиотикам. Эти штаммы могут быть устойчивы ко многим антибиотикам. Практически значимым является то, что они выделены фактически из питьевой воды, так как местное население использует природную воду из озера для всех нужд. Проведенные исследования доказывают, что бактерии антропогенного происхождения не только выживают в воде озера, но и несут генетическую информацию о факторах патогенности байкальской микрофлоры.

Анализ фактического материала, полученного в последние годы наблюдений за микробиотой озера, свидетельствует об увеличении числа устойчивых к антибиотикам штаммов в зоне максимального нахождения людей и нарушения гигиенических норм. Это еще более остро ставит вопрос изучения бактериальных сообществ при антропогенном влиянии.

Итоги изучения антибиотикорезистентности бактериальных штаммов, выделенных из различных экологических ниш экосистемы озера Байкал, с применением математических методов обосновывают наши выводы:

1. Бактериальные штаммы, выделенные в литоральной части озера (селитренные зоны п. Листвянка, г. Байкальска и г. Слюдянка), обладают высокой устойчивостью к широкому спектру антибиотиков. Причем со временем расширяется перечень антибиотико-устойчивых штаммов к новым видам антибиотиков.

2. Впервые получены сведения об антибиотикоустойчивости гетеротрофных бактерий, выделенных из глубоководных осадков, где антропогенное влияние заведомо отсутствует.

Анализ полученных результатов многолетних мониторинговых наблюдений за изменением штаммов бактерий, выделенных из литоральной зоны южной части экосистемы озера Байкал, показал, что следует особо обращать внимание на методы обработки полученных результатов. При большом объеме полученных данных многолетних исследований необходимо использовать дисперсионный и корреляционный методы анализа. Такой подход позволяет выявить изменение бактериального сообщества и составить достоверный прогноз дальнейших изменений в экосистеме.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапова Е.В. Гармонизация рекреационных возможностей и растущего туристического потока на Байкальской природной территории / Е.В. Потапова, Я.А. Суходолов // Известия Байкальского государственного университета. — 2019. — Т. 29, № 1. — С. 7–17.
2. Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества вод / Е.Д. Савилов, Л.М. Мамонтова, Е.В. Анганова, В.А. Астафьев // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. — 2008. — Т. 28, № 1. — С. 47–51.
3. Гетерогенность микробных сообществ поверхностных водоемов по показателям антибиотикорезистентности бактерий / Е.В. Анганова, Е.Д. Савилов, М.Ф. Савченко, Н.Н. Чемезова // Гигиена и санитария. — 2014. — Т. 93, № 4. — С. 19–22.
4. Антибиотикоустойчивость микробного сообщества экосистемы озера Байкал в районе пос. Листвянка, г. Слюдянки и г. Байкальска / Е.В. Верховина, В.А. Верховина, Е.Д. Савилов, В.В. Верхотуров // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. — 2014. — № 3 (97). — С. 62–65.
5. Мониторинговые исследования микробного сообщества литоральной зоны в районе южного Байкала / В.А. Верховина, Е.В. Верховина, В.В. Верхотуров, А.С. Сафаров // Вода: химия и экология. — 2014. — № 3 (69). — С. 66–70.
6. Antibiotic Resistance of Benthic Bacteria in Fish-Farm and Control Sediments of the Western Mediterranean / E. Chelossi, L. Vezzulli, A. Milano [et al.]. — DOI 10.1016/S0044-8486(03)00016-4 // Aquaculture. — 2003. — Vol. 219, iss. 1–4. — P. 83–97.
7. Зименс Е.А. Антибиотикоустойчивость гетеротрофных бактерий, изолированных из различных биотопов литоральной зоны озера Байкал / Е.А. Зименс, Е.В. Суханова, О.И. Бельих. — DOI 10.17150/2500-2759.2019.29(4).513-522 // Известия Байкальского государственного университета. — 2019. — Т. 29, № 4. — С. 513–522.

8. Lobova T.I. Multiple Antibiotic Resistance of Heterotrophic Bacteria Isolated from Siberian Lakes Subjected to Differing Degrees of Anthropogenic Impact / T.I. Lobova, E.J. Feil, L.Yu. Popova // *Microbial drug resistance*. — 2011. — Vol. 17, iss. 4. — P. 583–591.
9. Zhang X.-X. Antibiotic Resistance Genes in Water Environment / X.-X. Zhang, T. Zhang, H.P. Fang // *Applied Microbiology and Biotechnology*. — 2009. — Vol. 82, iss. 3. — P. 397–414.
10. Allen H.K. Call of the Wild: Antibiotic Resistance Genes in Natural Environments / H.K. Allen, J. Donato, H.H. Wang // *Nature Reviews Microbiology*. — 2010. — Vol. 8, iss. 4. — P. 251–259.
11. Похабова О.А. Структура ценопопуляций и морфологические особенности *Thalictrum minus* L. разной эколого-фитоценотической приуроченности в Южном Прибайкалье / О.А. Похабова // *Растительные ресурсы*. — 1992. — Т. 28, № 2. — С. 14–19.
12. Савилов Е.Д. Проявления инфекционной заболеваемости в условиях экологического неблагополучия / Е.Д. Савилов, С.В. Ильина, Н.И. Брико // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. — 2009. — № 5. — С. 34–38.
13. Применение дисперсионного и корреляционного методов анализа при исследовании антибиотикорезистентности микроорганизмов озера Байкал / В.А. Верховина, В.А. Верховина, Ю.С. Букин, А.С. Сафаров // *Вода: химия и экология*. — 2016. — № 12 (102). — С. 67–73.
14. Эпидемиологический анализ: Методы статистической обработки материала / Е.Д. Савилов, В.А. Астафьев, С.Н. Жданова, Е.А. Заруднев. — Новосибирск : Наука-Центр, 2011. — 156 с.
15. Kraemer H. Correlation coefficients in medical research: from product moment correlation to the odds ratio / H. Kraemer // *Statistical Methods in Medical research*. — 2006. — Vol. 15, iss. 6. — P. 525–544.
16. Анализ микробного сообщества в литоральной зоне южной части экосистемы озера Байкал / Е.В. Верховина, В.А. Верховина, В.В. Верхотуров [и др.]. — DOI 10.23968/2305-3488.2017.21.3.99-113 // *Вода и экология: проблемы и решения*. — 2017. — № 3 (71). — С. 99–112.
17. Verkhovina V.A. Evaluation of results of changes in bacterial strains in ecosystem of lake Baikal / V.A. Verkhovina, E.V. Verkhovina, V.V. Verkhotur. — DOI 10.1088/1757-899X/687/6/066019 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 25–27 September 2019. — Chelyabinsk, 2019. — Vol. 687. — P. 066019.*
18. The Use of Mathematical Methods in Analysis of Antibioticresistans of Microorganisms of Lake Baikal / E.V. Verkhovina, A.S. Safarov, V.A. Verkhovina, U.S. Bukin. — DOI 10.1007/978-3-030-11720-7\_10 // *Information Technologies in the Research of Biodiversity : Proceedings of the International Conference, 11–14 September 2018. — Irkutsk, 2019. — P. 66–72.*

#### Информация об авторах

*Верховина Елена Владимировна* — кандидат биологических наук, ведущий инженер, лаборатория геологии мезозоя и кайнозоя, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: verhel\_77@mail.ru.

*Верховина Валентина Александровна* — доктор технических наук, профессор, кафедра обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: verhval@mail.ru.

*Белых Ольга Александровна* — доктор биологических наук, доцент, кафедра водных биоресурсов и аквакультуры, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

#### Для цитирования

Верховина Е.В. Устойчивость бактерий озера Байкал к антибиотикам как показатель антропогенной нагрузки на экосистему / Е.В. Верховина, В.А. Верховина, О.А. Белых. — DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(2).241-247 // *Известия Байкальского государственного университета*. — 2021. — Т. 31, № 2. — С. 241–247.

#### Authors

*Elena V. Verkhovina* — Ph.D. in Biology, Senior Engineer, Laboratory of the Mesozoic and the Cenozoic Geology, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: verhel\_77@mail.ru.

*Valentina A. Verkhovina* — D.Sc. in Engineering, Professor, Department of Mineral Processing and Environment Protection, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: verhval@mail.ru.

*Olga A. Belykh* — D.Sc. in Biology, Associate Professor, Department of Aquatic Resources and Aquaculture, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

#### For Citation

Verkhovina E.V., Verkhovina V.A., Belykh O.A. Analysis of the Antibiotic Resistance of Bacteria Isolated from Various Ecological Niches of Lake Baikal Ecosystem. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 241–247. DOI: 10.17150/2500-2759.2021.31(2).241-247. (In Russian).