

М.А.Мукашева

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: manara07@mail.ru)*

Методы и практика контроля анализа содержания тяжелых металлов в биологических средах

В статье приведен обзор научной литературы, анализирующей новые методы обнаружения тяжелых металлов в биологических жидкостях. Исследователи столкнулись с задачами необходимости развития простых, дешевых, эффективных методов анализа биологических материалов. Для оценки уровня содержания и неблагоприятного воздействия тяжелых металлов на организм нужны точные количественные показатели фонового содержания элементов в биосредах, учитывающие также особенности микроэлементного состава окружающей среды обитания для исследуемого региона. Сделан вывод о том, что необходимо разработать методические подходы и установить фоновые региональные уровни содержания металлов в биологических средах.

Ключевые слова: металлы, биологические среды, контроль и анализ, концентрация, химико-аналитические методы, экспериментальные исследования.

При решении вопроса разработки контроля содержания тяжелых металлов в биологических средах, для предупреждения отрицательного влияния факторов среды обитания, связанных с загрязнением окружающей среды, приходится рассматривать большое число разнообразных проблем. Одна из основных — объективная оценка реального загрязнения объектов окружающей среды, тесным образом связанная со здоровьем населения, проживающего на территории крупных промышленных комплексов [1, 2]. Анализ эко-гигиенических исследований, затрагивающий вопросы комплексной оценки состояния среды обитания, показал, что в работах, посвященных данной проблеме, недостаточно освещены вопросы взаимодействия человека со средой обитания в экосистеме «человек–доза», где на человека действует комплекс антропогенных факторов [1–4].

Многочисленные промышленные выбросы крупных производственных предприятий, выхлопы автомобильного транспорта создали весьма сложную экологическую обстановку в регионах, где они расположены. Химические соединения, поступающие ежедневно в среду обитания, перераспределяются и мигрируют в результате ветрового переноса, а также переноса поверхностными и подземными водами на довольно большие расстояния [5]. Перераспределение «техногенной нагрузки» происходит повседневно и по сей день [6]. Таким образом, создана необходимость уделить трансформации химических элементов в объектах окружающей среды референтных пределов содержания химических элементов в организме человека, проживающего в промышленном регионе, где особенно часто возникают проблемные ситуации экологического характера.

Для расчета экологической оценки безопасности необходимо учитывать не только значительный вклад тяжелых металлов в техногенную нагрузку на окружающую среду, но и состояние здоровья населения, проживающего в исследуемой местности [2, 4, 7, 8]. Так, например, соотношение содержания тяжелых металлов в волосах было положено в основу нового способа прогнозирования влияния атмосферных загрязнений на состояние здоровья [9].

В этом плане главной задачей является совершенствование методического обеспечения диагностики при наличии токсического воздействия экологических факторов малой интенсивности, так как, попадая через органы пищеварения и дыхания в организм человека, тяжелые металлы аккумулируются в различных тканях с последующим токсическим воздействием на организм. Они оказывают неспецифическое воздействие, которое осуществляется через бессимптомное накопление в тканях и органах, далее проявляется учащением и осложнением соматической патологии. Клинически идентифицировать такое воздействие сложно и не всегда представляется возможным [2, 8, 10–12]. Информативным диагностическим показателем при этом является исследование содержания химических элементов в биологических средах [1, 3, 9, 11, 13–15].

На современном этапе в данном направлении работает ряд ученых, которые используют различные химико-аналитические методы [1, 3, 12, 13, 15].

Так, в практике при исследовании биологических объектов находят применение современные методы спектрографии, отличающиеся, наряду с высокой избирательностью и достаточной чувствительностью, возможностью одновременного определения в одной пробе ряда элементов [16]. Однако количественный спектрографический анализ материалов биологического происхождения затруднен, с одной стороны, малым содержанием элементов, с другой — неоднородностью структурного и элементарного состава. Точность таких результатов анализа определяется в основном качеством применяемых эталонов и их соответствием анализируемых пробам. Одно из основных требований, предъявляемых к эталонам, — соответствие матричных основ эталонов и анализируемых проб. Несоблюдение этого требования может привести к искажению результатов анализа в 2–3 раза. В спектрографии биологических материалов применяют два способа приготовления эталонов — на искусственной и естественной основах. Эталоны на искусственной основе не достигают полного соответствия матричных основ проб и эталонов и требуют использования реагентов особой чистоты и сложной технологии приготовления, влияние же матричных эффектов позволяет применение метода добавок, но ограниченность массы исследуемых органов лабораторных животных не позволяет использовать этот метод [16].

За последние 10 лет зарубежными авторами выполнен ряд работ по газовой хроматографии металлов. Так, Ross и Sivers разработали быстрый способ определения следов хрома, алюминия и бериллия в виде трифторацетилацетонатов, а Maeg анализировал смесь трифторацетилацетонатов бериллия, меди, хрома с использованием масс-спектрометра для их идентификации [17]. Российские работы, посвященные газохроматографическому определению микроколичеств металлов, публикуются с 1970 г. В то время алюминий, хром, железо определяли газоадсорбционной хроматографией, где в качестве сигнализирующего устройства был использован детектор захвата электронов. Это был более доступный и быстрый способ определения микроколичеств металла [18–20]. В литературе [21] описаны методы определения кремния в крови, основанные на минерализации пробы и последующем выявлении с молибдатами по окраске гетерополикислот. Описанные условия анализа, способы устранения «мешающих» веществ (в первую очередь фосфатов и пигментов), рекомендации по конечному определению весьма разноречивы, а в некоторых случаях и противоречивы [22]. О.М. Гулина [23] рекомендовала визуально определять кремний дотитровыванием холостой пробы раствором хромата калия до окраски пробы. Ранее В.И. Иванов ввел фотометрическое определение кремния в водной пробе [24]. Это позволило определить фоновое содержание кремния в крови и дифференцировать роль «водного» кремния.

Существуют методические разработки определения металлов в биологических средах методом атомно-абсорбционной спектрометрии, являющимся достаточно экспрессным, чувствительным и селективным в современной аналитической практике [16, 18, 20, 25]. Так, в работах М.М. Чубирко установлены оптимальные параметры анализа исследуемых элементов с атомизацией в пламени (ток лампы, соотношение горючее/окислитель, область фотометрирования пламени, скорость подачи пробы), позволяющие обосновать оптимальную величину характеристической концентрации для исследуемых металлов на уровне $10^{-1} - 10^{-3}$ мкг/мл⁻¹, с максимальной погрешностью анализа 17,9 % [26]. Для определения содержания марганца, свинца, меди, хрома, железа, никеля в биологических объектах (волосах, плаценте, крови) разработан способ перевода биопроб без термического разложения и кислотной минерализации, что снизило потерю элементов, неизбежную как при сухом озолении, так и при кислотной минерализации биопроб, и одновременно расширить спектр определяемых ингредиентов. Такой подход позволил определять тяжелые металлы в биологических средах на уровне $10^{-1} - 10^{-3}$ мкг/мл⁻¹ с погрешностью определения до 20 % [26].

Известно, что металлы являются обязательными структурными компонентами биологических макромолекул, обеспечивая их нормальное функционирование [27]. Вместе с тем такие металлы, как молибден, никель, медь, хром, кобальт, марганец и цинк, воздействуя на живые организмы, обнаруживают мутагенную и канцерогенную активность [28]. Для выявления механизмов такого неблагоприятного действия металлов были проведены многочисленные исследования действия металлов на свойства нуклеиновых кислот. Так, спектроскопическим методом было изучено взаимодействие дизорибонуклеиновых кислот с соединениями хрома и калия. Получены инфракрасные спектры пленок дизорибонуклеиновых кислот, содержащих сульфат хрома, хлорид хрома и бихромат калия [29].

В экспериментальных исследованиях, при использовании метода инверсионной вольтамперометрии, в качестве альтернативного существующему способу кислотной минерализации проб был предложен метод твердофазной экстракции, включающий очистку и концентрирование определяе-

мых компонентов при малых затратах времени и реактивов. Применялись серийно выпускаемые фторопластовые патрончики, внутри которых находился комплексообразующий сорбент. При этом процесс пробоподготовки сводился к разбавлению раствором KCl 1–2 мл биосубстрата, затем его пропускали через концентрирующий патрон. Тогда каждый металл количественно сорбируется на комплексообразователе [30].

Для различных типов биологических субстратов в аналитическом плане найдено конкретное решение [8–12, 16, 18, 22, 25, 30]. Так, для цельной крови это применение модификации матрицы путем давления малых количеств аскорбиновой кислоты до пробы, что дало возможность в условиях микроанализа при исследовании 0,1–0,2 мл капиллярной крови получить точные количественные характеристики широкого спектра элементов — Pb, Fe, Zn, Co, Ni, Cu, Cd на уровне фоновых их концентраций, а также повысить чувствительность элементометрии в 1,4 раза. Для химического разложения образцов волос разработан способ гомогенизации материала в органическом растворителе — эмульгирование с гидроксидом тетраметиламмония, что снижает вероятность потерь определяемых элементов. По сравнению с методами озоления проб он является более экономичным и безопасным по сравнению с автоклавным кислотным разложением. Возможные потери определяемых компонентов в случае образования осадка исключаются путем дополнительного кислотного его растворения и последующего анализа. Данный прием пробоподготовки позволил повысить точность элементометрии в волосах на 10–50 % [31].

Для оценки уровня содержания и неблагоприятного воздействия тяжелых металлов на организм необходимы точные количественные показатели фонового содержания элементов в биосредах, учитывающие также особенности микроэлементного состава окружающей среды обитания для исследуемого региона. Необходимо разработать методические подходы и установить фоновые региональные уровни содержания металлов в биологических средах.

Для мочи, в которой элементы находятся в связанном состоянии и представляет собой сложную смесь химических компонентов, устранение мешающего влияния органической матрицы и перевода определяемых элементов в электрохимически активную форму применяют различные варианты пробоподготовки, такие как кислотное разложение, щелочное плавление или ультрафиолетовое облучение растворов [32].

В результате анализа доступной нам литературы мы представили картину новых способов анализа содержания тяжелых металлов в биосредах, включающую доступность, высокую чувствительность, точность определения, однако считаем необходимым повториться, что невозможно оценить эффективность профилактических мер без постоянного контроля за поступлением, усвоением и выведением из организма человека этих (а также токсичных) элементов. Поэтому перед химиками-аналитиками встают задачи разработки простых, дешевых, эффективных методик анализа биологических материалов.

Продолжается непрерывная работа над разработками и аттестацией методик выполнения измерений массовых концентраций ряда элементов в биологических пробах вольтамперометрическим методом. Метод вольтамперометрии, в частности инверсионной вольтамперометрии, отличается высокой чувствительностью и в то же время простотой, дешевизной оборудования, находит применение в анализе пищевых продуктов, фармпрепаратов и лекарственного сырья, биологических объектов [33–35].

Список литературы

- 1 *Азбалян Е.В.* Содержание тяжелых металлов и риск для здоровья населения на Ямальском Севере // Гигиена и санитария. — 2012. — № 1. — С. 14–16.
- 2 *Мамырбаев А.А., Сакебаева Л.Д., Сатыбалдиева У.А., Куянбаева Г.Е.* Роль антропогенной нагрузки в формировании аллергической заболеваемости // Гигиена и санитария. — 2012. — № 3. — С. 25–29.
- 3 *Еремейшвили А.В., Фираго А.Л., Бакаева Е.А.* Особенности содержания микроэлементов в биосубстратах детей в возрасте 1–3 лет в условиях антропогенной нагрузки // Гигиена и санитария. — 2012. — № 2. — С. 20–23.
- 4 *Засорин Б.В., Ермуханова Л.С.* Влияние факторов окружающей среды на иммунологическую резистентность организма // Гигиена и санитария. — 2012. — № 3. — С. 8–9.
- 5 *Панин М.С.* Химическая экология. — Семипалатинск, 2004. — 852 с.
- 6 *Панин М.С.* Экология Казахстана. — Алматы, 2002. — 500 с.
- 7 *Карпова Е.Г., Архиреева В.А.* Здоровье детей дошкольного возраста в городах с разным уровнем загрязнения окружающей среды // Гигиена и санитария. — 1998. — № 6. — С. 35–37.

- 8 Михайлова И.В., Смолягин А.И., Боев В.М. Влияние бензола и хрома на микроэлементный состав биосубстратов крыс «Вистар» // Гигиена и санитария. — 2012. — № 3. — С. 63–65.
- 9 Чеснокова Л.А., Михайлова И.В., Красиков С.И., Боев В.М., Смолягин А.И. Влияние хрома на микроэлементный состав биосубстратов лабораторных животных // Гигиена и санитария. — 2012. — № 4. — С. 65–69.
- 10 Ларионова Т.К. Биосубстраты человека в эколого-аналитическом мониторинге тяжелых металлов // Медицина труда и пром. экология. — 2000. — № 4. — С. 30–33.
- 11 Текуцкая Е.Е., Софьина Л.И., Бендер Л.В., Онищенко Н.П. Методы и практика контроля содержания тяжелых металлов в биосредах // Гигиена и санитария. — 1999. — № 3. — С. 72–74.
- 12 Бакулина Л.А., Шустов Д.А. Определение микроколичеств ртути в биоматериале со сложным элементарным составом (нейтронно-активационный анализ) // Гигиена и санитария. — 1990. — № 3. — С. 49–52.
- 13 Слепченко Г.Б., Пикула Н.П., Захарова Э.А. и др. Вольтамперометрическое определение химических элементов в пробах мочи // Гигиена и санитария. — 2005. — № 3. — С. 64–66.
- 14 Гильденскильд Р.С. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на организм (обзор) // Гигиена и санитария. — 1992. — № 5–6. — С. 34–37.
- 15 Засорин Б.В., Курмангалиев О.М., Ермуханова Л.С. Особенности иммунного статуса у населения урбанизированных территорий с повышенным содержанием тяжелых металлов // Гигиена и санитария. — 2012. — № 3. — С. 17–19.
- 16 Кустанович И.М. Спектральный анализ. — М.: Высш. шк., 1972. — 352 с.
- 17 Бингам Ф.Т., Коста М., Эйхенбергер Э. и др. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. Пер. с англ. / Под ред. Х.Зигеля, А.Зигель. — М.: Мир, 1993. — 368 с.
- 18 Львов Б.В. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. — М.: Наука, 1966. — 392 с.
- 19 Гадаскина И.Д., Гадаскина Н.Д., Филов В.А. Определение промышленных неорганических ядов в организме. — Л., 1975. — С. 100–110.
- 20 Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. — М., 1969. — С. 82–91.
- 21 Ласточкина К.О., Плитман С.И., Метельская Г.Н. К вопросу определения кремния в сыворотке крови // Гигиена и санитария. — 1986. — № 11. — С. 45.
- 22 Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. — М., 1984.
- 23 Гулина О.М. Материалы по вопросам промышленной токсикологии и клиники профессиональных болезней. — Горький, 1957. — Сб. 8. — С. 109–123.
- 24 Иванов В.И., Розенберг П.А. Новое в области санитарно-химического анализа. — М., 1962. — С. 35.
- 25 Макаренко Н.П., Ганебных Е.В. Пробоподготовка биологического материала для атомно-абсорбционного анализа // Гигиена и санитария. — 2007. — № 3. — С. 71, 72.
- 26 Чубирко М.И., Басова Г.М., Степанова Н.Н. и др. Биомониторинг тяжелых металлов в слюне // Гигиена и санитария. — 2005. — № 2. — С. 66–67.
- 27 Мамырбаев А.А., Бекмухамбетов Е.Ж., Засорин Б.В. Содержание металлов в волосах и крови детского населения городов Актыбинской области // Гигиена и санитария. — 2012. — № 3. — С. 61–63.
- 28 Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Плахова Л.В., Суетина Г.Н. Влияние полиметаллических загрязнений объектов окружающей среды на изменение микроэлементного состава биосред у детей // Гигиена и санитария. — № 4. — С. 11–15.
- 29 Боев В.М., Куксанов В.Ф., Быстрых В.В. Химические канцерогены среды обитания и злокачественные новообразования. — М.: Медицина, 2002. — 343 с.
- 30 Больбух Т.В. Гидратация нуклеиновых кислот в пленках по данным инфракрасной спектроскопии и пьезогравиетрии: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Харьков, 1998. — 32 с.
- 31 Монтрель М.М., Шабарчина Л.И., Плетнева Т.В., Еришов Ю.А. ИК-спектроскопическое изучение взаимодействия солей хрома с природной ДНК // Биофизика. — 1993. — Т. 38, Вып. 4. — С. 636–642.
- 32 Юдина Т.В., Феодорова Н.Е., Егоров М.В. и др. Оптимизация системы лабораторного контроля, гигиенического биомониторинга и ранней неинвазивной диагностики // Гигиена и санитария. — 1997. — № 6. — С. 45–48.
- 33 Вредные химические вещества. Неорганические соединения 5-8 групп / Под. ред. В.Л.Филова. — 1989. — С. 257–284.
- 34 ГОСТ Р 51301-99. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). — М., 1999.
- 35 ГОСТ Р 51962-2002. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания мышьяка. — М., 2002.

М.А.Мұқашева

Биологиялық орталардағы ауыр металдары құрамының тексеріс тәжірибесі және әдістері

Ғылыми әдебиетке шолу жасау нәтижесінде биологиялық орталардағы ауыр металдардың жаңа тәсілдерінің табылуы туралы талдау жасалды. Зерттеушілердің алдында биологиялық материалдарды талдаудың қарапайым, арзан, тиімді әдістемелерін әзірлеудің мақсаты тұрды. Ауыр металдарының

мөлшер деңгейін және ағзаға жағымсыз әсерді анықтау үшін зерттелетін аймақтың қоршаған ортаның микроэлементтік құрамы ерекшеліктерін есепке алып, биоорталардағы элементтер фондық құрамының нақты сандық көрсеткіштері керек. Биологиялық орталардағы ауыр металдарының жергілікті фондық мөлшер деңгейін белгілеп, әдістемелік тәсілдерін өңдеу қажет.

M.A.Mukasheva

Methods and practice of control analysis of heavy metals in biological media

The review of the scientific literature resulted in the analysis of new methods for detecting heavy metals in biological fluids. The researchers face problems of developing simple, cheap, effective methods of analysing biological materials. To assess the level of containing and the adverse effects of heavy metals on the body there is a need for accurate quantitative indicators of background concentrations of elements in biological environment which also take into account the peculiarities of element composition of the surrounding environment for the studied area. There is a necessity to develop methodical approaches and to set up regional background levels of contained metals in biological fluids.

References

- 1 Agbalyan E.V. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 1, p. 14–16.
- 2 Mamyrbayev A.A., Sakebaeva L.D., Satybaldiyeva U.A., Kuyanbaeva G.E. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 3, p. 25–29.
- 3 Ereymeyshvili A.V., Firago A.L., Bakaeva E.A. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 2, p. 20–23.
- 4 Zazorin B.V., Ermukhanova L.S. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 3, p. 8–9.
- 5 Panin M.S. *Khimicheskaya ekologiya* [Chemical ecology], Semipalatinsk, 2004, 852 p.
- 6 Panin M.S. *Ekologiya Kazakhstana* [Ecology of Kazakhstan], Almaty, 2002, 500 p.
- 7 Karpova E.G., Arkhireeva V.A. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1998, 6, p. 35–37.
- 8 Mikhailova I.V., Smolyagin A.I., Boev V.M. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 3, p. 63–65.
- 9 Chesnokova L.A., Mikhailova I.V., Krasikov S.I., Boev V.M., Smolyagin A.I. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 4, p. 65–69.
- 10 Larionova T.K. *Medsitina truda i promyshlennaya ekologiya* [Medicine of labour and industrial ecology], 2000, 4, p. 30–33.
- 11 Tekutskaya E.E., Sofina L.I., Bender L.V., Onishchenko N.P. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1999, 3, p. 72–74.
- 12 Bakulina L.A., Shustov D.A. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1990, 3, p. 49–52.
- 13 Slepchenko G.B., Pikula N.P., Zakharova E.A. et al. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2005, 3, p. 64–66.
- 14 Gildenskiold R.S. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1992, 5-6, p. 34–37.
- 15 Zazorin B.V., Kurmangaliyev O.M., Ermukhanova L.S. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 3, p. 17–19.
- 16 Kustanovich I.M. *Spektral'nyy analiz* [Spectral analysis], Moscow: Vyschaya shkola, 1972, 352 p.
- 17 Bingam F.T., Costa M. Eichenberger E. et al. *Some questions about toxicity of metal ions*, Ed. H.Siegel, A.Siegel, Verlag, 1993, 368 p.
- 18 Lvov B.V. *Atomno-absorbtsionnyy spektral'nyy analiz* [Atomic absorption spectroscopic analysis], Moscow: Nauka, 1966, 392 p.
- 19 Gadaskina I.D., Gadaskina N.D., Filov V.A. *Opredelenie promyshlennykh neorganicheskikh yadov v organizme* [Identification of industrial inorganic poisons in the body], Leningrad, 1975, p. 100–110.
- 20 Kowalski V.V., Gololobov A.D. *Metody opredeleniya mikroelementov v organakh i tkanyakh zhyvotnykh, rasteniyakh i pochvakh* [Methods for determination of trace elements in organs and tissues of animals, plants and soils], Moscow, 1969, p. 82–91.
- 21 Lastochkina K.O., Plitman S.I., Metelskaya G.N. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1986, 11, p. 45.
- 22 Bock R. *Metody razlozheniya v analiticheskoy khimii* [Decomposition methods in analytical chemistry], Moscow, 1984.
- 23 Gulina O.M. *Materialy po voprosam promyshlennoy toksikologii i kliniki professional'nykh bolezney* [Materials for industrial toxicology and occupational diseases clinic], Gorky, 1957, 8, p. 109–123.
- 24 Ivanov V.I., Rosenberg P.A. *Novoe v oblasti sanitarno-khimicheskogo analiza* [New in the field of sanitary and chemical analysis], Moscow, 1962, p. 35.
- 25 Makarenko N.P., Ganebnykh E.V. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2007, 3, p. 71–72.
- 26 Chubirko M.I., Basova G.M., Stepanova N.N. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2005, 2, p. 66–67.
- 27 Mamyrbayev A.A., Bekmukhambetov E.Zh., Zazorin B.V. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2012, 3, p. 61–63.
- 28 Zaitseva N.V., Ulanova T.S., Plakhova L.V., Suetina G.N. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 4, p. 11–15.
- 29 Boev V.M., Kuksanov V.F., Bystrykh V.V. *Khimicheskie kantserogeny sredy obitaniya i zlokachestvennyye novoobrazovaniya* [Chemical carcinogens of environment and cancer], Moscow: Medicine, 2002, 343 p.

- 30 Bol'bukh T.V. *Gidratatsiya nukleinovyykh kislot v plenках po dannym infrakrasnoy spektroskopii i p'ezogravimetrii* [Hydration of nucleic acids in the films according to infrared spectroscopy and piezogravimetry]: Cand. dis. abstract, Kharkov, 1998, 32 p.
- 31 Montrel M.M., Shabarchina L.I., Pletneva T.V., Ershov Yu.A. *Biophysics*, 1993, 38, 4, p. 636–642.
- 32 Yudina T.V., Fedorova N.E., Egorov M.V. et al. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 1997, 6, p. 45–48.
- 33 *Vrednye khimicheskie veshchestva. Neorganicheskie soedineniya 5-8 grupp* [Harmful chemicals. Inorganic compounds of 5-8 groups], Ed. V.L.Filov, 1989, p. 257–284.
- 34 GOST 51301–99. *Food products and food raw materials. Stripping voltammetric methods for the determination of toxic elements (cadmium, lead, copper and zinc)*, Moscow, 1999.
- 35 GOST R 51962–2002. *Food products and food raw materials. Stripping voltammetric methods for the determination of arsenic*, Moscow, 2002.

Репозиторий КарГУ