

Содержание тестостерона в питьевых водах Кабардино-Балкарской Республики

✉ С. С. ХАШИРОВА¹, Л. С. ЛАМАШВИЛИ^{1,2}, Э. А. АГОЕВА^{1,2},
П. П. СНЕТКОВ¹, А. С. ВИНДИЖЕВА¹

¹ ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный университет, им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Российская Федерация

² ФГБУ Кабардино-Балкарский Государственный Высокогорный заповедник, Капхатау, Российская Федерация

Резюме

Введение. В статье рассматривается проблема присутствия стероидного гормона тестостерона в питьевых водах Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Тестостерон относится к трудноудаляемым микрозагрязнителям, источниками которых служат сточные воды населённых пунктов, сельскохозяйственные стоки, отходы фармацевтических фабрик и пр. **Материал и методы.** Количественное определение тестостерона проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием ВЭЖХ-МС/МС, согласно протоколу EPA 539-2010, на приборе HELICON 1800 HPLC с твёрдофазной экстракцией проб воды. **Результаты.** Получены данные о концентрациях тестостерона в поверхностных и питьевых водах 11 населённых пунктов КБР. Выявлено, что в поверхностных водах региона содержание тестостерона достигает 1,1–1,9 нг/л, тогда как во всех анализируемых пробах питьевой воды концентрации тестостерона ниже предела количественного определения (< 1,0 нг/л). На таком низком уровне концентраций непосредственное воздействие тестостерона на водные экосистемы и здоровье человека не зафиксировано. **Заключение.** Отмечены экологическая значимость полученных результатов и необходимость усиления контроля за эндокринными загрязнителями в водных ресурсах.

Ключевые слова: тестостерон; стероидные гормоны; питьевая вода; поверхностные воды; эндокринные разрушители; ВЭЖХ-МС; экологическая безопасность; Кабардино-Балкарская Республика

Для цитирования: Хаширова С. С., Ламашвили Л. С., Агоева Э. А., Снетков П. П., Виндижева А. С. Содержание тестостерона в питьевых водах Кабардино-Балкарской Республики. *Антибиотики и химиотерапия*. 2026; 71 (3–4): 11–15. doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2026-71-3-4-11-15>. EDN: GQUOJX.

Testosterone Content in Drinking Water of the Kabardino-Balkarian Republic

✉ SEDA S. KHASHIROVA¹, LYUDMILA S. LAMASHVILI^{1,2},
ELEONORA A. AGOEVA^{1,2}, PETR P. SNETKOV¹, AMINA S. VINDIZHEVA¹

¹ Kabardino-Balkarian State University, named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russian Federation

² Kabardino-Balkarian State High Mountain Reserve, Nalchik, Kashkhatau, Russian Federation

Abstract

Background. The article examines the presence of the steroid hormone testosterone in drinking water in the Kabardino-Balkarian Republic (KBR). Testosterone is a difficult-to-remove micropollutant originating from wastewater from populated areas, agricultural runoff, pharmaceutical waste, as well as other sources. **Materials and methods.** Testosterone was quantified using high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection (HPLC-MS/MS) according to EPA Protocol 539-2010 on a HELICON 1800 HPLC instrument with solid-phase extraction of water samples. **Results.** Data on testosterone concentrations in surface and drinking water from 11 populated areas of the KBR were obtained. Testosterone levels in the region's surface waters were found to reach 1.1–1.9 ng/L, while all drinking water samples analyzed had testosterone concentrations below the limit of quantification (< 1.0 ng/L). At such low concentrations, no direct impact of testosterone on aquatic ecosystems or human health was observed. **Conclusion.** The article highlights the environmental significance of the findings and the need for enhanced monitoring of endocrine-disrupting contaminants in water resources.

Keywords: testosterone; steroid hormones; drinking water; surface water; endocrine disruptors; HPLC-MS; environmental safety; Kabardino-Balkarian Republic

For citation: Khashirova SS, Lamashvili LS, Agoeva EA, Snetkov PP, Vindizheva AS. Testosterone content in drinking water of the Kabardino-Balkarian Republic. *Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy*. 2026; 71 (3–4): 11–15. (in Russ.). doi: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2026-71-3-4-11-15>. EDN: GQUOJX.

✉ Адрес для корреспонденции:
E-mail: seda.aslakhanova@gmail.com



EDN: GQUOJX

✉ Correspondence to:
E-mail: seda.aslakhanova@gmail.com



Введение

В последние десятилетия всё больше внимания уделяется проблемам загрязнения природных и питьевых вод микропримесями фармацевтических веществ, в том числе гормонами [1, 2]. Стероидные гормоны (эстрогены, андрогены и прогестагены) относятся к числу наиболее распространённых эндокринных разрушителей, которые исследуются из-за их широкого использования в качестве активных ингредиентов в гормональной терапии. Кроме того, они выделяются организмами человека и животных и попадают в окружающую среду с хозяйственно-бытовыми стоками, сельскохозяйственными сливами и другими отходами [3, 4].

Эндокринно-разрушающие вещества способны негативно действовать на живые организмы даже в низких концентрациях. Так, для эстрогенов (например, 17β -эстрадиола) пороговые уровни, вызывающие феминизацию рыбы, составляют всего 1–10 нг/л [5]. Эти соединения липофильны и плохо удаляются на традиционных очистных сооружениях, вследствие чего обнаруживаются в реках, озёрах и даже питьевой воде крупных городов [6]. Исследования подтверждают наличие в водопроводной воде многих мегаполисов следовых количеств фармацевтических препаратов, включая женские половые гормоны — эстрогены (эстрон, эстриол) [7].

Тестостерон — основной мужской половой гормон — также относится к группе эндокринных загрязнителей, хотя его экологические эффекты изучены меньше, чем влияние эстрогенов [8]. Известно, что тестостерон выделяется в свободной активной форме и относительно слабо адсорбируется почвой, благодаря чему может мигрировать как в поверхностные, так и в подземные воды [9]. В ряде работ отмечено обнаружение тестостерона в водных объектах, подверженных воздействию сельского хозяйства: концентрации тестостерона в сточных и дренажных водах ферм зафиксированы на уровне десятков нг/л [10, 11], а в поверхностных водах — до 125 нг/л [12]. Анализ на присутствие гормонов в реках выявил их в 80% исследованных проб воды, а максимальные уровни тестостерона достигали 200 нг/л [13].

В Европе и Северной Америке за последние 15–20 лет накоплено значительное число публикаций, посвящённых выявлению гормонов в воде и их влиянию на биоту [14–17]. Это стимулировало развитие аналитических методов ультраследового определения гормонов и постановку вопроса о введении нормативов на содержание таких веществ в питьевой воде. По данным Института водных проблем РАН, в водопроводной воде ряда российских городов обнаруживаются следовые количества медикаментов, включая стероидные гормоны, но нормативы на допустимое содержа-

ние гормональных препаратов и их метаболитов в питьевой воде в настоящее время в России отсутствуют [18, 19]. Научных данных о концентрациях гормонов в сетях питьевого водоснабжения в российских регионах также пока недостаточно. Особенно мало информации по состоянию удалённых от мегаполисов субъектов РФ, где могут проявляться свои особенности загрязнения вследствие локальных факторов.

Цель работы — исследование содержания тестостерона в поверхностных и питьевых водах Кабардино-Балкарской Республики.

Задачи исследования включали:

1. Выполнить отбор проб природных вод и питьевой воды из централизованных систем водоснабжения в различных районах КБР.

2. Проанализировать пробы на содержание тестостерона высокочувствительным хроматографическим методом.

3. Оценить полученные концентрации с точки зрения экологической и санитарной значимости посредством сравнения с данными литературы.

Работа направлена на получение новых данных о распространении стероидных гормонов в окружающей среде региона и обоснование необходимости дальнейшего мониторинга эндокринных загрязнителей в водных объектах.

Материал и методы

Объекты исследования. Отбор проб проводился в 11 точках, охватывающих основные административные районы Кабардино-Балкарской Республики. В качестве образцов поверхностных вод отбиралась речная вода в пределах района или города (вблизи населённого пункта либо ниже по течению). Параллельно в соответствующих населённых пунктах отбирались пробы питьевой воды из системы централизованного водоснабжения. География точек включала высокогорные и предгорные зоны (Эльбрусский, Черекский, Зольский, Чегемский, Баксанский, Лескенский, Урванский районы и г. о. Нальчик), а также районы равнинной части (Терский, Майский, Прохладненский). Таким образом, охвачены различные по характеру землепользования территории — от относительно малонаселённых (горные) до агропромышленных (равнинные). Объёмы разовых проб составляли около 1–2 литров.

Метод анализа. Для концентрирования целевых аналитов и удаления мешающих примесей применяли пробоподготовку методом твердофазной экстракции (Solid Phase Extraction, SPE). Каждая проба воды пропусклась через SPE-диск с неполярным сорбентом (октадецилсиликагель C18) диаметром 47 мм. Закреплённые на сорбенте вещества элюировались органическим растворителем. Полученные экстракты анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС). В качестве приборной платформы использовали жидкостный хроматограф HELICON 1800 HPLC (Россия) с применением масс-селективного детектора. Количественное определение проводилось по методике EPA Method 539 (2010 г.) — «Определение гормонов в питьевой воде методом твердофазной экстракции и жидкостной хроматографии с электроспрейным ионизационным tandemным масс-спектрометром» [20]. Данная методика разработана Агентством по охране окружающей среды США специально для анализа натуральных и синтетических стероидных гормонов. Она

обеспечивает достижение пределов обнаружения на уровне нг/л, что позволяет фиксировать крайне низкие концентрации гормональных соединений. Перед анализом проб питьевой воды с хлорированием в них вносили тиосульфат натрия для дехлорирования, а также консервант — натриевую соль 2-меркаптопиридин-1-оксид — для предотвращения биодеградации гормонов в образце. В ходе эксперимента использовали реактивы квалификации «химически чистый» и «особо чистый»: стандартный образец тестостерона ($\geq 98\%$) производства компании «Masklin» (Шанхай, Китай); органические растворители для ВЭЖХ — ацетонитрил (99,9%, ООО «Криохим», Россия) и метанол ($\geq 99,8\%$, ООО «Акваметрия», Россия); гидроксид аммония (25%, Alpha Chemika, Индия) и другие реагенты согласно требованиям методики. Калибровка аналитической системы и количественный расчёт проводились с использованием стандартов тестостерона. Для контроля качества анализа выполнялось холостое испытание и параллельный анализ модельных проб с добавками известных количеств гормона.

Результаты и обсуждение

Концентрации тестостерона в поверхностных водах. Результаты измерений содержания тестостерона в пробах речной воды по районам КБР приведены в табл. 1. В большинстве горных и предгорных районов (Эльбрусский, Черекский, г. о. Нальчик, Чегемский, Прохладненский) концентрации тестостерона в реках не превышали уровня 1,0 нг/л (ниже предела определения). В то же время в ряде пунктов равнинной части республики зафиксировано присутствие тестостерона в измеримых количествах — от 1,1 до 1,9 нг/л. Наибольшая концентрация отмечена в Терском районе (река Терек, г. Терек) — 1,9 нг/л. Несколько более низкие, но сопоставимые уровни получены для Лескенского (река Лескен, с. Анзорей) и Зольского (река Золка, п. Залукокоаже) районов — по 1,3 нг/л, а также для Урванского (г. Нарткала, 1,4 нг/л) и Майского (река Черек, г. Майский, 1,4 нг/л) районов. В Баксанском районе (г. о. Баксан, река Баксан) содержание тестостерона составило 1,1 нг/л. Таким образом, в 5 из 11 обследованных точек поверхностные воды содержали тестостерон в концентрациях порядка 1–2 нг/л.

Полученные значения показывают, что гормональное загрязнение поверхностных вод КБР в целом невелико: уровень приближается к порогу чувствительности современных методов анализа. Для сравнения, в сельскохозяйственных регионах других стран отмечались схожие концентрации стероидных гормонов в речных пробах. Например, авторы [8] приводят значения концентраций эстронов и андростендиона в сельскохозяйственных водосборах до нескольких нг/л. LS Shore и соавт. [2] при мониторинге реки в долине Иордан (Израиль) зафиксировали всплески концентраций тестостерона после сильных дождей до 6 нг/л за счёт смыва с пастбищ, при исходном уровне 0,3 нг/л. Авторы [12] обнаружили содержание тестостерона в пределах 15–125 нг/л в речных пробах со стоком с обработанных полей. На этом фоне показатели 1–2 нг/л, вы-

Таблица 1. Концентрации тестостерона в поверхностных водах КБР

Table 1. Testosterone concentrations in surface waters of the KBR

Район/город	Тестостерон, нг/л
Эльбрусский р-он — г. Тырныауз / р. Баксан	< 1,0
Черекский р-он — п. Кашхатау / р. Черек	< 1,0
Зольский р-он — п. Залукокоаже / р. Золка	1,3
г. о. Нальчик / р. Нальчик	< 1,0
Чегемский р-он — г. Чегем / р. Чегем	< 1,0
Баксанский р-он — г. о. Баксан / р. Баксан	1,1
Лескенский р-он — с. п. Анзорей / р. Лескен	1,3
Урванский р-он — г. Нарткала	1,4
Терский р-он — г. Терек / р. Терек	1,9
Майский р-он — г. Майский / р. Черек	1,4
Прохладненский р-он — г. о. Прохладный / р. Малка	< 1,0

Таблица 2. Концентрации тестостерона в питьевых водах КБР

Table 2. Testosterone concentrations in drinking waters of the KBR

Район/город	Тестостерон, нг/л
Эльбрусский р-он — г. Тырныауз / р. Баксан	< 1,0
Черекский р-он — п. Кашхатау / р. Черек	< 1,0
Зольский р-он — п. Залукокоаже / р. Золка	< 1,0
г. о. Нальчик / р. Нальчик	< 1,0
Чегемский р-он — г. Чегем / р. Чегем	< 1,0
Баксанский р-он — г. о. Баксан / р. Баксан	< 1,0
Лескенский р-он — с. п. Анзорей / р. Лескен	< 1,0
Урванский р-он — г. Нарткала	< 1,0
Терский р-он — г. Терек / р. Терек	< 1,0
Майский р-он — г. Майский / р. Черек	< 1,0
Прохладненский р-он — г. о. Прохладный / р. Малка	< 1,0

явленные в реках Кабардино-Балкарии, можно считать умеренными и типичными для территорий с неинтенсивным сельским хозяйством.

Концентрации тестостерона в питьевой воде.

В пробах питьевой воды, отобранных в тех же районах, концентрация тестостерона во всех случаях оказалась ниже предела количественного определения метода (табл. 2). Фактически ни в одном из 11 населённых пунктов КБР тестостерон не был обнаружен в распределительной сети водоснабжения. Это обнадеживающий результат, свидетельствующий об отсутствии значимого гор-

монального загрязнения в питьевой воде региона на момент исследования.

Экологическая и санитарная оценка полученных данных свидетельствует о благоприятной ситуации в регионе. Полное отсутствие тестостерона в пробах питьевой воды, отобранных в различных районах Кабардино-Балкарской Республики, подтверждает высокое качество работы систем водоснабжения. Эти результаты особенно важны с учётом мировой обеспокоенности наличием гормональных соединений в воде и их потенциальным влиянием на здоровье населения. Систематическое отсутствие тестостерона в распределительной сети подтверждает, что на момент проведения исследований гормональное загрязнение питьевой воды в КБР отсутствует как фактор риска.

Заключение

Проведённое исследование впервые дало количественную оценку содержания тестостерона в водных объектах и питьевой воде Кабардино-Балкарской Республики.

В поверхностных водах ряда районов республики обнаружены низкие концентрации тестостерона (1,1–1,9 нг/л), что свидетельствует о поступлении следовых количеств гормональных веществ. Максимальные уровни зафиксированы в равнинных районах с развитым сельским хозяйством, тогда как в горных зонах тестостерон не обнаружен. В целом отмеченные концентрации находятся на уровне, близком к фоновому, и значительно ниже тех, при которых наблюдаются негативные эффекты у водных организмов.

Литература/References

1. Kolpin DW, Furlong ET, Meyer MT, Thurman EM, Zaugg SD, Barber LB, Buxton HT. Pharmaceuticals, hormones and other organic wastewater contaminants in U.S. Streams, 1999–2000: a national reconnaissance. *Environ Sci Technol*. 2002; 36 (6): 1202–1211. doi: 10.1021/es011055j.
2. Shore LS, Reichmann O, Shemesh M, Wenzel A, Litaor MI. Washout of accumulated testosterone in a watershed. *Sci Total Environ*. 2004; 332 (1–3): 193–202. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.04.009.
3. Kolodziej EP, Harter T, Sedlak DL. Dairy wastewater, aquaculture, and spawning fish as sources of steroid hormones in the aquatic environment. *Environ Sci Technol*. 2004; 38 (23): 6377–6384. doi: 10.1021/es049585d.
4. Kleywegt S, Pileggi V, Yang P, Hao C, Zhao X, Rocks C, et al. Pharmaceuticals, hormones and bisphenol A in untreated source and finished drinking water in Ontario, Canada — occurrence and treatment efficiency. *Sci Total Environ*. 2011; 409 (8): 1481–1488. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.01.010.
5. Bexfield LM, Toccalino PL, Belitz K, Foreman WT, Furlong ET. Hormones and pharmaceuticals in groundwater used as a source of drinking water across the United States. *Environ Sci Technol*. 2019; 53 (6): 2950–2960. doi: 10.1021/acs.est.8b05592.
6. Баренбойм Г.М., Чиганова М.А. Загрязнение поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами. Вода: химия и экология. 2012; 10: 40–46. [Barenbojm GM, Chiganova MA. Zagryaznenie poverykhnostnykh i stochnykh vod lekarstvennyimi preparatami. Voda: Khimiya i Ekologiya. 2012; 10: 40–46. (In Russ.)]
7. Almazrouei B, Islayem D, Alskafi F, Catacutan MK, Amna R, Sisirici B, et al. Steroid hormones in wastewater: Sources, treatments, environmental risks, and regulations. *Emerging Contaminants*. 2023; 9 (2): 100210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100210>.

В пробах питьевой воды из централизованных систем водоснабжения КБР тестостерон не был обнаружен (< 1 нг/л во всех точках). Качество питьевой воды региона по показателю содержания стероидных гормонов можно оценить как благополучное.

Для углублённого понимания ситуации следует проводить расширенные исследования, охватывающие другие гормоны (эстрогены, прогестагены), а также сезонные наблюдения. Рекомендуются включение гормональных соединений в программы наблюдений за состоянием водных ресурсов, которое позволит накопить статистику и своевременно выявлять нежелательные тенденции.

Дополнительная информация

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, мнемокод FZZR-2026-0010. Исследование выполнено при финансовой поддержке Внутреннего гранта КБГУ им. Х. М. Бербекова (Договор № 35) в рамках программы «Приоритет 2030».

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Участие авторов. Хаширова С. С. — анализ научной литературы по теме статьи, обработка материала, подготовка окончательного варианта статьи. Ламашвили Л. С. — организация отбора проб водных объектов в Кабардино-Балкарской Республике, выполнение пробоподготовки и хроматографического анализа, обработка экспериментальных данных. Агоева Э. А., Сметков П. П. — интерпретация аналитических результатов, экологическая и санитарная оценка данных.

8. Velicu M, Suri R. Presence of steroid hormones and antibiotics in surface water of agricultural, suburban and mixed-use areas. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009; 154 (1–4): 349–359. doi: 10.1007/s10661-008-0402-7.
9. Jackson J, Sutton R. Sources of endocrine-disrupting chemicals in urban wastewater, Oakland, CA. *Sci Total Environ*. 2008; 405 (1–3): 153–160. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.033.
10. Tijani JO, Fatoba OO, Babajide OO, Petrik LF. Pharmaceuticals, endocrine disruptors, personal care products, nanomaterials and perfluorinated pollutants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2016; 14 (1): 27–49. doi: <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0537-z>.
11. Molnár S, Kulcsár G, Perjési P. Determination of steroid hormones in water samples by liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry using parallel reaction monitoring. *Microchemical Journal*. 2022; 175 (8): 107105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.107105>.
12. Jürgens MD, Holthaus KIE, Johnson AC, Smith JIL, Hetheridge M, Williams RJ. The potential for estradiol and ethinylestradiol degradation in English rivers. *Environ Toxicol Chem*. 2002; 21 (3): 480–488.
13. Williams RJ, Johnson AC, Smith JJ, Kanda R. Steroid estrogens profiles along river stretches arising from sewage treatment works discharges. *Environ Sci Technol*. 2003; 37 (9): 1744–1750. doi: 10.1021/es0202107.
14. Nghiem LD, Manis A, Soldenhoff K, Schäfer AI. Estrogenic hormone removal from wastewater using NF/RO membranes. *Journal of Membrane Science*. 2004; 242 (1–2): 37–45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2003.12.034>.
15. Karapinar I, Ertaş FN, Şahintürk B, Yılmaz H, Bakırdere S. LC–MS/MS signal enhancement for estrogenic hormones in water samples using experimental design. *RSC Advances*. 2016; 6, (46): 39188–39197. doi: <https://doi.org/10.1039/c6ra06526k>.

16. Gonsioroski A, Mourikes VE, Flaws JA. Endocrine disruptors in water and their effects on the reproductive system. *Int J Mol Sci.* 2020; 21 (6): 1929. doi: 10.3390/ijms21061929.
17. Bozyigit GD, Ayyildiz MF, Chormey DS, Bekmezci OK, Atar N. Removal of selected pesticides, alkylphenols, hormones and bisphenol A from domestic wastewater by electrooxidation process. *Water Sci Technol.* 2022; 85 (1): 220–228. doi: 10.2166/wst.2021.635.
18. Савостикова О.Н., Мамонов Р.А., Турина И.А., Алексеева А.В., Николаева Н.И. Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы). *Гигиена и санитария.* 2021; 100 (11): 1218–1223. [Savostikova ON, Mamonov RA, Turina IA, Alekseeva AV, Nikolaeva NI. Ksenobiotiki i produkty ikh transformatsii v stochnykh vodakh (obzor literatury). *Gigiena i Sanitariya.* 2021; 100 (11): 1218–1223. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223>.
19. Карцова Л.А., Соловьева С.А., Бессонова Е.А. Микроэмульсионное концентрирование стероидных гормонов из водных растворов и образцов мочи. *Журнал аналитической химии.* 2021; 76 (9): 804–811. [Kartsova LA., Solov'eva SA., Bessonova EA. Mikroemul'sionnoe kontsentrirovanie steroidnykh gormonov iz vodnykh rastvorov i obraztsov mochi. *Zhurnal analiticheskoy khimii.* 2021; 76 (9): 804–811. (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.31857/S004445022109005X>.
20. Method 539: determination of hormones in drinking water by solid phase extraction (spe) and liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry (lc-esi-ms/ms) EPA Document No. 815-B-10-001 November 2010.

Поступила / Received 23.01.2026

Принята в печать / Accepted 15.02.2026

Информация об авторах

Хаширова Седа Сайпудиновна — м. н. с., научно-исследовательская лаборатория экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0001-7975-8989

Ламашвили Людмила Сайрамбаевна — научный сотрудник, заведующая научно-исследовательской лабораторией экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик; ФГБУ Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0001-5898-2412

Агоева Элеонора Анатольевна — старший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория экологического контроля ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик; ФГБУ Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Российская Федерация. ORCID ID: 0009-0000-3832-034X

Снетков Пётр Петрович — к. м. н., ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик; Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский НИИ Фтизиопульмонологии», Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0001-9949-5709

Виндижева Амина Суадиновна — к. т. н., старший научный сотрудник Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0002-4050-8947

About the authors

Seda S. Khashirova — Junior Researcher, Scientific Research Laboratory of Environmental Control, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0001-7975-8989

Lyudmila S. Lamashvili — Researcher, Head of the Environmental Control Scientific Research Laboratory, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik; Kabardino-Balkarian State High-Altitude Nature Reserve, Kaskhatau settlement, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0001-5898-2412

Eleonora A. Agoeva — Senior Researcher, Environmental Control Scientific Research Laboratory, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik; Kabardino-Balkarian State High-Altitude Nature Reserve, Kaskhatau settlement, Russian Federation. ORCID ID: 0009-0000-3832-034X

Petr P. Snetkov — Ph.D. in Medicine, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik; Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint Petersburg, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0001-9949-5709

Amina S. Vindizheva — Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher at the Center for Advanced Materials and Additive Technologies Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Nalchik, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0002-4050-8947