УДК 57:539.12.08:575.17

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В КАЗАХСТАНЕ

[1)] Бияхметова Д.Б., [1)] Кенжина Л.Б., [1)] Мамырбаева А.Н., [2)] Скаков М.К., [1)] Айдарханов А.О., [3)] Градобоев А.В.

[1)]Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан
[2)]РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан
[3)]Томский политехнический университет, Томск, Россия

В статье раскрывается понятие биологической дозиметрии, как ведущей области исследований в современном научном пространстве радиоэкологии, ее сущность и основные закономерности. Приводятся сведения о новейших исследованиях биодозиметрии, проводимых в ИРБЭ – апробация прототипа калибровочной кривой «доза-эффект», усовершенствование базовой методики (анализ хромосомных аберраций в лимфоцитах периферической крови человека), накопление статистических данных по фоновой стандартной частоте хромосомных аберраций в разных регионах Казахстана. Также обозначена актуальность и задачи исследования данной тематики. Проведен обзор опыта исследований в области биологической дозиметрии в Казахстане, обозначено ее значение для развития науки страны, а также раскрываются перспективы развития и исследования, ведущиеся в данном направлении.

Введение

Как известно, развитие атомной энергетики в стране определяет высокую актуальность исследований прикладного и фундаментального характера в таких направлениях, как обеспечение эффективной радиологической безопасности каждого человека, готовность к молниеносному реагированию в случае аварийной ситуации, включая высокий уровень развития методов оперативной и долгосрочной оценки последствий облучения. Все эти принципы объединяет такая область, как биологическая дозиметрия.

Вместе с тем, анализ показывает, что термин «биологическая дозиметрия» или «биодозиметрия» имеет разные формулировки в разных научных работах. В некоторых работах под выражением «биодозиметрия» подразумевают определение количества радионуклидов в организме, суммарную или удельную радиоактивности биологического материала с помощью технических средств (гамма-спектрометр) [1–3]. M.L. Mendelsohn [4] определяет биодозиметрию как оценку физически, химически или биологически значимой дозы предшествующего воздействия, используя наблюдение за биологическим субъектом или осуществляя физическими, химическими или биологическими способами измерение параметров материала, полученного из этого субъекта. Однако, на наш взгляд, более корректным является понимание сущности биодозиметрии, как биологической индикации дозы в той мере, в какой её величина отражается в соответствующих исследованиях.

Долгое время биологическая дозиметрия оставалась в тени физической дозиметрии, как способа, обладающего более высокой точностью и чувствительностью. Однако результаты с такими преимуществами достижимы при условии доступности самой физической дозиметрии. На практике же в различных аварийных ситуациях индивидуальные физические дозиметры не вполне адекватны или же отсутствуют. Это относится и к вовлечению в аварии как профессиональных работников, подвергаемых различным видам радиационного воздействия, так и населения, по роду своей деятельности и образу жизни не подвергнутого сверхфоновому радиационному воздействию (исключая медицинские процедуры).

Помимо проблем методического и технического характера для качественной оценки дозы при использовании только физической дозиметрии, как правило, нет достоверной информации о длительности облучения, мощности дозы, измерений расстояния между облученным и источником излучения, положения тела в период воздействия и т.д. При подобных условиях единственными источниками необходимых данных становятся методы биологической дозиметрии. В пользу важности биологической дозиметрии, как одного из главных инструментов оперативной и достоверной оценки дозы облучения, следует учитывать то, что индивидуальные особенности функционального состояния или конституции конкретного организма, включая его радиочувствительность, могут существенно сказаться на степени тяжести и последствиях поражения [5, 6]. Биологические индикаторы, в отличие от физических показателей, позволяют в большей степени учесть эти обстоятельства, при этом отражая одновременно и величину поглощенной «физической» дозы.

Несмотря на небольшой период развития, биологическая дозиметрия на настоящий момент способна удивить многообразием методик и маркеров. Имеющими наиболее обширную опытную базу эффективного и успешного использования являются генетические методы – анализ хромосомных аберраций, как нестабильных, так и стабильных (DCA, FISH, MN etc). Отдельным вниманием пользуются способы учета генных мутаций, использование экспрессии генов, анализа иммуногенетических, биохимических, физиологических маркеров, а также других биологических параметров [7].

Основным и зарекомендованным МАГАТЭ [7, 8] на мировом уровне способом биологической индикации дозы является цитогенетический анализ культур лимфоцитов периферической крови. Впервые данный метод был предложен как основополагающий в биологической дозиметрии М.А. Бэндером и П.К. Гучем в 1962 году [9]. Подсчет аберраций хромосом, индуцированных в лимфоцитах периферической крови после облучения людей позволял выстроить качественную дозовую оценку с помощью построенных на основании опытов in vitro кривых «доза−эффект» [10, 11].

Несмотря на определенные трудности, связанные с характером и режимом воздействия, а также трудоемкость и большую длительность обработки и интерпретации результатов, анализ аберраций хромосом достаточно хорошо зарекомендовал себя в случаях аварийного, относительно равномерного, облучения в дозах, вызывающих развитие острой лучевой болезни (ОЛБ) (1 Гр и более). Так как основным цитогенетическим индикатором радиационного воздействия считаются дицентрики, анализ этого вида аберраций хромосом даже называют «золотым стандартом» для биологической дозиметрии [12–14], что обусловлено их характерным внешним видом и низкой спонтанной частотой.

Основная часть

В Казахстане опыт использования биодозиметрических методов имеет сравнительно небольшую историю, несмотря на актуальность исследований в данном направлении. В начале XXI века исследования для оценки последствий облучения организма человека, стали особенно актуальны, ввиду прошлой деятельности Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Как известно, Семипалатинская область подверглась обширному радиоактивному загрязнению в результате более 450 ядерных испытаний, из которых почти 100 были взорваны в атмосфере.

Первыми методиками биодозиметрии, получившими экспериментальный опыт в отечественных лабораториях был рутинный метод анализа культур лимфоцитов, а также микроядерный анализ [14]. Цитогенетический анализ культур лимфоцитов периферической крови стал основным методом Казахстанской биодозиметрии, ввиду своей доказанной результативности, надежности и точности. Наряду с этим, активно ведутся работы по внедрению других методик.

Первый цитогенетический скрининг хромосомных аберраций лимфоцитов периферической крови был произведен в 2001 году Институтом радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ), совместно с Институтом физики и биофизики Зальцбургского университета и Национальным агенством новых технологий, энергии и окружающей среды (Италия) [15]. Начиная с 1996 года, значимые исследования в области биодозиметрии фокусировались на изучении цитогенетического статуса и параметров последствий облучения жителей населенных пунктов вблизи СИП (населенные пункты – Семей, Долонь, Саржал, Кайнар и т.д.), являющихся наиболее пострадавшими от ядерных взрывов [16–21]. Данные исследования проводились преимущественно в рамках международных проектов сотрудничества с Японией. В этих исследованиях применялись такие методы, как анализ хромосомных аберраций в лимфоцитах периферической крови, микроядерный анализ.

Однако накопление отечественного биодозиметрического опыта не ограничивается целями оценки последствий аварийного облучения. Имеются данные по практическому использованию методики экспрессии мини-сателлитных мутаций, изучению генного полиморфизма на примере 3 поколений населения, проживавшего вблизи СИП в период проведения испытаний, а также применению метода ДНК-комет [22, 23].

Другой ведущий метод биологической дозиметрии, получивший признание во всем мире – метод флюоресцентной гибридизации in situ (FISH) для анализа транслокаций в хромосомах лимфоцитов, уже имеет практический опыт в Казахстане [24–26]. Также был освоен метод микроядерного теста с блокированием цитокинеза в лимфоцитах периферической крови человека на базе ИРБЭ НЯЦ РК [27]. Апробация метода была проведена успешно с использованием автоматизированной цитогенетической платформы на базе электронного флуоресцентного микроскопа фирмы Carl Zeiss AxioImager Z2, автоматической системы поиска и анализа метафаз Metafer 4/MSearch (MetaSystems, Германия). Данный аппарат является единственным в Казахстане и находится в ИРБЭ НЯЦ РК. Одна из апробаций метода FISH также была проведена на базе Института. Несмотря на высокую стоимость материалов и требуемого оборудования для использования перечисленных методов, имеющиеся исследования продемонстрировали свою компетентность и соответствие зарубежным аналогам.

К настоящему времени биодозиметрия в Казахстане находится в периоде усиленного развития. Однако уже можно сделать вывод о перспективности и значительном потенциале данного направления в отечественной науке. Проводятся исследования в целях определения цитогенетического статуса человека, не имевшего опыта острого случайного облучения, а также для комплексной оценки последствий рентгеновского облучения, либо получаемого при проведении различных медицинских процедур (ядерная медицина) [28, 29]. Наличие базы данных такого типа позволит более точно и адекватно разрабатывать меры для индивидуального дозиметрического контроля, а также повысят уровень радиационной культуры и грамотности медицинского персонала, что позволит добиться максимально эффективного обеспечения радиационной безопасности, снижения психоэмоционального напряжения и уровня стресса [29].

С 2018 года Казахстан входит в Азиатскую группу радиационной дозиметрии «ARADOS», являющуюся платформой для исследований радиационной дози-

метрии среди азиатских стран. Группа эпидемиологических и биодозиметрических исследований Института радиационной безопасности и экологии, представляющего Казахстан на данной платформе, регулярно участвует в межлабораторных сличениях и упражнениях совместно с другими странами [30]. Также наша страна является членом другой глобальной сети BIODOSE, занимающейся проблемами радиологической безопасности и защиты, а также исследованиями биологических эффектов радиации на организм человека. Сотрудничество с более развитыми странами позволяет повысить уровень выполнения различных биодозиметрических методик, оптимизировать и усовершенствовать процедуры их выполнения, вывести Казахстан на новую позицию в мировом научном пространстве в данном направлении.

Однако, отсутствие собственной калибровочной кривой [31] в стране на данный момент не позволяет проводить фундаментальные исследования в целях точной калькуляции дозы, либо ретроспективной оценки поглощенной дозы. Начиная с 2019 года на базе ИРБЭ НЯЦ РК активно ведутся работы по подготовке к построению линейной и линейно-квадратичной кривой «доза-эффект». Определена фоновая стандартная частота хромосомных аберраций в четырех географических регионах Казахстана (Север, Юг, Запад, Восток), межрегиональная вариабельность в которых соответствует общепопуляционным значениям в мире [32, 33]. Расчет фоновой частоты для нестабильных хромосомных повреждений производился с использованием метода цитогенетического анализа дицентриков в лимфоцитах периферической крови с Гимза – окрашиванием, биологический материал был собран у группы коренных жителей городов областного значения каждого региона. Результаты демонстрируют межрегиональную вариабельность в пределах от 1,1±0,4 до 3,09±0,6 аберрантных клеток на 1000, что может быть обусловлено целым рядом субъективных и объективных факторов жизнедеятельности. Полученные данные необходимы при построении калибровочной кривой «доза–эффект» в качестве «нулевой» точки дозы, что снизит неопределенность при количественной оценке индивидуальной поглощенной дозы в чрезвычайных и аварийных радиологических ситуациях.

Также был эффективно апробирован простейший прототип калибровочной кривой «доза-эффект», с проведением пилотных экспериментов по облучению in vitro, в диапазоне доз 0,75 – 2,0 – 4 Гр для разных источников облучения и установлена дозовая зависимость частоты дицентриков, фрагментов и колец для данных дозовых точек. Был использован тот же метод дицентрического анализа. Полученная при помощи эксперимента in vitro классическая линейно-квадратичная зависимость демонстрирует сопоставимый результат индукции дицентриков в лимфоцитах с помощью γ-излучения (см. рисунок).

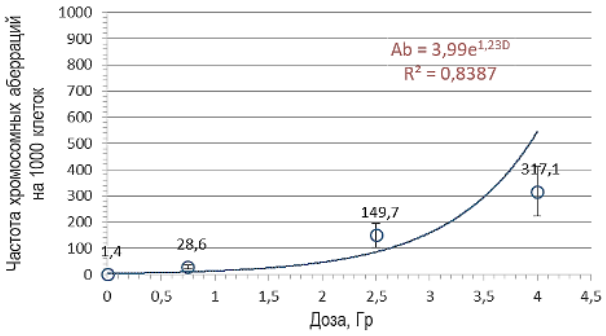

Рисунок. Аппроксимация дозовой зависимости хромосомных аберраций у доноров

Апробированная методология, основанная на результатах данных экспериментов, уверенно приблизила к построению собственной экспериментальной зависимости «доза – эффект», оптимизировала критерии и условия построения дозовой зависимости.

Данные работы были проведены лабораторией эпидемиологических и биодозиметрических исследований ИРБЭ в 2020 году, в рамках реализации научно-исследовательской работы подпрограммы «Прикладные научные исследования технологического характера в сфере атомной энергетики», мероприятия «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» на 2018–2020 гг. Кроме того, Казахстан, представляемый ИРБЭ, с 2020 года является страной – участником в проекте «Новые биологические и физические методы сортировки при чрезвычайных ситуациях радиационного характера» (BioPhyMeTRE), финансируемого программой НАТО «Наука ради мира и безопасности» (SPS). Данный проект направлен на совершенствование инновационных биологических и физических методов, позволяющих оперативно проводить скрининг, либо сортировку потенциально переоблученных лиц в случае радиологических аварийных ситуаций с использованием недорогих и удобных для каждой лаборатории в своей стране аналитических процедур и устройств. Проект координируется Итальянским национальным агентством новых технологий, энергетики и устойчивого экономического развития (ENEA) и помимо ИРБЭ включает Национальный институт здравоохранения (ISS) Италии и Институт Руджера Бошковича (RBI) в Хорватии. В настоящее время в рамках проекта НАТО «BioPhyMeTRE» ведется оптимизация и совершенствование стандартной методики анализа хромосомных аберраций, используемой в группе биодозиметрических исследований ИРБЭ через апробацию модифицированного протокола методики совместно с биодозиметрической лабораторией ENEA (Италия) [34] . Также в 2018 и 2020 годах данная лаборатория участвовала в межлабораторных сличениях, в рамках сотрудничества стран Азии, входящих в сеть ARADOS.

К 2023 году в Казахстане планируется получение собственной калибровочной кривой «доза-эффект»,

что откроет лабораториям Казахстана новые перспективы в изучении глобальных проблем биологической дозиметрии, а также позволит повысить уровень обеспечения качественной оценкой влияния ионизирующего излучения разного характера на население Республики.

Заключение

Таким образом, в связи с повышенной вероятностью угрозы аварийных инцидентов радиационного характера в мире, рисками случайного облучения вследствие возможных аварийных ситуаций на предприятиях атомной промышленности и энергетики, незаконного сброса и захоронения ядерных отходов, необходимость фундаментальных и прикладных исследований в целях улучшения качества биологической дозиметрии именно в Казахстане достаточно очевидна. Радиационные аварийные ситуации могут затрагивать как персонал больниц и Центров ядерной медицины, аварийных работников из служб чрезвычайного реагирования, технический обслуживающий персонал медицинских учреждений, так и мирное население. Все перечисленные обстоятельства подтверждают высокую потребность в биологической дозиметрии для быстрой и эффективной первичной и вторичной сортировки, а также оценки последствий облучения на население.

Проведение практических исследований в целях усовершенствования применяемых методик биологической дозиметрии, повышение качества отдельных этапов их выполнения, а также интеграция с методами физической дозиметрии внесет вклад в создание комплексного подхода в дозиметрии, в целях получения высококвалифицированной оценки эффективности поглощенной дозы облучения населения при сценарии аварийного облучения, а также последствий медицинских процедур и профессионального облучения. Модификации стандартного протокола методик биодозиметрии, фракцирование анализируемого материала на первичной стадии, сравнительная оценка ведущей биодозиметрических методик с методами физической дозиметрии, использующими биологические объекты – данные задачи для исследования демонстрируют свою актуальность. Ввиду константной изменяемости биологических объектов, метод биологической дозиметрии, на наш взгляд, имеет очевидное преимущество перед физической, являясь более адекватным методом анализа пострадиационных изменений.

Биологическая дозиметрия в Казахстане уже заявила о себе своим потенциалом развития на государственном уровне, однако все еще требует пристального внимания и поддержки. Высокий уровень качества биодозиметрии в стране внесет значительный вклад при переходе Казахстана к «зеленой экономике», согласно Концепции 2013 года. Высококвалифицированный индивидуальный дозиметрический контроль, являющийся одним из значимых результатов эффективной биодозиметрии, изменит мнение общественности от резкой «радиофобии» к доверию и комплексному пониманию Концепции развития атомной промышленности и энергетики. В свою очередь, развитие атомной энергетики в Казахстане будет способствовать обеспечению энергетической безопасности страны, а гарантированность энергетических ресурсов обеспечит устойчивое социально-экономическое развитие всего суверенного Казахстана.

Литература

1. Сотник Н.В., Рыбкина В.Л., Азизова Т.В. Новые подходы в биологической дозиметрии: создание комплексных биодозиметрических систем (обзор зарубежной литературы) // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2018. № 4. С. 90–96. DOI 10.25016/2541-7487-2018-0-4-90-96.
2. Владимиров В.Г., Смирнов А. Д. Биологическая дозиметрия при воздействии ионизирующей радиации // Военно-мед. журнал. 1978. – № 2. – С. 76–79.
3. Владимиров В.Г., Кириллов И.К. Роль дозиметрии и клинико-лабораторных данных диагностики радиационных поражений и сортировки пострадавших на этапах медицинской эвакуации // Военно-мед. журнал. 1982. – № 1. – С. 30–33.
4. Mendelsohn M.L. Introduction to biological dosimetry // In: New Horizons in Biological Dosimetry. Proc. Internat. Symp. on Trends in Biological Dosimetry, held in Lerici, October 23–27, 1990. Eds. B.L. Gledhill, F. Mauro. – New York: Wiley Liss, Inc. 1991. P. 1–10.
5. Воробьев А.И., Бриллиант М.Д., Баранов А.Е и др. Принципы биологической дозиметрии при острой лучевой болезни // Клинич. медицина. – 1975. – Т. 53, № 5. – С. 69–74.
6. Владимиров В.Г. Предисловие // Радиобиологические подходы к диагностике лучевых поражений (Сборник научных трудов). – Л. 1987. С. 3–5.
7. IAEA (Int Atomic Energy Agency) 2011 (2011) Cytogenetic dosimetry: Applications in preparedness for and response to radiation emergencies. [Publication on September, 2011. Last access date (confrmation) 6 Sep 2017].
8. IAEA (Int Atomic Energy Agency) 2014 (2014) Using cytogenetic dosimetry for preparedness and response for radiological emergencies. [Publication on January, 2014. Last access date (confrmation) 6 Sept 2017] [in Russian].
9. Bender M.A., Gooch P.C. Persistent chromosome aberrations in irradiated human subjects // Radiat. Res. 1962. Vol. 16. № 1. P. 44–53.
10. Bender M.A., Gooch P.C. Types and rates of X ray induced chromosome aberration yields in human blood irradiated in vitro // Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 1962. Vol. 48. № 4. P. 522–532.
11. Abe Yu., Miura T., Yoshida M.A. et al. Increase in dicentric chromosome formation after a single CT scan in adults // Scientifc Reports. 2015. № 5: 13882. 9 p. DOI: 10.1038/ srep13882.

12. M'kacher R., Maalouf E.E.L., Ricoul M. et al. New tool for biological dosimetry: Reevaluation and automation of the gold standard method following telomere and centromere staining // Mutat. Res. 2014. Vol. 770. № 1. P. 45–53.
13. Sullivan J.M., Prasanna P.G.S., Grace M.B. et al. Assessment of biodosimetry methods for a mass casualty radiological incident: medical response and management considerations // Health Phys. 2013. Vol. 105. № 6. P. 540–554.
14. Abil'dinova GZh, Kuleshov NP, Sviatova GS (2003) Chromosomal instability parameters in the population afected by nuclear explosions at the Semipalatinsk nuclear test site. Genetika 39:1123– 1127 [in Russian].
15. Testa A, Stronati L, Ranaldi R, Spanò M, Steinhäusler F, Gastberger M, Hubmer A, Ptitskaya L, Akhmetov M (2001) Cytogenetic biomonitoring carried out in a village (Dolon) adjacent to the Semipalatinsk nuclear weapon test site. Radiat Environ Biophys 40:125–129.
16. Abil'dinova GZh, Kuleshov NP, Sviatova GS (2003) Chromosomal instability parameters in the population afected by nuclear explosions at the Semipalatinsk nuclear test site. Genetika 39:1123– 1127 [in Russian].
17. Bersimbaev RI, Lindholm C, Tankimanova MK, Djansugurova LB (2002) Three-generation study of population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test-site—biosample database and population characteristics. STUK (Helsinki, Finland) A 191:32.
18. Bolegenova NK, Bekmanov BO, Djansugurova LB, Bersimbaev RI, Salama SA, Au WW (2009) Genetic polymorphisms and expression of minisatellite mutations in a 3-generation population around the Semipalatinsk nuclear explosion test-site, Kazakhstan. Int J Hyg Environ Health 212:654–660.
19. Chaizhunusova N, Yang TC, Land C, Luckyanov N, Wu H, Apsalikov K, Madieva M (2006) Biodosimetry study in Dolon and Chekoman villages in the vicinity of Semipalatinsk nuclear test site. J Radiat Res 47(Suppl A):A165–A169.
20. Takeichi N, Hoshi M, Iida S, Tanaka K, Harada Y, Zhumadilov Z, Chaizhunusova N, Apsalikov KN, Noso Y, Inaba T, Tanaka K, Endo S (2006) Nuclear abnormalities in aspirated thyroid cells and chromosome aberrations in lymphocytes of residents near the Semipalatinsk nuclear test site. J Radiat Res 47(Suppl A):A171–A177.
21. Tanaka K, Iida S, Takeichi N, Chaizhunusova NJ, Gusev BI, Apsalikov KN, Inaba T, Hoshi M (2006) Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site. J Radiat Res 47(Suppl A):A159–A164.
22. Bersimbaev RI, Lindholm C, Tankimanova MK, Djansugurova LB (2002) Three-generation study of population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test-site – biosample database and population characteristics. STUK (Helsinki, Finland) A 191:32.
23. Chenal, C., Legue, F., & Nourgalieva, K. (2006). Delayed effects of low level acute irradiation and chronic environmental radio-active contamination on DNA lymphocytes of people living in Dolon, a settlement located in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site (Kazakhstan). Science of The Total Environment, 369(1-3), 91–98.
24. Цитогенетическая оценка хронического влияния рентгеновского излучения на человека. Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития» 25–27 августа 2010 г. С. 123–124.
25. Кенесарина А.О., Мамырбаева А.Н., Кенжина Л.Б. Определение фоновой частоты стабильных транслокаций методом FISH у населения территорий, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону// Мат. XV Междунар. научн. конф. студ., маг., молод. уч. «Ломоносов-2019», посв. 25-летию историч. выступл. Президента РК Н. А. Назарбаева в Каз. Фил. МГУ имени М.В.Ломоносова, Казахстан, Нур-Султан – 2019. С. 217–218.
26. Chaizhunusova, N., Madiyeva, M., Tanaka, K., Hoshi, M., Kawano, N., Noso, Y., … Inoue, K. (2017). Cytogenetic abnormalities of the descendants of permanent residents of heavily contaminated East Kazakhstan. Radiation and Environmental Biophysics, 56(4), 337–343. doi:10.1007/s00411-017-0717-2.
27. Кенжина Л.Б., Кенесарина А.О., Мамырбаева А.Н. Освоение метода биологической дозиметрии микроядерный тест лимфоцитов с блокированием цитокинеза (CBMN) // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – № 3 (79). – С. 109–113.
28. Губицкая Е.Г., Чередниченко О.Г., Байгушикова Г.М., Ахматуллина Н.Б. Цитогенетический статус жителей Алматинской области // Вестник Каз. НУ им. аль-Фараби. Серия биологическая. – 2007. – № 2. – С. 86–90.
29. М.Н. Бурханова, 2А.М. Раушанова. Организация индивидуального дозиметрического контроля в медицинских учреждениях. Вестник КазНМУ. 2018. С. 54–55.
30. Kurihara, O., Ha, W.-H., Qinjian, C., & Jang, S. (2020). ARADOS: Asian network for radiation dosimetry. Radiation Measurements, 106336. doi:10.1016/j.radmeas.2020.106336.
31. Snigiryova G (2009) The consequences of ionizing radiation effects: cytogenetic changes in human lymphocytes. Accessed 22 Feb 2017 [in Russian].
32. Кенжина Л.Б., Кенесарина А.О., Мамырбаева А.Н. Определение региональной фоновой частоты стабильных транслокаций у населения, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 4 (76). – С. 26–31.
33. Кенжина, Л. Б. Определение региональной фоновой частоты нестабильных аберраций у населения, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону // Вестник НЯЦ РК. – Курчатов, 2020. – Вып. 2. – С. 119–127.
34. Antonella Testa, Clarice Patrono,Valentina Palma, Laura Kenzhina, Mamyrbayeva Aygul, Dina Biyakhmetova, Fail Zhamaldinov, Emanuela Bortolin, Sara Della Monaca, Paola Fattibene, Maria Cristina Quattrini, Nadica Maltar Strmecki, Ina Erceg, Maja Vojnič-Kortmiš (2020). NATO science for peace and security (SPS) project "biophymetre" novel biological and physical methods for triage in radiological and nuclear (r/n) emergencies. XIX SIRR Congresso Nazionale (10–12 Novembre 2020) Book of abstracts. P. 86.

ҚАЗАҚСТАНДА БИОЛОГИЯЛЫҚ ДОЗИМЕТРИЯНЫҢ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

[1] Д.Б. Бияхметова, [1] Л.Б. Кенжина, [1] А.Н. Мамырбаева, [2] М.К. Скаков, [1] А.О. Айдарханов, [3] А.В. Градобоев

[1] ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан
[2] «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» РМК, Курчатов, Қазақстан
[3] Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

Мақалада биоэкологияның қазіргі ғылыми кеңістігіндегі жетекші зерттеу саласы ретінде биологиялық дозиметрия ұғымы, оның мәні мен негізгі заңдылықтары ашылады. РҚЭИ – де өткізілетін биодозиметрияның жаңа зерттеулері туралы мәліметтер-«доза-әсер» қисығының прототипін апробациялау, базалық әдістемені жетілдіру (адамның периферияльық қанының лимфоциттеріндегі хромосомалық аберрацияларды талдау), Қазақстанның түрлі өңірлерінде хромосомалық аберрациялардың аялық стандартты жиілігі бойынша статистикалық деректерді жинақтау. Сондай-ақ, осы тақырыпты зерттеудің өзектілігі мен міндеттері көрсетілген. Қазақстанда биологиялық дозиметрия саласындағы зерттеулер тәжірибесіне шолу жүргізілді, оның ел ғылымының дамуы үшін маңызы белгіленді, сондай-ақ осы бағытта жүргізіліп жатқан даму перспективалары мен зерттеулер ашылды.

PROSPECTS OF BIOLOGICAL DOSIMETRY DEVELOPMENT IN KAZAKHSTAN

[1] D.B. Byakhmetova, [1] L.B. Kenzhina, [1] A.N. Mamyrbaeva, [2] M.K. Skakov, [1] A.O. Aydarkhanov, [3] A.V. Gradoboev

[1] Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan
[2] RSE "National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan", Kurchatov, Kazakhstan
[3] Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The article reveals the concept of biological dosimetry as a leading field of research in the modern scientific space of radioecology, its essence and basic laws. Information about the latest biodosimetry studies carried out at the IRSE - testing of the prototype of the "dose-effect" calibration curve, improvement of the basic technique (analysis of chromosomal aberrations in human peripheral blood lymphocytes), accumulation of statistical data on the background standard frequency of chromosomal aberrations in different regions of Kazakhstan. The relevance and research objectives of this topic are also indicated. A review of the experience of research in the field of biological dosimetry in Kazakhstan is carried out, its significance for the development of the country's science is indicated, and the prospects for development and research in this direction are revealed.