

**Мониторинг тяжёлых металлов в экосистеме  
малой реки Окского бассейна**

© 2017. Ю. А. Мажайский<sup>1</sup>, д. с.-х. н., профессор, гл. н. с.,  
Т. М. Гусева<sup>2</sup>, к. с.-х. н., доцент,

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники  
и мелиорации им. А. Н. Костякова, Мещерский филиал,  
390021, Россия, Рязань, пос. Солотча, ул. Мещерская, 1 а,

<sup>2</sup> Рязанский государственный медицинский университет  
им. академика И. П. Павлова,

390026, Россия, г. Рязань, ул. Высоковольтная, 9,  
e-mail: mail@mntc.pro, guseva.tm@yandex.ru

Одними из приоритетных загрязняющих веществ гидросферы являются тяжёлые металлы (ТМ). С целью выявления степени загрязнения ТМ поверхностных вод малых рек Окского бассейна проводится многолетний мониторинг на экологическом полигоне – крупномасштабной природной модели, созданной для проведения комплексных исследований, оценки степени воздействия антропогенных нагрузок на состояние экосистем и получения информации, необходимой для решения проблем рационального природопользования как на локальном, так и региональном уровнях. Программа мониторинга включает оценку экологического состояния поверхностных и грунтовых вод, гидробиологические и микробиологические исследования.

Анализ информации, полученной в ходе мониторинга, позволил установить, что максимум содержания ТМ в воде отмечается в зимний период, минимум – в летний. В содержании ТМ в грунтовых водах также, как и в воде водоёма, наблюдается определенная зависимость. Отмечали увеличение концентрации ТМ в грунтовой воде с апреля по июль. Затем концентрация ТМ в грунтовых водах постепенно снижается и достигает минимума в августе. С августа наблюдается постепенное увеличение концентраций ТМ во всех скважинах и достигает своего максимального значения в декабре, затем – постепенное снижение до марта.

В рамках мониторинга, проводимого на территории экологического полигона, был разработан и проведён микробиологический эксперимент, позволяющий оценить влияние различных концентраций ТМ в воде на микроорганизмы. Во всех вариантах опыта наблюдалось уменьшение количества колоний бактерий при увеличении концентрации тяжёлых металлов в воде, что свидетельствует о гибели видов микробов, наиболее чувствительных к токсикантам. Такая ситуация может негативно отразиться на самоочищающей способности водоёма. Проведённые комплексные исследования важнейшего компонента ландшафта Окского бассейна – малой реки свидетельствуют о значительной антропогенной нагрузке на её экосистему, обусловленной сельскохозяйственной деятельностью, на что указывают повышенное содержание ТМ в поверхностных и грунтовых водах и гидробиологические показатели. Таким образом, на ландшафтах Окского бассейна, где находится значительное количество подобных водоёмов, складывается потенциально опасная экологическая ситуация.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, малая река, экосистема, экологический полигон, гидробионты, микроорганизмы.

**Monitoring of heavy metals in the ecosystem  
of a small river of the Oka Basin**

U. A. Mazhaysky<sup>1</sup>, T. M. Guseva<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Russian Scientific-Research Institute of Hydrotechnics  
and Melioration n.a. A.N. Kostyakov, Meschersky branch,  
1 a Mescherskay St., Solotcha community, Ryazan, Russia, 390021,

<sup>2</sup> Ryazan State Medical University n.a. academician I. P. Pavlov,  
9 Vysokovolttnaya St., Ryazan, Russia, 390026,

e-mail: mail@mntc.pro, guseva.tm@yandex.ru

Heavy metals (HM) belong to the main pollutants of the hydrosphere. We aim at defining the degree of pollution of small rivers surface water in the Oka river basin with HM. We have made a long-term monitoring on the ecological range, which is a large-scale natural model created for complex researches, for assessing the degree of anthropogenic influence on ecosystems' state and getting information necessary for rational nature management both on local and regional levels. The

monitoring program included estimation of ecological state of surface and ground water, hydrobiological and microbiological researches. The analysis of the information received during the monitoring enabled to establish that the maximum level of HM concentration in water is observed in winter period, and the minimum one – in summer period. There is a certain dependency in HM concentration both in ground waters and basin water. Increase of HM concentration in ground water is observed from April till July. Then HM concentration gradually diminishes and reaches its minimum in August. Then from August gradual increase of HM concentration is registered in all wells and it reaches its maximum in December, which is followed by gradual decrease till March. As a part of the monitoring held on the territory of ecological range, a microbiological experiment was made that enables to define influence of different degrees of HM concentration on microorganisms.

All the variants of the experiment are marked by decrease of bacteria colonies with increase of HM concentration in water, that indicates demise of microbes that are the most sensitive to toxicants. Such a situation may affect self-cleaning ability of the basin. The complex research of the most important component of the landscape of the Oka river basin, of the small river, show a huge anthropogenic influence on its ecosystem caused by agricultural activity that is indicated by excessive concentration of HM in surface and ground water and hydrobiological indicators. Thus there is an ecologically dangerous situation on the territory of the Oka river basin with a big amount of such water bodies.

**Keywords:** heavy metals, small river, ecosystem, environmental, landfill, hydrobionts, microorganisms.

Многолетний мониторинг состояния крупных рек России свидетельствует о сохраняющейся тенденции ухудшения качества воды в результате длительного антропогенного воздействия. Одними из приоритетных загрязняющих веществ гидросферы являются тяжёлые металлы (ТМ) [1].

Река Ока – наиболее крупный приток р. Волги и главный водоток Рязанской области. Бассейн р. Оки включает 895 малых и средних рек, общей протяжённостью 105255 км [2]. Существующая сеть наблюдений за гидрохимическими характеристиками Окских вод не в состоянии оценить реальную экологическую ситуацию, складывающуюся в бассейне р. Оки, так как не охвачены мониторингом малые реки, которые во многом определяют качество воды.

Основная часть малых и средних рек региона протекает в районах сельскохозяйственного использования земель, являясь компонентом преобразованных ландшафтов и испытывающих значительную антропогенную нагрузку, так как именно эти водные объекты принимают стоки с сельскохозяйственных земель, которые приносят в водные объекты значительное количество как биогенных веществ, так и ТМ. С целью выявления степени загрязнения ТМ поверхностных вод малых рек Окского бассейна проводится многолетний мониторинг на экологическом полигоне – крупномасштабной природной модели, созданной для проведения комплексных исследований, оценки степени воздействия антропогенных нагрузок на состояние экосистем и получения информации, необходимой для решения проблем рационального природопользования как на локальном, так и региональном уровнях [3]. Экологический полигон имеет площадь 3000 га и представляет собой ландшафт лесостепной зоны, типичный для Мещерской низменности. Структурно он представлен следующими элементами: пашня,

пастбище, орошаемые и осушаемые земли, дачные участки, лес, акватория. На территории исследуемого ландшафта находится малая река, непосредственно связанная с водной системой р. Оки, которая является объектом исследований.

Программа мониторинга включает оценку экологического состояния поверхностных и грунтовых вод, гидробиологические исследования. Отбор проб воды проводится по стандартным методикам. Определение валового содержания ТМ в воде и растительности проводится методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В рамках мониторинга был осуществлён также гидробиологический и микробиологический анализ поверхностных вод модельного ландшафта [4].

Исследуемый водоём испытывает антропогенную нагрузку в результате функционирования на опытном ландшафте системы орошения, дренажа, земель частного использования. Водный объект является коллектором, принимающим с ландшафта поверхностный и внутрпочвенный стоки. На протяжении ряда лет в рамках проводимого мониторинга содержания ТМ в воде опытного водоёма ежемесячно отбирались пробы воды. Расположение точек пробоотбора позволяет оценить качество воды на всём протяжении водного объекта. Результаты мониторинга показали, что концентрация Pb находится в пределах ПДК для рыбохозяйственных водоёмов, содержание Cd, Cu и Zn в ряде случаев превышает этот показатель. Содержание Cu и Zn находится в пределах ПДК для водоёмов санитарно-бытового назначения, однако наблюдается превышение данного норматива по Cd и Pb. Концентрация Pb, в основном в осенне-зимний период, больше ПДК для оросительной воды.

Сложившаяся ситуация на водоёме, принимающем только стоки с земель сельскохозяйственного использования, представляет потенциальную экологическую опасность для Окского бассейна, о чём свидетельствует повы-

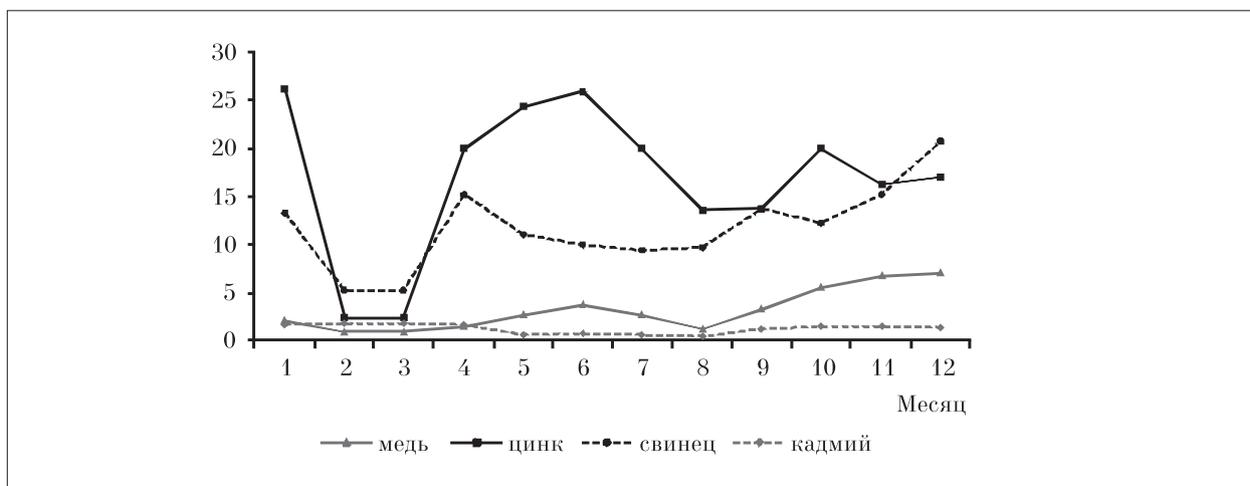


Рис. 1. Годовая динамика содержания тяжелых металлов в воде, мкг/л

шенное содержание ТМ в воде на замыкающем створе, это указывает на неспособность водоёма к процессам самоочищения.

Анализ информации, полученной в ходе мониторинга, позволил установить, что максимум содержания Cd в воде отмечается в зимний период, минимум – в летний. Наименьшее содержание Zn приходится на февраль-март, максимальная концентрация – на январь, май-июнь, ноябрь. В динамике содержания Cu и Pb отмечалась следующая зависимость: наименьшие их концентрации определены в феврале-марте, отмечали рост содержания до мая, затем – постепенное снижение концентрации в летний период и увеличение содержания элементов в осенне-зимний период с максимумом в декабре. Внутригодовая динамика содержания ТМ в воде малой реки представлена на графиках (рис. 1).

Сезонное изменение концентрации ТМ в воде можно объяснить влиянием атмосферных осадков, постепенной седиментацией водных

взвесей, адсорбирующих ТМ, а также аккумуляцией ТМ водной биотой, которая, отмирая осекая, обогащает воду поллютантами.

На территории экополигона пробурены скважины для определения уровня и качества грунтовых вод. Отбор проб воды проводили из четырёх скважин: 7, 8, 13, 14 – наиболее приближенных к малой реке и перехватывающих подземный приток с территории ландшафта. Данные многолетнего мониторинга показывают, что в содержании ТМ в грунтовых водах, так же как и в воде водоёма, наблюдается определенная зависимость. Для Cu, Pb, Cd отмечали увеличение концентрации в грунтовой воде с апреля по июль, для Zn – с марта по апрель. Затем концентрация ТМ в грунтовых водах постепенно снижается и достигает минимума в августе. С августа наблюдается постепенное увеличение концентраций ТМ во всех скважинах и достигает своего максимального значения в декабре, затем – постепенное снижение до

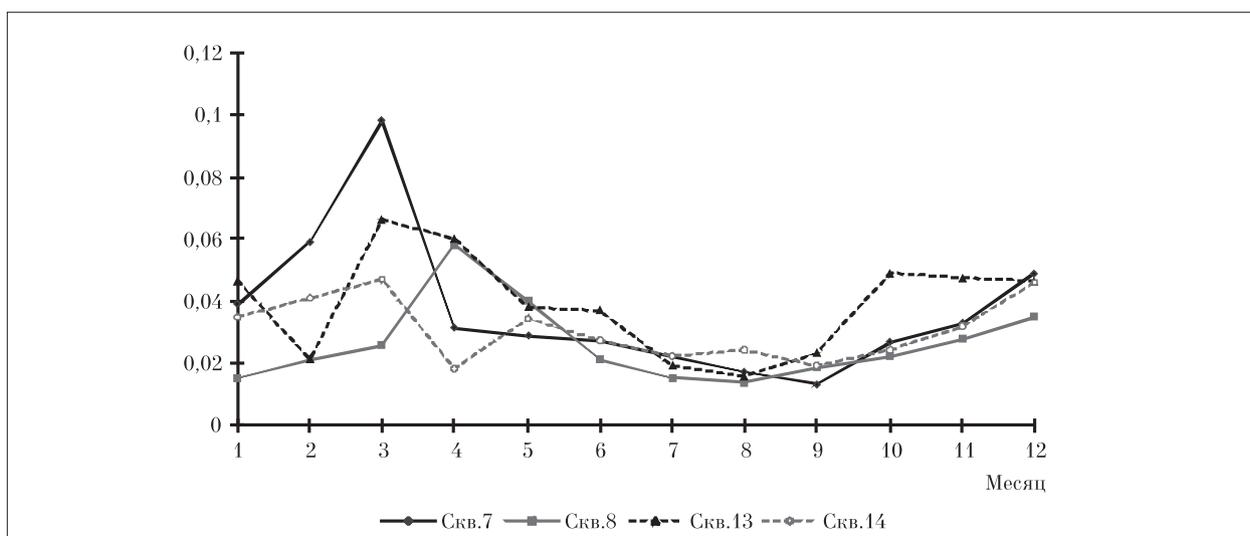


Рис. 2. Динамика содержания цинка в грунтовых водах, мг/л

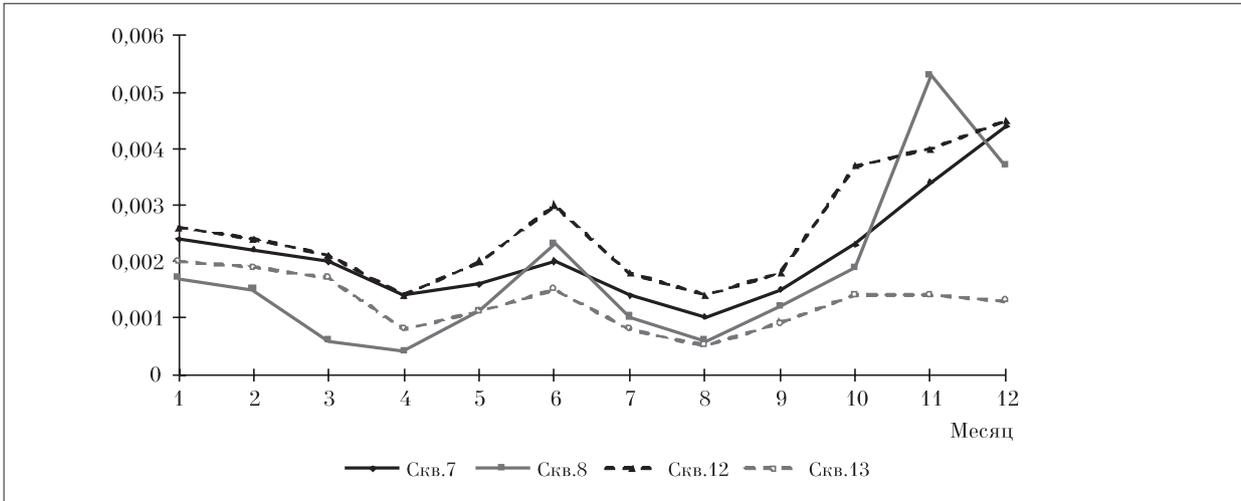


Рис. 3. Динамика содержания кадмия в грунтовых водах, мг/л

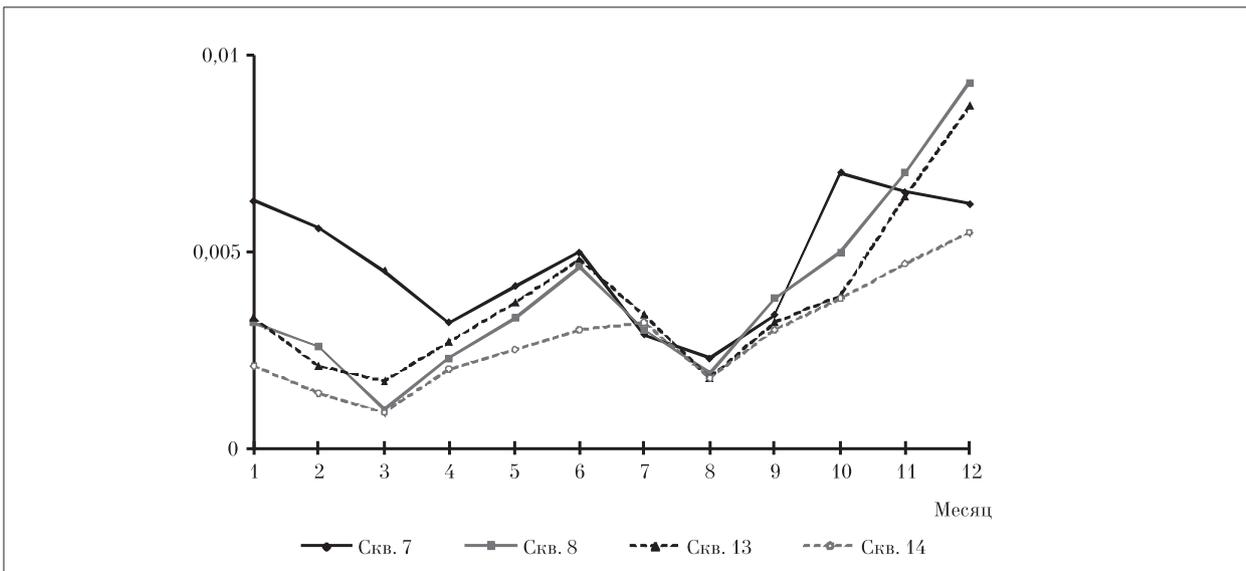


Рис. 4. Динамика содержания меди в грунтовых водах, мг/л

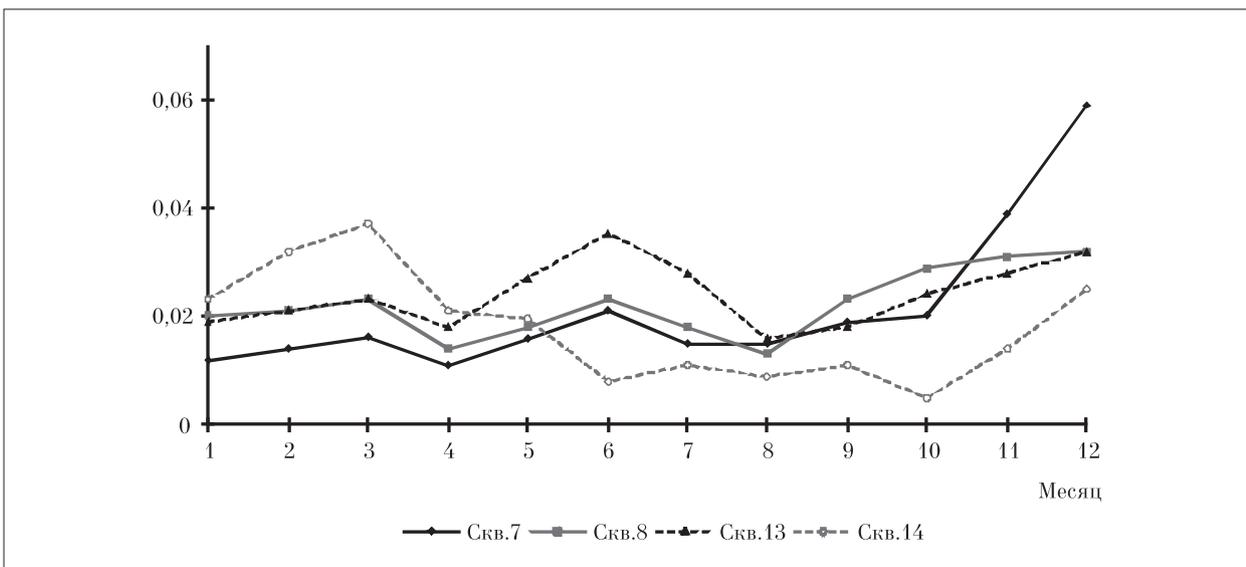


Рис. 5. Динамика содержания свинца в грунтовых водах, мг/л

Таблица

Влияние тяжёлых металлов на численность микроорганизмов, КОЕ/мл

Вариант опыта	Численность микроорганизмов
Контроль	307,0±1,8
3 ПДК	29,0±0,7
6 ПДК	22,0±1,5
9 ПДК	16,0±1,5

марта-апреля. Такое распределение концентраций ТМ в грунтовых водах зависит как от природных, так и от антропогенных факторов. Повышение концентрации ТМ в весенний период можно объяснить таянием снежного покрова, в котором происходит значительное их накопление. В летний период источником ТМ в грунтовых водах могут явиться также и дождевые осадки, однако содержание поступления ТМ в этот период наименьшее, что объясняется активной вегетацией растений. В осенне-зимний период идёт постепенное нарастание концентрации ТМ в грунтовых водах, именно в это время в почве происходит разложение растительных остатков, которые содержат определённое количество ТМ. Результаты мониторинга показали, что наименьшее содержание ТМ характерно для грунтовых вод, поступающих от лесного массива (скважина 14), наибольшее – для грунтовых вод, формирующихся в районе дачных участков, пашни, пастбища, орошаемых земель (скважины 7, 8, 13). Причём для грунтовых вод, поступающих с дачных участков, характерно доминирование **Zn и Pb, что является доказательством наибольшей антропогенной нагрузки именно на этот элемент ландшафта (рис. 2–5).**

Одним из информативных показателей антропогенной нагрузки на водные экосистемы является видовой состав гидробионтов, претерпевающий существенные изменения под влиянием ксенобиотиков [5]. С целью определения видового разнообразия водной биоты исследуемого водоёма был проведён гидробиологический анализ. Исследование показало, что в изучаемом водоёме преобладают диатомовые водоросли (*Synedra*, *Navicula*, *Melosira*) и цианобактерии (*Anabena*), доминируют простейшие жгутиковые (*Euglena*, *Bodo*, *Monas*) и инфузории (*Paramecium*, *Lionotus*, *Oxytricha*, *Vorticella* (*conica*), *Didinium*), многоклеточные беспозвоночные представлены веслоногими раками (*Cyclops*) и личинками хирономид (*Chironomus plumosus*), основная высшая водная растительность: элодея канадская (*Elodea canadensis*), ряска (*Lemna*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), ихтиофауна отсутствует. Согласно перечню организмов – индикаторов сапробности, большая часть обнаруженных в водном объекте

гидробионтов принадлежит к β-мезосапробам, но в то же время отмечается присутствие полисапробов (жгутиковые, личинки хирономид), что указывает на существующее загрязнение воды. Обеднение видового состава гидробионтов исследуемого водоёма является адекватным показателем его загрязнения.

В воде природных водоёмов и водотоков содержится большое количество микроорганизмов, способствующих самоочищению этих экосистем. Исследование влияния ТМ на автохтонные бактерии, живущие в воде, является актуальным на сегодняшний день. В рамках мониторинга, проводимого на территории экологического полигона, был разработан и проведён микробиологический эксперимент, позволяющий оценить влияние различных концентраций ТМ в воде на микроорганизмы.

Опыт включал 3 варианта, которые охватывали уровни загрязнения воды ТМ: 3, 6 и 9 ПДК для рыбохозяйственных водоёмов [6]. Для опыта использовали химически чистые соли тяжёлых металлов:  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $(CH_3COO)_2Pb \cdot 3H_2O$ ,  $CdSO_4$ .

Воду, отобранную из малой реки, расположенную на территории экологического полигона, исследовали на общее микробное число (ОМЧ). Результаты эксперимента приведены в таблице.

Во всех вариантах опыта наблюдается уменьшение количества колоний при увеличении концентрации тяжёлых металлов в воде. Уже в 1 опытно-варианте ОМЧ снижалось на порядок, что свидетельствует о гибели видов микробов, наиболее чувствительных к данным концентрациям. Такая ситуация может негативно отразиться на самоочищающей способности водоёма.

Проведённые комплексные исследования важнейшего компонента ландшафта Окского бассейна – малой реки свидетельствуют о значительной антропогенной нагрузке на её экосистему, обусловленной сельскохозяйственной деятельностью, на что указывают повышенное содержание ТМ в поверхностных и грунтовых водах и гидробиологические показатели. Таким образом, в ландшафтах Окского бассейна, где находится значительное количество подобных водоёмов, складывается потенциально опасная экологическая ситуация.

Литература

References

1. Безднина С.Я. Экосистемное водопользование: концепция, принципы, технологии. М.: Изд-во «Рома», 1997. 137 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Рязанской области в 2014 году. Рязань, 2015. 139 с.
3. Евсенкин К.Н., Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Комплекс экологических исследований на эколопигоне в бассейне р. Оки // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы: Всерос. науч.-практ. конф. Рязань, 1998. С. 94–95.
4. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 63 с.
5. Biological monitoring of environmental pollution // Proc. of the Fourth IUBS Int. Symp. on Biomonitoring of the State of the Environment (Bioindicators) 6–8 November. 1987. Tokyo, Japan / Eds. M. Yasuno, B.A. Whitton. Tokai University Press. 1988. 291 p.
6. Нормативно-методические документы по гигиене. Серия «Гигиена окружающей среды». Выпуск № 2. «Гигиена воды». Министерство здравоохранения РФ. М., 1991. 53 с.

1. Besdnina S.Ya. Ecosystem-based water management: concept, principles, technologies. M.: Izd-vo “Roma”, 1997. 137 p. (in Russian).
2. The report on the environmental situation in the Ryazan region in 2014. Ryazan, 2015. 139 p. (in Russian).
3. Evsenkin K.N., Mazhajsky Yu.A., Guseva T.M. Ecological studies on the ekopoligon in the Oka river basin // Bioengineering, medical and ecological systems and complexes: Vseross. nauch.-pract. Konf., Ryazan, 1998. P. 94–95 (in Russian).
4. Methodical instructions on determination of heavy metals in farmland soils and crop products. M.: TsIANO, 1992. 63 p. (in Russian).
5. Biological monitoring of environmental pollution // Proc. of the Fourth IUBS Int. Symp. on Biomonitoring of the State of the Environment (Bioindicators) 6–8 November. 1987. Tokyo, Japan / Eds. M. Yasuno, B.A. Whitton. Tokai University Press. 1988. 291 p.
6. Normative-methodical documents on hygiene. Series “environmental health”. Issue №. 2. “Health water”. The Ministry of health of the Russian Federation. M., 1991. 53 p. (in Russian).

УДК 574.58: 579.68: 615.33

**Изменчивость антибиотикорезистентности общих колиформных бактерий, выделенных из реки-приёмника очищенных сточных вод**

© 2017. Е. А. Зацаринная, м. н. с., А. П. Круглова, к. б. н., доцент, Е. С. Ефремова, студент, В. Д. Калчугина, студент, А. С. Трунякова, студент, Рязанский государственный университет им. С. А. Есенина, 390000, Рязанская область, г. Рязань, ул. Свободы, 46, e-mail: microbiog@mail.ru, a.kruglova@rsu.edu.ru, e.efremova@rsu.edu.ru, lera.kalchugina@yandex.ru, Sasha\_trunyakova@mail.ru

В статье представлены результаты изучения колиформных бактерий, выделенных из реки Листвянка (Рязанская область) в летний и осенний периоды 2016 г. Данные собраны в верхнем течении реки на трёх участках и характеризуют особенности микробных сообществ, сформировавшихся под влиянием антропогенной трансформации среды (сток нормативно очищенных коммунально-бытовых и промышленных сточных вод г. Рязани). Представлены количественные данные по распространённости и антибиотикорезистентности колиформных бактерий. Численность колиформ на обследованных участках достаточно высока и составляет от одной до несколько тысяч КОЕ/100 мл. Показано, что численность как общих (ОКБ), так и термотолерантных (ТКБ) колиформных бактерий на участке расширения реки, являющимся прудом-отстойником, достоверно выше, чем до и после очистных сооружений. В целом, содержание санитарно-показательных микроорганизмов не соответствует гигиеническим нормативам для поверхностных водных объектов в черте населённых мест: ОКБ – 500 КОЕ/100 мл, ТКБ – 100 КОЕ/100 мл. Исключение составляет только участок реки до очистных сооружений, где в осенний период численность ТКБ составила 27 КОЕ/100 мл. Проанализирована устойчивость 156 изолятов общих колиформных бактерий к 26 антимикробным препаратам. Дана количественная оценка устойчивости, в том числе множественной и экстремальной. Показано, что культуры с множественной лекарственной устойчивостью в летний период встречаются реже, чем осенью (60% и 73,6% соответственно). В районе выпуска очищенных сточных вод происходит увеличение доли микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью. Выделены отдельные антимикробные препараты с наибольшей эффективностью: котримоксазол, офлоксацин, левомицетин, цефотаксим. Большинство изолятов ОКБ на всех участках реки обладают высокой устойчивостью к большинству β-лактамных антибиотиков и аминогликозидов. Доминирующих профилей резистентности не обнаружено, что свидетельствует о гетерогенности выделенных колиформных бактерий по данному признаку.

**Ключевые слова:** поверхностные водные объекты, общие колиформные бактерии, антибиотикорезистентность, сточные воды.