

Радиозэкология и экологическая иммунология

В.М. Шубик

ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

Представлены результаты исследований автора в сопоставлении с литературными материалами о применении принципов и методов экологической иммунологии при решении вопросов радиозэкологии. Приведены данные характеристики иммунитета и здоровья человеческой популяции при действии радиационных факторов окружающей среды и состояния популяций животных – звеньев пищевых экологических цепей.

Ключевые слова: радиозэкология, экологическая иммунология, популяция.

Введение

Эрнст Геккель, предложивший в 1866 г. термин «экология», рассматривал ее как науку о взаимоотношениях организма с окружающей средой, взаимосвязях между различными видами организмов и представителями одного и того же вида. В настоящее время при решении этих вопросов все более широкое применение находят иммунологические исследования. Экологическая иммунология рассматривается как раздел иммунологии, предметом которого является изучение состояния иммунитета при адаптации человека и животных к новым условиям среды обитания и при воздействии химических или физических факторов внешней среды [1]. Изменение иммунной структуры популяции является одним из наиболее эффективных механизмов адаптации к экстремальным экологическим воздействиям [2].

Сегодня в составе экологии выделился ряд разделов, научных направлений, среди них – радиационная экология (радиозэкология), задачей которой является изучение влияния на биоценозы и показатели здоровья человеческой популяции радиационных факторов окружающей среды, а также возможностей предотвращения или хотя бы ограничения вредного действия радиации на живые организмы, включая человека [3]. Известно, что ряд показателей состояния иммунитета и неспецифической защиты радиочувствительны, и нарушения иммунологических механизмов имеют существенное значение в формировании ближайших и отдаленных последствий действия ионизирующего излучения (ИИ) [4,5]. Поэтому эколого-иммунологические исследования приобретают существенное значение при решении проблем радиозэкологии, оценке радиационного воздействия на биоценозы, популяции животных и человека.

В настоящее время в результате промышленных выбросов предприятий атомной индустрии, радиационных аварий, испытаний ядерного оружия (ЯО) значительные территории России, Беларуси, Украины, Казахстана загрязнены радиоактивными веществами (РВ), и ионизирующее излучение стало серьезным экологическим фактором.

Неблагоприятные последствия имели ряд ядерных взрывов при ядерных испытаниях на Семипалатинском полиго-

не, особенно при испытании ядерного устройства в августе 1949 г. В результате несколько населенных пунктов Казахстана оказались в так называемой зоне чрезвычайного радиационного риска, где суммарная эффективная эквивалентная доза (ЭЭД) для населения превышала 100 сЗв. Например, в селе Долонь – 160 сЗв. Кроме того, имела зона максимального риска (ЭЭД 35–100 сЗв). По данным японских исследователей [7], дозы облучения за счет ядерных испытаний для большинства населения близлежащих к Семипалатинскому полигону территорий были порядка 60 сГр.

В Алтайском крае, в Угловском и Рубцовском районах, по сведениям, приведенным в работе [8], эффективные эквивалентные дозы составляли более 100 и от 35 до 100 сЗв соответственно.

При авариях на Южном Урале длительному облучению подвергались сотни тысяч людей. При сбросе технологических радиоактивных вод ПО «Маяк» в реку Теча активность продуктов ядерного деления, попавших в реку, составляла 2,8 млн. Ки (2,8 МКи). В первые 2–4 года средние поглощенные дозы в красном костном мозге колебались в диапазоне от 5 до 85 сГр [6].

После аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в 1986 г. на территориях с уровнем радиоактивного загрязнения свыше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) проживало порядка 5 миллионов человек. Таким образом, воздействию ионизирующих излучений, в основном облучению малыми дозами радиации, подвергаются или подвергались миллионы людей, проживающих на значительных территориях ряда стран. И вопрос их здоровья, которое в значительной мере определяется состоянием иммунитета, является весьма актуальным. Если при изучении вопросов социально-гигиенического мониторинга и проблем экологической иммунологии действие на иммунитет и здоровье токсичных химических веществ и ряда иных неблагоприятных факторов внешней среды рассмотрены достаточно полно [1, 5], то актуальной задачей является проведение дальнейших исследований здоровья [9] в рамках радиационно-гигиенического мониторинга. Здесь значительный вклад могут внести исследования радиационных аспектов экологической иммунологии.

Продолжаются дискуссии о нарушениях здоровья при действии малых доз ИИ, обострившиеся после аварии на ЧАЭС. Недооценка материалов об иммунологических нарушениях у населения загрязненных РВ территорий и переоценка значения сведений о заболеваемости, которые достаточно субъективны, является одной из причин противоречий во взглядах на последствия аварии на ЧАЭС.

Сведения о нарушениях иммунитета и неспецифической защиты у населения районов, загрязненных радионуклидами, результаты собственных исследований и данные литературы обобщены и проанализированы нами ранее [10,11]. Показаны нарушения иммунитета у населения Южного Урала, Алтайского края, Крайнего Севера России, а также населения Украины, Беларуси, Казахстана, и их роль при злокачественных новообразованиях, в патологии щитовидной железы, катарактах, инфекциях, заболеваниях сердечно-сосудистой системы и др.

Цель исследования – оценка значения эколого-иммунологических исследований при решении некоторых проблем радиоэкологии.

Задачи исследования:

- 1) характеристика значения иммунологических исследований для оценки влияния малых доз ИИ при загрязнении территории РВ;
- 2) оценка роли такого загрязнения РВ для популяций животных в пищевых экологических цепях.

Материалы и методы исследования

Изучение широкого комплекса иммунологических показателей проведено у различных групп населения РФ и представителей некоторых видов животных, стоящих на разных ступенях эволюционной лестницы. Изучены показатели гуморального и клеточного врожденного иммунитета (неспецифической защиты), Т- и В-систем иммунитета. Особое внимание уделено гуморальным и клеточным аутоиммунным сдвигам, которым придается важная роль в патогенезе лучевых реакций. Подробное описание использованных методов исследования приведено ранее [5, 23, 13].

Результаты исследования

Представлены некоторые результаты иммунологических исследований, проведенных на Южном Урале через 10 лет после загрязнения радионуклидами реки Теча, а также в Брянской области (Новozyбковский район) и Тульской области (Плавский район) через 4 месяца и 7 лет после Чернобыльской аварии и на Крайнем Севере (Кольский и Чукотский полуострова).

Как известно, ведущую роль в облучении людей при аварии на реке Теча имеет ^{90}Sr . Была выявлена связь между содержанием этого радионуклида в костной ткани и обнаружением аутоантител к костному мозгу. Отмечено повышение частоты обнаружения комплементсвязывающих аутоантител к костному мозгу (60,5% положительных реакций) при концентрации радионуклида в скелете свыше 37 кБк/кг по сравнению с концентрацией менее 3,7 кБк/кг (33,3% положительных реакций) при 25,3% в контрольной группе не облучавшихся подростков.

Аналогичная связь с концентрацией стронция-90 в костной ткани отмечена для неспецифических аллергических реакций к вирусу орнитоза и нормальной кроличьей сыворотке при определении реакции обратной анафи-

лаксии (общая иммунологическая реактивность – ОИР по В.И. Иоффе), которая была снижена при более значительных концентрациях радионуклида.

В настоящее время имеется множество данных о нарушениях иммунитета у человека на территориях, загрязненных радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС. Повышенные концентрации аутоантител к антигенам щитовидной железы – тиреоглобулину и микросомам были выявлены нами уже через 3 месяца после аварии у детей Плавского района Тульской области, загрязненного радионуклидами. В настоящее время таким аутоантителам придается существенное значение в патологии ЩЖ, в частности, при появлении аутоиммунного тиреоидита. В исследованиях, проведенных через 7 лет после аварии в г. Новозыбкове Брянской области, (660 кБк/м²) и в контрольном г. Сураже Брянской области, который не был загрязнен радиоактивными веществами, было показано не только значительное повышение аутоантител к антигенам ЩЖ, но и сенсibilизация к ним лимфоцитов значительной части жителей Новозыбкова (рис. 1).

Положительные реакции найдены у 81–86% обследованных жителей Новозыбкова и у 36% жителей г. Суража.

О возможности нарушений здоровья у жителей Новозыбкова свидетельствуют и результаты определения иммуноглобулинов в крови (табл. 1).

Выявлены явления дисиммуноглобулинемии: повышение содержания в крови иммуноглобулинов М и А (IgM и IgA) при снижении IgG. Различия между результатами обследования в Санкт-Петербурге и Сураже, возможно, связаны с наличием стрессовой ситуации в Сураже, обусловленной с аварией на ЧАЭС.

Отмечены также изменения содержания Т- и В-лимфоцитов, аутоиммунные сдвиги к различным тканевым антигенам, в том числе и к хрусталику глазного яблока, что, возможно, способствует появлению катаракт.

Имеются и иные многочисленные данные об изменениях иммунитета и неспецифической защиты у населения районов, загрязненных радионуклидами и после аварии на ЧАЭС, обобщенные и проанализированные ранее [10–13].

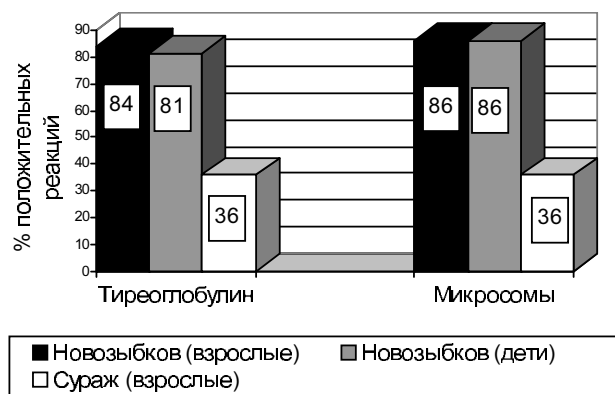


Рис. 1. Сенсibilизация лимфоцитов (торможение миграции лейкоцитов) с антигенами щитовидной железы – тиреоглобулину и микросомам

Таблица 1

Концентрация иммуноглобулинов в сыворотке крови

Место обследования	Число обследованных	Концентрация иммуноглобулинов, г/л		
		IgM	IgG	IgA
Новозыбков	85	2,34±0,12xxx,***	9,71±0,28xxx,***	3,0±0,09xxx,***
Сураж	47	1,57±0,16	13,84±0,55	1,72±0,18+
С.-Петербург	25	1,90±0,17	13,2±0,38	2,21±0,13

Обозначения: xxx – различия между данными, полученными в Новозыбкове и Сураже статистически существенны, $p < 0,001$.

*** – различия между данными, полученными в Новозыбкове и Санкт-Петербурге статистически существенны, $p < 0,001$.

+ – различия между данными, полученными в Сураже и Санкт-Петербурге статистически существенны, $p < 0,05$.

При этом нельзя отрицать роли в этих изменениях нелучевых факторов – социальных, экологических и иных, значения сочетанного действия факторов радиационной и нерадикационной природы. Возможность изменения их роли при сочетанном их действии была показана ранее [12].

Таким образом, в настоящее время человек, популяции животных, биоценозы имеют дело с существенно изменившейся экологической ситуацией в результате промышленных загрязнений токсичными химическими веществами и радионуклидами. И если в литературе имеются значительные материалы о влиянии таких факторов на иммунитет и здоровье человека, то меньше данных о состоянии при этом иммунитета в популяциях животных. Весьма немногочисленны сведения об иммунитете у животных – звеньях пищевых экологических цепочек, а именно эти материалы представляют интерес с позиций радиационной гигиены.

Хотя радиоактивное загрязнение после аварии на ЧАЭС существенно повлияло на почвенную фауну, а концентрация цезия-137 в донных отложениях превышала аварийные уровни во много раз [14], уровень этих загрязнений оставался ниже ПДК. В результате даже при максимальных загрязнениях в водоеме-охладителе ЧАЭС производящая способность была нарушена лишь у некоторых рыб, в ткани гонад которых выявлено отсутствие генеративных элементов [15]. При этом следует учитывать значительно более высокую радиостойчивость рыб по сравнению с млекопитающими [16]. Отрицательное действие радионуклидов на популяцию рыб можно было выявить при проведении иммунологических исследований [17,18]. Так, при содержании чешуйчатого карпа в течение 180–270 суток в растворах хлорида стронция-90 с концентрацией 10^{-6} – 5×10^{-8} Ки/л поглощенная доза в скелете рыб, содержащихся в первом растворе, за период наблюдения составляла 1200 рад, во втором – 50 рад. Почки облучались соответственно в дозах 530 и 36 рад. При этом отмечались явления лейкопении и лимфопении, снижалась фагоцитарная реакция, бактерицидность сыворотки, антителообразование и устойчивость к инфекции. В этой связи представляет интерес сопоставление доз на скелет от стронция-90, при которых начинают снижаться некоторые из этих показателей у рыб и млекопитающих (табл. 2) [12,17].

Как можно видеть, интегральный показатель состояния гуморальной неспецифической защиты – бактерицидная активность сыворотки крови и показатель состояния клеточной неспецифической защиты – фагоцитарная активность лейкоцитов крови у рыб и белых беспородных

крыс снижаются при практически одинаковых поглощенных дозах. Отмечено и снижение устойчивости к инфекции при содержании рыб 30 дней в растворе с концентрацией стронция-90 5×10^{-8} Ки/л. Следовательно, несмотря на радиостойчивость рыб, при некоторых радиационных ситуациях происходит угнетение у них некоторых показателей врожденного иммунитета столь же интенсивное, как и у млекопитающих (крыс), что обуславливает снижение противoinфекционной резистентности.

Таблица 2

Радиочувствительность некоторых показателей врожденного иммунитета у рыб и белых крыс

Показатель	Порог поглощенной дозы в скелете, при котором происходит достоверное снижение показателей, сГр	
	Крысы	Рыбы
Фагоцитоз лейкоцитов	45	Несколько десятков
Бактерицидность сыворотки	90	80

Иммунологические исследования позволяют характеризовать состояние рыб, являющихся звеном пищевой экологической цепи для человека.

Представляют интерес результаты изучения иммунитета у северных оленей, являющихся звеном пищевой экологической цепи лишайник – северный олень – человек. Имеются сведения об изменениях иммунитета у пастухов-оленьеводов [18], которые при относительно очень малых дозах облучения были весьма невелики. Максимальная эффективная доза не превышала 8 мЗв/год, тогда как у оленей она была в 4 раза выше – 32 мЗв/год. Причем, доза от цезия-137, роль которого при радиационном воздействии от глобальных выпадений была наиболее значительной, у оленей Кольского полуострова в 4 раза выше по сравнению с оленями Чукотского полуострова. В этой связи представляет интерес сопоставление иммунологических показателей у оленей этих двух весьма отдаленных регионов Заполярья РФ.

Определение комплементсвязывающих антител к антигенам из тканей (мышечной, печени, почки, селезенки, костного мозга и семенника оленей) выявило повышенное содержание антител к ткани семенника. Антигены из этой ткани были использованы и при определении антител методом преципитации по Уанье. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3

Антитела к семеннику в сыворотке крови северных оленей

Место исследования – полуостров	Число обслед. оленей	РСК		Полож. реакции	Реакция микропреципитации			
		Полож. реакции	Средние титры		Полож. реакции	4+,3+	2+	Интенсивность реакции + –
Кольский	15	9	1:16	9	2	3	4	6
Чукотский	12	4	1:9	2			2	10

Реакции связывания комплемента антитела к антигенам семенника у оленей Кольского полуострова обнаруживались примерно вдвое чаще, а их титры (концентрации) были почти 2 раза выше, чем у оленей Чукотки. В последнем случае встречались лишь низкие (+) концентрации антител-преципитинов, тогда как у трети оленей Кольского полуострова отмечались положительные (2+) и высоко положительные (4+,3+) реакции. Таким образом, явления аутоаллергии были более выражены у оленей Кольского полуострова, что подтверждает возможность иммунологических изменений при малых дозах радиации. В этой связи нельзя не отметить, что примерно в тот же период, когда были проведены наши исследования, у 15–20% оленей Кольского полуострова отмечалась яловость из-за рассасывания плода на ранних стадиях стельности. Тем не менее, едва ли можно связывать более интенсивные иммунологические изменения на Кольском полуострове лишь с радиационным воздействием. Они, видимо, обусловлены комплексом факторов (особенности питания и др.).

Обсуждение результатов

Показана перспективность использования принципов и методов экологической иммунологии при решении некоторых вопросов радиационной экологии (радиоэкологии), задачей которой является изучение влияния на здоровье человеческой популяции и биоценозы радиационных факторов окружающей среды. Ряд иммунологических показателей являются радиочувствительными, а их изменение имеет важное значение в развитии ближайших и отдаленных последствий радиационного воздействия – стохастических и нестохастических: инфекций, злокачественных новообразований, катаракт и др. Поэтому выявление на территориях, загрязненных радионуклидами, иммунологических изменений указывает на возможность нарушений здоровья у населения этих районов. Речь идет о нарушениях иммунитета и здоровья при действии нового экологического фактора повышенного радиационного воздействия, с которым человек столкнулся лишь последние десятилетия. Наличие радиоактивного поражения в популяциях рыб и млекопитающих, выявляемое с помощью иммунологических методов исследования, также представляет интерес для специалистов в области радиоэкологии. По-видимому, в ближайшее время мы можем стать свидетелями становления и развития на стыке радиоэкологии и экологической иммунологии нового научного направления – радиоэкологической иммунологии, которое будет представлять интерес для экологов, иммунологов, радиобиологов, радиационных гигиенистов.

Выводы

1. У людей, проживающих на территориях, загрязненных радионуклидами, отмечаются изменения ряда показателей иммунитета, что свидетельствует о возможном механизме нарушения здоровья населения при действии малых доз ионизирующего излучения.
2. Аутоиммунные иммунологические изменения выявлены при действии малых доз радиации на северных оленей.
3. Иммунологические экспериментальные исследования позволяют установить нарушения состояния иммунитета у представителей радиорезистентных популяций – рыб.
4. Целесообразно использование иммунологических методов исследования для выявления состояния особей и популяций, являющихся звеньями пищевых экологических цепей.

Литература

1. Шубик В.М. Проблемы экологической иммунологии. Л.: Медицина, 1976. 215 с.
2. Гельфгат Е.Л. Популяционные аспекты адаптивных изменений иммунной системы человека на Севере / Е.Л. Гельфгат, В.П. Лозовой, В.И. Коненков // Вестн. РАМН, 1993. №8. С. 20–25.
3. Ушаков И.Б. (ред.) Основы медицинской радиобиологии. СПб.: Фолиант, 2004. 381 с.
4. Петров Р.В. Программа долгосрочного иммунологического мониторинга за контингентами, подвергающимися воздействию факторов риска радиационной аварии на Чернобыльской АЭС / Р.В. Петров, И.В. Ородовская, Б.В. Пинегин // Мед. Радиология, 1991. №1. С. 39–42.
5. Хаитов Р.М. Экологическая иммунология / Р.М. Хаитов, Б.В. Пинегин, Х.И. Истамов [и др.]. М.: ВНИРО, 1995. 219 с.
6. Аклеев А.В. Роль иммунных механизмов в развитии отдаленной радиационной патологии / А.В. Аклеев, Е.А. Овчарова // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин, в. 8 [ред. В.И. Мигунов, А.В. Трапезников]. Екатеринбург, 2006. С. 86–139.
7. Takada J. Radiation doses on residents near Semipalatinsk nuclear test site / J. Takada, M. Hoshi, M. Yamamoto [et al.] // J. Radiat. Res, 1999. V.40, №3. P. 357.
8. Шойхет Я.Н. Окружающая среда и здоровье населения Алтайского Края: Общий обзор / Я.Н. Шойхет, В.И. Киселев, А.И. Алгазин [и др.]. Барнаул, 1993. 196 с.
9. Ильин Л.А. Место и роль радиационно-гигиенического мониторинга в системе социально-гигиенического мониторинга / Л.А. Ильин, Н.К. Шандала, М.Н. Савкин [и др.] // Гигиена и санитария, 2004. №5. С. 9–14.
10. Шубик А.М. Радиационные аспекты экологической иммунологии. СПб, 2008. 209 с.
11. Shubik V.M. Immunity and health after the Chernobyl accident. SPb: Thesa, 1997. 267 p.
12. Шубик В.М. Иммунитет и здоровье после радиационных аварий и экологических катастроф. СПб, 2001. 433 с.

13. Шубик В.М. Радиационные аварии и здоровье. СПб: Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены, 2003. 336 с.
14. Боровикова Н.М. Радиоактивное загрязнение воды аварийными выбросами Чернобыльской АЭС / Н.М. Боровикова, О.А. Бобылева, В.В. Сикоренко-Гусар [и др.] // Итоги оценки мед. последствий аварии на Чернобыл. АЭС: Тез. докл. республ. науч.-практич. конф. М-во здравоохр. СССР, Киев, 1991. С.31-33.
15. Варигин Б.В., Мамкеева А.П., Белова Н.В. и др. Биологические показатели и опыт получения потомства толстолобиков, выросших в экстремальных условиях охладителя Чернобыльской АЭС / Б.В. Варигин, А.П. Мамкеева Н.В. Белова [и др.] // Всес. совещ. по рыбохоз. использованию тепл. вод. Курчатова, (Москва, октябрь 1990 г.): Тез. докл., 1990. С. 71-72.
16. Турдыев А.А. Дозовая и временная зависимость радиационной гибели среднеземноморской черепахи (*Testudo horsfieldi*) в осенне-зимний период / А.А. Турдыев, А.Н. Васильев, Л.И. Дворникова // Радиобиология, 1981. Т.21, №3. С. 283-286
17. Шлейфер Г.С. Влияние ионизирующей радиации на иммунобиологическое состояние рыб: Автореф. дисс. канд. биол. наук. М., 1978.
18. Шлейфер Г.С. Влияние ионизирующей радиации на иммунофизиологическое состояние рыб / Г.С. Шлейфер, И.А. Шеханова // Пробл. и задачи радиоэкол. животных. М., 1980. С. 35-43.
19. Шубик В.М., Мигунов В.И., Стомат И.П. Здоровье коренных жителей Крайнего Севера. (Радиационно-гигиенические аспекты). СПб, 2004. 226 с.

V.M. Shubik

Radioecology and ecological immunology

Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev»
of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

Abstract. The author's investigations results are presented in comparing with literary materials concerning the application of principles and methods of ecological immunology for solving radioecological questions. The data on characteristic of immunity and health of human population affected with radiation factors of the environment is given as well as animals' population state as the links of food ecological chains.

Key words: radioecology, ecological immunology, population.

Поступила: 15.05.2009 г.

В.М. Шубик
Тел. (812) 232-68-28