

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
MINISTRY OF HEALTHCARE OF THE RUSSIAN FEDERATION
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (ФМБА РОССИИ)
FEDERAL MEDICAL BIOLOGICAL AGENCY (THE FMBA OF RUSSIA)

**МЕДИЦИНСКАЯ
РАДИОЛОГИЯ
И
РАДИАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**MEDICAL RADIOLOGY
AND
RADIATION SAFETY**

Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2019

Том 64

№ 2

Периодический научный журнал. Издается с 1956 года
Periodical scientific journal. Published since 1956

Журнал включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов,
рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.
The journal is included in the list of VAK (Higher Attestation Commission) of the leading
peer-reviewed scientific journals recommended for publication of the results of thesis works

Журнал вошел в международную библиографическую базу данных Scopus
и в Перечень Russian Science Citation Index (RSCI), размещенный на платформе Web of Science
The journal entered the bibliographic database Scopus
and the Russian Science Citation Index (RSCI), hosted on the Web of Science platform

Москва
Moscow

МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Журнал основан в январе 1956 года
(до 30 декабря 1993 года выходил под названием «Медицинская радиология»)
Периодичность издания: шесть выпусков в год

ISSN 1024-6177 (Print)

ISSN 2618-9615 (Online)

Журнал выходит при поддержке Федерального медико-биологического агентства России (ФМБА России)

Главный редактор В.В. УЙБА – д.м.н., проф.

Редакционная коллегия:

Г.М. Аветисов – д.б.н., проф.; Р.В. Арутюнян – д.ф.-м.н., проф.;
А.В. Бойко – д.м.н., проф.; А.П. Бирюков – д.м.н., проф.; А.Ю. Бушманов – д.м.н., проф.; А.А. Вайнсон – д.б.н., проф.;
В.Ф. Демин – д.т.н., к.ф.-м.н., доцент; И.П. Коренков – д.б.н., к.т.н., проф.;
А.Н. Котеров – д.б.н.; М. Марков – PhD, проф., США; Б.Я. Наркевич – д.т.н., к.ф.-м.н., проф., научный и выпускающий редактор;
К. Нурлыбаев – к.т.н.; В.В. Романов; А.С. Самойлов – д.м.н., зам. главного редактора, проф. РАН; М.К. Сневе – PhD, Норвегия;
С.И. Ткачев – д.м.н., проф.; И.Е. Тюрин – д.м.н., проф.; П. Урингтон – PhD, проф., США; Б.Н. Фаунтес – PhD, США;
Н.К. Шандала – д.м.н.; А.В. Шафиркин – д.б.н.; С.М. Шинкарев – д.т.н.

Редакционный совет:

С.С. Алексанин – д.м.н., проф., Санкт-Петербург; М.И. Балонов – д.б.н., проф., Санкт-Петербург;
А.Х. Гонзалес – академик, представитель НКДАР ООН, член МАГАТЭ, Аргентина; М.В. Забелин – д.м.н., проф.;
В.К. Иванов – д.т.н., проф., член-корр. РАН, Обнинск; Л.А. Ильин – д.м.н., проф., академик РАН;
П.К. Казымбет – д.м.н., проф., Казахстан; Н.М. Оганесян – д.м.н., проф., Армения;
М. Пинак – член МАГАТЭ; А.В. Рожко – д.м.н., доцент, Белоруссия; В.А. Саенко – д.б.н., ассоциированный проф., Япония

Все статьи в журнале печатаются бесплатно

Заведующий редакцией Э.С. Зубенкова
Компьютерная верстка В.В. Колесниченко
Технический редактор В.В. Колесниченко

Адрес редакции журнала:

123182, Москва, ул. Живописная, 46
Телефон: (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@yandex.ru

Сайт журнала: <http://www.medradiol.ru>

Годовой подписной индекс Агентства «Роспечать» – 71814

Подписано в печать 10.04.2019. Формат 60 × 88/8

Печать офсетная. 11,0 печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Отпечатано в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. 123182, Москва, ул. Живописная, 46

MEDICAL RADIOLOGY AND RADIATION SAFETY

The journal was founded in January 1956
Up to 30 December 1993 was published under the title «Medical Radiology»
Frequency of publication: six issues per year

ISSN 1024-6177 (Print)

ISSN 2618-9615 (Online)

The journal is published with support of The Federal Medical-Biological Agency of Russia FMBA of Russia

Editor in Chief Vladimir Uiba – Dr. Sci. Med., Prof.

Editorial Board:

G. M. Avetisov – Dr. Sci. Biol., Prof.; R. V. Arutyunyan – Dr. Sci. Phys.-Math., Prof.; A. V. Boiko – Dr. Sci. Med., Prof.;
A. P. Biryukov – Dr. Sci. Med., Prof.;
A. Yu. Bushmanov – Dr. Sci. Med., Prof.; A. A. Wainson – Dr. Sci. Biol., Prof.; V. F. Demin – Dr. Sci. Tech., Cand. Sci. Phys.-Math.,
Assistant Prof.; I. P. Korenkov – Dr. Sci. Biol., PhD Tech., Prof.; A. N. Koterov – Dr. Sci. Biol.;
M. Markov – Prof., USA; B. Ya. Narkevich – Dr. Sci. Tech., PhD Phys.-Math., Prof., Scientific and Production Editor;
K. N. Nurlybaev – PhD Tech.; V. V. Romanov; A. S. Samoylov – Dr. Sci. Med., Deputy Chief Editor, Prof. of RAS; M. K. Sneve – Norway;
S. I. Tkachev – Dr. Sci. Med., Prof.; I. E. Tyurin – Dr. Sci. Med., Prof.; P. Wrington USA; B. N. Fountas – USA;
N. K. Shandala – Dr. Sci. Med.; A. V. Shafirkin – Dr. Sci. Biol.; S. M. Shinkarev – Dr. Sci. Tech.

Editorial Council:

S. S. Aleksanin – Dr. Sci. Med., Prof.; M. I. Balonov – Dr. Sci. Biol., Prof.;
A. J. Gonzalez – Academician, Member of the IAEA; M. V. Zabelin – Dr. Sci. Med., Prof.;
V. K. Ivanov – Dr. Sci. Tech., Prof., Chairman of the Russian Scientific Commission on Radiological Protection,
Corresponding Member of RAS, L. A. Ilyin – Dr. Sci. Med., Prof., Academician of RAS;
P. K. Kazymbet – Dr. Sci. Med., Prof., Kazakhstan; N. M. Oganessian – Dr. Sci. Med., Prof., Armenia;
M. Pinak – Member of the IAEA; A. V. Rozhko – Dr. Sci. Med., Associate Prof., Belarus; V. A. Saenko – Dr. Sci. Biol., Associate Prof., Japan

All articles in the journal are printed free of charge

Head of Editorial Office: E. S. Zubenkova
Computer-aided makeup: V. V. Kolesnichenko
Technical Editor: V. V. Kolesnichenko

Address of Editorial Board:

46, Zhivopisnaya st., 123182, Moscow, Russia
Phone: +7 (499) 190-95-51

E-mail: medradiol@yandex.ru

The journal website: <http://www.medradiol.ru>

The annual subscription index Agency «Rospechat» – 71814

Signed to print 10.04.2019. Format 60 × 88/8

Offset printing. 11,0 printed sheets. 1000 copies. Order #

Printed by SRC-FMBC.

123182, Moscow, Zhivopisnaya st. 46

СОДЕРЖАНИЕ № 2 – 2019

- 5 **Перспективы внедрения технологий ядерной медицины в системе ФМБА России**
В.В. Уйба, Ю.Д. Удалов, А.О. Лебедев, Л.И. Шулепова
- 11 **Ускорители протонов в лучевой терапии**
А.П. Черняев, Г.И. Клёнов, А.Ю. Бушманов, А.А. Пряничников, М.А. Белихин, Е.Н. Лыкова
- 23 **Физика планирования протонной лучевой терапии**
В.А. Климанов, А.С. Самойлов, А.Э. Гаджинов, Я.А. Пеишкин
- 33 **Проблемы обеспечения радиационной безопасности персонала при эксплуатации терапевтических ускорителей протонов на примере центра протонной терапии в Димитровграде**
А.Г. Цовьянов, П.П. Ганцовский, Н.К. Шандала, С.М. Шинкарев, В.В. Романов
- 41 **Основные направления клинического применения современной протонной лучевой терапии**
А.С. Самойлов, Ж.Ж. Смирнова, В.А. Климанов, В.В. Яковлев, Л.И. Шулепова, Ю.Д. Удалов
- 52 **История и перспективы протонной лучевой терапии**
В.С. Хорошков
- 61 **Опыт использования протонной лучевой терапии в Объединенном институте ядерных исследований, г. Дубна**
А.В. Агапов, В.Н. Гаевский, Е.В. Кижяев, Я.В. Курганский, Е.И. Лучин, Г.В. Мицын, А.Г. Молоканов, М.А. Цейтлина, С.В. Швидкий, К.Н. Шипулин
- 70 **Возможности протонной терапии при повторном облучении рецидивных глиом**
К.Е. Медведева, И.А. Гулидов, Ю.С. Мардынский, Д.В. Гоголин, К.Б. Гордон, А.В. Семенов, О.Г. Лепилина, А.Д. Каприн, А.А. Костин, С.А. Иванов
- 75 **Морфофункциональные показатели воздействия протонов на центральную нервную систему**
К.Н. Ляхова, И.А. Колесникова, Д.М. Утина, Ю.С. Северюхин, Н.Н. Буденная, А.Н. Абросимова, А.Г. Молоканов, М. Лалковичова, А.А. Иванов
- 82 **О подготовке кадров для ядерной медицины**
О.В. Кузнецова, А.С. Самойлов, О.И. Волжянская

* Статьи, по техническим причинам не вошедшие в этот номер, будут опубликованы в №3, 2019:

Вычисление глубинной зависимости ОБЭ клинических пучков протонов

А.В. Белоусов, Р.Б. Бахтиозин, М.А. Колыванова, Г.А. Крусанов, Л.И. Шулепова, В.Н. Морозов

Перспективы применения комбинированных технологий в протонной терапии злокачественных новообразований

А.Ю. Бушманов, И.Н. Шейно, А.А. Липенгольц, А.Н. Соловьев, С.Н. Корякин

Радиобиологические эффекты протонов

А.А. Иванов, Т.М. Бычкова, О.В. Никитенко, И.Б. Ушаков

CONTENTS No. 2 – 2019

- 5 **Prospects for Implementing of Technologies of Nuclear Medicine in the FMBA of Russia**
V.V. Uiba, Yu.D. Udalov, A.O. Lebedev, L.I. Shulepova
- 11 **Proton Accelerators for Radiation Therapy**
A.P. Chernyaev, G.I. Klenov, A.Yu. Bushmanov, A.A. Pryanichnikov, M.A. Belikhin, E.N. Lykova
- 23 **Physics of Proton Therapy Treatment Planning**
V.A. Klimanov, A.S. Samoylov, A.E. Gadzhinov, Ya.A. Peshkin
- 33 **Problems of Ensuring Radiation Safety of Personnel when Operating Proton Therapeutic Accelerators Using an Example of the Proton Therapy Center in Dimitrograd**
A.G. Tsovyanov, P.P. Gantsovskii, N.K. Shandala, S.M. Shinkarev, V.V. Romanov
- 41 **The Main Directions of Clinical Application of Modern Proton Therapy**
A.S. Samoylov, Zh.Zh. Smirnova, V.A. Klimanov, V.V. Yakovlev, L.I. Shulepova, Yu.D. Udalov
- 52 **History and Prospects of Proton Therapy**
V.S. Khoroshkov
- 61 **Experience of Proton Radiotherapy at the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna**
A.V. Agapov, V.N. Gaevsky, E.V. Kizhaev, Ya.V. Kurgansky, E.V. Luchin, G.V. Mytsin, A.G. Molokanov, M.A. Tseytina, S.V. Shvidky, K.N. Shipulin
- 70 **Proton Therapy for Re-Irradiation of Recurrent Gliomas**
K.E. Medvedeva, I.A. Gulidov, Yu.S. Mardynski, D.V. Gogolin, K.B. Gordon, A.V. Semenov, O.G. Lepilina, A.D. Kaprin, A.A. Kostin, S.A. Ivanov
- 75 **Morphofunctional Indicators of the Effects of Protons on the Central Nervous System**
K.N. Lyakhova, I.A. Kolesnikova, D.M. Utina, Yu.S. Severyukhin, N.N. Budennaya, A.N. Abrosimova, A.G. Molokanov, M. Lalkovičova, A.A. Ivanov
- 82 **Training for Nuclear Medicine**
O.B. Kuznetsova, A.S. Samoylov, O.I. Volpyanskaya

* Articles that are not included in this issue for technical reasons will be published in No. 3, 2019:

Calculation of the Depth Dependence of Relative Biological Effectiveness For Clinical Proton Beams

A.V. Belousov, R.B. Bahtiosin, M.A. Kolyvanova, G.A. Krusanov, L.I. Shulepova, V.N. Morozov

Prospects of Proton Therapy Combined Technologies in the Treatment of Cancer

A.Yu. Bushmanov, I.N. Sheino, A.A. Lipengolts, A.N. Solovev, S.N. Koryakin

Radiobiological Proton Effects

A.A. Ivanov, T.M. Bichkova, O.V. Nikitenko, I.B. Ushakov