

ЩИТОВИДНАЯ ЖЕЛЕЗА

**Распространение чернобыльских радионуклидов вдоль
транспортных магистралей и их роль в формировании дозы
на щитовидную железу**

**Паршков Е.М., Цыб А.Ф., Соколов В.А., Шахтарин В.В.,
Чеботарева И.В., Пыжик В.М., Деллас Ч.¹⁾, Орлов М.Ю.²⁾,
Сныков В.П.²⁾, Хваленский Ю.А.²⁾**

Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск, Россия;

¹⁾ - Университет штата Джорджия, Афины, США;

²⁾ - Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск, Россия

В работе представлен анализ распределения случаев рака щитовидной железы у детей и подростков на территории Брянской области и факторов, влиявших на формирование поглощенной дозы в щитовидной железе после аварии на Чернобыльской АЭС. Особое внимание уделено роли транспортных магистралей в переносе радионуклидов. Показано, что преимущественная концентрация случаев рака наблюдается в населенных пунктах, расположенных в непосредственной близости от главных автомобильных и железных дорог, независимо от среднего уровня загрязнения территории. Обсуждаются возможные механизмы прямого и косвенного участия транспортных средств в переносе радионуклидов. Сделаны определенные прогнозные оценки, предложен ряд мер по организации дальнейших исследований и проведению медицинского обследования групп риска, сформированных с учетом возможного воздействия "транспортного" фактора.

**The role of major transport ways in dissemination
the Chernobyl radionuclides, involved in the absorbed
dose formation in thyroid gland**

**Parshkov E.M., Tsyb A.F., Sokolov V.A., Shakhhtar V.V.,
Chebotareva I.V., Pyzhik V.M., Dallas Ch.¹⁾, Orlov M.Yu.²⁾,
Snykov V.P.²⁾, Khvalensky Yu.A.²⁾**

Medical Radiological Research Center of RAMS, Obninsk, Russia;

¹⁾ - College of Pharmacy, the University of Georgia, Athens, Georgia, USA;

²⁾ - Scientific-Production Association "TYPHOON", Obninsk, Russia

The paper presents the analysis of distribution of thyroid cancer cases in children and adolescents over the territory of Bryansk oblast as well as the analysis of factors influencing formation of the absorbed dose in thyroid gland after the Chernobyl accident. A special attention is paid to the role of major transport ways in radionuclides migration. The majority of thyroid cancers was found to occur in inhabitants of settlements situated near from the main railways and motor roads irrespective of mean levels of radioactive contamination of territories. Possible mechanisms underlying dispersion of radionuclides by transportation means are discussed. Predictions have been made and activities are proposed on further research and medical examination of population groups at risk formed with consideration of "transportation factor".

Введение

Рост заболеваемости раком щитовидной железы на загрязненных радионуклидами территориях Белоруссии, Украины и России можно считать одним из тех медицинских последствий чернобыльской аварии, обусловленность которого

радиационным воздействием практически не вызывает сомнений [2, 6, 20, 29, 30, 35].

В России проблема радиогенных раков щитовидной железы у детей и подростков после аварии на Чернобыльской АЭС была поднята нами в 1992 г., когда в процессе скрининга было выявлено

но сразу два случая заболевания в Брянской области.

Изучение патологических изменений щитовидной железы у детей в загрязненных районах Брянской, Калужской и Смоленской областей, проведенное в 1991-92 гг., уже тогда позволило заключить, что нет зависимости частоты встречаемости узловых образований и аутоиммунных тиреоидитов от уровня загрязнения почвы, нет зависимости выявляемости гиперплазии 1-3 степени от дозы облучения щитовидной железы, и что патологические изменения щитовидной железы встречаются чаще у девочек, чем у мальчиков [19].

В этой же работе был сделан следующий вывод: "Мы ожидаем, что злокачественные новообразования будут позже. Необходимо обследование по единому протоколу на всей территории жесткого контроля и у детей, у которых есть патологические изменения". Позднее, при ретроспективном анализе по всем патологоанатомическим службам Брянской области оказалось, что отдельные случаи рака щитовидной железы у детей и подростков имели место и в первые пять лет после аварии [6, 37].

По данным областных онкодиспансеров в период с 1986 по 1996 гг. в Брянской области зарегистрировано 95 случаев рака щитовидной железы у детей и подростков, в Калужской области - 14, в Орловской - 38 и в Тульской - 44 случая.

Если связь возникновения рака щитовидной железы у детского и подросткового населения загрязненных территорий с чернобыльской аварией можно считать доказанной, то, как для любого эффекта в радиобиологии и радиационной медицине, требуется определить зависимость эффекта от дозы облучения. Без этого невозможны прогнозные оценки и вычисление радиационных рисков. К сожалению, пока не удастся получить зависимость доза-эффект для зарегистрированных случаев заболевания. Прежде всего, это объясняется большой неопределенностью значений индивидуальных поглощенных доз на щитовидную железу. Несмотря на значительное число прямых дозиметрических измерений, выполненных в мае-июне 1986 г., они, во-первых, не могли охватить всех детей в пострадавших районах и, во-вторых, методики измерений не всегда давали возможность получить достоверные данные по дозам внутреннего облучения и потребовали впоследствии внесения существенных поправок [1, 4, 13, 37, 42]. Методы реконструкции индивидуальных поглощенных доз, основанные на учете уровней загрязнения территорий или населенных пунктов по ^{137}Cs и ^{131}I , образа жизни и режима питания пострадавших, также приводят к большим неопределенностям [5, 17].

В этих условиях заболеваемость раком щитовидной железы часто соотносится со средним уровнем загрязненности административно-территориальных единиц или коллективной дозой для различных когорт населения этих территорий [8, 23].

Но, как показано в ряде работ [12, 35, 37], и такой подход не позволяет количественно соотнести частоту заболеваемости с радиационным фактором. В значительной мере, это может быть связано с отсутствием столь же детальной карты загрязнения территорий России радиоактивным йодом, как для загрязнений по ^{137}Cs .

Сложившееся положение привело к возникновению целого ряда гипотез, объясняющих либо модификацию существующих данных о радиационном факторе какими-то дополнительными условиями его воздействия, либо модификацию радиочувствительности щитовидной железы. В частности, нами была предложена концепция, так называемого "транспортного фактора" [12, 36]. Она основывается на том, что случаи заболевания раком щитовидной железы у детей и подростков в Брянской области располагаются преимущественно вблизи транспортных магистралей. В 1986 г., особенно в мае-июле, транспортные средства являлись, во-первых, активными переносчиками радионуклидов на значительные расстояния, а, во-вторых, приводили к многократному ресуспендированию радиоактивных частиц вблизи магистралей и повышению значимости ингаляционного пути попадания их в организм.

Целью настоящей работы является анализ географического распределения случаев рака щитовидной железы у детей и подростков, выявленных после аварии на ЧАЭС, и оценка возможного вклада транспортных магистралей в перенос чернобыльских радионуклидов.

Материалы и методы

Для анализа связи заболеваемости раком щитовидной железы у детей и подростков с проживанием в тех или иных районах использовались следующие материалы:

- распределение случаев рака щитовидной железы по населенным пунктам Брянской области. В анализ включено 95 случаев заболевания у лиц, имевших возраст 0-18 лет на момент аварии (т.е. 1968-1986 годов рождения), выявленных на всей территории области с 1986 по 01.06.1997 гг.;
- географические карты с детальным отображением населенных пунктов и транспортных магистралей масштаба 1:500000 и 1:200000;
- данные о радионуклидном загрязнении территорий и населенных пунктов Брянской области [3, 4];

- демографические показатели численности детского и подросткового населения по населенным пунктам, полученные в результате Всесоюзной переписи населения 1989 г. [16];

- опубликованные данные об уровнях измененных и реконструированных поглощенных доз на щитовидную железу [5].

Методика определения заболеваемости в зависимости от близости проживания к транспортным магистралям, нормированная на численность соответствующего населения, включала:

1. Определение населенных пунктов проживания каждого пациента в период 26.04.1986 г. - 1.07.1986 г. (основной период воздействия радиоактивного йода) и далее, до момента постановки диагноза.

2. Определение всех населенных пунктов, расположенных вблизи главных автомобильных и железных дорог, т.е. лежащих в коридоре по 1 км в каждую сторону от дороги между крупными населенными пунктами (города, районные центры) и в радиусе 10 км от каждого крупного населенного пункта вдоль магистрали.

3. Установление численности жителей в населенных пунктах, перечисленных в п. 2.

4. Установление численности жителей в населенных пунктах, находящихся в зонах (I-IV) с различным уровнем загрязнения по ^{137}Cs : I - $>15 \text{ Ки/км}^2$; II - $5-15 \text{ Ки/км}^2$; III - $1-5 \text{ Ки/км}^2$; IV - $<1 \text{ Ки/км}^2$. Город Брянск в данной работе исключен из анализа.

5. Выполнение для каждой зоны I-IV следующих процедур:

5.1. Определить число случаев заболевания (N_6) в населенных пунктах, расположенных вблизи от транспортных магистралей, т.е. в пределах коридора, определенного в п. 2, а также число случаев в населенных пунктах, удаленных от магистрали (N_0), т.е. вне коридора.

5.2. Из общего числа жителей (M_0) в зоне с данным уровнем загрязнения вычесть число жителей этой зоны, проживающих вблизи магистралей (M_6), получив тем самым число жителей, проживающих вдали от магистралей (M_d). $M_d = M_0 - M_6$.

5.3. Рассчитать показатель заболеваемости (ПЗ), т.е. число случаев на 100000 детей и подростков, проживающих близко и вдали от магистралей в зонах I-IV:

$$\text{ПЗ}_6 = N_6/M_6; \quad \text{ПЗ}_d = N_d/M_d.$$

В данной работе рассмотрены только главные автомобильная и железнодорожная магистрали, идущие из Гомеля через Новозыбков, Клинцы, Унечу, Почеп, Выгоничи и Брянск на Москву, хотя аналогичный анализ может быть проведен и для второстепенных дорог. Не оценивалась интенсивность движения транспорта по магистралям. Не

учитывались водные транспортные артерии и авиатранспорт (места дислокации вертолетов и самолетов, работавших в зоне аварии).

Результаты и обсуждение

Карта-схема, представленная на рисунке 1, демонстрирует число случаев рака щитовидной железы и их распределение по населенным пунктам Брянской области. Большинство выявленных раков, как видно из рисунка, сконцентрировано в населенных пунктах вблизи магистральных авто- и железных дорог. Одни из этих пунктов расположены в зоне высокого радиоактивного загрязнения, особенно у западной границы, такие как Новозыбков, Манюки, Тростань, Шеломы, с уровнем загрязнения ^{137}Cs - $9-20 \text{ Ки/км}^2$ и ^{131}I - $60-160 \text{ Ки/км}^2$, другие (Клинцы, Ардонь) - со средним уровнем загрязнения (^{137}Cs - $3,5-15 \text{ Ки/км}^2$, ^{131}I - $20-90 \text{ Ки/км}^2$), третьи (Коржово-Голубовка, Мартыановка, Чемерна) - с уровнем загрязнения ^{137}Cs - $1-5 \text{ Ки/км}^2$ и ^{131}I - $7-30 \text{ Ки/км}^2$.

Кроме того, некоторые территории вдоль транспортных магистралей могли быть охарактеризованы как практически чистые (Почеп, Унеча, Выгоничи, Брянск), где уровень загрязнения составляет по ^{137}Cs и ^{131}I менее 1 Ки/км^2 .

В то же время в большинстве населенных пунктов Злынковского, Клинцовского, Новозыбковского и Красногорского районов, где уровень загрязнения по ^{137}Cs превышает 15 Ки/км^2 и по ^{131}I - 90 Ки/км^2 , но расположенных вдали от магистралей, рак щитовидной железы встречается значительно реже. Так, из 12 зарегистрированных случаев в I зоне, 10 - выявлены в населенных пунктах, расположенных вблизи магистралей, и только 2 случая - вдали от них (Катичи, Макаричи).

Для более детального анализа заболеваемости раком щитовидной железы в зависимости от близости проживания к дорогам число случаев нормировалось на численность населения.

В таблице представлены численность населения (дети и подростки, родившиеся в 1968-86 гг.), показатели заболеваемости раком щитовидной железы для территорий вдоль главных транспортных магистралей и вдали от них, рассчитанные для различных зон радиоактивного загрязнения. Видно, что в каждой зоне показатель заболеваемости существенно выше для жителей населенных пунктов, расположенных вблизи магистралей.

Из таблицы также видно, что частота заболеваемости раком щитовидной железы имеет определенную зависимость от уровня загрязнения территории: $>15 \text{ Ки/км}^2$ - $57,1$ случай; $5-15 \text{ Ки/км}^2$ - $39,6$; $1-5 \text{ Ки/км}^2$ - $44,1$; $<1 \text{ Ки/км}^2$ - $19,1$. В то же время, если рассмотреть приведенные в таблице данные о заболеваемости дифференцированно

* Здесь и далее по тексту уровни загрязнения ^{137}Cs и ^{131}I приведены на 01.05.86 г.

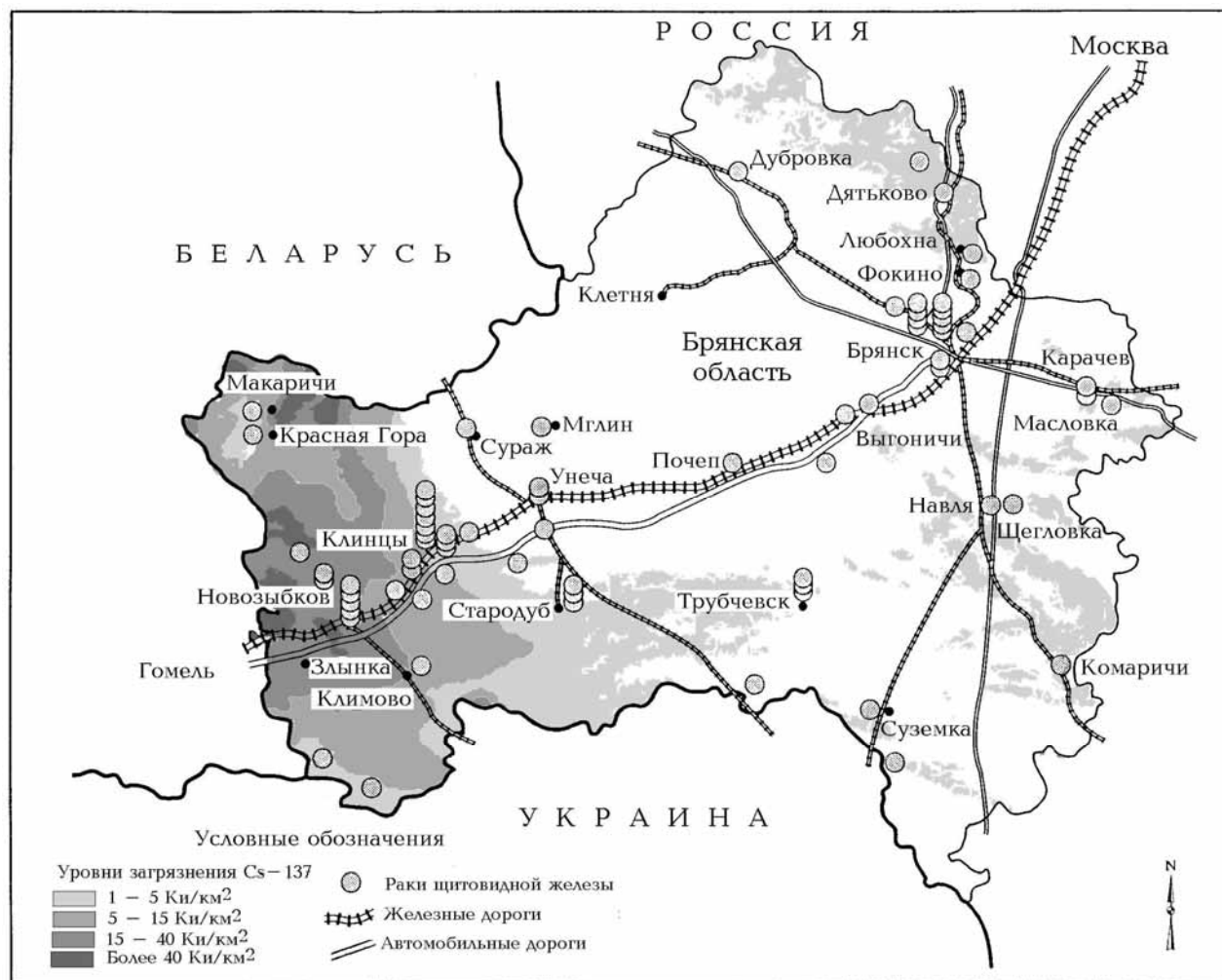


Рис.1. Карта-схема распределения числа случаев рака щитовидной железы у детей и подростков на территории Брянской области.

для случаев вблизи и вдали от магистралей, то никакой зависимости от среднего уровня загрязнения не наблюдается.

Данные, приведенные в таблице, получены только при рассмотрении двух главных магистралей, пересекающих Брянскую область. Если учесть, что

значительное число случаев заболевания приходится на населенные пункты, расположенные на других, менее значимых автомобильных и железных дорогах или на пересечении многих дорог (например, Карачев, Навля, Стародуб и др.), то показатели "придорожных раков" станут еще выше.

Таблица

Заболеваемость раком щитовидной железы в зависимости от плотности загрязнения по ^{137}Cs и удаленности от основных транспортных магистралей

I. Территории с плотностью загрязнения > 15 Ки/км ²			
	Всего	У дорог	Вне дорог
Всего случаев	12	10	2
Население (0-18 лет)	21000	12500	8500
Заболеваемость на 100 тысяч	57,1	80	23,5
II. Территории с плотностью загрязнения 5 - 15 Ки/км ²			
Всего случаев	15	10	5
Население (0-18 лет)	37844,8	20364,5	17480,3
Заболеваемость на 100 тысяч	39,6	49,1	28,6
III. Территории с плотностью загрязнения 1 - 5 Ки/км ²			
Всего случаев	21	6	15
Население (0-18 лет)	47601,3	2705,3	44896
Заболеваемость на 100 тысяч	44,1	221,8	33,4
IV. Территории с плотностью загрязнения < 1 Ки/км ² (без Брянска)			
Всего случаев	29	7	22
Население (0-18 лет)	151528,8	14688,8	136839
Заболеваемость на 100 тысяч	19,1	47,7	16,1
г. Брянск			
Всего случаев	18		
Население (0-18 лет)	1200000		
Заболеваемость на 100 тысяч	15		

Как уже отмечалось выше, в Тульской, Калужской и Орловской областях также наблюдается рост заболеваемости раком щитовидной железы у детей и подростков. Наш предварительный анализ показывает, что распределение случаев заболевания относительно транспортных магистралей подтверждает ситуацию в Брянской области.

Невозможность получить дозовую зависимость заболеваемости раком щитовидной железы на загрязненных территориях привела к возникновению ряда предположений об особенностях формирования радиационного поражения щитовидной железы после чернобыльской аварии. Их можно разделить на три группы:

1. Дозообразующие факторы (пути прямого воздействия внутреннего и внешнего излучений на щитовидную железу).

2. Факторы, потенцирующие развитие рака щитовидной железы. К ним относятся, например, пол и возраст, определяющие функциональную активность железы, генетическая предрасположенность или национальность (в ряде работ обращено внимание на повышенный уровень тиреоидной патологии у евреев [34]).

3. Административные факторы, обусловленные теми или иными организационно-управленческими мероприятиями (проведение углубленного медицинского обследования населения, йодная профилактика и др.).

Многие из этих факторов обсуждаются в работах [5, 9, 12, 32, 37]. К числу вызывающих наибольший интерес в последнее время можно отнести:

- эффект скрининга или повышенной выявляемости заболеваний в результате более тщательного и масштабного медицинского обследования населения;

- йодная эндемия [9];

- генетическая предрасположенность;

- йодная профилактика, в том числе "эффект передозировки" [14];

- воздействие нерадиоактивных токсичных элементов, использовавшихся при ликвидации аварии (свинец, бор), которые выносились в атмосферу из зоны разрушенного 4 блока Чернобыльской АЭС;

- метеорологические факторы в первые дни после аварии, определяющие движение и осаждение радиоактивных облаков [9, 11, 13];

- вклад в поглощенную дозу короткоживущих радионуклидов йода, представляющих собой Оже-излучатели и обладающих высокими значениями относительной биологической эффективности [34];

- высоковольтные линии электропередач, конденсирующие заряженные частицы с радионуклидами [33];

- места расположения складов и перерабатывающих предприятий мясомолочной промышленности;

- места расположения рынков и пути перемещения пищевых продуктов в государственном и частном секторах экономики;

- различие в структуре загрязнения лесных массивов с подветренной и наветренной стороны;

- различие в образе жизни и режиме питания городского и сельского населения [17, 42];

- стерилизация тиреоцитов при высоких дозах внутреннего облучения щитовидной железы [14];

- модификация реакций иммунной, эндокринной и других систем организма при длительном воздействии малых доз внешнего облучения.

Количественно оценить вклад каждого из этих факторов в возникновение заболеваний онкологической или неонкологической природы затруднительно. К тому же большинство из них действует не независимо, а в комплексе. Поэтому целесообразно искать главные, определяющие факторы, позволяющие оптимально на данный момент формировать стратегию лечебно-диагностической помощи населению и проведения дальнейших научных исследований. В этом плане нам представляется одним из наиболее перспективных направлений изучение роли транспортных магистралей.

Известно, что в апреле-мае 1986 г., а именно, в период максимального выброса йода и других радионуклидов из разрушенного 4 блока Чернобыльской АЭС, железнодорожное и автомобильное сообщение продолжалось из Украины и Белоруссии, в том числе из 30-километровой зоны. Поезда и автомобили покидали эту высоко загрязненную

территорию, въезжали на основные транспортные магистрали Брянской области, которая является самой близко расположенной областью в России к месту аварии. Таким образом, они стали средством активного переноса радиоактивности на более далекие расстояния, что могло в результате внести дополнительный вклад в формирование значительной дозы вдоль железных и автомобильных дорог и, соответственно, в населенных пунктах, расположенных вблизи них.

В это же время пищевые продукты из государственного и частного секторов перевозились по этим же путям. Государственная санитарная и противоэпидемическая служба, осуществляющая контроль за загрязнением мяса, молочных продуктов, овощей и других пищевых продуктов, отмечала содержание радионуклидов, значительно превышающее максимально допустимые уровни. Многие из этих продуктов приобретались населением у железных и автомобильных дорог. Употребление загрязненных пищевых продуктов, которые не изымались у населения, могло привести к повышенному облучению проживающих, особенно вблизи этих транспортных путей.

Транспортный фактор мог оказать влияние на распространение короткоживущих радионуклидов йода.

В работе [34] отмечается, что вклад в дозу короткоживущих радионуклидов йода сразу после аварии мог достигать 10% (в некоторых условиях 30%) от ^{131}I , и их роль в индукции рака щитовидной железы могла быть значительной. По мнению авторов работы это подтверждается географическим распределением случаев рака в Беларуси. Увеличение случаев заболеваний зарегистрировано в Гомельской области, находящейся непосредственно к северу от Чернобыля, но не в Могилевской области, которая также получила высокие уровни загрязнения, но выпадения там произошли позднее, когда короткоживущие радионуклиды, в основном, распались. Это же, полагают авторы, может объяснить меньший рост заболеваемости в России.

Однако, транспортные средства переносили короткоживущие радионуклиды йода и на территорию России. Поезда и автомобили идут от Гомеля до Новозыбкова примерно 1 час, поезда от Гомеля до Брянска - примерно 6 часов, автомобили - примерно 5 часов. Эти времена сопоставимы с временем жизни радионуклидов ^{130}I ($T_{1/2}=12,36$ ч), ^{133}I ($T_{1/2}=20,8$ ч), ^{135}I ($T_{1/2}=6,61$ ч), ^{132}I ($T_{1/2}=3,26$ сут.) [18].

Вопрос о значительной диссеминации радионуклидов, обусловленной функционированием транспорта, имеет некоторую предысторию, связанную с изучением загрязнения обочин дорог свинцом, содержащемся в выхлопных газах авто-

мобилей. В ряде работ было показано, что концентрация свинца в сельскохозяйственных культурах и в почве уменьшается с увеличением расстояния от магистральных дорог и возрастает с повышением интенсивности движения транспорта [21, 31]. Кроме того, данные по загрязнению свинцом помогают дополнить картину попадания радионуклидов в детский организм. Дорожная и уличная пыль является источником свинца и мельчайшие частицы такой пыли преимущественно осаждаются на детских руках [24]. Высокая активность движений "рука-голова" у малышей приводит к неумышленному заглатыванию загрязняющих включений, содержащихся в пыли, в том числе свинца и токсинов дорожного происхождения [28].

Установлено, что дорожная пыль, содержащая загрязняющие естественную окружающую среду вещества, приводит к значительному попаданию частиц в легкие. В частности, в работе [38] было показано, что вместе с пылевыми частицами в легких накапливаются различные компоненты автомобильных покрышек, особенно у людей, работающих вблизи дорог. Примерно 4% всей массы стандартной дорожной пыли состоит из частиц с аэродинамическим диаметром менее 2 мкм, которые относятся к диапазону частиц, наиболее легко усваиваемых при дыхании [41]. Известно, что если вдыхаемые частицы не относятся к этому диапазону, то влияние таких частиц на здоровье человека будет незначительным, независимо от того, какие загрязняющие вещества и элементы они несут. Из этого следует, что часть дорожной пыли, загрязненной чернoбыльскими радионуклидами, и лежащая в диапазоне частиц, накапливающихся при дыхании в легких, могла оказать воздействие на здоровье людей, проживающих вблизи автодорог.

Еще одним важным аспектом, относящимся к радиоактивной пыли, является уровень переноса дорожной пыли в помещения. Как установлено в работах [26, 27], элементный состав пыли, в частности, содержание свинца, в домах, находящихся даже в некотором удалении от дорог, очень близок к составу дорожной пыли. Загрязнение домашней пыли от дорог повышает риск для всего населения, поскольку жители подвергаются воздействию поллютантов в течение значительно большего времени, чем при воздействии только атмосферных загрязнителей. Есть данные, указывающие на то, что только 1-2% пыли в помещениях состоит из частиц атмосферного происхождения, тогда как на 40-50% источником ее являются близлежащие дороги и почва [26]. Этот факт имеет особое значение при оценке путей поступления радиоактив-

ного йода в организм в первые дни после чернoбыльской аварии.

Значение транспортного фактора после чернoбыльской аварии обсуждалось в литературе и ранее. Прежде всего, это относится к мерам по предотвращению пылеобразования в 30-километровой зоне вокруг Чернобыля и близлежащих территориях. В 1986-87 гг. здесь дезактивировано различными способами 102175 км дорог и закреплено против пыли 1500 км грунтовых дорог и обочин шоссейных дорог всех категорий [10, 15]. На крайнюю необходимость этого указывают данные работы [7] о закономерностях формирования поглощенных доз у ликвидаторов. Там сообщается, что в первый период аварии в 1986 г. "транспортная доза, связанная с перемещением персонала в места ожидания и проведения работ составила 56% от коллективной дозы облучения".

Обзор ряда исследований по перераспределению и ресуспандированию радиоактивных загрязнений после чернoбыльской аварии приведен в работе [22], в которой, в частности, сказано, что по измерениям концентрации ^{137}Cs в Дании отмечен недельный цикл содержания ^{137}Cs в атмосфере. Недельная периодичность была объяснена распространением чернoбыльских радионуклидов автотранспортом - интенсивность движения по дорогам значительно выше по будням, чем по выходным дням.

В целом, основными путями переноса радионуклидов транспортными средствами после чернoбыльской аварии можно считать:

1. Непосредственный перенос радионуклидов на поверхности и на колесах автомобилей и поездов.

2. Многократное ресуспандирование радиоактивных элементов, содержащихся в частицах пыли, вихревыми потоками воздуха от идущего транспорта. Тем самым увеличивалась площадь загрязнения около дорог и повышался вклад ингаляционного пути поступления радионуклидов в организм в дополнение к алиментарному.

3. Перевозка пищевых продуктов, загрязненных радионуклидами, и их преимущественное потребление в населенных пунктах, расположенных вблизи дорог.

Очень важными сведениями в плане рассматриваемой концепции являются результаты моделирования переноса ^{131}I в нижних слоях атмосферы в первые дни после аварии.

Анализ траекторий переноса радионуклидов от аварийного реактора на высотах у поверхности земли и на высотах 200-300 м над поверхностью земли и распределения осадков по территории Брянской области показали, что:

- загрязнение приземного слоя атмосферы до высот 200-300 м радионуклидами имело место,

* Данные по США.

главным образом, 28-29.04.86 г. В это же время сформировалось и поверхностное загрязнение почвы ^{137}Cs и ^{131}I ;

- во время прохождения загрязненного воздуха в районе населенных пунктов Клинцы и Брянск имели место интенсивные осадки (слой осадков 45,7 мм и 31,4 мм соответственно). В остальных населенных пунктах осадки были гораздо менее интенсивными.

На карте-схеме рисунка 2 показаны результаты анализа траекторий движения загрязненного воздуха. Видно, что через населенные пункты, расположенные в юго-западной части Брянской области, неоднократно проходили как приземные траектории, так и траектории на высоте 200-300 м над поверхностью земли. В полосе территории области, примыкающей к основной железной дороге и шоссейной дороге Новозыбков - Брянск, проходили в основном траектории на высотах 200-300 м.

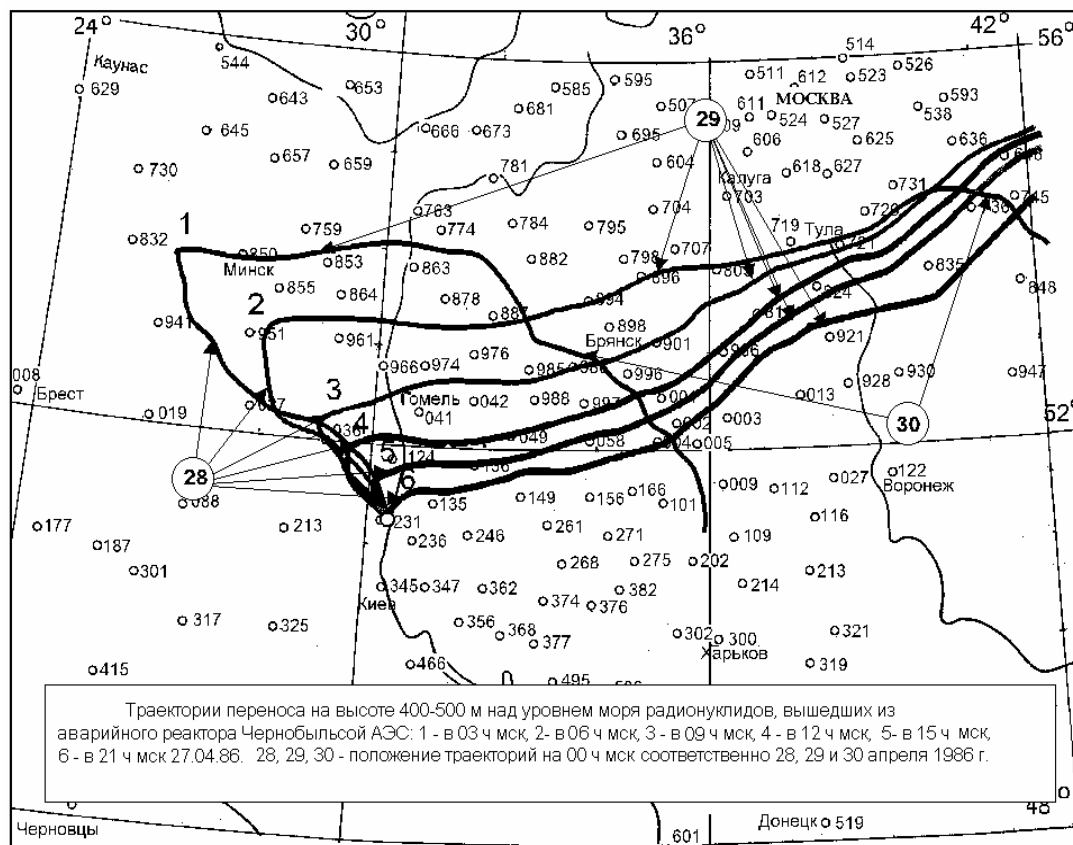


Рис. 2. Карта-схема кратности прохождения траекторий загрязненного воздуха в период 27-30.04.86 г. на различных высотах.

В частности, таким расположением траекторий переноса загрязненного воздуха могут быть объяснены различия в частоте возникновения рака щитовидной железы у жителей различных населенных пунктов.

Однако при этом, видимо, придется несколько модифицировать принятый механизм поступления радиоизотопов йода в организм человека и признать более значительную роль ингаляционного пути поступления.

Заключение

Обсуждаемый в данной работе возможный вклад транспортных магистралей в формирование поглощенной дозы в щитовидной железе не отрицает и не заменяет другие дозообразующие факторы, действовавшие после чернобыльской аварии, но существенно дополняет их. Представленная концепция учитывает средние уровни загрязнения почвы ^{137}Cs не только потому, что загряз-

ненность цезием является относительно хорошим индикатором выпадений йода, но и потому, что длительное проживание на территории с повышенным уровнем внешнего гамма-излучения за счет ^{137}Cs может провоцировать развитие тиреоидной патологии, включая рак щитовидной железы. Известно, что пролонгированное воздействие малых доз вызывает определенные изменения в иммунной, эндокринной и кроветворной системах организма [9]. Наши предварительные результаты показывают, что у лиц, эвакуированных из загрязненных в "чистые" районы, заболеваемость раком щитовидной железы не превышает спонтанного уровня.

Результаты, полученные в рамках данной концепции, не могут компенсировать нехватки необходимых данных об индивидуальных поглощенных дозах на щитовидную железу. Учитывая, что через 12-15 лет после аварии едва ли можно надеяться на радикальное пополнение и улучшение таких данных, она предлагает новый подход к структурированию случаев заболевания. То, на чем строится концепция, можно назвать "логической дозиметрией". Не исключено, что со временем, по распределению случаев рака щитовидной железы будет реконструироваться характер радиационного воздействия в том или ином месте.

Существуют хорошо разработанные методы использования географической информации в медико-экологических исследованиях [25, 40]. К сожалению, эти методы не нашли пока достаточного места в работах, связанных с последствиями чернобыльской аварии.

Хорошей верификацией подходов, предложенных в данной работе, может стать проведение аналогичного анализа распределения случаев рака щитовидной железы в Беларуси и на Украине, а также включение в анализ ситуации с раком щитовидной железы у взрослого населения. Однако, уже сейчас ясно, какие работы целесообразно провести в ближайшие годы:

1. Тщательное изучение загрязнения почвы вблизи железнодорожных и автомобильных магистралей в границах населенных пунктов с целью реконструкции загрязнений в первый период после аварии на Чернобыльской АЭС. Прежде всего, это относится к реконструкции йодных выпадений по определению стабильного ^{129}I в почве и измерению накопленной дозы в кристаллических материалах методом ЭПР-спектрометрии.

2. Целенаправленное медицинское обследование лиц, проживающих или проживавших в 1986 г. вблизи магистралей, для выявления тиреоидной патологии. Возраст пациентов должен быть до 30 лет включительно.

3. Ретроспективное изучение данных служб Госсанэпиднадзора о потоках загрязненных про-

дуктов в системе государственной и частной торговли в апреле-июне 1986 г.

4. Разработка двухвекторной модели формирования дополнительной дозы на щитовидную железу за счет транспортного фактора. Один вектор - расстояние населенного пункта от Чернобыля, второй вектор - расстояние населенного пункта до ближайшей магистрали.

5. Формирование новой группы риска, состоящей из жителей населенных пунктов, расположенных вблизи магистралей, и работников транспортных организаций. Включение этой группы в систему планового диспансерного наблюдения.

6. Изучение особенностей проявления транспортного фактора в условиях больших городов - Брянска, Орла, Тулы, Калуги.

Литература

1. **Гаврилин Ю.И., Гордеев К.И., Иванов В.К. и др.** Особенности и результаты определения доз внутреннего облучения щитовидной железы для населения загрязненных районов республики Беларусь //Вестник АМН. - 1992. - № 2. - С. 33-43.
2. **Гофман Дж.** Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущего поколений/Пер. с англ. Э.И.Волмянского, О.А.Волмянской. - Минск: Вышэйшая школа, 1994. - С. 574.
3. Данные по радиоактивному загрязнению населенных пунктов РСФСР цезием-137 и стронцием-90 (на июнь 1989 года). - М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1989.
4. Данные по радиоактивному загрязнению территории Российской Федерации ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ //Радиация и риск. - 1993. - Вып. 3, приложение 1.
5. **Демидчик Е.П., Цыб А.Ф., Лушников Е.Ф. и др.** Рак щитовидной железы у детей (последствия аварии на Чернобыльской АЭС). - М.: Медицина. - 1996. - С. 208.
6. **Иванов В.К., Цыб А.Ф., Матвеев Е.Г., Паршков Е.М. и др.** Радиационная эпидемиология раковых и неракковых заболеваний щитовидной железы в России после чернобыльской катастрофы: прогноз и оценка рисков//Радиация и риск. - 1995. - Спецвыпуск № 1.
7. **Ильичев С.И., Костерев В.В., Крючков В.П. и др.** Закономерности формирования доз внешнего облучения ликвидаторов//Ядерная энергетика. - 1996. - № 6. - С. 71-74.
8. **Махонько К.П., Козлова Е.Г., Волокитин А.А.** Динамика накопления радиойода на почве и реконструкция от его излучения на территории, загрязненной после аварии на Чернобыльской АЭС //Радиация и риск. - 1996. - Вып. 7. - С. 140-191.
9. Медицинские последствия чернобыльской аварии //Результаты пилотных проектов АИФЕКА и соответствующих национальных программ. Научный отчет/Ред. Г.Н.Сушкевич, А.Ф.Цыб. - Женева: ВОЗ, 1996.

10. **Ольховин Ю.А.** Оценка эффективности работ по пылеподавлению//Чернобыльская катастрофа. - Киев: Наукова думка, 1995. - С. 348-350.
11. **Орлов М.Ю., Сныков В.П., Хваленский Ю.А., Волокитин А.А.** Загрязнение почвы йодом-131 после аварии на Чернобыльской АЭС//Ядерная энергетика. - 1996. - № 6. - С. 51-60.
12. **Паршков Е.М., Соколов В.А., Чеботарева И.В.** Сравнительный анализ подходов к выбору и оценке дозообразующих факторов радиационного воздействия на щитовидную железу после аварии на Чернобыльской АЭС//Третий съезд по радиационным исследованиям. Радиобиология, радиозология, радиационная безопасность. Москва, 14-17 октября 1997 г. - Пушино, 1997. - Т. 1. - С. 156-257.
13. **Питкевич В.А., Хвостунов И.К., Шишканов Н.Г.** Влияние динамики выпадения ¹³¹I вследствие аварии на Чернобыльской АЭС на величину поглощенных доз в щитовидной железе для жителей Брянской и Калужской областей России//Радиация и риск. - 1996. - Вып. 7. - С. 192-215.
14. **Поверенный А.М., Шинкаркина А.П., Виноградова Ю.Е., Безяева Г.П., Подгородниченко В.К., Цыб А.Ф.** Вероятные последствия повреждения радиоактивным йодом щитовидной железы в период чернобыльской аварии//Радиационная биология. Радиэкология. - 1996. - Т. 36, Вып. 4. - С. 632-640.
15. **Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н.** Меры по уменьшению миграции радионуклидов и их оценка //Чернобыльская катастрофа. - Киев: Наукова думка, 1995. - С. 345-348.
16. Статистический сборник: Распределение населения по возрасту и полу (по данным Всесоюзной переписи населения на 12 января 1989 года). - Брянск, 1990.
17. **Степаненко В.Ф., Цыб А.Ф., Гаврилин Ю.И. и др.** Дозы облучения щитовидной железы населения России в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ретроспективный анализ)//Радиация и риск. - 1996. - Вып. 7. - С. 225-245.
18. Физические величины. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
19. **Цыб А.Ф., Паршков Е.М.** Результаты длительного наблюдения за состоянием гипотиз - тиреоидной системы у детей и подростков//Проблемы смягчения последствий чернобыльской катастрофы: Материалы международного семинара. Ч. 2. - Брянск, 1993. - С. 243-246.
20. **Abelin T., Averkin J.I., Okeanov A.E., Bleuer J.P.** Thyroid cancer in Belarus: The epidemiological situation//The radiological consequences of the Chernobyl accident: Proceedings of the first international conference. - Minsk, Belarus, 12-22 March 1996/EUR 16544 EN/Brussels, Luxembourg, 1996. - P. 727-730.
21. **Archer A., Barratt R.S.** Lead levels in Birmingham dust//Sci. Total Environ. - 1986. - V. 6. - P. 275-286.
22. Contamination of surfaces by resuspended materials. Experimental collaboration project, final report/Eds. Hollander W., Garger E. - EUR 16525. - Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996.
23. **Drozdvitch V.V., Goulko G.M., Minenko V.F. et al.** Thyroid dose reconstruction for the population of Belarus after the Chernobyl accident//Radiat. Environ. Biophys. - 1997. - Vol. 36. - P. 17-23.
24. **Duggan M.J., Inskip M.J.** Childhood exposure to lead in the surface dust and soil: a community health problem//Public Health Rev. - 1985. - V. 13. - P. 1-54.
25. **Douven W., Scholten H.J.** Spatial analysis in health research//The Added Value of Geographical Information System in Public and Environmental Health/Eds. M.J.C. de Lepper, H.J.Scholten and R.M.Stern. - The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. - P. 117-133.
26. **Fergusson J.E., Forbes E.A., Schroeder R.J., Ryan D.E.** The elemental composition and sources of house dust and street dust//Sci. Total Environ. - 1986. - V. 50. - P. 217-221.
27. **Harrison R.M.** Toxic metals in street and household dusts//Sci. Total Environ. - 1979. - V. 11. - P. 89-97.
28. **Hunt J., Jonson D.L., Thornton I., Watt J.M.** Apportioning the sources of lead in house dusts in the London borough of Richmond, England//The Science of the Total Environment. - 1993. - V. 138. - P. 183-206.
29. **Kazakov V.S., Demidchik E.P., Astakhova L.N.** Thyroid cancer after Chernobyl//Nature. - 1992. - V. 359. - P. 21.
30. **Likhtarev I.A., Sobolev B.G., Kairo I.A. et al.** Thyroid cancer in the Ukraine//Nature. - 1995. - V. 375. - P. 365.
31. **Motto J., Daines R., Chilko D., Motto C.** Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to highways//Envir. Sci. Technol. - 1970. - V. 4, N. 3. - P. 231-237.
32. National Council on Radiation Protection and Measurements. Risk estimates for radiation protection. - Bethesda, Maryland: NCRP; NCRP Report № 115, 1993.
33. **Nuttall N.** Electricity lines are magnes for toxic pollution //The Times, February 14, 1996.
34. **Paile W., Saloma S.** Radiogenic thyroid cancer in Belarus: Fact or fiction//J. Radiol. Prot. - 1994. - Vol. 14, N 3. - P. 265-269.
35. **Parshkov E.M., Shakhtarin V.V., Chebotareva I.V. et al.** Thyroid cancer in children and adolescents of Bryansk and Kaluga regions//The radiological consequences of the Chernobyl accident: Proceedings of the first international conference. - Minsk, Belarus, 12-22 March 1996/EUR 16544 EN/Brussels, Luxembourg, 1996. - P. 691-697.
36. **Parshkov E., Chebotareva I.** Additional Dose-Forming Factor in the Thyroid Gland after Chernobyl Station Disaster//International Conference on Radiation and Health. - Beer Sheva, Israel, 3-7 November 1996. - P. 51.
37. **Ramzaev P.V., Kacevich A.I., Kacevich N.A. et al.** Dynamics of population exposure and public health in the Bryansk region after the Chernobyl accident //Nagasaki Symposium Radiation and Human Health /Eds. S.Nagataki, S.Yamashita. - 1996. - P. 15-29.

-
38. **Takishima T., Nakamura M., Sasaki M. et al.** Inhalation of road dust by human subjects//Am. Rev. Respir. Dis. - 1987. - V. 136. - P. 1278-80.
39. **Teichman J., Coltrin D., Prouty K., Bir W.** A survey of lead contamination in soil along Interstate 880, Alameda County, California//Am. Ind. Hyg. Assoc. J. - 1993. - V. 54, N. 9. - P. 557-559.
40. **Westlake A.** Strategies for the use of geography in epidemiological analysis//The Added Value of Geographical Information System in Public and Environmental Health/Eds. M.J.C. de Lepper, H.J.Scholten and R.M.Stern. - The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1994. - P. 135-144.
41. **Yamaya M., Zayas K., Fukushima T. et al.** Inhalation of road dust by residents in polluted areas//Archives of Environ. Health. - 1992. - V. 47. - P. 131-134.
42. **Zvonova I.A., Balonov M.I.** Radioiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident//The Chernobyl papers, vol. 1/Eds. Merwin S.E., Balonov M.I. - Washington: Research Enterprises, Inc., 1993. - P. 71-125.