

а также приправы, что особенно перспективно в связи с употреблением их разными группами населения и преимущественно после кулинарной обработки пищи. Учитывая существование разных групп населения на Севере, перспективным направлением является разработка функциональных продуктов для каждой из них для профилактики последствий проживания в условиях дискомфортной среды.

Выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-013-00311 А; Минобрнауки РФ в рамках проведения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по теме «Исследование и разработка сквозной технологии производства функциональных пищевых продуктов для обеспечения пищевой безопасности северных территорий РФ» (идентификатор проекта – RFMEFI57717X0264).

#### Авторство

Никифорова Н. А. участвовала в анализе литературных данных, подготовила первый вариант статьи, работала над окончательной версией рукописи статьи; Карапетян Т. А. участвовала в анализе литературных данных, перерабатывала первый вариант статьи, работала над окончательной версией рукописи статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Доршакова Н. В. участвовала в анализе литературных данных, перерабатывала первый вариант статьи, работала над окончательной версией рукописи статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов. Никифорова Надежда Александровна – SPIN 6885-8457; ORCID 0000-0002-7244-8678  
Карапетян Татьяна Алексеевна – SPIN 2135-4043; ORCID 0000-0001-8129-8133  
Доршакова Наталья Владимировна – SPIN 2670-4383; ORCID 0000-0003-1072-9164

#### Список литературы / References

1. Агаджанян Н. А., Ермакова Н. В. Экологический портрет человека на Севере. М.: КРУК, 1997. 208 с.
2. Агаджанян Н. А., Ермакова Н. В. *Ekologicheskii portret cheloveka na Severe* [Environmental portrait of a man in the North]. Moscow, 1997, 208 p.
3. Агарвал Д. П., Гедде Х. В. Генетические и биохимические исследования чувствительности к алкоголю и склонности к развитию алкоголизма // Алкоголизм и наследственность: матер. межд. симпозиума, Л., 1988. С. 14–19.
4. Agarwal D. P., Gedde Kh. V. Genetic and biochemical studies of alcohol sensitivity and propensity to develop alcoholism. In: *Alcoholism and heredity. Proceedings of the International Symposium*, Leningrad, 1988, pp. 14-19. [In Russian]
5. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгуряну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
6. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya*. 2011, 3, pp. 91-95. [In Russian]
7. Воевода М. И., Авксентюк А. В., Иванова А. В. и др. Молекулярно-генетические исследования в популяции коренных жителей Чукотки. Анализ полиморфизма митохондриальной ДНК и генов алкогольметаболизирующих

ферментов // Сибирский экологический журнал. 1994. № 2. С. 149–162.

Voyevoda M. I., Avksentyuk A. V., Ivanova A. V. i dr. Molecular genetic studies in the indigenous population of Chukotka. Analysis of polymorphism of mitochondrial DNA and genes of alcohol metabolizing enzymes. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Siberian ecological journal]. 1994, 2, pp. 149-162. [In Russian]

5. Гудков А. Б., Мосягин И. Г., Иванов В. Д. Характеристика фазовой структуры сердечного цикла у новобранцев учебного центра ВМФ на Севере // Военно-медицинский журнал. 2014. Т. 335, № 2. С. 58–59.

Gudkov A. B., Mosyagin I. G., Ivanov V. D. Characteristic of cardiac cycle phase structure in recruits of a Navy Training Center in the North. *Voенно-meditsinskii zhurnal*. 2014, 335 (2), pp. 58-59. [In Russian]

6. Добродеева Л. К. Иммунологическое районирование. Сыктывкар, 2001. 110 с.

Dobrodeeva L. K. *Immunologicheskoe rayonirovanie* [Immunological zoning]. Syktyvkar, 2001, 110 p.

7. Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Особенности патологии жителей Севера // Экология человека. 2004. № 6. С. 48–52.

Dorshakova N. V., Karapetyan T. A. Features of the pathology of the inhabitants of the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 6, pp. 48-52. [In Russian]

8. Доршакова Н. В., Карапетян Т. А., Жестяников А. Л., Никитина К. А. Реализация роли экологических факторов в процессе развития патологии и старения человека, живущего на севере // Сборник научных трудов II Российского симпозиума «Световой режим, старение и рак». Петрозаводск, 17–19.10.2013. Петрозаводск, 2013. С. 95–101.

Dorshakova N. V., Karapetyan T. A., Zhestyanikov A. L., Nikitina K. A. Realization of the role of environmental factors in the development of pathology and aging of a person living in the north. In: *Disease prevention and health promotion. Collection of scientific papers of II Russian Symposium "Light regime, aging and cancer"*. Petrozavodsk, 17-19.10.2013. Petrozavodsk, 2013, pp. 95-101. [In Russian]

9. Еганян Р. А., Карамнова Н. С., Гамбарян М. Г. Особенности питания жителей Крайнего Севера России // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. 2005. № 5. С. 34–40.

Yeganyan R. A., Karamnova N. S., Gambaryan M. G. Nutrition features of residents of the Far North of Russia. *Profylaktika zabolevaniy i ukrepleniye zdorov'ya* [Disease prevention and health promotion]. 2005, 5, pp. 34-40. [In Russian]

10. Живогляд Р. Н., Живаева Н. В., Бондаренко О. А., Смагина Т. В., Данилов А. Г., Хадарцева К. А. Биоинформационный анализ саногенеза и патогенеза при гирудорефлексотерапии на севере РФ // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 2. С. 464–467.

Zhivoglyad R. N., Zhivayeva N. V., Bondarenko O. A., Smagina T. V., Danilov A. G., Khadartseva K. A. Bioinformation analysis of sanogenesis and pathogenesis in hirudoreflexotherapy in the north of the Russian Federation. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2013, 20 (2), pp. 464-467. [In Russian]

11. Иванов В. А., Иванова Е. В. Арктическая специфика продовольственного обеспечения и развития сельского хозяйства Европейского Северо-Востока России // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2 (26). С. 117–130.

Ivanov V. A., Ivanova Ye. V. Arctic Specificity of Food Supply

and Agricultural Development of the European North-East of Russia. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: environment and economics]. 2017, 2 (26), pp. 117-130. [In Russian]

12. *Казначеев В. П.* Клинические аспекты полярной медицины. М., 1986. 208 с.

Kaznacheev V. P. *Clinical aspects of polar medicine*. Moscow, 1986, 208 p. [In Russian]

13. *Казначеев В. П.* Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. Л.: Медицина, 1980. 200 с.

Kaznacheev V. P. *Mechanisms of human adaptation in high latitudes*. Leningrad, 1980, 200 p. [In Russian]

14. *Казначеев В. П.* Современные проблемы синтетической экологии: «Синдром полярного напряжения» // Бюллетень СО РАМН. 1997. № 1. С. 6–10.

Kaznacheev V. P. Modern problems of synthetic ecology: "Syndrome of polar tension". *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 1997, 1, pp. 6-10. [In Russian]

15. *Кершенгольц Б. М., Алексеев В. Г., Гаврилова Е. М., Ли Н. Г.* Некоторые причины уменьшения активности АльДГ печени и крови крыс при хронической алкогольной интоксикации // Вопросы медицинской химии. 1985. № 1. С. 47–51.

Kershengol'ts B. M., Alekseyev V. G., Gavrilova Ye. M., Li N. G. Some reasons for the decrease in the activity of ALG of the liver and blood of rats with chronic alcohol intoxication. *Voprosy meditsinskoi khimii* [Issues of Medicinal Chemistry]. 1985, 1, pp. 47-51. [In Russian]

16. *Кершенгольц Б. М., Ильина Л. П.* Биологические аспекты алкогольных патологий и наркоманий. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1998. 150 с.

Kershengol'ts B. M., Il'ina L. P. *Biologicheskiye aspekty alkogol'nykh patologiy i narkomaniy* [Biological aspects of alcohol pathologies and drug addiction]. Yakutsk, 1998, 150 p.

17. *Кершенгольц Б. М., Турнин Х. Х.* Полиморфизм АДГ и АльДГ в группах населения Якутии и прогноз популяционной устойчивости к алкоголю // Ученые записки ЯГУ. 1994. С. 138–149.

Kershengol'ts B. M., Turnin Kh. Kh. Polymorphism of ADH and ALD in the population groups of Yakutia and prognosis of population resistance to alcohol. *Uchenyye zapiski YAGU* [Bulletin of Yakutsk State University]. 1994, pp. 138-149. [In Russian]

18. *Кершенгольц Б. М., Чернобровкина Т. В., Колосова О. Н.* Этногенетические особенности устойчивости к алкоголю в популяциях народов Севера // Вестник СВФУ им. М. К. Аммосова. 2012. Т. 9, № 1. С. 22–28.

Kershengol'ts B. M., Chernobrovkina T. V., Kolosova O. N. Ethnogenetic features of resistance to alcohol in populations of the peoples of the North. *Vestnik SVFU im. M. K. Ammosova* [Bulletin of North-Eastern Federal University]. 2012, 9 (1), pp. 22-28. [In Russian]

19. *Коломийцева И. К.* Липиды в гибернации и искусственном гипобиозе млекопитающих (обзор) // Биохимия. 2011. Т. 76, № 12. С. 1604–1614.

Kolomiytseva I. K. Lipids in hibernation and artificial mammalian hypobiosis (review). *Biokhimiya* [Biochemistry]. 2011, 76 (12), pp. 1604-1614. [In Russian]

20. *Лелькин М. К., Селятицкая В. Г., Лутов Ю. В., Пальчикова Н. А.* Нарушения тиреоидного статуса у работающих мужчин и женщин в зависимости от длительности проживания на севере // Бюллетень СО РАМН 2009. № 5 (139). С. 9–14.

Lel'kin M. K., Selyatitskaya V. G., Lutov Yu. V., Pal'chikova N. A. Thyroid status disorders in working men

and women, depending on the length of residence in the north. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2009, 5 (139), pp. 9-14. [In Russian]

21. *Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б.* Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]

22. *Мартьянов А. С., Виноградов В. Г.* Северные особенности питания // Окружающая среда и население России. М., 1998. С. 14–16.

Martynov A. S., Vinogradov V. G. Northern features of nutrition. In: *The environment Wednesday and Russia's population*. Moscow, 1998, pp. 14-16. [In Russian]

23. *Мироновская А. В., Бузинов Р. В., Гудков А. Б.* Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // Здоровоохранение Российской Федерации. 2011. № 5. С. 66–67.

Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]

24. *Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б.* Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.

Nikanov A. N., Krivosheev U. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink "Algapekt" on blood mineral composition in children - residents of Monchegorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [In Russian]

25. *Никитин Ю. П., Хаснулин Ю. В., Гудков А. Б.* Итоги деятельности академии полярной медицины и экстремальной экологии человека за 1995–2015 года: современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Медицина Кыргызстана. 2015. Т.1, № 2. С. 8–14.

Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Results of the activities of the Academy of Polar Medicine and Extreme Human Ecology for 1995-2015: contemporary problems of Northern medicine and researchers' efforts to solve them. *Meditsina Kirgystana* [Medicine of Kyrgyzstan]. 2015, 1 (2), pp. 8-14. [In Russian]

26. *Нифонтова О. Л., Гудков А. Б., Шербакова А. Э.* Характеристика параметров ритма сердца у детей коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2007. № 11. С. 41–44.

Nifontova O. L., Gudkov A. B., Shcherbakova A. Ye. Description of parameters of cardiac rhythm in indigenous children in Khanty-Mansiysky autonomous area. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2007, 11, pp. 41-44. [In Russian]

27. *Островский Ю. М., Садовник М. Н.* Пути метаболизма этанола и их роль в развитии алкоголизма // Итоги науки и техники. Серия: Токсикология. 1984. Т. 13. С. 93–150.

Ostrovskiy Yu. M., Sadovnik M. N. Ways of ethanol metabolism and their role in the development of alcoholism. *Itoги nauki i tekhniki. Seriya: Toksikologiya* [The results of science and technology. Series Toxicology]. 1984, 13, pp. 93-150. [In Russian]

28. Панин Л. Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, 1978. 189 с.

Panin L. Ye. *Energeticheskiye aspekty adaptatsii* [Energy aspects of adaptation]. Leningrad, 1978, 189 p.

29. Панин Л. Е., Усенко Л. Е., Усенко Г. А. Тревожность, адаптация и донозологическая диспансеризация. Новосибирск: СО РАМН, 2004. 316 с.

Panin L. Ye., Usenko L. Ye., Usenko G. A. *Trevozhnost', adaptatsiya i donozologicheskaya dispanserizatsiya* [Anxiety, adaptation and donorological prophylactic medical examination]. Novosibirsk, 2004, 316 p.

30. Селятицкая В. Г. Глюкокортикоидные гормоны: от процессов адаптации к экологическим факторам Севера до метаболических нарушений при диабете // Бюллетень СО РАМН. 2012. Т. 32, № 1 С. 13–20.

Selyatitskaya V. G. Glucocorticoid hormones: from the processes of adaptation to environmental factors of the North to metabolic disorders in diabetes. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2012, 32 (1), pp. 13-20. [In Russian]

31. Снодграсс Д., Леонард В., Тарская Л. А., Климова Т. М., Федорова В. И., Балтахинова М. Е., Кривошапкин В. Г. Метаболическая адаптация якутов (САХА) // Якутский медицинский журнал. 2011. № 2. С. 11–14.

Snodgrass D., Leonard V., Tarskaya L. A., Klimova T. M., Fedorova V. I., Baltakhinova M. Ye., Krivoshapkin V. G. Metabolic adaptation of the Yakuts (SAHA). *Yakutskii meditsinskii zhurnal* [Yakut medical journal]. 2011, 2, pp. 11-14. [In Russian]

32. Ткаченко В. В., Пащенко С. З. О некоторых молекулярно-биологических и генетических аспектах алкоголизма // Обзор ВНИИМИ. М., 1981. 156 с.

Tkachenko V. V., Pashchenkov S. Z. *O nekotorykh molekulyarno-biologicheskikh i geneticheskikh aspektakh alkogolizma* [On some molecular biological and genetic aspects of alcoholism]. Obzor VNIIMI. Moscow, 1981, 156 p.

33. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицину. Новосибирск: СО РАМН, 1998. 337 с.

Khasnulin V. I. *Introduction to polar medicine*. Novosibirsk, 1998. 337 p. [In Russian]

34. Хаснулин В. И., Хаснулина А. В. Этнопсихологические механизмы выживания коренных жителей Севера в экстремальных климатогеографических условиях // Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. М.: Paulsen, 2011. С. 254–267.

Khasnulin V. I., Khasnulina A. V. Ethnopsychophysiological mechanisms of survival of the indigenous inhabitants of the North in extreme climatic and geographic conditions. In: *Problems of health and social development of the Russian Arctic*. Moscow, 2011, pp. 254-267. [In Russian]

35. Чащин В. П., Ковшов А. А., Гудков А. Б., Моргунов Б. А. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 3–8.

Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the far north. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]

36. Чернобровкина Т. В. Энзимопатии при алкоголизме. Киев: Здоровье, 1992. 312 с.

Chernobrovkina T. V. *Enzimopatii pri alkogolizme* [Enzymopathy in alcoholism]. Kiyev, 1992, 312 p.

37. Чернобровкина Т. В., Кершенгольц Б. М. Фундаментальные и медико-социальные аспекты аддиктологии (краткий курс лекций). Якутск, 2011. Т. 1. 480 с.

Chernobrovkina T. V., Kershengol'ts B. M. *Fundamental and medico-social aspects of addictology (short course of lectures)*. Yakutsk, 2011, vol. 1, 480 p. [In Russian]

38. *Alcohol in Health and Disease*. D. P. Agarwal, H. K. Seitz (eds). N. Y., Basel, Marcel Dekker, 2001, 647 p.

39. Bosron W. F., Ehrig T., Li T. K. Genetic Factors in Alcohol Metabolism and Alcoholism. *Seminars in Liver Disease*. 1993, 13 (2), pp. 126-135.

40. Borra's E., Coutelle C., Rosell A., Ferna'ndez Muixi F., Broch M., Crosas B., Hjelmqvist L., Lorenzo A., Gutie'rrez C., Santos M., Szczepanek M., Heilig M., Quattrocchi P., Farre's J., Vidal F., Richart C., Mach T., Bogdal J., Jo'rnvall H., Seitz H. K., Couzigou P., Pare's X. Genetic polymorphism of alcohol dehydrogenase in Europeans. The ADH2\*2 allele decreases the risk for alcoholism and it is associated with ADH3\*1. *Hepatology*. 2000, 31, pp. 984-989.

41. Kerchengoltz B., Kolosova O., Krivogornicina E., Meltser I., Yakovleva N. Ecological and biochemical characteristics of alcohol pathologies in the North and there influence upon the total sickness rate of the population. *International Journal of Circumpolar Health*. 2001, 4, pp. 557-565.

42. Leonard W. R., Sorensen M. V., Galloway V. A., Spencer G. J., Mosher M. J., Osipova L., Spitsyn V. A. Climatic influences on basal metabolic rates among circumpolar populations. *Am. J. Hum. Biol.* 2002, 14 (5), pp. 609-620.

43. Petreny N., Dobrodeeva L., Bichkaeva F., Menshikova E., Lutfaliev G., Poletaeva A., Repina V. Fish consumption and socio-economic factors among residents of Archangelsk city and the rural Genets autonomous area. *International Journal of Circumpolar Health*. 2011, 70 (1), pp. 46-58.

44. Snodgrass J. J., Leonard W. R., Tarskaia L. A., Alekseev V. P., Krivoshapkin V. G. Basal metabolic rate in the Yakut (Sakha) of Siberia. *Am. J. Hum. Biol.* 2005, 17 (2), pp. 155-172.

45. Snodgrass J. J., Sorensen M. V., Tarskaia L. A., Leonard W. R. Adaptive dimensions of health research among indigenous Siberians. *Am. J. Hum. Biol.* 2007, 19 (2), pp. 165-180.

46. Steegmann A. T. Jr. Human cold adaptation: an unfinished agenda. *Am. J. Hum. Biol.* 2007, 19 (2), pp. 218-227.

47. Vallee B. L. Toward a biological understanding of Alcoholism. *A five-year report to the Samuel Brontman Foundation from the Endowment for Research in Human Biology*. Boston, 1986, 71 p.

#### Контактная информация:

Никифорова Надежда Александровна — аспирант кафедры семейной медицины, общественного здоровья, организации здравоохранения, безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Адрес: 185910, г. Петрозаводск, ул. Ленина, д. 33  
E-mail: nadusha\_nikifor@mail.ru

УДК 597:546.49

## БИОАККУМУЛЯЦИЯ РТУТИ В ТКАНЯХ ПРЭСНОВОДНЫХ РЫБ

© 2018 г. А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, О. И. Окина, В. С. Шешуков

ФГБУН «Геологический институт РАН», г. Москва

*Цель работы* – оценка уровня накопления ртути в тканях рыб, выловленных в р. Волге, и изучение особенностей этого накопления некоторыми видами рыб. *Методы.* Пресноводная рыба вылавливалась на всем протяжении Волги в районах, которые характеризуются различной степенью развития промышленности и наличием природных источников ртути. Были отобраны образцы тканей основных видов промысловых рыб (всего около 400). Анализ отобранного материала проводился методом атомной абсорбции с «холодным паром». *Результаты.* Средние значения концентрации ртути в мышцах основных видов промысловых рыб находятся в пределах 11–260 ppb. Наибольшее значение концентрации ее характерно для карпа, сазана, щуки, окуня, осетра и сома, наименьшее – для ерша и раков. *Выводы.* Предельно допустимая концентрация ртути для всех видов рыб не превышает. Концентрация металла в икре рыб минимальна (8,6 ppb) и не зависит от концентрации в мышцах рыбы. Графики распределения концентрации ртути в мышцах плотвы, леща, судака, щуки и окуня в зависимости от района вылова рыбы показали, что максимальная концентрация металла в мышцах рыбы характерна для Рыбинского водохранилища, минимальная – для верховьев Волги. Изучение зависимости накопления ртути в мышцах окуня, леща и щуки от массы рыбы установило прямо пропорциональную зависимость для окуня – коэффициент корреляции  $r = 0,881$ ,  $p = 0,018$ , и обратно пропорциональную зависимость для щуки –  $r = -0,653$ ,  $p = 0,029$ ; для леща зависимости концентрации ртути в мышцах от массы рыбы не обнаружено.

**Ключевые слова:** ртуть, трофические цепи, биоаккумуляция, ткани рыб, особенности накопления, р. Волга

## BIOACCUMULATION OF MERCURY IN TISSUES OF FRESHWATER FISH

A. V. Gorbunov, S. M. Lyapunov, O. I. Okina, V. S. Sheshukov

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Aim* - to assess the level of mercury accumulation in the tissues of fish caught in the Volga River and to study the features of this accumulation by some fish species. *Methods.* Freshwater fish was caught throughout the Volga River, in the areas characterized by various degrees of industrial development and the presence of natural sources of mercury. In the course of the study, tissue samples of the main commercial fish species (about 400 samples in total) were selected. The analysis of the selected material was carried out by means of the atomic absorption method with "cold steam". *Results.* Average concentration of mercury in the muscles of the main commercial fish species was between 11-260 ppb. The highest value of mercury concentration was typical for carp, wild carp, pike, perch, sturgeon and catfish, the lowest - for ruff and crawfish. *Conclusions.* The maximum allowable concentration of mercury for all fish species was not exceeded. The study of mercury accumulation in fish roe showed that the concentration of this metal was minimal (8.6 ppb) and did not depend on the concentration of mercury in the fish muscles. The diagrams of mercury concentration distribution in the muscles of roach, bream, pike-perch, pike and perch depending on the fishing area showed that the maximum concentration of mercury in the muscles of fish was typical for the Rybinsk reservoir, and the minimum - for the Upper Volga. The study of mercury accumulation dependence in perch, bream and pike muscles from fish weight stated a direct proportion of mercury concentration for perch - correlation coefficient  $r = 0.881$ ,  $p = 0.018$  and inverse proportion for pike -  $r = -0.653$ ,  $p = 0.029$ , for bream - the dependence of mercury concentration in muscle from fish weight was not detected.

**Key words:** mercury, food chain, bioaccumulation, fish tissue, accumulation specifics, Volga River

### Библиографическая ссылка:

Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Окина О. И., Шешуков В. С. Биоаккумуляция ртути в тканях пресноводных рыб // Экология человека. 2018. № 11. С. 26–31.

Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Sheshukov V. S. Bioaccumulation of Mercury in Tissues of Freshwater Fish. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 11, pp. 26-31.

Ртуть и ее соединения — высокотоксичные химические вещества, отнесенные в России к первому классу опасности. Поступление ртути в природную среду определяется как природными, так и антропогенными факторами [9, 10, 12, 16]. Природными источниками ртути являются эманации глубинных ртутьсодержащих пород по зонам трещиноватости земной коры, а также атмосферные выпадения, образовавшиеся в результате общей дегазации земной коры и вулканической деятельности. Основные антропогенные источники ртути — химическая промышленность (производство хлора, каустика, хлорвинила и т. д.), энергетика (использование природного угля, нефти, мазута), электронная промышленность и металлургия, применение ядохими-

катов и фунгицидов. Одним из наиболее значительных источников пресноводной рыбы в европейской части России является р. Волга. Следует отметить, что для областей, относящихся ко всему течению реки, характерно присутствие как природных, так и антропогенных источников ртути, которыми можно считать всю промышленную агломерацию, расположенную на берегах Волги. В этих агломерациях представлена практически вся линейка промышленного производства, включая вышеперечисленные источники ртути. Кроме того, некоторое количество ртути поступает в природную среду при сжигании в котельных и отопительных системах ископаемого топлива и его производных.

К природным источникам ртути относится зона

Астраханского газоконденсатного месторождения в нижнем течении Волги. Она приурочена к участкам пересечений линеамента Карпинского и характеризуется глубинными поперечными разломами. Здесь поток эманаций ртути носит пульсирующий характер и формирует аналогичный характер атмосферических аномалий. Исследование атмосферного воздуха, проведенное в Астрахани [2], выявило достаточно высокую концентрацию ртути — 100–150 нг/м<sup>3</sup> (ПДКс.с. = 300 нг/м<sup>3</sup>). Концентрация общей ртути в воде цепи волжских водохранилищ варьирует в пределах 0,02–0,42 мкг/м<sup>3</sup>, средняя концентрация ртути в воде поверхностных водотоков в нижнем течении Волги составляет 0,05 мкг/л (0,03–0,09 мкг/л в зависимости от времени года) [2, 3]. В донных отложениях, которые являются основным хранилищем ртути в пресноводных системах, концентрация ее колеблется в пределах 0,03–0,18 мг/кг (в Рыбинском водохранилище до 0,75 мг/кг) [3, 4]. В районе Астрахани концентрация ртути в донных отложениях составляет 0,08–0,4 мг/кг. Концентрации эти не создают критической ситуации в природной среде, но могут оказать определяющее влияние на накопление ртути в биоте.

Накопление ртути в рыбе напрямую зависит от поступления в водоемы, куда она поступает в основном с ливневыми потоками в виде растворов и взвесей. В водоеме преобразование ртути происходит [9–11] по трем основным направлениям: она восстанавливается до элементарного состояния и улетучивается в атмосферу; образует прочные нерастворимые соединения (сульфиды) и откладывается в донных отложениях; сорбируется на поверхности бактериальных мембран и переходит в ртутьорганические соединения — метилртуть и диметилртуть. Метилртуть — метилртутный гидроксид  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  (ММНг) — наиболее стабильная форма метиловой ртути в пресноводной среде и самое распространенное органическое соединение ее в пресноводных системах [16–18]. Метилловая форма ртути является сильнодействующим нейротоксином, легко аккумулируется водной биотой, накапливается в растениях, бентосе, животных и в конечном итоге концентрируется в верхних звеньях трофической пищевой цепи — рыбе. В организме человека метилртуть хорошо абсорбируется из желудочно-кишечного тракта, разносится эритроцитами по всему телу. Метилированная форма ртути из-за большой растворимости в жирах легко проходит через биологические мембраны и проникает через плаценту, в результате чего может воздействовать на развивающийся эмбрион.

Поступление ртути в организм человека при отсутствии интенсивных внешних источников определяется в основном уровнем потребления рыбы (до 60 % от общего поступления в организм) [6, 19, 20]. Согласно статистическим данным [5, 7, 8], в волжском регионе регулярно потребляют рыбу в среднем до 32 % опрошенных респондентов, а 58 % потребляют рыбу не реже 1–2 раз в неделю. Следует отметить, что это данные, основанные на объемах продаж рыбы и рыбопродуктов через торговые сети. Учет объема

индивидуального вылова и потребления рыбы отсутствует полностью. При этом следует отметить, что, по неофициальным данным, потребление рыбы, полученной в результате индивидуального вылова в Волге, составляет от 18 до 80 % от официальных. В сумме это достаточно большая часть рыбы и рыбной продукции, потребляемой в регионе, поэтому весьма актуальной является оценка уровня накопления ртути в тканях рыб, наиболее распространенных в Волжском бассейне.

Цель работы — оценка накопления ртути в тканях рыбы, выловленной в Волге, и изучение особенностей этого накопления некоторыми видами рыб.

**Методы**

Основными промысловыми видами рыб в Волжском бассейне являются плотва, ерш, жерех, карась, красноперка, лещ, линь, вобла, окунь, осетр, сазан, сом, судак, щука и язь [1].



Рис. 1. Районы отбора образцов

Отлов рыбы производился в течение весенне-летне-осенних сезонов 2014–2017 гг. в основном непосредственно участниками данного проекта, частично недостаток рыбы восполнялся покупкой у местных рыбаков.

Районы отлова рыбы:

1. Верхняя Волга, район г. Ржев — г. Старица.
2. Верхняя Волга, район г. Кимры — г. Белый Городок.
3. Рыбинское водохранилище.
4. Район г. Казань.
5. Район г. Самара.
6. Район г. Саратова.
7. Район г. Волгограда.
8. Дельта р. Волги, район г. Цаган — Аман.
9. Дельта р. Волги, район г. Икряное — Бекетовка.

Общий список отобранных образцов с указанием размеров рыбы приведен в табл. 1.

Чтобы оценить особенности накопления ртути различными видами рыб, был проведен эксперимент по отлову рыбы в полужакрытом водоеме (30 км от Калызина выше по течению, залив р. Чечера при впадении

Таблица 1

Общий список отобранных образцов

№ п/п	Объект	Масса, г	
		Мин. – Макс.	Средн.
1	Ерш, п=9	15–35	25,4
2	Карась, п=19	100–220	171
3	Вобла, п=21	82–141	100
4	Синец, п=5	105–540	215
5	Чехонь, п=27	300–690	410
6	Лещ, п=30	100–560	340
7	Жерех, п=16	520–3100	890
8	Бычок, п=15	155–420	215
9	Сиг, п=7	273–725	405
10	Плотва, п=28	49–96	75
11	Карп, п=11	450–1100	743
12	Окунь, п=36	12–145	66,5
13	Сазан, п=16	510–2320	1330
14	Судак, п=25	156–533	331
15	Осетр, п=4	5100–8300	6200
16	Щука, п=21	90–2700	909
17	Сом, п=5	1000–2600	1750

в Волгу). Течение в заливе только по центральному фарватеру, кислотность воды pH = 6,5–7,0. Производился отлов наиболее распространенных окуня, леща и щуки. Окунь и лещ отлавливались непосредственно в заливе. Поскольку щука в заливе практически отсутствовала, ее отлов проводился в устье залива в районе о. Песчаный и в устье р. Медведицы. Схема отбора образцов представлена на рис. 2.

В точках 1, 2, 3 отбирались образцы окуня, всего 42 образца весом от 12 до 589 г. В точках 4, 5 отбирались образцы леща, 27 образцов весом от 21 до 560 г. В точках 6, 7, 8 отлавливалась щука, отобран 31 образец массой от 43 до 2 700 г.

Образцы отбирались в полиэтиленовые пакеты типа зип-лок, очищались от внешних загрязнений и промывались дистиллированной водой. Для длительной транспортировки образцы замораживались при –20 °С. Всего было отобрано около 300 образцов. При подготовке к анализу рыбу размораживали и



Рис. 2. Точки отлова рыбы в заливе р. Чечера, р. Печухня, о. Песчаный

помещали в эмалированные кюветы, после вырезали с левой стороны, начиная от спинного плавника до начала ребер, вдоль тела 2–4 г скелетных мышц. Весь инструмент и посуду мыли 5–10 % азотной кислотой и ополаскивали дистиллированной водой. На анализ образцы поступали с естественным процентом влажности. Определялась концентрация ртути методом атомной абсорбции с «холодным» паром в лаборатории ГИН РАН (Москва) [13]. Использовался анализатор ртути «Юлия-5К» (НПО «Метрология», Россия). Контролировали качество результатов анализа путем анализа «холостых» проб, стандартных и контрольных образцов биологических материалов, аттестованных на содержание ртути. Использовались международные и отечественные стандартные образцы состава – IAEA-407, IAEA-452, IAEA-436, БОк-2. Стандарты анализировались в ходе рутинного анализа совместно с исследуемыми пробами. Предел определения концентрации ртути в образцах рыбы составлял 0,1 мкг/кг (ppb).

**Результаты**

Основным критерием качества рыбы и рыбной продукции служит значение предельно допустимой концентрации (ПДК) ртути в мясе рыб. Значения принятых в Российской Федерации ПДК ртути для различных видов рыбы и рыбопродукции приведены в табл. 2.

Таблица 2

Предельно допустимая концентрация ртути в рыбе и рыбопродуктах [17]

Продукты	ПДК мг/кг (ppm)
Рыба живая, охлажденная, мороженая, фарш, филе	0,3
Пресноводная нехищная	0,6
Пресноводная хищная	
Икра и молоки рыб и продукты из них	0,2
Печень рыб и изделия из нее	0,5
Моллюски, ракообразные	0,2

В табл. 3 приведены общие данные о концентрации ртути в мясе рыб, выловленных в бассейне Волги. Эти данные расположены по мере возрастания среднеарифметических значений концентрации и показывают, что ПДК ртути для всех видов рыб не превышаются. Наибольшее значение концентрации ртути характерно для карпа, сазана, щуки, окуня, осетра и сома, наименьшее – для ерша и раков.

Из источников [17–19] известно, что 80–90 % накопленной в рыбе ртути приходится на метилированные формы. Как уже отмечалось выше, метилртуть обладает большой растворимостью в жирах и легко проникает через клеточные барьеры. Учитывая тот факт, что каждая икринка представляет собой каплю жира, можно было бы предположить, что концентрации ртути в икре и мышцах рыбы близки по величине. Однако данные табл. 3 показывают, что в икре ерша, плотвы, щуки и окуня концентрация ртути минимальна. Она составляет в среднем 8,6 мкг/кг, причем концентрация ртути в икре плотвы в 8 раз

Таблица 3

Содержание ртути в мышцах рыбы бассейна р. Волги

№ п/п	Объект	С Hg мкг/кг (ppb)	
		Мин.–Макс.	Средн.
1	Ерш, n=9	6–16	11
2	Карась, n=19	18–42	31
3	Вобла, n=21	16–46	31
4	Синец, n=5	13–51	32
5	Чехонь, n=27	21–60	42
6	Лещ, n=30	29–93	45
7	Жерех, n=16	29–71	51
8	Бычок, n=15	22–92	57
9	Сиг, n=7	31–125	73
10	Плотва, n=28	38–105	83
11	Карп, n=11	35–151	98
12	Окунь, n=36	35–241	126
13	Сазан, n=16	43–260	150
14	Судак, n=25	98–380	152
15	Осетр, n=4	102–276	189
16	Щука, n=21	65–301	213
17	Сом, n=5	173–342	260
18	Рак, n=9	3,5–16,5	11
19	Икра ерша, n=3	5,0–9,3	7,1
20	Икра плотвы, n=4	8,7–13,5	11
21	Икра щуки, n=4	7,5–14	11
22	Икра окуня, n=9	4,4–8,5	5,2

меньше концентрации в мышцах, а концентрация ртути в икре щуки и окуня в 20 раз ниже аналогичной концентрации в мышцах этих рыб. Это значит, что при увеличении концентрации ртути в мышцах рыбы увеличения концентрации в икре не наблюдается, корреляции между концентрацией ртути в икре и концентрацией в мышцах не обнаружено.

На рис. 3 показано изменение концентрации ртути в мышцах леща, плотвы, окуня, щуки и судака, выловленных в районах Ржев – Старица, Рыбинского водохранилища, г. Самары и дельты Волги.

Наименьшая концентрация ртути характерна для района Ржев – Старица, максимальная – для Рыбинского водохранилища, что согласуется с данными литературных источников [4, 9]. В наибольшей степени ртуть накапливается в мышцах судака и щуки, далее в сторону уменьшения следуют окунь, плотва и лещ. В целом соотношение в накоплении ртути

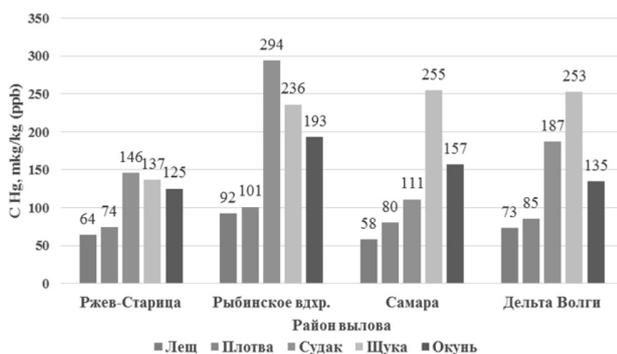


Рис. 3. Концентрация ртути в рыбе, выловленной в верхнем, среднем и нижнем течении р. Волги

представленными видами рыб сохраняется на всем протяжении течения Волги.

Обсуждение результатов

Из литературных источников известно, что в определенных условиях накопление ртути в мышцах рыбы носит закономерный характер. В частности, описаны случаи, когда концентрация ртути в мышцах озерного окуня находилась в прямо пропорциональной зависимости от массы рыбы [14, 16]. В этих же работах сообщалось, что подобной зависимости для щуки не наблюдалось. Для оценки особенностей накопления ртути в мышцах окуня, щуки и леща нами был проведен опыт по отлову этих видов рыб в заливе при впадении в Волгу р. Чечера. Характерные особенности этих рыб приводятся ниже.

**Окунь.** Одна из самых распространенных рыб-хищников пресноводных российских водоемов. В рацион питания окуня входит зоопланктон, личинки насекомых, черви, моллюски, икра других рыб, мелкая рыбешка и молодняк. В целом это одна из наиболее прожорливых и всеядных хищных рыб. Он питается в водоеме всем, что движется. Растет окунь очень медленно. За первый год жизни длина его составляет около 5 см, в 2 года длина в среднем 11 см и масса 23 г, к 9 годам достигает 29 см и 580 г соответственно.

**Щука.** Основная пища щуки – все виды рыб, обитающие в конкретном водоеме, предпочтение отдается узкотелым породам. Наряду с узкотелыми рыбами в желудках щук приходилось встречать крупных лягушек, головастиков, мышей и т. д. Растет щука очень быстро. За первый год жизни она достигает длины 25–30 см при весе до 300 г, за второй – 25–45 см при весе до 1,5 кг, за третий она вырастает до 60 см и может весить чуть более 2 кг. Десятилетняя щука может весить 10 кг при длине 1 м.

**Лещ.** Физиологические особенности леща подразумевают чисто донный образ жизни. Лещ питается в основном личинками, мелкими рачками, моллюсками, земляными червями, наземными личинками, насекомыми и всевозможным растительным кормом (молодые побеги водных растений и т. д.). Лещ растет несколько быстрее окуня, но существенно медленнее щуки – к концу второго года жизни он имеет в среднем длину 15–17 см и вес 150–170 г.

Как показано выше, эти рыбы принципиально различаются по скорости роста и кормовой базе, поэтому ожидалась большая контрастность результатов эксперимента. На рис. 4 приведены графики накопления ртути в мышцах окуня, щуки и леща.

Как видно из этих графиков, существует прямо пропорциональная зависимость между концентрацией ртути в мышцах окуня и массой рыбы ( $r = 0,881, p = 0,018$ ). Для щуки, наоборот, максимальная концентрация ртути характерна для рыб массой до 1 кг, далее наблюдается уменьшение концентрации (следует подчеркнуть, что речь идет именно о концентрации, а не об общем количестве ртути), коэффициент корреляции при этом составлял  $r = -0,653, p = 0,029$  (расчет проводился с помощью программы Minitab

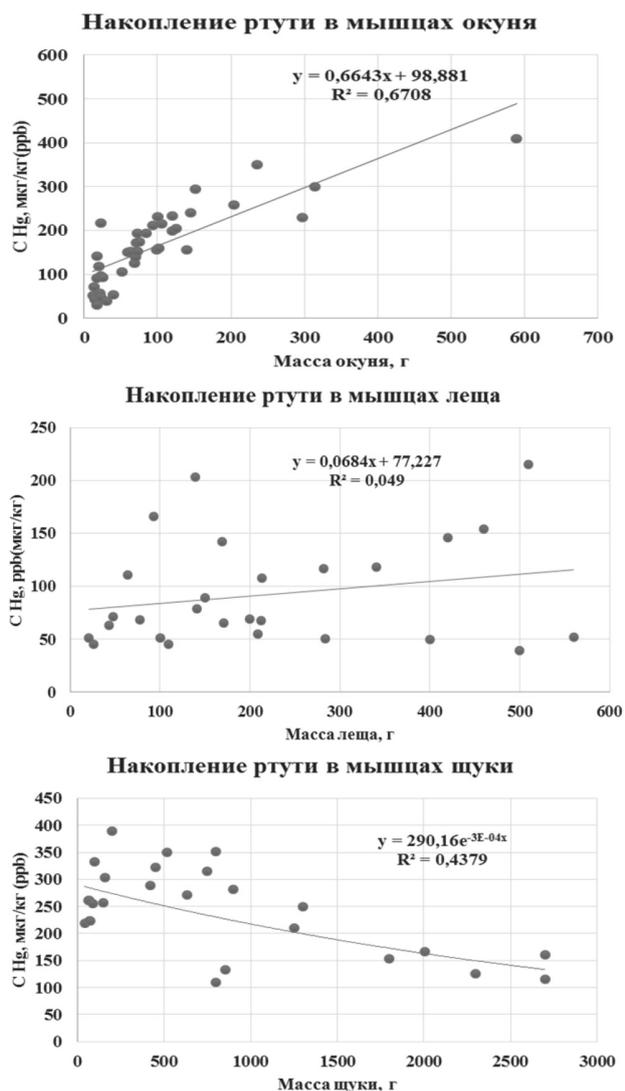


Рис. 4. Характер накопления ртути в мышцах окуня, леща и щуки

17). В первом случае можно констатировать высокую степень зависимости концентрации ртути от массы рыбы, во втором – умеренную. В первом случае это зависимость со знаком (+), во втором случае – со знаком (–). Объяснение этого явления, видимо, нужно искать в принципиально различной скорости роста окуня и щуки. Как упоминалось выше, окунь растет очень медленно, массу в 500 г и более он набирает к 8–9 годам жизни, щука за тот же срок может набрать массу 9–10 кг. Следовательно, распределение поступающей с пищей ртути происходит в существенно большей массе, что и приводит к своеобразному уменьшению значения концентрации ртути в мышцах щуки. Для леща зависимости концентрации ртути в мышцах от массы тела не обнаружено.

В результате проведения данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Концентрация ртути в мышцах всех видов рыб, представленных в работе, не превышает принятых нормативов (ПДК). Наибольшее значение концентрации ртути характерно для карпа, сазана, судака, щуки, окуня, осетра и сома, наименьшее – для ерша и раков.

2. Установлено, что концентрация ртути в икре минимальна и не зависит от концентрации ртути в мышцах рыбы.

3. При исследовании пространственного распределения ртути в рыбе на протяжении всего течения Волги обнаружено, что в общем максимальная концентрация ртути в мышцах рыбы характерна для Рыбинского водохранилища, минимальная – для Верхней Волги.

4. Изучение особенностей накопления ртути в мышцах окуня, щуки и леща показало, что концентрация ртути в мышцах окуня прямо пропорциональна массе рыбы, в мышцах щуки имеет место обратно пропорциональная зависимость. Для леща зависимости концентрации ртути в мышцах от массы рыбы не обнаружено.

Работа выполнена в рамках Государственной темы ГИН РАН №0135-2015-0019.

**Благодарности**

Авторы выражают свою глубокую благодарность коллегам и друзьям, оказавшим неоценимую помощь в проведении данной работы: А. В. Зелинскому, Б. В. Ермолаеву, Г. А. Грановской.

**Авторство**

Горбунов А. В. внес основной вклад в концепцию и дизайн исследования, подготовил первый вариант статьи; Ляпунов С. М. существенно переработал и окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Окينا О. И. внесла определяющий вклад в анализ и интерпретацию данных; Шешуков В. С. существенно переработал статью на предмет важного интеллектуального содержания. Горбунов Анатолий Викторович – SPIN 1279-0204; ORCID 0000-0001-7794-100X  
Ляпунов Сергей Михайлович – SPIN 7250-0308; ORCID 0000-0002-9532-4387  
Окина Ольга Ильинична – SPIN 3243-7281; ORCID 0000-0002-1947-4551

**Список литературы / References**

1. Астраханский заповедник / под ред. Г. А. Кривоносова и Г. В. Русакова. М.: ВО «Агропромиздат», 1991. 191 с. *Astrakhan nature reserve*. Ed. by G. A. Krivonosov and V. G. Rusakov. Moscow, 1991, 191 p. [In Russian]  
2. Богданов Н. А., Чуйков Ю. С., Чуйкова Л. Ю., Шендо Г. Л., Рябикин В. П. Геозология дельты Волги: Икрянинский район. М., 2013. 383 с. Bogdanov N. A., Chuikov Yu. S., Chuikova Y. L., Shindo G. L., Ryabikin V. P. *Geo-ecology of the Volga Delta. Ikryaninskiy district*. Moscow, 2013, 383 p. [In Russian]  
3. Булаткина Е. Г. Динамика содержания микроэлементов в речной воде низовья Волги // Геология, география и глобальная энергетика. 2013. № 3 (50). С. 187–194. Bulatkina E. G. Dynamics of the content of trace elements in river water of the lower Volga. *Geologiya, geografiya i globalnaya energetika* [Geology, geography and global energy]. 2013, 3 (50), pp. 187-194. [In Russian]  
4. Ганеева М. В. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища (Верхняя Волга) // Бассейн Волги в XXI веке. Структура и функционирование экосистем водохранилищ: материалы докладов Всероссийской конференции. Россия, Борок, 22–26 октября 2012 г. С. 37–39. Gapeeva M. V. Heavy metals in water and bottom sediments of the Rybinsk reservoir (Upper Volga). In: *Volga river basin*

in the XXI century. The structure and functioning of reservoir ecosystems. *Proceedings of all-Russian conference. Russia, Borok, 22-26 October 2012*, pp. 37-39. [In Russian]

5. Гершонков А. М., Меркулова Е. Ю. Анализ потребления основных продуктов питания по регионам РФ // Социально-экономические явления и процессы. 2014. Т. 9, № 11. С. 54–63.

Gershonkov A. M., Merkulova E. Yu. The Analysis of consumption of main foods by region. *Sotsialno-ekonomicheskie fenomeny i processy* [Socio-economic phenomena and processes]. 2014, 9 (11), pp. 54-63. [In Russian]

6. Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Окина О. И., Шешуков В. С. Оценка поступления малых доз ртути в организм человека с продуктами питания // Экология человека. 2017. № 10. С. 16–20.

Горбунов А. В., Lyapunov S. M., Okina O. I., Sheshukov V. S. Assessment of income of small doses of mercury in the human body with food. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 10, pp. 16-20. [In Russian]

7. Гузенко М. А. Состояние и тенденции развития продовольственной безопасности Волгоградской области // Terra Economicus. 2011. Т. 9, № 1, ч. 2. С. 134–138.

Guzenko M. A. Status and trends of food security in Volgograd region. *Terra Economicus*. 2011, 9 (1, pt 2), pp. 134-138. [In Russian]

8. Гуркина О. А., Тугулева Г. В. Исследование рынка рыбы и рыбной продукции г. Саратова. Современные технологии в сельскохозяйственной науке и производстве // Сборник докладов Международной научно-практической конференции 24–25 марта 2016 г. Саратов, 2016. С. 452–456.

Gurkina O. A., Tuguleva G. V. Research of the market of fish and fish products of Saratov. Modern technologies in agricultural science and production. In: *A collection of reports of International scientific-practical conference 24-25 March 2016, Saratov*. 2016, pp. 452-456. [In Russian]

9. Законнов В. В., Комов В. Т., Чуйко Г. М. Накопление ртути и стойких органических загрязняющих веществ в донных отложениях водохранилищ Волги // Бассейн Волги в XXI веке. Структура и функционирование экосистем водохранилищ: материалы докладов Всероссийской конференции. Россия, Борок, 22–26 октября 2012 г. С. 94–97.

Zakonnov V. V., Komov V. T., Chujko G. M. Accumulation of mercury and persistent organic pollutants in bottom sediments of the reservoirs of the Volga. In: *Volga river basin in the XXI-St century. The structure and functioning of reservoir ecosystems. Proceedings of all-Russian conference. Russia, Borok, 22-26 October 2012*, pp. 94-97. [In Russian]

10. Комов В. Т., Степанова И. К., Гремячих В. А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок: Ин-т биол. внутр. вод РАН, 2004. С. 99–123.

Komov V. T., Stepanova I. K., Gremyachikh V. A. Mercury Content in muscles of fish from reservoirs of the Northwest of Russia: causes of intensive accumulation and assessment of adverse effect on human health. In: *Actual problems of water toxicology*. Borok, 2004, pp. 99-123. [In Russian]

11. Комов В. Т. Природное и антропогенное закисление малых озер Северо-Запада России: причины, последствия, прогноз; автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург, 1999. 45 с.

Komov V. T. *Prirodnoe i antropogennoe zakislenie malykh ozer Severo-Zapada Rossii: Prichiny, posledstviya,*

*prognoz (Autoref. dokt. dis.)* [Natural and anthropogenic acidification of small lakes in North-Western Russia: Causes, consequences, forecast (Author's Abstract of Doct. Diss.)]. Saint-Petersbur, 1999, 45 p.

12. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]

13. МУК 4.1.1470-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах при гигиенических исследованиях, 2003 г. С. 48.

MUK 4.1.1470-03 *Atomic-absorption determination of mass concentration of mercury in biomaterials at hygienic research*. 2003. [In Russian]

14. Немова Н. Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.: Наука, 2005. 161 с.

Nemova N. N. *Biochemical effects of mercury accumulation in fish*. Moscow, 2005, 161 p. [In Russian]

15. САНПИН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Гос. Комитет санэпиднадзора РФ. 2002. С. 269.

SANPIN 2.3.2.1078-01 *Hygienic requirements to quality and safety of food raw materials and food products*. State Committee San.epidemiological. supervision of the Russian Federation, 2002, 269 p. [In Russian]

16. Степанова И. К., Комов В. Т. Роль трофической структуры экосистем водоёмов северо-запада России в накоплении ртути в рыбе // Гидробиологический журнал. 2004. Т. 40, № 2. С. 87–96.

Stepanova I. K., Komov V. T. The Role of trophic structure of ecosystems in the water bodies of the North-West of Russia in the accumulation of mercury in fish. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Gidrobiological Journal]. 2004, 40 (2), pp. 87-96. [In Russian]

17. Syuzanna M. Ul'rikh, Trevor V. Tanton, Svetlana A. Abdrashitova. Mercury in natural water bodies: a review of factors affecting methylation. *Environmental Science and Technology*. 31 (3), (2001), pp. 241-293.

18. ADDENDUM FOR ORGANIC MERCURY COMPOUNDS (Alkyl and Dialkyl Mercury Compounds) Supplement to the 1999 Toxicological Profile for Mercury. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Atlanta, GA 30333, March 2013, 143p.

19. Gorbunov A. V., Ermolaev B. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Pavlov S. S., Frontasyeva M. V. Estimation of Mercury Intake from Consumption of Fish and Seafood in Russia. *Food and Nutrition Sciences*. 2016, 7, pp. 1-8, Available at: <http://www.scirp.org/journal/fns> DOI: 10.4236/fns.2016.77053. Received 5 April 2016; accepted 3 June 2016; published 6 June 2016

20. Passos C. J., Mergler D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad Saude Publica*. 2008, 24, pp. S503-20.

#### Контактная информация:

Горбунов Анатолий Викторович — старший научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований ФГБУН «Геологический институт РАН»

Адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7

E-mail: anatolygor@yandex.ru