

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.

Variability of antibiotic resistance of total coliform bacteria isolated from the river that is a receiver of treated wastewater

**E. A. Zatsarinnaya, A. P. Kruglova, E. S. Efremova,
V. D. Kalchugina, A. S. Trunyakova,**

Ryazan State University n. a. S. Yesenin,
46 St. Svobody, Ryazan, Russia, 390000,

e-mail: microbiog@mail.ru, a.kruglova@rsu.edu.ru, e.efremova@rsu.edu.ru,
lera.kalchugina@yandex.ru, Sasha_trunyakova@mail.ru

The paper presents the results of studying total and fecal coliform bacteria isolated from the Listvyanka river (Ryazan region) in summer and autumn of 2016. Water samples were selected in the upper reaches of the river in three areas, they characterize the features of microbial communities formed under the influence of anthropogenic transformation of the environment (runoff of normatively treated municipal and industrial wastewater of Ryazan). Quantitative data on the prevalence of coliform bacteria and their resistance to antibiotics are represented. The number of coliforms in the surveyed area is rather high and is one or several thousand CFU per 100 ml. It was shown that the number of both total and fecal coliform bacteria in the area of the river expansion, which is a settling pond, is significantly higher than before and after the treatment facilities. Thus, the content of sanitary-indicative microorganisms does not correspond to hygienic standards for surface water reservoirs in the populated areas: total coliform is 500 CFU per 100 mL, fecal coliform is 100 CFU per 100 ml. The only exception is the section of the river that is preceding the treatment facilities, where the number of fecal coliform was 27 CFU per 100 ml in the autumn period. The 156 isolates of total coliform bacteria were tested for susceptibility to 26 antibiotics. The number of isolates with multidrug resistance and extreme resistance was defined. It is shown that cultures with multiple drug resistance in summer are less common than in autumn (60% and 73.6% respectively). In the area of treated wastewater release there is an increased amount of microorganisms with multidrug resistance. Separate antibiotics with the greatest efficiency have been identified: cotrimoxazole, ofloxacin, chloramphenicol, cefotaxime. Most total coliform isolates in all parts of the river were highly resistant to most β -lactam antibiotics and aminoglycosides. There were no dominant resistance profiles, which indicated heterogeneity of the isolated coliform bacteria as for this characteristics.

Keywords: superficial reservoirs, total coliform bacteria, antibiotics, resistance, sewage water.

Хорошо известно, что водные системы испытывают значительные объёмы нагрузки за счёт аккумуляции поступающих в них веществ поверхностного и грунтового стока, атмосферных осадков. Непосредственно в водные объекты осуществляется сброс нормативно очищенных стоков промышленных предприятий, коммунально-бытовой сети, ливневой канализации. Все эти процессы оказывают влияние на формирование и функционирование биосистем водных объектов, в том числе сообществ микроорганизмов.

На территории Рязанской области большая часть загрязняющих веществ (> 70%) поступает в бассейн Оки через реку Листвянка. Эта река является приёмником коммунально-бытовых и промышленных сточных вод города Рязани, которые в значительной мере формируют её качественный состав после прохождения городских очистных сооружений [1].

Известно, что коммунально-бытовые сточные воды, даже нормативно очищенные, способствуют быстрому распространению антибиотикорезистентности среди микроорганизмов, населяющих природные водные объекты [2]. Исследованиями, выполненными

в 2011 г., было показано, что именно в этой реке обнаружены общие колиформные бактерии с самым высоким уровнем антибиотикорезистентности и множественной лекарственной устойчивости среди обследованных водных объектов города Рязани [3].

Цель исследования: оценить уровень устойчивости к антимикробным препаратам общих колиформных бактерий, изолированных из реки Листвянка, и описать их изменчивость. В частности, произвести выделение колиформных бактерий, установить их численность, оценить уровень устойчивости изолятов к антимикробным препаратам в различные сезоны года.

Материалы и методы исследования

С целью выделения общих колиформных бактерий (ОКБ) и оценки их устойчивости к антимикробным препаратам (АМП) в июне и октябре 2016 г. были отобраны пробы воды на трёх участках р. Листвянка (Рязанская область): 1 – до очистных сооружений, 2 – пруд-отстойник очистных сооружений, представляющий собой искусственное расширение

русла самой реки, 3 – русло реки в 500 м ниже по течению от этого пруда. Выделение колиформных бактерий проводили общепринятым методом мембранной фильтрации [4]. Мембранные фильтры помещались на поверхность среды Эндо. В ходе исследований определяли численность как общих колиформных бактерий (грамотрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки семейства Enterobacteriaceae, ферментирующие лактозу до кислоты и газа при $t^0 = 37 \pm 1$ °C в течение 24–48 ч.), так и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) (входят в число ОКБ, обладают всеми их признаками и, кроме того, способны ферментировать лактозу до кислоты и газа при $t^0 = 44 \pm 0,5$ °C в течение 24 ч.). ОКБ – это основной нормируемый показатель при оценке качества вод водоёмов в черте населённых мест, являющийся интегральным показателем степени фекального загрязнения и обладающий индикаторной надёжностью в отношении возбудителей бактериальных кишечных инфекций [4]. Видовая идентификация колиформных бактерий проводилась с помощью тест-системы для ускоренной биохимической идентификации энтеробактерий «Рapid-энтеро 200 М» (ФБУН НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург), которая основана на микрообъёмной технологии с использованием жидких дифференциальных сред. Из проб воды каждого створа в каждый из сезонов было выделено по 25–30 изолятов общих ко-

лиформных бактерий, которые в дальнейшем проверяли на устойчивость к антибактериальным препаратам. Определение устойчивости колиформ проводили диско-диффузным методом на среде Мюллера-Хилтона [5] в отношении 26 АМП, относящихся к десяти различным группам. Интерпретацию данных производили с использованием критериев NCCLS и программного пакета аналитической системы контроля антибиотикорезистентности «WHONET». Полирезистентными, т. е. обладающими множественной лекарственной устойчивостью, считали изоляты, нечувствительные к препаратам (≥ 1) трёх классов антибиотиков; экстремально резистентными – нечувствительные к препаратам (≥ 1) всех, за исключением одного-двух классов антимикробных препаратов [6].

Результаты и обсуждение

Распространённость общих и термотолерантных колиформных бактерий на различных участках реки Листвянка представлена в таблице 1. Во всех отобранных пробах были обнаружены колиформы, причём их численность была относительно высока (порядка нескольких тысяч КОЕ на 100 мл). Максимальные значения численности ОКБ зарегистрированы на третьем створе – русло реки в селе Реткино, т. е. ниже по течению относительно системы прудов-отстойников. В данном населённом пункте, на участках, прилегающих к району

Таблица 1

Распространённость и антибиотикорезистентность колиформных бактерий реки Листвянка

Створ	500 м до очистных сооружений		Пруд-отстойник		500 м ниже прудов	
	лето	осень	лето	осень	лето	осень
ОКБ, КОЕ/100 мл $M \pm m$	3514 \pm 356	887 \pm 268	4207 \pm 298	18500 \pm 1834	27000 \pm 3133	1320 \pm 205
ТКБ, КОЕ/100 мл $M \pm m$	1306 \pm 217	27 \pm 22	1711 \pm 248	1036 \pm 137	1423 \pm 227	1145 \pm 530
Количество выделенных изолятов ОКБ	25	25	25	27	25	30
Количество изолятов (%) с множественной лекарственной устойчивостью	14 (56%)	18 (72%)	17 (68%)	24 (89%)	14 (56%)	18 (60%)
Количество изолятов (%) с возможной экстремальной резистентностью,	9 (36%)	6 (24%)	11 (44%)	0 (0%)	6 (24%)	2 (6,6%)

Примечание: $M \pm m$ – среднее значение \pm ошибка средней.

выполнения работ, централизованная канализационная система отсутствует, а система утилизации представлена выгребными ямами, что, по-видимому, приводит к значительному поступлению колиформных бактерий в воды данного участка реки за счёт грунтовых вод с прилегающей территории. Сезонное снижение численности колиформных бактерий в осенний период наблюдается на участках реки до и после очистных сооружений, тогда как в пруду-отстойнике численность ОКБ, наоборот, увеличивается. Содержание ТКБ оказалось ниже, чем ОКБ (табл. 1).

Средний уровень содержания индикаторных микроорганизмов (ОКБ и ТКБ) на всех изученных створах не соответствовал гигиеническим нормативам [7]. Однако, зная, что река является коллектором всех сточных вод города Рязани, эти показатели не столь значительны. Так, пятилетний (2006–2010 гг.) санитарно-бактериологический мониторинг вод Нижнего Дона показал, что численность ОКБ в среднем составила 126936 ± 29121 КОЕ/100 мл [8], а в водах реки Лена, которая используется в качестве водоисточника, среднегодовые показатели ОКБ на отдельных участках достигали 40000 КОЕ/100 мл [9].

Среди ОКБ реки Листвянка до очистных сооружений (створ 1) в летний период преобладали *Enterobacter* spp., субдоминантом оказалась *Escherichia coli*, также зарегистрированы *Pantoea agglomerans*. В пруду-отстойнике идентифицированы *E. coli*, *Enterobacter* spp., *Citrobacter freundii*, *Providencia alcalifaciens*. Среди колиформ третьего створа зарегистрированы *E. coli*, *P. agglomerans* и *Klebsiella oxytoca*.

Все изоляты ОКБ (100%), выделенные в рамках данного исследования, оказались устойчивы или умеренно устойчивы к одному и более антибиотикам (табл. 1). Рассмотрение количественных показателей антибиотикорезистентности показало, что до очистных сооружений и после них культуры с множественной лекарственной устойчивостью (нечувствительные к препаратам ≥ 1) трёх классов антибиотиков) встречались практически с одинаковой частотой (по 56% в летний период, осенью – 72% и 60% соответственно), тогда как в пруду-отстойнике таких культур обнаружено больше: 68% изолятов в летний период и 89% – осенью. Кроме того, среди колиформ этой реки обнаружены изоляты с возможной экстремальной резистентностью (нечувствительные к препаратам ≥ 1) всех, за исключением одного-двух классов АМП). Сопоставление результатов данного исследова-

ния с материалами 2011 г., когда пробы воды из реки Листвянка были отобраны в летний период только на третьем створе [3], показывает, что за прошедшие пять лет количество культур с множественной лекарственной устойчивостью (полирезистентностью) осталось практически на том же уровне: 2011 г. – 45%, 2016 г. – 56% створ 3.

Выделенные изоляты на всех трёх створах проявляли высокую резистентность в отношении β -лактамовых антибиотиков (цефалоспоринов, пенициллинов, карбопенемов), особенно в отношении ампициллина, цефепима и имипенема. Это косвенно свидетельствует о широком распространении бета-лактамаз среди микроорганизмов данной группы (табл. 2). Уровень устойчивости выделенных изолятов ОКБ в отношении препаратов группы аминогликозидов также достаточно высок, причём среди общих колиформ из пруда-отстойника как в летний, так и в осенний периоды частота нечувствительных вариантов выше, чем на двух других створах. Резистентность к препаратам группы фторхинолонов оказалась значительно ниже, чем к β -лактамам и аминогликозидам. Не обнаружены (0%) нечувствительные варианты в летний период до очистных сооружений к левофлоксацину, после – к норфлоксацину. В осенний период в пруду-отстойнике не было культур, резистентных к левофлоксацину и норфлоксацину. Котримаксозол оказался одним из самых эффективных антибиотиков в отношении этой группы микроорганизмов: на первом и втором створе нечувствительные изоляты отсутствовали, на третьем – в летний период их было 20%, осенью – 17%. Культур, резистентных к полимиксину, обнаружено не было: устойчивость проявлялась только за счёт умеренных резистентов. В целом, анализ полученных данных (табл. 2) показывает, что изоляты, выделенные на участке русла из пруда-отстойника, оказались более устойчивы к отдельным антимикробным препаратам, чем микроорганизмы, встречающиеся в реке до и после сооружений.

Проведённые исследования позволили охарактеризовать распространённость общих колиформных бактерий в водах реки Листвянка и оценить их устойчивость к антибиотикам. Полученные данные позволяют показать, что в районе выпуска очищенных сточных вод происходят существенные качественные изменения микробиоценозов водных экосистем, в частности, повышается доля резистентных культур. Полученные сведения могут быть использованы и для дальнейших работ по изучению

Таблица 2

Встречаемость нечувствительных (R+I, %)* изолятов ОКБ, выделенных на отдельных участках реки Листвянка, к отдельным антимикробным препаратам

Створ	500 м до очистных сооружений		Пруд-отстойник		500 м ниже прудов	
	Лето	осень	лето	осень	лето	осень
Антибиотик						
Ампициллин	92	84	80	48	96	70
Ампициллин/сульбактам	10	52	30	0	10	83
Карбенициллин	68	–	72	–	60	–
Тикарциллин/клавулат	30	72	30	11	40	83
Цефалексин	64	–	96	–	12	–
Цефазолин	36	32	72	0	28	47
Цефуросим	64	64	48	48	28	10
Цефтазидим	48	–	60	–	20	–
Цефотаксим	36	–	0	–	0	–
Цефтриаксон	72	60	56	26	64	23
Цефепим	90	60	70	74	90	53
Имипенем	80	60	70	59	60	60
Амикацин	32	56	88	82	60	17
Гентамицин	16	32	48	59	72	37
Канамиин	52	–	72	–	56	–
Стрептомицин	40	–	12	–	36	–
Торбамицин	16	44	36	85	28	57
Ципрофлоксацин	12	44	8	33	8	23
Левифлоксацин	0	48	40	0	30	13
Норфлоксацин	40	36	10	0	0	20
Офлоксацин	16	16	56	4	4	0
Котримаксозол	0	4	0	0	20	17
Полимиксин	4	–	68	–	48	0
Фурадонин	64	52	60	59	36	13
Тертациклин	12	32	20	52	12	27
Левомецетин	–	20	–	7	–	20

Примечание: * R – резистентные культуры, I – умеренно-резистентные; прочерки обозначают, что устойчивость микроорганизмов к данным антибиотикам не оценивали.

процессов самоочищения водотоков и условий распространения физиолого-биохимических адаптаций бактерий, населяющих участки рек на разном расстоянии от источника внешнего воздействия. В частности, поскольку река Листвянка является притоком реки Ока, то можно говорить о росте потенциальной эпидемиологической опасности окских вод после впадения Листвянки за счёт широкого распространения антибиотикорезистентных культур среди представителей семейства энтеробактерий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Рязанской области в рамках научного проекта № 16-44-620157 «р_а».

Литература

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Рязанской области в 2003 году. Рязань, 2004. 396 с.
2. Abera A., Bahiru E., Ayele L.Z. The prevalence of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolates from fecal and water sources // Acad. J. Microbiol. Res. 2013. № 1 (1). P. 1–10.
3. 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). С. 60–64.
4. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных вод-

ных объектов. Методические указания. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 41 с.

5. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.

6. Magiorakos A.P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.G. 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. P. 268–281.

7. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы. М., 2000.

8. Журавлёв П.В., Алешня В.В., Панасовец О.П., Айдинов Г.В., Швагер М.М., Митрофанова Т.В., Джайсейдинов Б.Х., Мартынов Г.А., Дервякина Е.И. Санитарно-бактериологическая характеристика вод Нижнего Дона // *Гигиена и санитария.* 2012. № 4. С. 28–31.

9. Анганова Е.В., Протодьяконов А.П. Оценка качества вод реки Лены по санитарно-бактериологическим показателям // *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* 2006. № 6 (52). С. 129–131.

References

1. Federal report on the state of the environment of Ryazan region in 2003. Ryazan, 2004. 396 p. (in Russian).
2. Abera A., Bahiru E., Ayele L.Z. The prevalence of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolates from fecal and

water sources // *Acad. J. Microbiol. Res.* 2013. № 1(1). P. 1–10.

3. Zatsarinnyaya E.A. Quality evaluation of water bodies of Ryazan region based on the analysis of distribution and antibiotic resistance of coliform bacteria // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki.* 2014. № 1 (69). P. 60–64 (in Russian).

4. Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water of surface water bodies. Methodical instructions. M.: Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Rossii, 2004. 41 p. (in Russian).

5. The definition of sensitivity of microorganisms to antibiotics. Methodical instructions. M.: Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Rossii, 2004. 91 p. (in Russian).

6. Magiorakos A.P., Srinivasan A., Carey R.B., Carmeli Y., Falagas M.E., Giske C.G. 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. P. 268–281.

7. SanPiN 2.1.5.980-00. Hygienic requirements to surface water protection. Sanitary rules and norms. M.: 2000.

8. Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Panasovets O.P., Aidinov G.V., Schwager M.M., Mitrofanova T. V., Dzhajsejdinov B. H., Martynov G. A., Dervyakina E. I Sanitary-bacteriological characteristics of the waters of the Lower Don // *Gigiena i sanitariya.* 2012. № 4. P. 28–31 (in Russian).

9. Anganova E.V., Protodyakonov A.P. Estimation of quality of the Lena river waters on sanitary-bacteriological parameters // *Bulleten VSNTs SO RAMN.* 2006. № 6 (52). P. 129–131 (in Russian).

УДК 632.122:711.434

Влияние микрорельефа на распределение полихлорбифенилов в почвах

© 2017. Д. Ю. Аладин, н. с., Н. Ф. Деева, с. н. с., С. М. Севостьянов, к. б. н., зав. лаб., Д. В. Дёмин, к. б. н., с. н. с., Институт фундаментальных проблем биологии РАН, 142290, Россия, г. Пущино, Московская обл. ул. Институтская, 2, e-mail: aladin-danila@rambler.ru

Изучено влияние микрорельефа на перераспределение полихлорированных бифенилов (ПХБ) в слое почв 0–10 см по трём нивелирным профилям, направленным вдоль склона прируслового вала ручья Боровлянка Серпуховского района Московской области, протяжённостью 5 м и перепадом высот 30 см. Выявлены чрезвычайно высокие уровни загрязнения данным поллютантом почв на всех участках, превышение ПДК составило 1000 раз. Наименьший уровень загрязнения отмечается на повышении. В средней части полос происходит частичная аккумуляция ПХБ за счёт наличия микроповышений и микрозападин, ориентированных поперёк склона. В нижней части склонов происходит накопление загрязняющих веществ, поступающих как с вышележащих участков, так и с паводковыми водами ручья. В верхней части полос преобладают высокохлорированные группы конгенеров, в нижней – наиболее мобильные низкохлорированные ПХБ.

Ключевые слова: микрорельеф, почва, полихлорированные бифенилы, загрязнение, конгенеры.