

УДК 631.468(-524)

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ РАЗНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

В.М. Кибардин, Т.И. Артемьева, А.К. Жеребцов

Аннотация

Загрязнение почвы нефтью оказывает длительное отрицательное действие на почвенных животных, вызывая почти полную их элиминацию в облигатной зоне загрязнения и резкое снижение численности даже при слабом загрязнении. Токсическое действие нефти на дождевых червей определяется не только интенсивностью загрязнения, но и морфо-экологическими особенностями отдельных видов и их принадлежностью к разным природно-климатическим зонам.

Ключевые слова: нефть, загрязнение, дождевые черви, негативное влияние, зона загрязнения, почвенные животные, полная элиминация, токсическое действие.

Введение

Загрязнение почвы нефтью изучено в меньшей степени, чем другие промышленные загрязнения. Нефть и нефтепродукты, попадающие в почву при ее добыче и транспортировке, оказывают большое влияние на природу обширных территорий от тундры до пустынь и субтропиков.

Весь имеющийся опыт изучения нефтяных загрязнений среды и ликвидации их последствий показывает, что дать правильную оценку состояния загрязненных экосистем и прогноз изменения этого состояния, а также проводить эффективные мероприятия по восстановлению загрязненных земель необходимо с учетом почвенно-климатических условий, степени изменения ландшафта и экосистем, стадии трансформации загрязняющих веществ.

Исследований почвенной фауны территорий, нарушенных при нефтедобыче, крайне мало, они отрывочны, касаются однократных обследований загрязненных территорий [1, 2] или проведены в краткосрочных полевых модельных опытах [3]. В определенной степени пробел восполнен рядом публикаций группы казанских почвенных зоологов [4–19]. Однако и эти материалы требуют обобщения.

1. Материал и методика

Изучение влияния загрязнения почвы при нефтедобыче на комплекс почвенных животных проводилось в 1977–1990 гг. Полевые стационарные исследования проводились на территории нефтепромыслов Татарии в лесостепи Высокого Заволжья на черноземных почвах и в подзоне южной тайги Пермского Прикамья на дерново-подзолистых почвах. Для более обоснованной интерпре-

тации полученных данных выбраны наиболее типичные для рассматриваемого региона экосистемы: в лесостепной зоне – агроценозы и пастбища, то есть экосистемы, уже испытывающие значительные антропогенные нагрузки; для изучения изменений лесных экосистем в районах нефтедобычи взят один из промыслов Пермского Прикамья в южнотаежной зоне. Методика работы включала сопряженное изучение различных дождевых червей как в пространстве, так и во времени, для чего проводились динамические наблюдения на одних и тех же участках на протяжении ряда лет. В качестве фоновых взяты близко расположенные участки изучаемого района вне явно выраженного загрязнения. Поскольку в производственных условиях трудно установить дозировку и точное время загрязнения, были заложены по единой методике модельные площадки (1/4 и 1 м²) с дозированным (24 л/м² = 20 кг/ м²) внесением товарной нефти в разных природных зонах: лесотундре (ерниковая тундра, Приполярный Урал), средней тайге (сосняк-брусничник, р-н г. Сургута), южной тайге (ельник сложный, Пермское Прикамье), лесостепи (влажный и сухой луг, Татария). Наблюдения и учеты на площадках проводились через 3 дня, 1 год, 2 года, 3 года, 5 лет после закладки опыта. Дополнительно к этому в зоне лесостепи на влажном пойменном лугу был параллельно заложен опыт с различными концентрациями нефти: 6, 12, 24, 48 л/м². Это дало возможность проследить влияние различных концентраций нефти в одинаковых условиях влажности и влияние концентрации 24 л/м² в разных условиях влажности (суходольный и влажный луга). Проведенные эксперименты позволили, с одной стороны, более детально изучить потенциальные возможности разных экосистем к самоочищению, а с другой – скорость заселения загрязненной почвы дождевыми червями.

Пробы для количественных учетов брались по общепринятой в почвенной зоологии методике [20].

2. Результаты

В лесостепной зоне были обследованы пахотные угодья на наиболее типичных для нефтедобывающих районов Татарстана почвенных разностях: щелоченном и типичном карбонатном черноземах – и луговые угодья, используемые как пастбища.

Фауна крупных беспозвоночных на контрольных незагрязненных участках более многочисленна и разнообразна в интразональных элементах ландшафта – в луговых угодьях – и очень бедна и малочисленна в пахотных почвах. В комплексе мезофауны лугов значительный процент составляют дождевые черви – 36.9% (12 особей на 1 м²), в то время как в пахотных почвах они единичны.

При аварийном разливе нефти у скважин (загрязнены были одновременно участки пашни и пастбища) крупные беспозвоночные на пашне исчезают полностью в первый год загрязнения, на пастбище их численность снижается в первый год в 4.5 раза по сравнению с контролем, а на второй год они встречаются единично. Такая разница может быть связана с тем, что на пастбище, вследствие хорошо развитой дернины, скорость проникновения нефти в почву меньше, чем на пашне.

Данные, полученные в модельных опытах с искусственным загрязнением почвы нефтью (нагрузка нефти 20 кг/м²) в разных природных зонах, показали,

Табл. 1

Влияние интенсивности и длительности загрязнения почвы нефтью на численность дождевых червей в различных экосистемах с различными нагрузками нефти

Район исследования	Экосистема	Варианты опыта	Численность особей на 1 м ² после загрязнения через			
			3 дня	2–3 мес.	1 год	3 года
Лесостепь	Злаково-разнотравный пойменный луг	Контроль	26.0	24.0	52.5	73.0
		Площадки, залитые нефтью:				
		6 л/м ²	20.0	12.0	5.5	30.0
		12 л/м ²	14.6	–	–	6.0
		24 л/м ²	2.7	–	–	–
	48 л/м ²	–	–	–	–	
	Злаково-разнотравный суходольный луг	Контроль	36.0	41.2	86.0	48.0
		Нефть: 24 л/м ²	25.3	12.0	10.0	–
Южная тайга	Ельник кислично-мшистый	Контроль	97.3		47.0	24.3
		Нефть: 24 л/м ²	1.0		32.0	41.0

что основная масса почвенных животных погибает в первые дни после загрязнения. В полевом эксперименте с разной нагрузкой товарной нефти (5, 10, 20, 40 кг/м²), заложенном на влажном разнотравном лугу в лесостепи Высокого Заволжья, показано, что даже при минимально заданной нагрузке 5 и 10 кг/м² основная масса дождевых червей погибает через 2 мес. после загрязнения, а при больших нагрузках не восстанавливается и через три года (табл. 1). Анализ вертикального размещения беспозвоночных на фоновых и загрязненных площадях показал, что снижение численности идет за счет элиминации дождевых червей в верхнем десятисантиметровом слое почвы, где наиболее высока концентрация нефти. Следует отметить, что одна и та же концентрация нефти (20 кг/м²) как на суходольном, так на влажном лугах приводит к постепенному вымиранию дождевых червей [8]. Сходные данные получены нами [18] при изучении сезонных и годовых изменений численности популяции доминирующего вида дождевых червей *Eisenia uralensis* на участке пастбища, загрязненного в результате аварийного прорыва нефтепровода: однократное нефтяное загрязнение в течение 5 лет привело к практически полному вымиранию популяции, что свидетельствует о его длительном отрицательном последствии (рис. 1).

Как уже отмечалось выше, одновременно с полевыми экспериментами на лугах в зоне лесостепи Высокого Заволжья нами проводились исследования на площадках с искусственным загрязнением (нагрузка товарной нефти та же самая – 20 кг/м²) в ельнике сложном в южной тайге Пермского Прикамья. Параллельно проводились обследования участков лесных экосистем, нарушенных в результате аварийных разливов нефти (ельник кислично-мшистый – загрязнение произошло 15 лет назад, погибший лес (в настоящее время зарастающая вырубка) – загрязнение произошло 15 и 25 лет назад) (табл. 2).

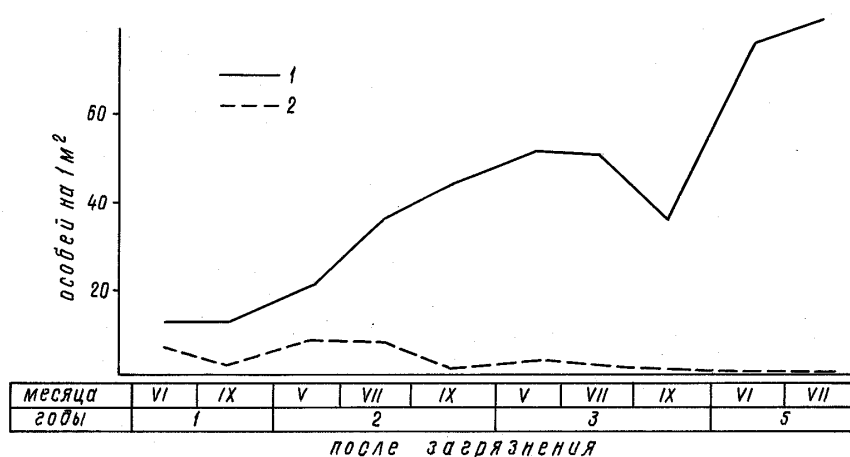


Рис. 1. Многолетняя динамика численности *Eisenia uralensis* на участке пастбища, загрязненного нефтью (1 – контроль, 2 – в условиях загрязнения)

Табл. 2

Влияние длительности производственного загрязнения нефтью на численность дождевых червей в разных природно-климатических зонах

Район исследования	Экосистема	Длительность загрязнения (в годах)	Контрольная численность особей на 1 м²	Численность особей на 1 м² при загрязнении
Лесостепь	Пашня	1	0.5	–
		2	2.7	–
		3	0.2	–
		5	–	–
	Злаково-разнотравный-пойменный луг	1	12.5	5.2
		2	32.7	4.1
		3	35.3	2.3
		5	94.0	–
Южная тайга	Ельник кислично-мшистый	15	47.0	33.3
	Погибший лес (в настоящее время зарастающая вырубка)	15		18.0
		25		4.0

Фауна почвенных беспозвоночных чистых незагрязненных лесных экосистем южной тайги Пермского Прикамья представлена довольно многочисленными и разнообразными группами сапрофагов и хищников с доминированием сапрофагов. Численность крупных беспозвоночных в ельнике колеблется по годам от 28.2 до 290 особей на 1 м², мелких членистоногих – от 34 тыс. до 230 тыс. особей на 1 м². В мезофауне значительное место занимают дождевые черви (24.3–97.3 особей на 1 м²), доминирует *Allolobophora diplotethrateca* (табл. 1).

Рядом авторов было указано на преобладание дождевых червей в мезофауне южной тайги Пермской области. Загрязнение почвы ельника нефтью вызы-

вает массовую элиминацию почвенных животных в первые дни после загрязнения, что также свидетельствует о прямом токсическом действии нефти.

Однако длительность отрицательного последствия нефтяного загрязнения, в частности, на дождевых червей в зоне лесостепи на пастбищах и в южной тайге в ельнике различна. Так, данные, полученные нами на экспериментальных площадях в южной тайге, говорят о том, что численность дождевых червей восстанавливается довольно быстро (через 1–2 года), но это происходит за счет доминирующего подстилочного вида *A. diplotetratheca*, а не типично почвенных видов [18]. На суходольном лугу в лесостепи Высокого Заволжья, где дождевые черви представлены типично почвенным видом *E. uralensis*, и через 5 лет дождевые черви на загрязненных площадках отсутствуют (рис. 1).

Таким образом, в результате проведенных нами многолетних исследований в условиях различных типов производственных загрязнений почвы нефтью и в модельных полевых экспериментах с искусственным загрязнением длительностью 3–5 лет установлено, что нефть оказывает резко отрицательное действие на комплекс педобионтов. Наибольший отрицательный эффект наблюдается в первые дни загрязнения.

3. Обсуждение

Сырая нефть рассматривается как многокомпонентный загрязнитель. Поступление нефти в почву вызывает резкое увеличение содержания органического углерода и битуминозных веществ; в составе почвенного воздуха преобладают легкие фракции нефти, снижается водопоглотительная и водоудерживающая способность почвы, повышается водопроницаемость, подавляется нитрификационная способность, уменьшается содержание подвижных форм азота и фосфора, повышается содержание подвижных форм элементов. Безусловно, эти изменения свойств почвы оказывают влияние на все биологические процессы, протекающие в почве, в том числе на микрофлору и животное население.

Данные люминесцентно-битумологического анализа, полученные на модельных площадках, показывают, что основная часть нефти концентрируется в подстилке и верхнем двадцатисантиметровом слое почвы – в зоне наибольшей активности микрофлоры и фауны. В пахотных почвах нефть может проникать до глубины 1 м.

Быстрая элиминация педобионтов в первые дни после загрязнения связана с прямым токсическим действием нефти, в первую очередь легких фракций нефти. Нами [16] в лабораторных опытах с дождевыми червями, относящимся к двум морфо-экологическим типам: типично почвенному (*Aporredodea caliginosa*) и навозному (*Eisenia fetida*) – показано, что для дождевых червей наиболее токсичны легкие фракции, причем наиболее чувствительным оказался *A. caliginosa*, а более толерантным – *E. fetida*. В краткосрочных опытах (17 мес.) с экспериментальным загрязнением почвы смешанного леса двумя фракциями нефти (гидройль и легкая нефть) финские исследователи Р. Пирхонен и В. Хухта [3] установили, что нематоды – единственная группа почвенных беспозвоночных, для которой обработка нефтью не имела отрицательных последствий, в то время как легкая фракция (25 л/м²) полностью уничтожила энхитрид, и обе фракции резко нарушали население микроартропод (коллембол, криптостигма-

тических клещей). Несколько раньше [21] в экспериментах на открытых песчаных пляжах приливно-отливной зоны было показано, что свежая сырая нефть для мейобентоса была более токсична, чем нефть после выветривания, наименее чувствительными были нематоды, наиболее – олигохеты.

С момента поступления нефти в почву начинается процесс ее естественного фракционирования, несмотря на различие в скорости изменения отдельных классов углеводородов и фракции нефти, зависящие от природно-климатических условий и состава нефти, существуют и некоторые общие черты ее внутрипочвенной деградации [22]: во всех случаях происходит снижение содержания нефти вследствие физико-химических и микробиологических процессов ее разрушения и минерализации, перевода в нерастворимые или малорастворимые малоподвижные формы. Процесс деградации нефти в почве происходит под влиянием трех взаимозависимых и взаимообусловленных факторов: физического, химического и микробиологического. Физические процессы ведут к испарению легких фракций, механической обработке пахотных почв, вымыванию и рассеиванию за пределы площади загрязнений части углеводородов, что может приводить к значительному уменьшению концентрации нефти (но не к самоочищению). Так, на экспериментальных площадках через один год после загрязнения содержание остаточной нефти составляло: в зоне средней тайги – 40.7–44.4%, в южной тайге – 12.5%, в лесостепи – 4.4% (суходольный луг) и 1.64% (влажный луг). Но при этом и через три года педобионты отсутствуют. Детальный анализ одной из доминирующих групп мезофауны опытных участков – дождевых червей – показал, что, несмотря на то что на опытных участках наблюдается уменьшение содержания остаточной нефти в почве, численность дождевых червей продолжает снижаться. Параллельно с уменьшением содержания нефти снижается содержание полициклических ароматических соединений (ПАУ) в почве, однако этот процесс идет медленнее, чем изменение остаточной нефти. Вероятно ПАУ, которые обладают наибольшей биологической активностью, оказывают более длительное действие. По нашим предварительным данным, дождевые черви обладают способностью аккумулировать ПАУ [18]. Как было сказано выше, в условиях производственного загрязнения на влажном разнотравном лугу наблюдается та же закономерность: постепенное вымирание популяции *E. uralensis*, а в естественных экосистемах – в ельнике (южная тайга, Пермская область), загрязненном 15 лет назад, – дождевые черви избегают подстилки с более высоким содержанием ПАУ, и в соответствии с этим меняется и вертикальное размещение крупных беспозвоночных: если в контроле в подстилке концентрируется 67% дождевых червей, то при загрязнении – только 17%, основная масса находится в слое 0–10 см, где содержится ПАУ в 6.3 раза меньше, чем в подстилке. Эти данные указывают на то, что в процессе деградации нефти в почве, с одной стороны, может задерживаться разложение ароматических углеводородов, а с другой – накапливаться промежуточные продукты распада, которые могут быть более токсичными, чем сама нефть, и такой показатель, как содержание остаточной нефти в почве, недостаточен для характеристики скорости деградации нефти в почве.

Немаловажное значение в процессах деградации имеет химический состав нефти. По нашим данным, в условиях южной тайги Пермской области при за-

грязнении модельных площадок в ельнике нефтью с высоким содержанием легких фракций наблюдалась почти полная элиминация педобионтов в первые три дня после загрязнения. Однако дождевые черви, представленные в основном подстилочным видом *A. diplotetratheca*, довольно быстро восстановили численность: через 2 года на загрязненных площадках наблюдалась кратковременная стимуляция, а через 3 года численность дождевых червей на контрольных и загрязненных участках стала одинаковой (табл. 1).

Несмотря на значительные изменения нефти в результате физико-химических процессов, ведущее место в биохимическом разложении нефти играют микроорганизмы. Почвенные животные не принимают активного участия в деградации нефти в почве (за исключением простейших и нематод). Положительная реакция на загрязнение нефтью в той или иной степени сохраняется при разных уровнях и длительности загрязнения [12]. Сходные данные приводят А. Роджерсон и Дж. Бергер [24]: частично разложившаяся сырая нефть не оказывает существенного влияния на скорость роста инфузорий и амёб; контролируемая утечка нефти существенно не изменяет состава почвенных простейших. Сопоставление результатов наших исследований с данными микробиологов [4], работавших в комплексе с нами на одних и тех же участках, показало, что реакция почвенных простейших на загрязнение нефтью сходна с реакцией бактерий, усваивающих минеральный азот и азот органических соединений. Это позволяет сделать вывод о том, что при общем отрицательном действии на почву и ее биологическую активность почвенные простейшие как относительно толерантная к загрязнению группа беспозвоночных, наряду с отдельными группами микрофлоры, могут принимать активное участие на первых стадиях деградации нефти в почве. Поскольку, по нашим данным, нефтяное загрязнение не полностью исключает почвенных нематод [8], и по мнению отдельных авторов, даже не оказывает отрицательного влияния [3, 21], можно также предположить, что нематоды наряду с простейшими могут принимать участие в биодegradации нефти в почве.

Summary

V.M. Kibardim, T.I. Artiemiya, A.K. Zherebtzov. Effects of Oil Pollution on Earthworms in Different Natural and Climatic Zones.

Oil pollution has prolonged negative impact on soil-dwelling animals resulting in their almost complete elimination in pollution obligate zone and sharp reduction even by weak pollution. Toxic action of oil pollution on earthworms is determined not only by pollution intensity but also by morpho-ecological specifics of individual species and their belonging to different nature-climatic zones.

Key words: petroleum pollution, earthworms, negative influence, obligate zone, soil animal's, complete elimination, toxin influence of petroleum.

Литература

1. *Порядина И.М., Голосова Л.Д.* Панцирные клещи некоторых районов нефтеразработок Тюменской области // Тез. докл. 7-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 170–171.

2. Любвина И.В., Рацевский Ю.К., Романюк Г.П. Влияние нефтепромысла на функциональное состояние лесного биогеоценоза // Экология и охрана животных. – Куйбышев: Изд-во Куйбыш. ун-та, 1982. – С. 27–43.
3. Pirhonen R., Huhta V. Petroleum fractions in soil: effects on populations of Nematoda, Encyrtidae and Microarthropoda // Soil Biol. Biochem. – 1984. – V. 16, No 4. – P. 347–350.
4. Самосова С.М., Артемьева Т.И. Реакция почвенных животных и микроорганизмов на загрязнение нефтью и засоленными пластовыми водами // Тез. 6-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Минск: Наука и техника, 1978. – С. 207–208.
5. Алейникова М.М. Почвенная фауна различных ландшафтов Среднего Поволжья // Почвенная фауна Среднего Поволжья / Ред. М.М. Алейникова. – М.: Наука, 1964. – С. 5–51.
6. Артемьева Т.И. Некоторые закономерности формирования животного населения техногенных агроценозов // Формирование животного и микробного населения агроценозов: Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Пушкино, 1982. – С. 10–11.
7. Артемьева Т.И. Почвенные животные как индикаторы биологической рекультивации техногенных территорий // Тез. докл. IX Междунар. коллоквиума по почвенной зоологии. – М., 1985. – С. 18.
8. Артемьева Т.И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий. – М: Наука, 1989. – 109 с.
9. Артемьева Т.И., Жеребцов А.К., Паушкин А.Г. Влияние загрязнения почвы нефтью и НСВ на почвенную фауну агроценозов // Перспективы применения биологического метода борьбы с вредителями сельского хозяйства в Татарской АССР. – Казань, 1981. – С. 64–82.
10. Артемьева Т.И., Жеребцов А.К., Борисович Т.М. Влияние загрязнения почвы нефтью и нефтепромышленными сточными водами на комплекс почвенных животных // Восстановление загрязненных нефтью наземных экосистем. Сер. «Человек и биосфера». – М.: Наука, 1988. – С. 82–98.
11. Борисович Т.М. К протистофауне почв, загрязненных нефтью // Тез. докл. 7-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 36–37.
12. Борисович Т.М. Влияние нефтяного загрязнения на почвенных простейших // Тез. докл. IX Междунар. коллоквиума по почвенной зоологии. – М, 1985. – С. 43.
13. Орлов О.И., Новиков В.К. Изменение комплекса микроартропод агроценозов под влиянием загрязнения почвы нефтью // Формирование животного и микробного населения агроценозов: Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Пушкино, 1982. – С. 146.
14. Орлов О.И. Коллемболы как индикаторы деградации нефти в почве // Тез. докл. 8-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Ашхабад, 1984. – Кн. 2. – С. 37–38.
15. Жеребцов А.К. Формирование комплекса почвенных жесткокрылых (*Carabidae*, *Elateridae*) техногенных агроценозов // Формирование животного и микробного населения агроценозов: Тез. докл. Всесоюз. совещ. – Пушкино, 1982. – С. 45–46.
16. Жеребцов А.К. Реакция дождевых червей на загрязнение почвы нефтью // Тез. докл. 8-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Ашхабад, 1984. – Кн. 2. – С. 102–103.
17. Утробина Н.М., Орлов О.И., Артемьева Т.И. Влияние загрязнения почвы нефтью на коллембол // Фауна и экология ногохвосток. – М.: Наука, 1984. – С. 172–179.

18. *Кибардин В.М., Жеребцов А.К., Масливец Т.А.* Сопряженность биологических и физико-химических процессов при разложении нефти в почве (на примере фоновых червей) // Тез. докл. 9-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Тбилиси, 1987. – С. 122–124.
19. *Терентьев А.М., Артемьева Т.И.* Акарофауна почвенного яруса регенерационных биогеоценозов // Тез. докл. 9-го Всесоюз. совещ. «Проблемы почвенной зоологии». – Тбилиси, 1987. – С. 135–136.
20. *Гиляров М.С.* Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 279 с.
21. *McLachlan A., Harty B.* Effect of crude oil on the supralittoral meiofauna of a sandy beach // Mar. Environ. Res. – 1982. – V. 7, No 1. – P. 71–79.
22. *Солнцева Н.П., Пиковский Ю.И., Никифорова Е.М., Оборин А.А., Калачникова И.Г., Шилова И.И., Исмаилов Н.М., Артемьева Т.И.* Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия, экология, рекультивация // Докл. симп. 7-го VII Делегатского съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. – Ташкент, 1985. – Ч. 6. – С. 246–254.
23. *Rogerson A., Berger J.* Protozoa and crude oil: question of concern? // Spill. Technol. Newslett. – 1980. – V. 5, No 6. – P. 157–160.

Поступила в редакцию
20.11.07

Кибардин Владимир Михайлович – старший преподаватель кафедры зоологии беспозвоночных Казанского государственного университета.
E-mail: vkibard@mail.ru

Артемьева Тамара Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологии природных систем Академии наук Республики Татарстан, г. Казань.

Жеребцов Александр Кириллович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией педобиологии Института экологии природных систем Республики Татарстан, г. Казань.