

УДК 574.21:504.064

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛАХ РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАЦИЙ

Л.А. Скребнева, Ф.С. Билалов, М.Н. Мукминов,
В.З. Латыпова, И.С. Григорьева

Аннотация

В работе проанализированы уровни содержания микроэлементов (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Cd) в 53 образцах медоносных пчел и 5 образцах меда методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Целью работы являлось исследование аккумуляции тяжелых металлов в организме пчел зимней, летней и осенней генераций, отобранных в районах с различной степенью техногенного загрязнения, а также изучение потенциальной возможности использования меда в качестве биоиндикатора. Обнаружены статистически значимые отличия в содержании тяжелых металлов в образцах пчел в зависимости от периода их жизнедеятельности и места отбора проб. Установлена возможность использования летней и осенней генерации медоносных пчел для контроля загрязнения наземных экосистем. Исследованные образцы меда содержали тяжелые металлы в низких концентрациях, не превышающих ПДК для пищевых продуктов.

Ключевые слова: медоносные пчелы, тяжелые металлы, контроль загрязнения окружающей среды.

Введение

Актуальность изучения закономерностей накопления в живых организмах тяжелых металлов связана, с одной стороны, с их важностью как микроэлементов для жизнедеятельности организмов, а с другой – с тем, что они представляют основной компонент загрязнений в результате хозяйственной деятельности человека. Фундаментальным отличием тяжелых металлов от других контаминантов является внедрение в окружающую среду, дальнейшая миграция и накопление в трофических цепях. Возможность аккумуляции тяжелых металлов в клетках живых организмов обусловлена их способностью к образованию стойких комплексов органических соединений. Вместе с тем ряд тяжелых металлов входит в состав ферментов – биокатализаторов и регуляторов наиболее важных физиологических процессов. Таким образом, определение уровня накопления тяжелых металлов биологическими объектами, в том числе насекомыми, является важнейшей составляющей биологической индикации состояния окружающей среды.

Широкий ареал распространения медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.), некоторые особенности функционирования пчелиных семей, а также непосредственное отношение к человеку и сельскохозяйственному производству делают пчел и продукты пчеловодства чрезвычайно удобными и экономичными объектами. Использование медоносных пчел для контроля загрязнения в нашей стране

(апимониторинг) началось сравнительно недавно, интенсивно лишь в последние десять лет. В значительной степени изучены закономерности аккумуляции тяжелых металлов в продуктах пчеловодства (прежде всего в меде) в связи с их важностью для здоровья человека. Имеется небольшое количество публикаций, в основном зарубежных, свидетельствующих о накоплении загрязняющих веществ в тканях пчел. К наиболее обстоятельным работам в этой области относятся исследования [1–7].

Отбор проб пчел, за исключением зимнего подмора, сопряжен с определенными техническими трудностями в сравнении с более простой процедурой отбора пыльцы и меда. Тем не менее именно пчелы признаны большинством авторов наиболее показательным объектом, особенно для контроля загрязнения территорий тяжелыми металлами. Однако практически отсутствует информация о различиях в накоплении тяжелых металлов особями различных временных генераций и возрастных групп рабочих пчел или она крайне противоречива. До настоящего времени нет единого мнения в отношении возможности использования меда в качестве биоиндикатора. Ряд исследователей вследствие низких обнаруживаемых концентраций и сильной вариабельности, связанной с его ботаническим происхождением, считает мед непригодным для этих целей, в то время как другие авторы придерживаются противоположной точки зрения. Подробный анализ различных точек зрения по данному вопросу представлен в нашей монографии [8].

Целью настоящей работы было исследование аккумуляции тяжелых металлов в организме пчел зимней, летней и осенней генераций, отобранных в районах с различной степенью техногенного загрязнения, а также проверка возможности использования меда в качестве биоиндикатора.

1. Материалы и методы исследования

Образцы пчел отбирались на 40 пасеках Республики Татарстан (РТ). Пятнадцать точек располагались в условно-чистых (фоновых) районах на расстоянии не менее 5 км от автострад, железных дорог и не менее 30 км от крупных индустриальных центров. Условно-чистыми их можно считать, поскольку нельзя исключить попадание тяжелых металлов как вследствие глобального загрязнения, так и в связи с переносом воздушных масс от местных источников загрязнения (от промышленных предприятий и автотранспорта) на расстояние более 5 км. Эта величина была выбрана с учетом того, что радиус активного лета пчел, как правило, не превышает 3 км. Остальные 25 точек располагались в непосредственной близости к автострадам с интенсивным движением (на расстоянии 3 км и менее) и к крупным промышленным центрам. Расположение точек отбора проб представлено на рис. 1.

Всего было отобрано 53 образца пчел и 5 образцов сотового меда. Образцы мертвых пчел отбирались в марте (зимний подмор); живые летние – в период с июня до конца августа и осенние пчелы – с конца августа до середины ноября. Мертвые пчелы собирались со дна улья, при этом использовались пластиковые перчатки и пакеты. Живые пчелы стряхивались с рамки, вынутой из улья, в большие пластиковые пакеты. До анализа пчелы хранились в морозильной камере при температуре -18°C . Для отбора меда из рамки вырезался кусок сота

Табл. 1

Содержание микроэлементов в пчелах (мг/кг сухого вещества) (n – число проб; н/о – ниже предела обнаружения; M – среднее арифметическое, Me – медиана, Max , Min – максимальное и минимальное значения, σ – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации)

	Cd	Pb	Co	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn	Fe
Летние пчелы ($n = 23$)									
Max	0.89	3.48	1.79	25.03	2.44	310.35	3.48	251.71	641.22
Min	0.03	н/о	н/о	7.91	0.14	54.90	н/о	12.27	40.25
M	0.19	1.38	0.90	16.05	0.52	93.17	0.46	45.93	220.65
σ	0.18	1.20	0.48	4.02	0.42	44.78	0.68	43.69	125.52
Me	0.13	1.00	0.90	14.81	0.40	84.48	0.30	34.93	183.37
V	0.97	0.87	0.53	0.25	0.81	0.48	1.48	0.95	0.57
Осенние пчелы ($n = 22$)									
Max	0.79	5.00	1.34	26.29	0.90	175.02	3.57	111.89	408.23
Min	0.06	0.13	0.10	9.56	0.13	46.47	н/о	13.11	11.72
M	0.24	1.57	0.82	17.10	0.44	108.62	0.77	51.86	177.49
σ	0.20	1.37	0.40	5.48	0.22	36.35	0.97	36.48	116.51
Me	0.16	1.53	0.95	14.73	0.45	112.02	0.58	38.52	174.44
V	0.81	0.87	0.49	0.32	0.49	0.33	1.27	0.70	0.66
Зимние пчелы ($n = 8$)									
Max	0.54	3.13	2.06	29.00	1.54	144.71	3.91	159.98	390.94
Min	0.13	0.44	0.15	12.94	0.29	99.77	0.19	29.42	77.71
M	0.23	1.90	0.84	20.83	1.03	117.31	1.23	71.78	210.55
σ	0.14	1.18	0.66	5.27	0.38	16.83	1.35	42.24	117.38
Me	0.17	2.11	0.87	20.99	1.01	114.30	0.50	57.73	174.60
V	0.60	0.62	0.79	0.25	0.37	0.14	1.10	0.59	0.56

2. Результаты и их обсуждение

Результаты анализа образцов пчел представлены в табл. 1.

Осеннее поколение пчел по своей физиологии принципиально отличается от летнего [11]. В процессе подготовки к зимовке пчелы приобретают способность переносить неблагоприятные условия. В этот период увеличивается количество сухого вещества в теле, азотистых веществ, резервного жира и гликогена, а количество общей воды снижается. Снижение содержания воды в теле пчел следует рассматривать как приспособление, обеспечивающее повышение устойчивости к временному переохлаждению. В конце лета происходят изменения состояния внутренних органов: гипофарингеальных желез, жирового тела и яичников. Так, у пчел осенней генерации жировое тело в 2–2.5 раза сильнее развито, чем у пчел летней генерации.

Имеется прямая корреляционная связь между продолжительностью жизни и степенью развития жирового тела. Особи летней генерации живут в пределах 1.5 мес. Физиологические изменения внутренних органов пчел и увеличение продолжительности жизни обуславливаются, с одной стороны, усиленным питанием осенних пчел пергой, что способствует накоплению в их теле резервных питательных веществ, а с другой – с полным отсутствием или наличием небольшого количества расплода, который ими выкармливается. Кроме того,

Табл. 2

Проверка достоверности различий между содержанием микроэлементов в организме пчел различных временных генераций по критерию Вилкоксона

Элемент	Cd	Pb	Co	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn	Fe
Среднее значение содержания микроэлементов, мг/кг									
зимние пчелы	0.23	1.90	0.84	20.83	1.03	117.31	1.23	71.78	210.55
летне-осенние пчелы	0.20	1.43	0.88	16.36	0.50	97.63	0.55	47.64	208.18
Критический уровень значимости (p , %)									
	15	31	71	4	0.025	1.8	14	2.4	93
Среднее значение содержания микроэлементов мг/кг									
летние пчелы	0.19	1.38	0.90	16.05	0.52	93.17	0.46	45.93	220.65
осенние пчелы	0.24	1.57	0.82	17.10	0.44	108.62	0.77	51.86	177.49
Критический уровень значимости (p , %)									
	12	63	61	67	65	5.4	18	56	45

эти пчелы не участвуют в сборе корма и его переработке. В средней полосе страны процесс формирования физиологически молодых осенних пчел протекает в августе – сентябре. Продолжительность жизни идущих на зимовку пчел наивысшая и составляет 6–7 мес., они питаются медом, который по сравнению с пергой значительно легче усваивается, что предотвращает переполнение кишечника каловыми массами. Специфической особенностью зимующих пчел является накопление в их ректуме (задней кишке) непереваренных остатков. Их количество может достигать половины массы пчелы. Зимующие пчелы характеризуются пониженным обменом веществ и экономным расходом корма (летная активность в их жизни отсутствует).

Рассмотренные физиологические особенности пчел имеют непосредственное отношение к разработке методики аккумуляционной индикации. Имеется ряд работ, свидетельствующих о том, что тяжелые металлы накапливаются главным образом в жировом теле и ректуме [7, 12, 13]. Немаловажным фактором повышения концентрации микроэлементов в теле пчел является преимущественное питание пыльцой молодых пчел, выполняющих цикл внутриульевых работ по сравнению с пчелами-фуражирами старшего возраста и осенних пчел по сравнению с летними.

С учетом вышеизложенного можно было предположить, что содержание микроэлементов в осенних пчелах будет выше, чем в летних, а в зимних – выше, чем в осенних. Результаты проверки данного предположения с использованием непараметрического критерия Вилкоксона (W) представлены в табл. 2. Данный критерий применяется для сравнения двух выборок. Он непараметрический, то есть не предполагает нормальности этих выборок. Нулевая гипотеза состоит в том, что распределения двух выборок совпадают. Альтернативная гипотеза – одно из распределений смещено от другого в ту или иную сторону. По данным выборок вычисляется значение критерия W , а также критический

уровень значимости p . Если он принимает малые значения (меньше выбранного уровня значимости), нулевая гипотеза отвергается [14].

Полученные нами данные обнаружили различия между категориями зимних и летне-осенних пчел по четырем из девяти элементов (для меди, никеля, цинка и марганца), ($p \leq 5\%$). Однако не было выявлено значимых отличий ни по одному из элементов между летними и осенними пчелами, за исключением цинка ($p = 5.4\%$). Возможно, это связано с тем, что в течение годового цикла развития пчелиной семьи у пчел наблюдается два максимума в состоянии жирового тела. Первый отмечается у пчел летом перед наступлением главного взятка, а второй – осенью при формировании зимующих пчел.

Анализ доступных публикаций по теме показал, что данные по содержанию микроэлементов в пчелах крайне ограничены и касаются в основном четырех элементов: цинка, меди, свинца и кадмия. Сравнительный анализ различных временных генераций пчел имеется в работах [1, 15]. Авторы первой работы сравнивали содержание свинца и кадмия в зимних и летних пчелах и не обнаружили между ними значимых отличий. Авторы второй статьи обнаружили, что содержание Zn, Cu, Pb и Cd в зимних пчелах ниже, чем в весенних, летних и осенних пчелах, в связи с чем считают их менее пригодными для целей мониторинга антропогенного загрязнения. Эти данные не соответствуют результатам наших исследований, которые обнаружили отчетливое превышение содержания микроэлементов в зимних пчелах по четырем позициям, в том числе по свинцу и цинку.

Степень загрязненности территорий с использованием аккумулятивной биоиндикации оценивается на основе сравнения концентраций элементов в различных биосредах либо с региональным фоновым значением, либо с базовым. В настоящее время региональным фоновым уровнем содержания тяжелых металлов является уровень естественного содержания с добавлением металлов антропогенного происхождения, которое является следствием глобального и локального переноса загрязнений. За базовый уровень концентрации принимают среднюю величину выборки со всей исследуемой территории, статистическая вероятность которой 95%. Первый вариант более предпочтителен, однако проблема заключается в отсутствии достаточного количества данных, полученных с использованием унифицированных методик, по фоновым содержаниям микроэлементов в организме пчел. Несмотря на то что показатели накопления тяжелых металлов в организме пчел для оценки степени загрязнения экосистем используются уже порядка двадцати лет, до сих пор не разработано приемлемых критериев для разграничения территорий данным методом по классам загрязненности. Поэтому результаты отдельных авторов сравниваются только с собственными данными, причем общее количество проб в каждом исследовании не превышает пятидесяти, а в большинстве исследований оно значительно меньше.

Поскольку нами были обнаружены существенные различия в степени накопления тяжелых металлов в организме пчел различных генераций, для оценки загрязненности исследованных припасечных зон целесообразно использовать более однородную группу летне-осенних пчел, между которыми подобные различия не были выявлены. Результаты проверки различий между содержанием

Табл. 3

Проверка достоверности различий между пчелами, отобранных в припасечных зонах РТ, различных по степени загрязнения, по критерию Вилкоксона (M – среднее арифметическое значение; Me – медиана; З.З. – загрязненные зоны; Ф.З. – фоновые зоны; n – число проб)

Элемент		Cd	Pb	Co	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn	Fe
Содержание микроэлементов, мг/кг										
З.З. ($n = 33$)	M	0.23	1.74	0.93	16.60	0.54	104.73	0.66	53.64	215.50
	Me	0.16	1.53	0.95	15.37	0.45	96.68	0.43	40.83	180.30
Ф.З. ($n = 12$)	M	0.12	0.59	0.74	15.70	0.37	78.11	0.24	31.13	188.04
	Me	0.12	0.29	0.85	14.21	0.28	78.83	0.10	29.24	180.17
Критический уровень значимости (p , %)										
		62	0.1	24	67	14	2.1	5.4	9.8	62

микроэлементов в пробах, отобранных в фоновых (условно-чистых) и загрязненных зонах, представлены в табл. 3.

Между двумя группами припасечных зон были обнаружены значимые различия ($p \leq 5\%$) по содержанию в пробах пчел свинца и цинка и в меньшей степени для хрома. Наибольшие различия отмечаются в распределении концентраций свинца.

Для загрязненных зон медианы первых двух элементов, как наиболее типичные значения, значительно ниже средних арифметических, учитывающих аномальные величины концентраций, что также является доказательством наличия антропогенного привноса. На гистограммах распределения содержаний свинца, цинка и хрома в пробах летне-осенних пчел показана частота встречаемости концентраций от общего количества измерений (рис. 2–4).

Основным источником поступления свинца в окружающую среду до недавнего времени был автотранспорт – до 80% всего антропогенного выброса этого металла (как с выхлопными газами, так и в результате стирания автомобильных шин). Существенно поступление свинца от горнодобывающей промышленности, выплавки и обработки металлов, производства кислотных аккумуляторов и тепловых электростанций. Согласно Федеральному закону № 34-ФЗ, производство и оборот этилированного бензина в России запрещен с 1 июля 2003 г. Тем не менее в шести пробах пчел были обнаружены высокие концентрации данного элемента (более 3 мг/кг), сопоставимые с концентрациями, указанными другими авторами для территорий, непосредственно прилегающих к автострадам с интенсивным движением в период до принятия закона [6].

В нашем исследовании повышенным содержанием свинца наряду с пробами пчел из пригородных районов характеризуются образцы, отобранные в точках, которые удалены от крупных промышленных центров, но расположены на расстоянии менее 3 км от автострад, то есть в радиусе активного лета пчел. Известно, что содержание микроэлементов в организме пчел одной временной (сезонной) генерации зависит от возраста. Это связано, с одной стороны, с различиями в питании, а с другой – с продолжительностью контакта с окружающей средой. Пчелам в возрасте до 19 дней, выполняющим цикл внутриульевых работ, требуется усиленное белковое питание, и они питаются преимущественно пыльцой.

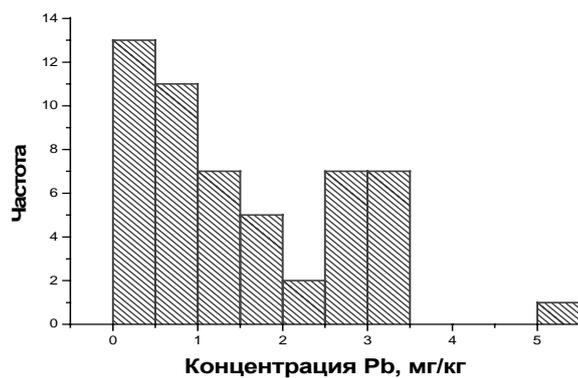


Рис. 2. Распределение концентраций свинца в пробах летне-осенних пчел

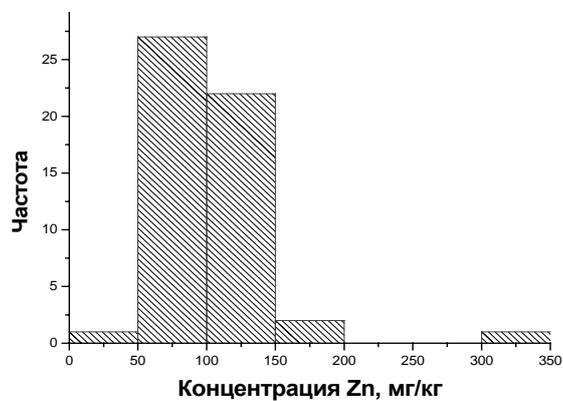


Рис. 3. Распределение концентраций цинка в пробах летне-осенних пчел

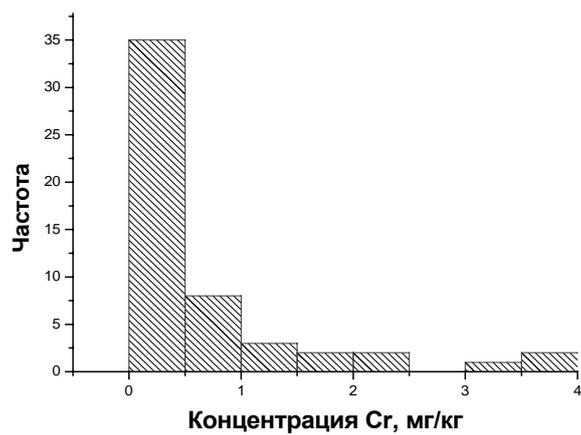


Рис. 4. Распределение концентраций хрома в пробах летне-осенних пчел

Пчелы в возрасте старше 19 дней занимаются сбором пыльцы, нектара, воды, прополиса и питаются преимущественно нектаром. В зависимости от интенсивности взятка и наличия в улье расплода эти функциональные группы могут частично меняться ролями. Наша методика отбора летне-осенних пчел с рамки, вынутой из улья, во время интенсивного взятка предполагала отбор внутриульевых пчел, потребляющих наряду с нектаром большое количество пыльцы, в отличие от пчел-фуражиров. Как было показано в нашей работе [16] и исследованиях других авторов [6, 17], пыльца по сравнению с нектаром содержит значительно более высокие концентрации микроэлементов, что связано как с естественными факторами (различиями их биохимического состава, механизмов образования, сбора и переработки их пчелами), так и со способом и временем контакта с загрязняющими веществами.

Таким образом, причиной различий в содержании свинца в организме пчел между двумя группами припасечных зон может быть миграция этого элемента по цепочке почва – медоносные растения – пыльца, нектар. Косвенным подтверждением данной гипотезы могут служить результаты анализа почв на содержание тяжелых металлов, проведенные в период с 2005 по 2009 гг. на кафедре экологии Марийского государственного университета [18], свидетельствующие о сохранении высоких концентраций свинца в почвах из промышленных районов.

Другой причиной обнаружения в некоторых пробах повышенных концентраций свинца может быть присутствие в атмосферных аэрозолях изотопов свинца, образующихся при распаде радона, выделяющегося с поверхности земли [19]. Во время длительных и активных перемещений в воздушной среде аэрозоли воздуха адсорбируются на поверхности опушенного тела пчел, а также могут поступать внутрь организма при дыхании [20].

В отличие от свинца, цинк и хром свидетельствуют преимущественно об общем уровне техногенного воздействия на окружающую среду. Из техногенных источников основным загрязнителем окружающей среды цинком является тепловые электростанции, использующие каменный уголь, цветная и черная металлургия. Основные источники хромсодержащих выбросов – это сжигание угля, производство и переработка феррохрома, изготовление огнеупоров и производство хромовых сталей. Некоторое количество тяжелых металлов привносит сельское хозяйство, где применяются пестициды и минеральные удобрения, в частности суперфосфаты.

Хром, как и цинк, относится к жизненно необходимым микроэлементам, в отличие от свинца, биологическая роль которого в настоящее время не выяснена, хотя он постоянно присутствует в живых организмах. В повышенных концентрациях все эти элементы обладают токсичностью для человека (свинец и цинк, по данным ВОЗ, относятся к 1-му классу опасности, хром – ко 2-му). Результаты наших исследований с использованием медоносных пчел свидетельствуют об индикаторном значении этих трех элементов для оценки степени загрязнения территорий. Что касается других исследованных элементов, отличий между пробами пчел по месту отбора не обнаружилось.

Содержание микроэлементов в организме определяется их физиологической ролью, поэтому в норме они поглощаются и накапливаются взаимозависимо [21], и их концентрации можно расположить в ряд по степени возраста-

ния (или убывания) данного элемента в образцах, отобранных из однотипного местообитания. При наличии геохимической природной аномалии или антропогенного привноса микроэлементы, в отличие от макроэлементов, концентрации которых стабильны и являются эволюционно закрепленными у отдельных видов животных, могут варьироваться в значительных пределах и не имеют явного порога концентрации. Ведущим фактором варьирования в настоящее время стало загрязнение окружающей среды. В нашем исследовании для содержания элементов в организме летне-осенних пчел, отобранных из условно-чистых припасечных зон, может быть выстроен следующий ряд: $Cd < Cr < Ni < Pb < Co < Cu < Mn < Zn < Fe$. Содержание элементов в пробах из загрязненных зон имеет несколько иную последовательность: $Cd < Ni < Cr < Co < Pb < Cu < Mn < Zn < Fe$. Свинец и хром нарушают естественную последовательность, их концентрации значительно выше в загрязненных районах по сравнению с фоновыми. Среднее значение концентрации свинца в пробах из загрязненных зон выше в 3 раза, хрома – в 2.75 раза, цинка – в 13 раза. Не обнаружилось изменений в положении цинка, возможно, это связано с взаимным влиянием двух факторов на содержание данного элемента в пробах: времени отбора проб ($p = 5.4\%$) и места отбора ($p = 2.1\%$).

Анализ коэффициентов корреляции между парами микроэлементов в пробах летне-осенних пчел из различных местообитаний также обнаружил различия. Наиболее значительная положительная корреляция в фоновых районах была выявлена между цинком и медью ($r = 0.67$); цинком и марганцем ($r = 0.66$); цинком и кобальтом ($r = 0.62$) и железом и хромом ($r = 0.57$). В пробах из загрязненных районов отмечается взаимосвязь между другими элементами: марганцем и кадмием ($r = 0.69$), марганцем и никелем ($r = 0.64$) и хромом и никелем ($r = 0.68$). Это свидетельствует о нарушении естественного баланса между микроэлементами в загрязненных районах.

К сожалению, из-за небольшого количества проб зимних пчел в нашем исследовании нельзя применить методы статистики для их анализа и сделать окончательные выводы о наличии взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов и местом отбора проб. Тем не менее максимальные концентрации свинца и хрома были обнаружены в пробе зимних пчел из г. Набережные Челны (остальные точки располагались в сельских районах на разном удалении от авто-страд). Свинец и хром – это те элементы, которые имели индикаторное значение для установления наличия техногенного загрязнения в группе летне-осенних пчел.

Кроме образцов пчел нами было отобрано пять проб сотового меда: две – из ульев, расположенных в жилых районах г. Казань, вблизи автотрассы с интенсивным движением, одна проба – в дачном поселке, на окраине Казани, две – в сельских районах, удаленных от крупных промышленных центров. Результаты анализа содержания микроэлементов в пробах меда, отобранных из трех типов припасечных зон (городской, пригородной и сельской), представлены в табл. 4.

Несмотря на то что концентрации большинства микроэлементов очень низкие, а для свинца, кадмия, цинка и меди ниже уровней ПДК, рекомендованных Институтом пчеловодства (1.0, 0.05, 3.0, 10.0 мг/кг соответственно), было обнаружено превышение концентраций железа, меди и свинца в городских пробах

Табл. 4

Содержание микроэлементов в пробах меда (мг/кг сырого вещества). Г – городская зона (Казань), П – пригородная зона, С – сельская зона; н/о – ниже предела обнаружения прибора

	Cd	Pb	Co	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn	Fe
Г	0.01	0.06	0.01	0.1	0.09	0.8	0.06	1.0	2.8
Г	0.004	0.05	0.03	0.1	0.01	0.2	0.02	0.5	3.2
П	н/о	0.003	0.04	0.02	0.01	0.1	0.08	0.4	1.6
С	0.02	0.03	0.05	н/о	0.01	0.1	0.09	0.5	0.9
С	н/о	0.01	0.04	н/о	0.02	0.2	0.10	0.6	1.5

по сравнению с сельскими. Эти результаты в целом согласуются с данными по меду, полученными нами ранее. В предыдущих исследованиях на большом количестве образцов ($n = 60$) было обнаружено существенное превышение содержания цинка, свинца и кадмия в пробах из пригородных районов по сравнению с фоновыми [8].

По данным Швейцарского центра изучения пчел [22], максимальное содержание микроэлементов в цветочных медах составляет (мг/кг): Fe – 4.2, Mn – 4.4, Zn – 2.5, Cu – 2.0, Ni – 1.2, Pb – 0.37, Cd – 0.02. Полученные нами величины не превышают этих значений, за исключением концентраций хрома (в 2–3 раза выше указанных: максимального для падевых медов – 0.03 мг/кг и тем более для цветочных – 0.014 мг/кг). Возможно, это связано с аномальными погодными условиями лета 2010 г., когда из-за отсутствия нектара пчелы собирали падевый мед.

Заключение

Результаты исследований обнаружили наличие статистически значимых отличий в степени аккумуляции некоторых микроэлементов медоносными пчелами различных временных генераций в зависимости от сезона отбора проб. Наивысшие концентрации в силу особенностей своей физиологии содержали зимние пчелы. Однако наиболее перспективным для контроля загрязнения территорий тяжелыми металлами представляется использование летних пчел, как наиболее объективно отражающих уровень загрязнения припасечных зон благодаря активному контакту с атмосферой и другими компонентами окружающей среды. В любом случае очевидно, что при оценке загрязнения территорий тяжелыми металлами следует учитывать влияние указанного фактора на интерпретацию результатов.

При использовании данной методики было выявлено, что из девяти проанализированных микроэлементов индикаторным значением в отношении техногенного загрязнения в наибольшей степени обладают свинец, цинк и хром. Не было установлено влияния антропогенного фактора на колебания содержания в пробах остальных металлов. Для окончательного установления причин наблюдаемых различий требуются дополнительные исследования с использованием большего количества образцов пчел, относящихся к одной возрастной и временной группе.

Ввиду легкости отбора проб меда по сравнению с образцами пчел не следует исключать возможность использования сотового меда в качестве индикатора за-

грязнения тяжелыми металлами. Кроме того, возможно совмещение мониторинга загрязнения наземных экосистем с процедурой сертификации меда. Анализ меда может быть дополнительным (проверочным) тестом для подтверждения информации, полученной при анализе содержания микроэлементов в организме пчел.

Summary

L.A. Skrebneva, F.S. Bilalov, M.N. Mukminov, V.Z. Latypova, I.S. Grigoreva. Peculiarities of Heavy Metals Accumulation in Honey Bees of Different Temporal Generations.

This article analyses concentration levels of microelements (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Cd) in fifty-three samples of honey bees and five samples of honey by atomic absorption spectroscopy. The purpose of the work was to study accumulation of heavy metals in the organisms of bees of winter, summer, and autumn generations, selected in areas with different levels of technogenic pollution. The possibility to use honey as a bioindicator was also studied. Statistically significant differences in the content of heavy metals in the samples of bees depending on the period of their vital activity and the place of sampling were revealed. The possibility of using summer and autumn generations of honey bees for the terrestrial ecosystem pollution control was established. The studied honey samples contained heavy metals in law concentrations not exceeding the maximum concentration limit for food products.

Key words: honey bees, heavy metals, pollution control.

Литература

1. Höffel I., Muller P. Schwermetallrückstände in Honigbienen (*Apis mellifica* L.) in einem Okosystem (Saarbrücken) // Forum, Städte, Hygiene. – 1983. – V. 34. – P. 191–193.
2. Höffel I. Schwermetalle in Bienen und Bienenprodukten // Apidologie. – 1985. – V. 16, No 3. – P. 196–197.
3. Leita L., Muhlbachova G., Cesco S., Barbattini R., Mondini C. Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination // Environ. Monit. Assess. – 1996. – V. 43, No 1. – P. 1–9.
4. Conti M., Botre F. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination // Environ. Monit. Assess. – 2001. – V. 69, No 3. – P. 267–282.
5. Porrini C., Sabatini A., Girotti S., Ghini S., Medrzycki P., Grillenzoni F., Bortolotti L., Gattavecchia E., Celli G. Honey bees and bee products as monitors of the environmental pollution // Apiacta. – 2003. – No 38. – P. 63–70.
6. Лебедев В.И., Мурашова Е.А. Экологическая чистота продуктов пчеловодства // Пчеловодство. – 2003. – № 4. – С. 42–44.
7. Еськов Е.К., Ярошевич Г.С., Еськова М.Д., Кострова Г.А., Ракипова Г.М. Аккумуляция тяжелых металлов в теле пчел // Пчеловодство. – 2008. – № 2. – С. 14–16.
8. Билалов Ф.С., Скребнева Л.А., Латыпова В.З., Мукминов М.Н., Бадрутдинов О.Р. Апи мониторинг в системе контроля загрязнения окружающей среды. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2010. – 264 с.
9. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. – М.: Гидрометеиздат, 1991 – 312 с.
10. ГОСТ Р 52097–2003. Продукты пчеловодства. Минерализация проб для определения токсичных элементов. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
11. Жербекин М.В. Зимовка пчел. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 150 с.

12. Zhelyazkova I., Gurgulova K. Changes in the quantity of heavy metals in the haemolymph of worker bees fed micro-element containing sugar solution // *Uludag Bee J.* – 2004. – V. 4, No 2. – P. 77–80.
13. Raes H., Cornelis R., Rzesnik U. Distribution, accumulation and depuration of administered lead in adult honeybees // *Sci. Total Environ.* – 1992. – V. 113, No 3. – P. 269–279.
14. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. – Л.: Медицина, 1973. – 142 с.
15. Velemínský M., Lázníčka P., Starý P. Honeybees (*Apis mellifera*) as environmental monitors of heavy metals in Czechoslovakia // *Acta Entomol. Bohemosl.* – 1990. – V. 87, No 1. – P. 37–44.
16. Биалов Ф.С., Колупаев Б.И., Котов Ю.С., Мухарамова С.С., Скребнева Л.А. Контроль загрязнения окружающей среды с помощью пчел и продуктов пчеловодства (апимониторинг) // Эколого-токсикологическая характеристика г. Казани и пригородной зоны. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. – С. 130–137.
17. Осинцева Л.А. Пчелиная обножка – индикатор состояния окружающей среды // Пчеловодство. – 2004. – № 3. – С. 10–11.
18. Воскресенский В.С. Экологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: Дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2011. – 194 с.
19. Новоселов Г.Н. Объемная активность радона и его дочерних продуктов распада в атмосферных осадках. – URL: http://asf.ural.ru.vnksf/tezis_v6/15/9.html
20. Bromenshenk J.J. Monitoring Air Pollution: More Work for Honeybees // *West Wildlands.* – 1985. – No 3. – P. 2–7.
21. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 300 с.
22. Bogdanov S., Haldimann M., Luginbuhl W., Gallmann P. Minerals in honey: environmental, geographical and botanical aspects // *J. Apicult. Res. Bee World.* – 2007. – V. 46, No 4. – P. 269–275.

Поступила в редакцию
22.09.11

Скребнева Людмила Анатольевна – ведущий инженер Института экологии и географии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: skrebka@mail.ru

Биалов Фарид Сабирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института экологии и географии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: bilalov_farid@hotmail.com

Мукминов Малик Нилович – доктор биологических наук, профессор Института экологии и географии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: malik-bee@mail.ru

Латыпова Венера Зиннатовна – доктор химических наук, профессор Института экологии и географии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: ecoanrt@yandex.ru

Григорьева Ирина Сергеевна – кандидат физико-математических наук, доцент Института вычислительной математики и информационных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: igrigori@mail.ru