

DOI: 10.31082/1728-452X-2019-202-4-25-32

УДК 621.039.553.5:616.892

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА С ГОЛОВНЫМ МОЗГОМ ЧЕЛОВЕКА

Р.Т. ЦОЙ, <https://orcid.org/0000-0002-1450-9604>

АО «Национальный Медицинский Университет», г. Алматы, Республика Казахстан



Вопрос влияния окружающей среды на организм человека стал актуальным с ростом технического прогресса. Загрязненный воздух, вибрационное, шумовое, электромагнитное загрязнение негативно влияют на организм человека, что нашло научно обоснованное и статистически значимое свидетельство в многочисленном количестве экспериментальных, клинических и эпидемиологических трудах. Однако, помимо вышеперечисленного, влиять на человека способен и природный радиационный фон (гамма-кванты). К сожалению, информации о возможных эффектах, вследствие воздействия природного радиационного фона относительно мало, если быть точнее, практически нет, что и вызывает интерес многих ученых к этой теме, с целью возможности открытия новых механизмов положительных или негативных эффектов, вызванных ионизирующим излучением.

Цель данного литературного обзора - провести анализ радиологической ситуации в крупном мегаполисе (на примере г. Алматы), определяемой воздействием природного радиационного фона на когнитивные функции.

Материал и методы. Нами был проведен литературный обзор по базам: MEDLINE/ PubMed, SCOPUS, Web of Science за период с 2000 года по 2019 год. Более того, для полноты материала и исключения потери данных нами был проведен тщательный литературный обзор в Национальной Библиотеке Республики Казахстан, Научной библиотеке Казахского государственного национального университета им. аль-Фараби, Центральной научной библиотеке МН-АН РК за период с 1945 по 2019 годы.

Вывод. Влияние природного радиационного фона на организм человека остается дискуссионным.

Ключевые слова: умеренные когнитивные нарушения, деменция, гамма-излучение, природный радиационный фон, влияние природной радиации, радиация и головной мозг, преждевременное старение, геоаномалии, экологические риски, естественные изотопы.

Для цитирования: Цой Р.Т. Взаимодействие природного радиационного фона с головным мозгом человека // Медицина (Алматы). – 2019. - №4(202). – С. 25-32

Т Ұ Ж Ы Р Ы М

ТАБИҒИ РАДИАЦИЯЛЫҚ ФОННЫҢ АДАМНЫҢ МИЫМЕН ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ

Р.Т. ЦОЙ, <https://orcid.org/0000-0002-1450-9604>

«Ұлттық Медицина Университеті» АҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Қоршаған ортаның адам ағзасына әсері техникалық прогрестің өсуімен өзекті болып тұр. Ластанған ауа, діріл, шу, электромагниттік ластану адам ағзасына теріс әсер етуде. Бұл көптеген эксперименталдық, клиникалық және эпидемиологиялық еңбектерде ғылыми және статистикалық тұрғыда негізделді және расталды. Алайда, жоғарыда аталғандардан бөлек, адамға табиғи радиациялық фон (гамма-кванттар) әсер етуі мүмкін. Өкінішке орай, табиғи радиациялық фонның ықпалы салдарынан мүмкін болатын әсерлер туралы ақпарат салыстырмалы түрде аз, дәлірек айтсақ мүлдем жоқ. Бұл өз кезегінде иондаушы сәулеленуден туындаған оң немесе теріс әсерлердің жаңа механизмдерін ашу мүмкіндігі мақсатында осы тақырыпқа көптеген ғалымдардың қызығушылығын тудырып отыр.

Осы әдеби шолудың мақсаты. Ірі мегаполисте (Алматы қаласы мысалында) когнитивті функцияларға табиғи радиациялық фонның әсерімен анықталатын радиологиялық жағдайға талдау жүргізу.

Материал және әдістері. Біз 2000 жылдан бастап 2019 жылға дейінгі аралықтағы келесі: MEDLINE/ PubMed, SCOPUS, Web of Science базаларға әдеби шолу жасадық. Сонымен қатар, материалдың толықтығы үшін және деректердің жоғалуына жол бермеу үшін біз Қазақстан Республикасының Ұлттық кітапханасында, Өл-Фараби атындағы Қазақ мемлекеттік ұлттық университетінің Ғылыми кітапханасында, ҚР ҒМ-ҒА Орталық ғылыми кітапханасында 1945 жылдан 2019 жылға дейінгі кезеңге мұқият әдеби шолу жасадық.

Қорытынды. Табиғи радиациялық фонның адам ағзасына әсері талқыланып болып қалады.

Негізгі сөздер: орташа когнитивті бұзылулар, деменция, гамма сәулелену, табиғи радиациялық фон, табиғи радиацияның әсері, радиация және бас миы, мерзімінен бұрын қартаю, геоаномалиялар, экологиялық тәуекелдер, табиғи изотоптар.

Контакты: Цой Радмила Тимсоновна, PhD докторант кафедры нервных болезней с курсом нейрохирургии АО «Национального Медицинского Университета», Төле би, 94, г. Алматы, Казахстан. Индекс: 050000. E-mail: mila_wong@mail.ru

Contacts: Radmila T Tsouy, PhD Candidate of the Department of the Nervous Diseases with a course of neurosurgery, National Medical University, Tole bi, 94, Almaty, Kazakhstan. Index: 050000. E-mail: mila_wong@mail.ru

Поступила 28 03 2019

SUMMARY

INTERACTION OF THE NATURAL BACKGROUND RADIATION WITH THE HUMAN BRAIN

RT TSOY, <https://orcid.org/0000-0002-1450-9604>*National Medical University, Almaty, Republic of Kazakhstan*

The question of the impact of the environment on the human body has become relevant with the growth of technical progress. Polluted air, vibration, noise, electromagnetic pollution adversely affect the human body. That was found in the numerous experimental, clinical and epidemiological papers. However, in addition to the above, the natural background radiation (gamma rays) can also influence on the person's health. Unfortunately, there is relatively small amount of information about the possible effects due to exposure to natural background radiation. The unknown theme rises the interest of many scientists, with the main purpose to discover a new mechanism (positive or negative effects) caused by ionizing radiation.

The purpose of this literature review is to analyze the radiological situation in a large City (Almaty), which is determined by the effect of the natural background radiation on cognitive functions.

Material and methods. We conducted a literature review from three databases: MEDLINE / PubMed, SCOPUS, Web of Science from 2000 to 2019. Moreover, to complete the material and eliminate data loss, we conducted a thorough literary review in the National Library of the Republic of Kazakhstan, the Scientific Library of the Kazakh State National University named after Al-Farabi, Central Scientific Library for the period from 1945 to 2019.

Conclusion. The effect of natural background radiation on the human body remains controversial.

Key words: mild cognitive impairment, dementia, gamma radiation, natural background radiation, influence of natural radiation, radiation and brain, premature aging, geonomalies, environmental risks, natural isotopes.

For reference: Tsoy RT. Interaction of the natural background radiation with the human brain. *Meditsina (Almaty) = Medicine (Almaty)*. 2019;4 (202):25-32 (In Russ.). DOI: 10.31082/1728-452X-2019-202-4-25-32

В течение последних пяти десятилетий международное научное сообщество стало активно интересоваться вопросом взаимодействия окружающей среды и здоровья человека. Одной из неизвестных и спорных тем является влияние естественного фонового излучения на здоровье человека. Ранее нами была опубликована статья «Современный взгляд на вопрос о влиянии природного радиационного фона на когнитивные функции человека», где подробно раскрыта тема основных составляющих природного радиационного фона; подробно описан диапазон доз, оказывающих влияние на функции головного мозга [1]. Возвращаясь к нашей первой статье, хотелось бы упомянуть о том, что природный радиационный фон значительно ниже техногенного радиационного фона. Таким образом, эффекты, полученные от воздействия природного радиационного фона, следует ожидать совершенно другие, и у птиц и у животных и, тем более, у человека [2]. Эффекты от природного радиационного фона на растения (мутации в клеточном аппарате) намного больше изучены в сравнении с эффектами, возникшими у животных (нарушение функциональной способности органов), проживающих близ источников природного излучения [3, 4, 5]. На данный момент отсутствует информация о радиочувствительности и радиорезистентности органов человека вследствие воздействия природного радиационного фона [6]. Однако, тема влияния природного фона (ионизирующего излучения) на здоровье человека становится актуальной с возрастающей тенденцией человечества освоения космического пространства и осушения рек и озер.

В этой статье речь пойдет только о природном радиационном фоне.

При воздействии радиации возникает ряд эффектов: де-

терминированные (предполагается существование дозового порога 0.5-1 Гр, и тяжесть эффекта зависит от дозы) и стохастические (дозовый порог полностью отсутствует) [7].

Немаловажное значение следует уделять дозам, при которых возникли те или иные эффекты. Так, например, эффект гормезиса, к которому относят благоприятное воздействие на клеточный аппарат. Согласно модели М. Полякова и Л.Е. Фининдегана происходит повреждение ДНК клетки малыми дозами радиации, вследствие чего осуществляется запуск системы репарации ДНК аппарата [8]. *Sathish LA et al.*, полагают, что около 50% естественного облучения людей приходится на газ радон, являясь основной причиной онкологических больных, страдающих проблемами дыхательной и желудочно-кишечной систем, посредством попадания продуктов распада газа радона в организм человека от питьевой воды и через органы дыхания [9, 10].

Говоря о стохастических эффектах, Форстер и соавт. показали, что уровень мутации человека в естественных радиоактивных областях был в семь раз выше, в сравнении с контрольными областями, при уровне фонового излучения в десять раз выше, чем в среднем по миру [11].

Длительное воздействие радиационного излучения на организм очень сильно отражается на иммунной системе (угнетение системы антиоксидантов), формирует мутации путем снижения репаративных механизмов на определенных участках хромосом и, как следствие, увеличение частоты заболеваний, в том числе с-г [12]. Некоторыми авторами были опубликованы данные об увеличении частоты случаев рождения детей с синдромом Дауна, проживающих на территориях с высоким природным радиационным фоном. Однако, при проведении более тщательного

анализа было установлено, что когорта обследуемых была этнически однородна и проживала на одной территории несколько поколений, несколько веков [13, 14, 15].

Воздействие радиации на организм зависит от дозы облучения. Ионизирующее излучение можно разделить на низкие (≤ 1 Гр) и высокие (≥ 1 Гр) дозы. Районы с высоким естественным фоновым излучением существуют во всех географических районах мира, и различные группы населения подвергаются воздействию различных доз. Как, например, в Китае (провинция Янцзян) это соответствует 5,06 мЗв - 1 - 6,86 мЗв 1, в Бразилии (Посос-де-Кальдас, Араша) 7 мЗв, Иран (Рамсар) колеблется между 0,7 и 131 мЗв со средним значением 6 мЗв; в Индии (Керала) до 45 мЗв [16]. Что касается эффектов, вызываемых низкими дозами ионизирующего излучения, годовая доза варьируется от 100 Гр до 1 Гр [17].

По данным Бродской [18, 19], город Алматы занимает 2-3 место по радиоактивному загрязнению. Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. Избежать облучения полностью невозможно. На радиационный фон влияют горные породы и высота над уровнем моря. Город Алматы расположен на севере горных отрогов Тянь-Шаня у подножия северного склона Заилийского Алатау, на высоте 848 метров над уровнем моря, что является определяющим фактором повышенной радиации, кроме того, в строении Заилийского Алатау главную роль играют граниты - радиоактивные горные породы [18].

Целью данного литературного обзора является провести анализ радиологической ситуации в г. Алматы, определяемой воздействием природного радиационного фона, его влиянием на организм человека, в частности, когнитивные функции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нами был проведен литературный обзор 156 публикаций, из них 5 систематических обзоров, 3 метаанализа. Набор материала проводился по базам: MEDLINE/PubMed, SCOPUS, Web of Science, Национальной Библиотеке Республики Казахстан, Научной библиотеке Казахского государственного национального университета им. аль-Фараби и Центральной научной библиотеке МН-АН РК по следующим ключевым словам: умеренные когнитивные нарушения, деменция, гамма-излучение, природный радиационный фон, влияние природной радиации, радиация и головной мозг, преждевременное старение, геоаномалии, экологические риски, естественные изотопы. Материал был собран глубиной в 74 года, с 1945 по 2019 годы. При отборе материала были исключены публикации о влиянии экологии на человека в местах добычи урана; воздействии искусственной радиации (посредством компьютерной томографии, рентгенографии, лучевой терапии и т. д.) на человека. Мы исключили документы, доступные только в виде абстракта и публикации об эффектах, полученных вследствие воздействия радиации на животных. После удаления дубликатов и анализа полнотекстовых обзоров в соответствии с критериями отбора. Нами было включено 28 статей в данный литературный обзор.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении литературного поиска было найдено 7000 работ. Однако, из найденных публикаций большинство (6539) было проведено вне города Алматы. Собранные данные опубликованы ведущими международными ассоциациями по работе с радиацией, такими как МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии (англ. *International Atomic Energy Agency*, сокр. *IAEA*), МКРЗ (Международная комиссия по радиации (англ. *ICRP*), BEIR (Национальный научно-исследовательский совет Национальной академии наук США), UNSCEAR (Научный комитет ООН по действию атомной радиации).

По данным Научного комитета ООН по воздействию атомной радиации (НКДАР ООН) существуют четыре основных источника, которые формируют естественное фоновое излучение: космические лучи, земное излучение, поступление радионуклидов естественного происхождения в результате дыхания и проглатывания.

Уровень природного радиационного фона может варьировать от ≤ 100 мЗв / год до ≥ 6 мЗв / год в разных странах мира. В пяти статьях было установлено, что излучение в диапазоне 0,06 мЗв / год способно положительно влиять на здоровье человека в зонах с высоким фоновым излучением [20-24], однако, в четырех работах было обнаружено пагубное влияние ионизирующего излучения на здоровье людей, проживающих в местностях с высоким радиационным фоном [25-28]. В пятнадцати работах авторами было рекомендовано провести долгосрочные клинические исследования [29-43]. Только в одной статье было обнаружено неврологическое расстройство, такое как болезнь Альцгеймера (БА) [27]. В двух работах не было найдено существенной опасности от ионизирующего излучения на здоровье населения [30, 31].

Среди 461 публикации, найденной в библиотеках Республики Казахстан, нашим критериям соответствовали всего 3 работы [18, 46, 47]. Допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным действием природных источников ионизирующего излучения для населения, не определяется, но устанавливаются ограничения на облучение населения от отдельных природных источников [48]. Мамирова Г.Н. обнаружила явление пагубного воздействия геоаномалий на экосистему. Город Алматы расположен на севере отрогов горной системы Тянь-Шань, вследствие возникновения тектонических разломов (геоаномалий), газ радон из недр Земли способен проникать сквозь трещины и щели в здания, тем самым внося значимый вклад в формирование составляющих компонентов природного радиационного фона, влияющего на окружающую среду [49-51]. В Казахстане были впервые установлены допустимые среднегодовые эквивалентные равновесные объемные активности (ЭРОА) радона и торона в воздухе зданий жилищного и общественного назначения: для новых зданий – 100 Бк/м³, для эксплуатируемых – 200 Бк/м³ в связи с введением документа НРБ-96. В работе Нуртаевой и соавт., исследования ЭРОА радона в Жамбылском районе Алматинской области показали высокую степень радоноопасности в одноэтажных домах, что объясняется скоростью проникновения из Земли радона – газа и особенностями строительных материалов [52]. Продукты рас-

пада радона способны влиять не только на легкие (за счет радона обусловлено до 20% общего количества заболева- ний раком легких [53], но и на функции головного мозга, сердце и печень [54]. На сегодняшний день уровень вреда для окружающей среды от дочерних компонентов распада радона и потенциал загрязнения еще не были комплекс- но изучены и оценены. Это представляет собой обширное поле деятельности для проведения дальнейших исследова- ний в этой сфере деятельности [55].

Определенный вклад в формирование природного ра- диационного фона вносят и естественные радионуклиды [56-60]. Экологически неблагоприятная ситуация городов Казахстана - общепризнанная проблема. Алматы является самым крупным городом Казахстана, с численностью на- селения более полутора миллиона. Выхлопные газы мно- гочисленного автомобильного транспорта и газопылевые выбросы промышленных предприятий негативно влияют на здоровье человека. Имеющиеся естественные радиону- клиды в почве усугубляют состояние окружающей среды. Сложный рельеф местности, климатические и географи- ческие особенности создают неблагоприятные условия для рассеивания примесей от веществ в высоких концен- трациях. Это в совокупности, при наличии естественных радионуклидов с большими периодами полураспада, мо- гут оказать определенный негативный эффект на здоровье человека [61]. Поскольку город Алматы относят к быстро- развивающемуся мегаполисам, на данный момент, отсут- ствует общепризнанная методика объективной оценки данных по замеру природного ионизирующего излучения.

ВЫВОДЫ

Данный литературный обзор является первым поиском, в котором оценивается влияние естественного фонового излучения на здоровье человека. Существуют многочислен- ные систематические обзоры с точки зрения антропогенно- го (из-за технической радиации) воздействия (атомной бом- бы) на здоровье человека. Тем не менее, на сегодняшний день опуббликовано очень мало исследований со статисти- чески значимыми результатами о влиянии ионизирующего излучения на здоровье человека. Одной из причин малого

количества работ о влиянии природного радиационного фона являются трудности в определении истинного риска от ионизирующего излучения, поскольку такие сопутству- ющие заболевания, как сахарный диабет, сердечно-сосуди- стые заболевания, метаболический синдром, также оказы- вают негативное влияние на весь организм [62]. Тщательно проведенный анализ позволяет предположить, что первым шагом в определении как фактора риска естественной ра- диации на здоровье человека, является проведение хороше- го эпидемиологического исследования, с целью выяснения числового показателя годовой эффективной дозы ионизиру- ющего излучения. Вторым этапом должно быть продольное (лонгитудинальное) исследование, целью которого будет выяснение основных проблем со здоровьем и возможных факторов риска параллельно с проведением дозиметриче- ской оценки ионизирующего излучения.

При экспериментальных работах на животных было доказано неблагоприятное влияние радиации на их здоро- вье. Однако ограничением такого рода исследований явля- ется искусственное облучение [63, 64].

Сильные стороны проведенного литературного обзо- ра заключаются в том, что мы исследовали связь между естественным фоновым излучением как источником воз- действия на здоровье человека впервые. Глубина поиска материала была взята с 1945 года. Однако, несмотря на интенсивные поиски научных трудов, клинических и эпи- демиологических исследований в г. Алматы не было обна- ружено, что говорит о необходимости дальнейшего изу- чения данной темы, в связи с растущей актуальностью во- проса влияния окружающей среды на здоровье человека.

Прозрачность исследования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Автор несет полную ответственность за предоставление окон- чательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Окончательная версия рукописи была одобрена авто- ром. Автор не получал гонорар за статью.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Цой Р.Т., Турусбекова С.Т., Цой О.В. Современный взгляд на вопрос о влиянии природного радиационного фона на ког- нитивные функции человека. // Журнал «Медицина». – 2018. – №2/188. – С. 39 – 45
- 2 Møller, A. P., Mousseau, T. A. The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms // *Biological Reviews*. – 2012 – Vol. 88(1). – P. 226–254. DOI:10.1111/j.1469-185x.2012.00249.x
- 3 Vasilenko A., Zhai M., Daluy M.J., Koonin E.V., Makarova K.S. Comparative genomics of *Thermus thermophilus* and *Deinococcus radiodurans*: divergent routes of adaptation to thermophily and radiation resistance // *BMC Evolutionary Biology*. – 2005. – Vol. 5. – P. 57. DOI: 10.1186/1471-2148-5-57
- 4 Jaruga P., Birincioglu M., Helm R.F., Potts M. Genomic DNA of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) becomes covalently modified during long-term (decades) desiccation but is protected from oxidative damage and degradation // *Nucleic Acid Research*. – 2003. – Vol. 31. – P. 2995–3005. DOI:10.1093/nar/gkg404

REFERENCES

- 1 Tsoy RT, Turuspekova ST, Tsoy OV. A modern view on the issue of the influence of natural radiation background on human cognitive functions. *Zhurnal "Meditsina" = Journal "Medicine"*. 2018;2(188):39-45
- 2 Møller AP, Mousseau TA. The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms. *Biological Reviews*. 2012;88(1):226-54. DOI:10.1111/j.1469-185x.2012.00249.x
- 3 Vasilenko A, Zhai M, Daluy MJ, Koonin EV, Makarova KS. Comparative genomics of *Thermus thermophilus* and *Deinococcus radiodurans*: divergent routes of adaptation to thermophily and radiation resistance. *BMC Evolutionary Biology*. 2005;5:57. DOI: 10.1186/1471-2148-5-57
- 4 Jaruga P, Birincioglu M, Helm RF, Potts M. Genomic DNA of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) becomes covalently modified during long-term (decades) desiccation but is protected from oxidative damage and degradation. *Nucleic Acid Research*. 2003;31:2995–3005. DOI:10.1093/nar/gkg404

- 5 Kratz F.L. Radioresistance in natural populations of *Drosophila nebulosa* from a Brazilian area of high background radiation // *Mutation Research*. – 1975. – Vol. 27. – P. 347–355. DOI:10.1016/0027-5107(75)90292-4
- 6 Møller A.P., Jennions M.D. How much variance can be explained by ecologists and evolutionary biologists? // *Oecologia*. – 2002. – Vol. 132. – P. 492–500. DOI:10.1007/s00442-002-0952-2
- 7 Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) / Под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 448 с. ISBN 5-9221-0388-1
- 8 Мавлютова Г.Х., Галлямов А.Б., Рашитов Л.З. Повреждающие и стимулирующие эффекты ионизирующего излучения // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2015. – №. 7 (38), Часть 5. – С. 37-39. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017
- 9 Sathish L.A., Nagaraja K., Ramachandran T.V. Indoor (222)Rn and (220)Rn concentrations and doses in Bangalore, India // *Radiat Prot Dosimetry*. – 2012. – Vol. 151(2). – P. 344-353. DOI:10.1093/rpd/ncs015
- 10 Kumar S., Singh S., Bajwa B.S., Singh B., Sabharwal A.D., Eappen K.P. Indoor inhalation dose estimates due to radon and thoron in some areas of South-Western Punjab, India // *Radiat Prot Dosimetry*. – 2012. – Vol. 151(1). – P. 112-116. DOI: 10.1093/rpd/ncr461
- 11 Forster L., Forster P., Lutz-Bonengel S., Willkomm H., Brinkmann B. Natural radioactivity and human mitochondrial DNA mutations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2002. – Vol. 99. – P. 13950–13954. DOI: 10.1073/pnas.202400499
- 12 K'orblein A., Hoffmann W. Background radiation and cancer mortality in Bavaria: an ecological analysis // *Archives of Environmental and Occupational Health*. – 2006. – Vol. 61. – P. 109–114. DOI:10.3200/AEOH.61.3.109-114
- 13 Kochupillai N., Verma I.C., Grewal M.S., Ramalingaswami V. Down's syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala // *Nature*. – 1976. – Vol. 262. – P. 60–61. DOI:10.1038/262060a0
- 14 Wang Z.Y., Boice J.D., Wei L.X., Beebe G.W., Zhan Y.R., Kaplan M.M., Tao Z.F., Maxonn H.R., Zhang S. Z., Schnieder A.B., Tan B.D., Wesseler T.A., Chen D.Q., Ershow A.G., Kleinerman R.A., Littlefield L.G., Preston D. Thyroid nodularity and chromosome aberrations among women in areas of high background radiation in China // *Journal of the National Cancer Institute*. – 1990. – Vol. 82. – P. 478–485. DOI: 10.1093/jnci/82.6.478
- 15 Premi S., Srivastava J., Chandy S.P., Ali S. Unique signatures of natural background radiation on human Y chromosomes from Kerala, India // *Public Library of Science One*. – 2009. – Vol. 4:e4541. DOI: 10.1371/journal.pone.0004541
- 16 Hendry J.H., et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? // *Journal of Radiological Protection*. – 2009. – T. 29, No. 2A. – P. A29. DOI:10.1088/0952-4746/29/2A/S03
- 17 Tang F.R., Loke W.K., Khoo B.C. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation–induced bioeffects in animal models // *Journal of radiation research*. 2016;58(2):165-82. DOI: 10.1093/jrr/rrw120
- 18 Brodskaya Yu.A. Radioecological situation in Almaty city (INIS-KZ--061). Kazakstan: KazGU, 1998. (In Russ.)
- 19 Информационный экологический бюллетень Республики Казахстан. 2 квартал. - Алматы, 1996. - 104 с.
- 20 Shuaibu H.K. et al. Assessment of natural radioactivity and gamma-ray dose in monazite rich black Sand Beach of Penang Island, Malaysia // *Marine pollution bulletin*. – 2017. – T. 119, No. 1. – P. 423-428. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.03.026
- 21 Kasumović A. et al. Natural radioactivity and radiation hazards assessment of soil samples from the area of Tuzla and Lukavac, Bosnia and Herzegovina // *Isotopes in environmental and health studies*. – 2015. – T. 51, No. 3. – P. 469-477. doi.org/10.1080/10256016.2015.1023798.
- 22 Sies H, Feinendegen LE. Radiation hormesis: the link to nanomolar hydrogen peroxide. 2017. DOI: 10.1089/ars.2017.7233
- 5 Kratz FL. Radioresistance in natural populations of *Drosophila nebulosa* from a Brazilian area of high background radiation. *Mutation Research*. 1975;27:347–55. DOI:10.1016/0027-5107(75)90292-4
- 6 Møller AP, Jennions MD. How much variance can be explained by ecologists and evolutionary biologists? *Oecologia*. 2002;132:492–500. DOI:10.1007/s00442-002-0952-2
- 7 Kudryashov YuB. *Radiatsionnaya biofizika (ioniziruyushchie izlucheniya)* / Pod red. V.K. Mazurika, M.F. Lomanova [Radiation biophysics (ionizing emission)] / Ed. V.K. Mazurik, M.F. Lomanova]. Moscow: FIZMATLIT, 2004. 448 p. ISBN 5-9221-0388-1
- 8 Mavlyutova GK, Gallyamov AB, Rashitov LZ. The damaging and stimulating effects of ionizing radiation. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Scientific and Research Journal*. 2015;7(38);5:37-9. DOI: 10.18454 / IRJ.2227-6017
- 9 Sathish LA, Nagaraja K, Ramachandran TV. Indoor (222)Rn and (220)Rn concentrations and doses in Bangalore, India. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;151(2):344-53. DOI:10.1093/rpd/ncs015
- 10 Kumar S, Singh S, Bajwa BS, Singh B, Sabharwal AD, Eappen KP. Indoor inhalation dose estimates due to radon and thoron in some areas of South-Western Punjab, India. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;151(1):112-6. DOI: 10.1093/rpd/ncr461
- 11 Forster L, Forster P, Lutz-Bonengel S, Willkomm H, Brinkmann B. Natural radioactivity and human mitochondrial DNA mutations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002;99;13950-4. DOI: 10.1073/pnas.202400499
- 12 K'orblein A, Hoffmann W. Background radiation and cancer mortality in Bavaria: an ecological analysis. *Archives of Environmental and Occupational Health*. 2006;61:109–114. DOI:10.3200/AEOH.61.3.109-114
- 13 Kochupillai N, Verma IC, Grewal MS, Ramalingaswami V. Down's syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala. *Nature*. 1976;262:60-1. DOI:10.1038/262060a0
- 14 Wang ZY, Boice JD, Wei LX, Beebe GW, Zhan YR, Kaplan MM, Tao ZF, Maxonn HR, Zhang SZ, Schnieder AB, Tan BD, Wesseler TA, Chen DQ, Ershow AG, Kleinerman RA, Littlefield LG, Preston D. Thyroid nodularity and chromosome aberrations among women in areas of high background radiation in China. *Journal of the National Cancer Institute*. 1990;82:478–85. DOI: 10.1093/jnci/82.6.478
- 15 Premi S, Srivastava J, Chandy SP, Ali S. Unique signatures of natural background radiation on human Y chromosomes from Kerala, India // *Public Library of Science One*. 2009;4:e4541. DOI: 10.1371/journal.pone.0004541
- 16 Hendry JH, et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? *Journal of Radiological Protection*. – 2009. – T. 29, No. 2A. – P. A29. DOI:10.1088/0952-4746/29/2A/S03
- 17 Tang F.R., Loke W.K., Khoo B.C. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation–induced bioeffects in animal models // *Journal of radiation research*. 2016;58(2):165-82. DOI: 10.1093/jrr/rrw120
- 18 Brodskaya Yu.A. Radioecological situation in Almaty city (INIS-KZ--061). Kazakstan: KazGU; 1998. (In Russ.)
- 19 Информационный экологический бюллетень Республики Казахстан. 2 квартал. - Алматы, 1996. - 104 с.
- 20 Shuaibu HK, et al. Assessment of natural radioactivity and gamma-ray dose in monazite rich black Sand Beach of Penang Island, Malaysia. *Marine pollution bulletin*. 2017;119(1):423-8. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.03.026
- 21 Kasumović A, et al. Natural radioactivity and radiation hazards assessment of soil samples from the area of Tuzla and Lukavac, Bosnia and Herzegovina. *Isotopes in environmental and health studies*. 2015;51(3):469-77. doi.org/10.1080/10256016.2015.1023798.
- 22 Sies H, Feinendegen LE. Radiation hormesis: the link to nanomolar hydrogen peroxide. 2017. DOI: 10.1089/ars.2017.7233

- 22 Sies H., Feinendegen L.E. Radiation hormesis: the link to nanomolar hydrogen peroxide. – 2017. DOI: 10.1089/ars.2017.7233
- 23 Rühm W. et al. Dose and dose-rate effects of ionizing radiation: a discussion in the light of radiological protection // *Radiation and environmental biophysics*. – 2015. – T. 54, No. 4. – P. 379-401. DOI:10.1007/s00411-015-0613-6
- 24 Lampe N. et al. Understanding low radiation background biology through controlled evolution experiments // *Evolutionary applications*. – 2017. – T. 10, No. 7. – P. 658-666. DOI:10.1111/eva.12491
- 25 Borzoueisileh S. et al. The highest background radiation school in the world and the health status of its students and their offspring // *Isotopes in environmental and health studies*. – 2014. – T. 50, No. 1. – C. 114-119. DOI: 10.1080/10256016.2013.821986
- 26 Aziz Saleh M. et al. Assessment of health hazard due to natural radioactivity in Kluang District, Johor, Malaysia // *Isotopes in environmental and health studies*. – 2014. – T. 50, No. 1. – P. 103-113. DOI: 10.1080/10256016.2013.821469
- 27 Lehrer S., Rheinsteinst P.H., Rosenzweig K.E. Association of radon background and total background ionizing radiation with Alzheimer's disease deaths in US states // *Journal of Alzheimer's Disease*. – 2017. – T. 59, No. 2. – P. 737-741. DOI:10.3233/JAD-170308
- 28 Tharmalingam S. et al. Low-dose ionizing radiation exposure, oxidative stress and epigenetic programming of health and disease // *Radiation research*. – 2017. – T. 188, No. 4.2. – C. 525-538. DOI:10.1667/RR14587.1
- 29 Hendry J.H. et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? // *Journal of Radiological Protection*. – 2009. – T. 29, No. 2A. – P. A29. doi: 10.1088/0952-4746/29/2A/S03.
- 30 Tang F.R., Loke W.K., Khoo B.C. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation-induced bioeffects in animal models // *Journal of radiation research*. – 2016. – T. 58, No. 2. – P. 165-182. doi.org/10.1093/jrr/rrw120
- 31 Sohrabi M., Roositalab J., Mohammadi J. Public effective doses from environmental natural gamma exposures indoors and outdoors in Iran // *Radiation protection dosimetry*. – 2015. – T. 167, No. 4. – C. 633-641. DOI: 10.1093/rpd/ncu372
- 32 Su S. et al. Evidence for Adaptive Response in a Molecular Epidemiological Study of the Inhabitants of a High Background-radiation Area of Yangjiang, China // *Health physics*. – 2018. – T. 115, No. 2. – C. 227-234. DOI: 10.1097/HP.0000000000000860
- 33 Jain V., Das B. Global transcriptome profile reveals abundance of DNA damage response and repair genes in individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast // *PloS one*. – 2017. – T. 12, No. 11. DOI:10.1371/journal.pone.0187274
- 34 Sedelnikova O.A., Redon C.E., Dickey J.S., Nakamura A.J., Georgakilas A.G., Bonner W.M. Role of oxidatively induced DNA lesion in human pathogenesis // *Mutat. Res.*. – 2010. – Vol. 704. – P. 152–159. DOI:10.1016/j.mrrev.2009.12.005
- 35 Jain V. et al. Efficient repair of DNA double strand breaks in individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast, south-west India // *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. – 2017. – T. 806. – P. 39-50. DOI:10.1016/j.mrfmmm.2017.09.003
- 36 Jain V. et al. Lack of increased DNA double-strand breaks in peripheral blood mononuclear cells of individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast in India // *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. – 2016. – T. 788. – P. 50-57; DOI:10.1016/j.mrfmmm.2016.03.002
- 37 Kumar P.R.V. et al. Effect of chronic low dose natural radiation in human peripheral blood mononuclear cells: Evaluation of DNA damage and repair using the alkaline comet assay // *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. – 2015. – T. 775. – P. 59-65. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2015.03.011
- 38 Luevano-Gurrola S. et al. Lifetime effective dose assessment based on background outdoor gamma exposure in Chihuahua City, 23 Rühm W. et al. Dose and dose-rate effects of ionizing radiation: a discussion in the light of radiological protection. *Radiation and environmental biophysics*. 2015;54(4):379-401. DOI:10.1007/s00411-015-0613-6
- 24 Lampe N, et al. Understanding low radiation background biology through controlled evolution experiments. *Evolutionary applications*. 2017;10(7):658-66. DOI:10.1111/eva.12491
- 25 Borzoueisileh S, et al. The highest background radiation school in the world and the health status of its students and their offspring. *Isotopes in environmental and health studies*. 2014;50(1):103-13. DOI: 10.1080/10256016.2013.821986
- 26 Aziz Saleh M, et al. Assessment of health hazard due to natural radioactivity in Kluang District, Johor, Malaysia. *Isotopes in environmental and health studies*. 2014;50(1):103-13. DOI: 10.1080/10256016.2013.821469
- 27 Lehrer S, Rheinsteinst P.H, Rosenzweig K.E. Association of radon background and total background ionizing radiation with Alzheimer's disease deaths in US states. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2017;59(2):737-41. DOI:10.3233/JAD-170308
- 28 Tharmalingam S, et al. Low-dose ionizing radiation exposure, oxidative stress and epigenetic programming of health and disease. *Radiation research*. 2017;188(4.2):525-38. DOI:10.1667/RR14587.1
- 29 Hendry JH, et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? *Journal of Radiological Protection*. 2009;29(2A):A29. doi: 10.1088/0952-4746/29/2A/S03.
- 30 Tang FR, Loke WK, Khoo BC. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation-induced bioeffects in animal models. *Journal of radiation research*. 2016;58(2):165-82. doi.org/10.1093/jrr/rrw120
- 31 Sohrabi M, Roositalab J, Mohammadi J. Public effective doses from environmental natural gamma exposures indoors and outdoors in Iran. *Radiation protection dosimetry*. 2015;167(4):633-41. DOI: 10.1093/rpd/ncu372
- 32 Su S, et al. Evidence for Adaptive Response in a Molecular Epidemiological Study of the Inhabitants of a High Background-radiation Area of Yangjiang, China. *Health physics*. 2018;115,P2. – C. 227-234. DOI: 10.1097/HP.0000000000000860
- 33 Jain V, Das B. Global transcriptome profile reveals abundance of DNA damage response and repair genes in individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast. *PloS one*. 2017;12(11). DOI:10.1371/journal.pone.0187274
- 34 Sedelnikova OA, Redon CE, Dickey JS, Nakamura AJ, Georgakilas AG, Bonner WM. Role of oxidatively induced DNA lesion in human pathogenesis. *Mutat. Res.*. 2010;704:152-9. DOI:10.1016/j.mrrev.2009.12.005
- 35 Jain V, et al. Efficient repair of DNA double strand breaks in individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast, south-west India. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2017;806:39-50. DOI:10.1016/j.mrfmmm.2017.09.003
- 36 Jain V, et al. Lack of increased DNA double-strand breaks in peripheral blood mononuclear cells of individuals from high level natural radiation areas of Kerala coast in India. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2016;788:50-7. DOI:10.1016/j.mrfmmm.2016.03.002
- 37 Kumar PRV, et al. Effect of chronic low dose natural radiation in human peripheral blood mononuclear cells: Evaluation of DNA damage and repair using the alkaline comet assay. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 2015;775:59-65. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2015.03.011
- 38 Luevano-Gurrola S, et al. Lifetime effective dose assessment based on background outdoor gamma exposure in Chihuahua City,

Mexico // International journal of environmental research and public health. – 2015. – Т. 12, No. 10. – P. 12324-12339. DOI: 10.3390/ijerph121012324

39 Aliyu A.S. et al. Health and ecological hazards due to natural radioactivity in soil from mining areas of Nasarawa State, Nigeria // Isotopes in environmental and health studies. – 2015. – Т. 51, No. 3. – P. 448-468. DOI: 10.1080/10256016.2015.1026339

40 Demoury C. et al. Residential exposure to natural background radiation and risk of childhood acute leukemia in France, 1990–2009 // Environmental health perspectives. – 2016. – Т. 125, No. 4. – P. 714-720. DOI:10.1289/EHP296

41 Spycher B.D. et al. Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study // Environmental health perspectives. – 2015. – Т. 123, No. 6. – С. 622. DOI: 10.1289/ehp.1408548

42 Fathabadi N. et al. Radioactivity levels in the mostly local foodstuff consumed by residents of the high level natural radiation areas of Ramsar, Iran // Journal of environmental radioactivity. – 2017. – Т. 169. – P. 209-213. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.12.011

43 Heidari M.H. et al. The effect of high level natural ionizing radiation on expression of PSA, CA19-9 and CEA tumor markers in blood serum of inhabitants of Ramsar, Iran // Journal of environmental radioactivity. – 2014. – Т. 128. – P. 64-67. DOI:10.1016/j.jenvrad.2013.11.001

44 Viruthagiri G., Rajamannan B., Suresh Jawahar K. Radioactivity and associated radiation hazards in ceramic raw materials and end products // Radiation protection dosimetry. – 2013. – Т. 157, No. 3. – P. 383-391. DOI:10.1093/rpd/nct149

45 Krishnamoorthy N. et al. Evaluation of natural radioactivity and its associated health hazard indices of a south Indian river // Radiation protection dosimetry. – 2013. – Т. 162, No. 3. – P. 364-374. DOI:10.1093/rpd/nct288

46 Мамирова Г.М. Автореферат диссертации. Биоидентификация геоаномалий в экосистеме. – Алматы, 2010. – С. 10-15

47 Цой Р.Т., Туруспекова С.Т., Барсуков А.И., Цой О.В., Айтказина К.С., Зайтов М.Р. Влияние малых доз природного радиационного фона на нейropsychологические функции человека в условиях города Алматы // Вестник КазНМУ. – 2018. – №2. – С. 172-174. ISSN 2524 – 0684 (print). ISSN 2524 – 0692 (online)

48 Севостьянов В.Н. Радонометрические исследования в Казахстане // Вестник НЯЦ РК. – С. 84

49 Алехин В.И. Разломы земной коры как зоны экологического риска, 2004.

50 Тукешова Г.Е. и др. Мониторинг почвенного радона в Алматинском мегаполисе для слежения за сейсмической активностью // Engineering and Mining Geophysics 2018. – 2018.

51 Севостьянов В. Н. Радонометрические исследования в Казахстане // Вестник НЯЦ РК. – С. 84

52 Нуртаева Г. К. и др. Исследование влияния ионизирующего излучения радона на организм человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №3-2. – С. 203-206

53 Ефименко Е.И., Какабаев А.А., Байкенова Г.Е. Радон и его влияние на окружающую среду // Секция: «Ауылшаруашылық ғылымдары». – С. 187

54 Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: Измерение, дозы, оценкариска. – Екатеринбург: УрО РАН ИПЭ, 1997. – 231 с.

55 Какабаев А.А., Есенбаева А.К. Комплексная экологическая оценка воздействия радона на популяцию людей, проживающих в Центральной Азии // Секция: «Экология и природопользование». – С. 49

56 Iwaoka K. et al. Measurements of radon exhalation rate in NORM used as consumer products in Japan // Applied Radiation and Isotopes. – 2017. – Т. 126. – P. 304-306. DOI:10.1016/j.apradiso.2017.01.024

57 Abdellah W.M. et al. Natural radioactivity levels and associated health hazards from the terrestrial ecosystem in Rosetta branch of the River Nile, Egypt // Isotopes in environmental and

40 Demoury C. et al. Residential exposure to natural background radiation and risk of childhood acute leukemia in France, 1990–2009. *Environmental health perspectives*. 2016;125(4):714-20. DOI:10.1289/EHP296

41 Spycher BD, et al. Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study. *Environmental health perspectives*. 2015;123(6):622. DOI: 10.1289/ehp.1408548.

42 Fathabadi N, et al. Radioactivity levels in the mostly local foodstuff consumed by residents of the high level natural radiation areas of Ramsar, Iran. *Journal of environmental radioactivity*. 2017;169:209-13. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.12.011

43 Heidari MH, et al. The effect of high level natural ionizing radiation on expression of PSA, CA19-9 and CEA tumor markers in blood serum of inhabitants of Ramsar, Iran. *Journal of environmental radioactivity*. 2014;128:64-7. DOI:10.1016/j.jenvrad.2013.11.001

44 Viruthagiri G, Rajamannan B, Suresh Jawahar K. Radioactivity and associated radiation hazards in ceramic raw materials and end products. *Radiation protection dosimetry*. 2013;157(3):383-91. DOI:10.1093/rpd/nct149

45 Krishnamoorthy N, et al. Evaluation of natural radioactivity and its associated health hazard indices of a south Indian river. *Radiation protection dosimetry*. 2013;162(3):364-74. DOI:10.1093/rpd/nct288

46 Mamirova GM. *Avtoreferat dissertatsii. Bioidentifikatsiya geoanomalii v ekosisteme* [Synopsis of a thesis. Biological recognition of geoscale in ecological system]. Алматы; 2010. P. 10-5

47 Tsoy RT, Turuspekova ST, Barsukov AI, Tsoy OV, Aytkazina KS, Zaitov MR. The Effect of Low Doses of Natural Radiation Background on human neuropsychological functions in the environment of the Almaty city. *Vestnik KazNMU = Vestnik f KazNMU*. 2018;2:172-4 (In Russ.). Алматы, Kazakhstan. ISSN 2524 - 0684 (print). ISSN 2524 - 0692 (online) – 0684 (print). ISSN 2524 – 0692 (online)

48 Sevostyanov VN. Radonometric exploration work conducting in Kazakhstan. *Vestnik NyaC RK = Vestnik of NNC RK*. P. 82

49 Alekhin VI. *Razlomy zemnoy kory kak zony ekologicheskogo riska* [Earth's break up as an environmental risk zone]; 2004

50 Tukesheva GE, et al. Monitoring soil radon in the Almaty megalopolis to monitor seismic activity. *Engineering and Mining Geophysics 2018*. 2018

51 Sevostyanov VN. Radonometric research in Kazakhstan. *Vestnik NyaC RK = Vestnik of NNC RK*. 84 (In Russ.)

52 Nurtaeva GK, et al. Research of the effect of ionizing radon radiation on the human body. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;3-2:203-6

53 Efimenko EI, Kakabayev AA, Baikenova GE. Radon and its effect on the environment. *Sekciyalar auylsharuashylyk gylymdary = Sectional: "Auylsharuashylyk gylymdary"*. P. 187

54 Zhukovsky MV, Yarmoshenko IV. *Radon: Izmerenie, dozy, otsenkariska* [Radon: Measurement, doses, risk assessment]. Ekaterinburg: UrO RANIPÉ. 1997. P. 231

55 Kakabaev AA, Esenbaeva AK. Complex environmental assessment of the impact of radon on the population of people residing in Central Asia. *Sektsii: «Ekologiya i prirodopol'» zovanie = section: "Ecology and nature management"*. P. 49 (In Russ.)

56 Iwaoka K, et al. Measurements of radon exhalation rate in NORM used as consumer products in Japan. *Applied Radiation and Isotopes*. 2017;126:304-6. DOI:10.1016/j.apradiso.2017.01.024

57 Abdellah WM, et al. Natural radioactivity levels and associated health hazards from the terrestrial ecosystem in Rosetta branch of the River Nile, Egypt. *Isotopes in environmental and health studies*. 2017;53(4):427-39. DOI:10.1080/10256016.2017.1293668

58 Tollefsen T, et al. From the European indoor radon map towards an atlas of natural radiation. *Radiation protection dosimetry*. 2014;162(1-2):129-34. DOI: 10.1093/rpd/ncu244.

health studies. – 2017. – Т. 53, No. 4. – С. 427-439. DOI:10.1080/10256016.2017.1293668

58 Tollefsen T. et al. From the European indoor radon map towards an atlas of natural radiation // Radiation protection dosimetry. – 2014. – Т. 162, No. 1-2. – P. 129-134. DOI: 10.1093/rpd/ncu244.

59 Chaves L.C.C. et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test // Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – Т. 23, No. 8. – P. 7572-7581. DOI:10.1007/s11356-015-5993-2

60 Qureshi A.A. et al. Study of natural radioactivity in Mansehra granite, Pakistan: environmental concerns // Radiation protection dosimetry. – 2013. – Т. 158, No. 4. – P. 466-478. DOI:10.1093/rpd/nct271

61 Жаппарова Ж.М. Закономерности распределения тяжелых металлов и их миграция при техногенном загрязнении города Алматы: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Алматы: [б.и.], 2005. - 20 с. - Б. ц.

62 Kitahara C.M. et al. A new era of low-dose radiation epidemiology // Current environmental health reports. – 2015. – Т. 2, No. 3. – С. 236-249. DOI:10.1007/s40572-015-0055-y

63 Chen J. et al. A study on the levels of radioactivity in fish samples from the experimental lakes area in Ontario, Canada // Journal of environmental radioactivity. – 2016. – Т. 153. – P. 222-230. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.01.005

64 Zhou H. et al. Fractionated radiation-induced acute encephalopathy in a young rat model: cognitive dysfunction and histologic findings // American Journal of Neuroradiology. – 2011. – Т. 32, No. 10. – P. 1795-1800. DOI: 10.3174/ajnr.A2643

59 Chaves LCC, et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(8):7572-81. DOI:10.1007/s11356-015-5993-2

60 Qureshi AA, et al. Study of natural radioactivity in Mansehra granite, Pakistan: environmental concerns. *Radiation protection dosimetry*. 2013;158(4):466-78. DOI:10.1093/rpd/nct271

61 Zhapparova ZhM. *Zakonomernosti raspredeleniya tyazhelykh metallov i ikh migratsiya pri tekhnogenom zagryaznenii goroda Almaty: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk Zhapparova Zh. M.* [Patterns of distribution of heavy metals and their migration in case of technogenic pollution of the Almaty city: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences Zh. M. M.]. Almaty: [b. and.]. 2005. P. 20. B.c.

62 Kitahara CM, et al. A new era of low-dose radiation epidemiology. *Current environmental health reports*. 2015;2(3):236-49. DOI:10.1007/s40572-015-0055-y

63 Chen J, et al. A study on the levels of radioactivity in fish samples from the experimental lakes area in Ontario, Canada. *Journal of environmental radioactivity*. 2016;153:222-30. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.01.005

64 Zhou H, et al. Fractionated radiation-induced acute encephalopathy in a young rat model: cognitive dysfunction and histologic findings. *American Journal of Neuroradiology*. 2011;32, No. 10. – P. 1795-1800. DOI: 10.3174/ajnr.A2643