

Половозрастная модель интенсивности курения населения, облученного на Южном Урале

Ахмадуллин Р.М.¹, Шишкина Е.А.^{1,2}, Крестинина Л.Ю.²

¹ Челябинский государственный университет, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Челябинск, Россия

² Уральский научно-практический центр радиационной медицины
Федерального медико-биологического агентства, Челябинск, Россия

Изучение вероятности и интенсивности курения в Уральском регионе выполнялось для последующего анализа совместного влияния курения и радиации на риск возникновения рака лёгкого. Введено понятие дозы курения — меры, соответствующей количеству сигарет в день, выкуриваемых условным членом когорты определённого пола и возраста (произведение вероятности курения в когорте на среднюю интенсивность курения). Цель исследования — разработка половозрастной модели дозы курения. Материалы и методы: Использован регистр информации о курении (48 694 записи для 24 587 жителей Уральского региона 1889–1997 годов рождения). К курильщикам относили лиц, которые когда-либо курили. Использовались методы теории вероятностей, анализ распределений и регрессионный анализ. Результаты исследования и обсуждение: Интенсивность курения среди курящих до 40 лет возрастает, а затем становится постоянной и равной 17,5 и 10 сигаретам в день у мужчин и женщин соответственно. Вероятность курения увеличивается с возрастом до 30 лет, а затем снижается. Вероятность курения мужчин старше 18 лет превышает 40 %. Для женщин вероятность курения в любом возрасте — не более 5 %. Для условных мужчины и женщины в возрасте 35 лет доза курения равна 12,2 и 0,3 сигареты в день соответственно. Сформулирован алгоритм присвоения дозы курения для анализа эффектов в Уральской когорте аварийно-облучённого населения. Однако следует с осторожностью экстраполировать полученные результаты на другие территории и поколения. Заключение: Предложенный метод присвоения дозы курения может применяться в других эпидемиологических когортах при недостаточном количестве индивидуальных данных о курении. В дальнейшем планируется оценить неопределённость модели и ее влияние на совместный анализ радиационных и нерадиационных рисков.

Ключевые слова: курение, интенсивность курения, вероятность курения, доза курения, рак лёгкого, алгоритм учёта фактора курения.

Введение

Одно из ведущих мест в структуре онкопатологий, наблюдающихся в Российской Федерации, занимают новообразования бронхолегочной системы [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), рак легких дает самую высокую смертность при злокачественных новообразованиях, унося примерно 1,6 миллионов жизней в год на планете, а общая пятилетняя выживаемость составляет всего 15 % [2, 3]. Причиной, повышающей вероятность возникновения онкопатологий, является воздействие ионизирующего излучения (ИИ). Эпидемиологические исследования показали, что однократное воздействие высоких доз неизменно связано со значительно повышенным риском рака лёгких [4]. Для малых и средних доз внешнего и внутреннего облучения вопрос рисков возникновения рака лёгких в разных исследованиях остается противоречивым или сохраняет достаточные неопределённости [5, 6], в том числе при сценариях хронического облучения населения, проживающего на территориях, загрязненных бета- и гамма-излучателями. На риск формирования онкопатологии лёгких также могут влиять факторы нерадиационной природы: пол, воз-

раст и вредные привычки. В частности, по данным ВОЗ, курение ассоциируется с примерно 85 % случаев рака лёгкого [7]. Поэтому исследования радиационных рисков и, особенно, рисков формирования онкопатологии лёгких должны учитывать половозрастные особенности курения [8–10].

Изучение рисков развития рака лёгкого при малых и средних дозах и малых мощностях доз ионизирующего излучения проводится в Уральском научно-практическом центре радиационной медицины (УНПЦ РМ) ФМБА России. Для анализа радиационных эффектов создана Уральская когорта аварийно-облучённого населения (УКАОН) [11]. В неё включены лица, облучённые в результате радиационных ситуаций на Южном Урале: сброс жидких радиоактивных отходов в реку Течу ПО «Маяк» 1949–1956 гг.; взрыв хранилища радиоактивных отходов ПО «Маяк» 29.09.1957 г., образовавший Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) [12–14]. Численность УКАОН ~ 63 тысяч человек, а период наблюдения за членами когорты составляет около 70 лет. Также сотрудниками эпидемиологической лаборатории УНПЦ РМ ФМБА России собран регистр информации о курении для населения, проживавшего на территории наблюдения. Однако собранная информация охватывает только примерно 30% чле-

Ахмадуллин Роман Марселевич

Челябинский государственный университет

Адрес для переписки: 454001, Россия, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129; E-mail: rommrr3102@bk.ru

нов УКАОН. Поскольку в регистр входят сельские жители Южного Урала, сопоставимые с членами УКАОН по возрасту, национальному составу, периоду проживания, социальным условиям и семейным традициям, то результаты анализа половозрастных особенностей курения можно распространить на остальные 70 % членов УКАОН. Таким образом, встала задача создать модель вероятности и интенсивности курения среднестатистического члена когорты. При разработке модели мы ввели понятие дозы курения – меры воздействия, соответствующей среднему количеству сигарет в день для условного члена когорты определённого пола и возраста.

Цель исследования – разработка половозрастной модели дозы курения членов УКАОН. Для достижения поставленной цели были проанализированы вероятность и интенсивность курения людей разного пола и возраста на основе данных регистра курения и рассчитана доза курения.

Материалы и методы

Регистр курения

Использован регистр информации о курении для лиц, проживавших на территории наблюдения. Регистр составлен

на основе данных опроса пациентов клиники УНПЦ РМ и анкетирований, проводившихся с 1952 по 2023 гг. Он содержит 48 694 записи для 24 587 человек 1889–1997 годов рождения. Причем 80 % из них соответствует относительно узкому (35-летнему) диапазону годов рождения с 1927 по 1962 гг. Часть людей опрашивались несколько раз в разные годы, поэтому количество записей больше, чем количество человек.

Для каждого человека содержатся следующие данные: дата рождения, пол, национальность, статус курения (курит/не курит), год начала курения, год окончания курения, интенсивность курения (число выкуренных сигарет в день), дата анкетирования, источник информации (лично или со слов родственников). Так как анкетирование, проводившееся в разные годы разными исследователями, не было стандартизированным, то не у всех курильщиков есть дополнительная информация об интенсивности и стаже курения.

У части людей есть информация о различной интенсивности курения в разные периоды жизни. В таблице 1 представлена общая характеристика регистра курения и отдельно выборки тех, кто имеет статус курильщика.

Таблица 1

Статистические характеристики регистра курения и выборки курильщиков

[Table 1]

Summary statistics of the smoking register and the sample of smokers]

Параметр [Parameter]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Славяне [Slavs]	Тюркиты [Turkites]	Всего [Total]
Количество людей [Number of people]	10 006	14 581	14 334	10 253	24 587
Доля в регистре, % [Register fraction, %]	41	59	58	42	100
Курящие [Smokers]	7 156	888	4 794	3 250	8 044
Доля курящих, % [Smoker fraction, %]	89	11	60	40	100

Показатели курения

Вероятность курения $P_{sex}(T)$ для лиц определённого пола (sex) и возраста (T) определялась как отношение количества курильщиков к общему количеству людей того же пола и возраста. Средняя интенсивность курения $I_{sex}(T)$, как функция от возраста, определялась сглаживанием возрастных зависимостей интенсивности курения отдельно для мужчин и женщин в приближении сигмоидальной кривой роста.

Средняя доза курения $D_{sex}(T)$ для определённого возраста (T) и пола (sex) находится произведением вероятности курения $P_{sex}(T)$ на среднюю интенсивность курения $I_{sex}(T)$:

$$D_{sex}(T) = I_{sex}(T) \cdot P_{sex}(T) \quad (1)$$

Формирование групп курильщиков для анализа интенсивности курения

К курильщикам относили лиц, о которых имелись сведения, что они когда-либо курили. Для анализа интенсивности курения были выбраны лица, имевшие статус курильщика с известной интенсивностью и сроками курения. Если информация о сроках курения отсутствовала и не было данных повторных опросов, учитывалось только курение в год

опроса. Для 34 % (около 2 000 человек) имелись данные повторных анкетирований, проводимых в разные годы. Повторные данные позволили оценить надёжность полученной информации. У повторных записей, источником которых были показания родственников, расхождения с информацией от самих курильщиков наблюдались в более 15 % случаев. Повторные записи на основе личных свидетельств в 95 % случаев совпадали. Поэтому информация от родственников в дальнейший анализ не включалась. Если имелись расхождения в возрасте начала курения, дата начала принималась по более раннему анкетированию; при расхождении информации о прерывании курения – по дате ближайшего по времени анкетирования. После цензурирования данных количество людей, включённых в анализ вероятности курения, стало равным 22 124. Выборка курящих сократилась до 7 269 человек (12 870 записей). В таблице 2 представлена характеристика цензурированной выборки курильщиков. При этом распределение цензурированных данных по полу и национальности (табл. 1) не изменилось. Как видно из таблицы 2, более 75 % записей, относящихся к курильщикам, имеют информацию не только о статусе, но и об интенсивности курения.

Описание цензурированных данных регистра курения и выборки курильщиков

[Table 2]

Summary of censored data of smoking register and the sample of smokers]

Параметр [Parameter]	Регистр курения [Smoking register]		Выборка курильщиков [Sample of smokers]	
	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
Средний возраст на момент анкетирования \pm стандартное отклонение, лет [Average age at the time of survey \pm standard deviation, years]	45 \pm 18	47 \pm 19	48 \pm 15	45 \pm 14
Максимальный возраст на момент анкетирования, лет [Maximum age at time of survey, years]	93	96	91	81
Имеется информация об интенсивности курения [Available information on smoking intensity]				
% людей [% of people]	23,1		78,3	
% записей [% of records]	20,1		76,1	
Повторные данные анкетирования об интенсивности курения, % людей [Repeated survey data on smoking intensity, % of people]	8	15,2	27	51,4

Доля курящих мужчин на порядок больше доли курящих женщин (71,5 % > 6,1 %), а доля курящих тюркитов сопоставима с долей курящих славян (31,7 % \approx 33,4 %). В связи с этим, национальные особенности курения далее не рассматривались, а половые отличия учитывались.

Некоторые записи об интенсивности курения относились к большому возрастному интервалу, включая детский возраст. Например, имеется запись, где период курения мужчины соответствует интервалу от 6 лет до 66 лет, при этом интенсивность курения – 20 сигарет в день. Очевидно, что интенсивность курения 20 сигарет

в день в возрасте 6 лет маловероятна, и, скорее всего, столь интенсивное курение соответствует возрасту на момент анкетирования. И напротив, есть запись, где период курения был от 8 до 30 лет с интенсивностью одна сигарета в день. Не исключено, что такая интенсивность курения приведена на возраст 8 лет. Для обработки таких данных были проанализированы распределения интенсивностей курения при разных возрастах начала курения. На рисунке 1 показана гистограмма распределения интенсивностей курения при начале курения в 4–6 лет и 25–35 лет.

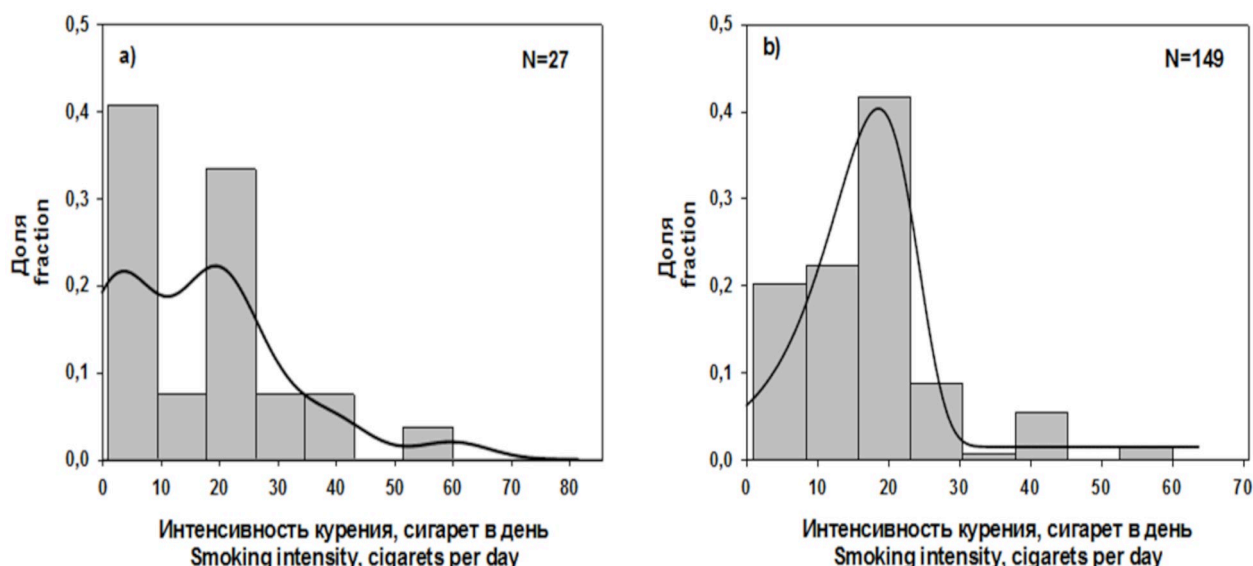


Рис. 1. Распределения значений интенсивностей курения для записей с различными возрастами начала курения: 4-6 лет (а); 25-35 лет (б). Линии – сглаживание гистограмм

[Fig. 1. Distributions of intensity of smoking values for records with different smoking initiation ages: 4-6 years old (a); 25-35 years old (b). The lines are smoothing of histograms]

Как видно из рисунка 1, для ранних возрастов начала курения наблюдается выраженная бимодальность, которую мы интерпретируем как неунифицированное приписывание анкетированными интенсивности курения либо на начало, либо на конец заявленного периода курения. Начиная с 18 лет начала курения выраженной бимодальности в распределениях не наблюдалось. Для случаев начала курения в детском возрасте (моложе 18 лет), заявленная интенсивность курения сравнивалась с минимумом между модами (рис. 1а) и, в соответствии с попаданием в диапазон «меньше» или «больше либо равно» этой величины, она приписывалась началу или концу интервала курения соответственно. При начале курения в возрасте 18 лет и старше указанная при анкетировании интенсивность курения приписывалась всему интервалу курения. Окончательно в анализ интенсивности курения для построения модели возрастной зависимости вошли записи о 2 881 мужчине и 275 женщинах.

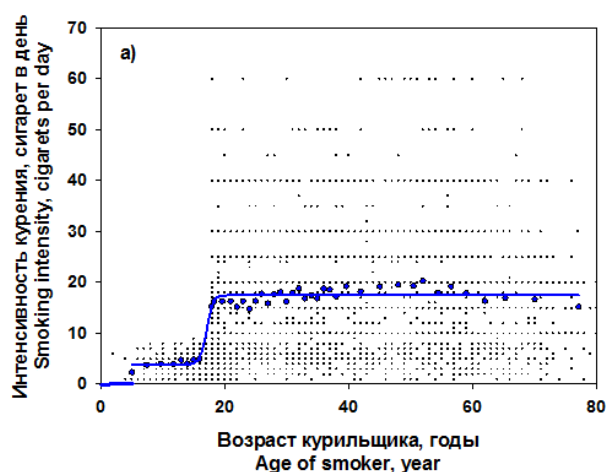


Рис. 2. Зависимость интенсивности курения от возраста у мужчин (а) и женщин (б). Точки – индивидуальные данные. Кружки – средне-групповые значения. Сплошные линии – эмпирическая модель, полученная сглаживанием средне-групповых данных (синяя – мужчины, красная – женщины)

[Fig. 2. Dependence of smoking intensity on age in men (a) and women (b). Points are individual data. Circles are average group values. Solid lines are an empirical model obtained by smoothing average group data (blue for men, red for women)]

Согласно рисунку 2а, средняя интенсивность курения мужчин увеличивается с возрастом, после 20 лет почти не изменяется и в среднем равняется 17,5 сигарет в день.

Модель возрастной зависимости интенсивности курения для женщин $I_f(T)$ от возраста (T) представлена на рисунке 2б. После 13 лет данные наилучшим образом сглаживаются кривой сигмоидальной формы, описываемой формулой (2) ($r^2 = 0,546$, $p < 0,001$; $W = 0,9132$):

$$I_f(T) = \begin{cases} 0, & T < 13 \\ 3,15, & 13 \leq T \leq 15,8 \\ 3,15 + 11,7 * \left(1 - e^{-\left(\frac{T-15,8}{11,7}\right)^{0,28}}\right), & T > 15,8 \end{cases} \quad (3)$$

Согласно модели (рис. 2б), средняя интенсивность курения увеличивается с возрастом, после 45 лет практически не изменяется и в среднем равняется 10 сигаретам в день.

Результаты и обсуждение

Описание половозрастных зависимостей интенсивности курения в группе курильщиков

Возрастная зависимость интенсивности курения для мужчин $I_m(T)$ от возраста (T) представлена на рисунке 2а. Несмотря на большой индивидуальный разброс, средние значения интенсивностей в возрастных группах хорошо сглаживаются кривой сигмоидальной формы ($r^2 = 0,946$; $p < 0,0001$; нормальность распределения остатков по Шапиро-Уилку $W = 0,9891$), определенной на интервале старше 5 лет (минимальный возраст начала курения):

$$I_m(T) = \begin{cases} 0, & T \leq 5 \\ 3,85 + \frac{13,6}{(1 + \exp(-(T - 17,3)/0,49))^{0,83}}, & T > 5 \end{cases} \quad (2)$$

Описание половозрастных зависимостей вероятности курения

На рисунке 3 представлены результаты расчета вероятностей курения для мужчин и женщин в зависимости от возраста. Как уже упоминалось выше, статус курения у многих людей был известен только на момент опроса. Поэтому количество данных для оценок вероятности курения отличалось для разных возрастных интервалов. Максимальное количество данных имелось на возраст 40 лет (мужчины – 8 487 человек, женщины – 13 192 человека); минимальное – на возраст 63 года (мужчины – 1 884 человека, женщины – 3 821 человек).

Из рисунка 3 видно, что вероятность курения увеличивается с возрастом до 30 лет, а затем начинает уменьшаться. Это характерно как для мужчин, так и для женщин. У мужчин в диапазоне 25–35 лет она больше 70 %. И даже снижаясь с возрастом, она остается выше 43 %. Для женщин вероятность курения в любом возрасте не превышала 5 %.

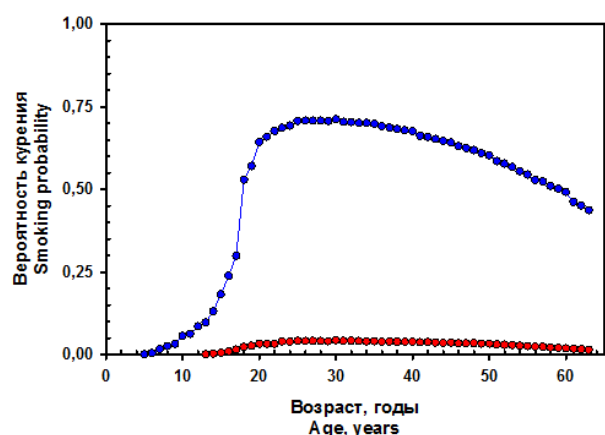


Рис. 3. Возрастная зависимость вероятности курения для мужчин (синим) и женщин (красным) для исследуемого населения

[Fig. 3. Age dependence of smoking probability for men (blue) and women (red) for population under study]

Описание средней дозы курения в зависимости от пола и возраста

Для каждого возраста и пола была рассчитана средняя доза курения в популяции согласно выражению (1). Полученная возрастная зависимость средней дозы курения для мужчин и женщин показана на рисунке 4.

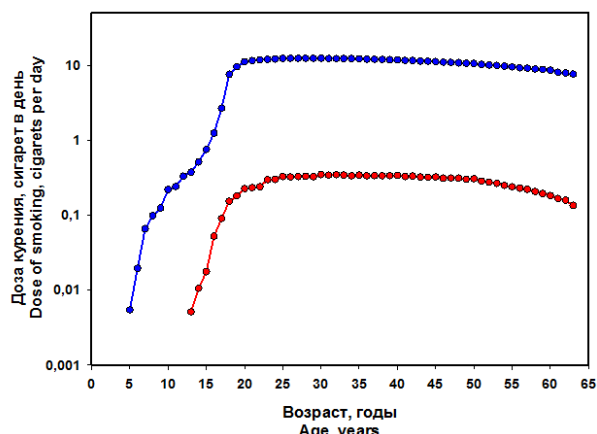


Рис. 4. Возрастная зависимость средне-популяционной дозы курения для мужчин (синим) и женщин (красным)

[Fig. 4. Age dependence of the population-average dose of smoking for men (blue) and women (red)]

Средне-популяционная доза курения как у мужчин, так и у женщин сначала увеличивается с возрастом, но после 50 лет несколько уменьшается. При этом для мужчин средняя доза курения до 18 лет не превышает 3 сигарет в день; в 18–20 лет она составляет чуть меньше 10 сигарет в день; в 20–50 лет она составляет 10–12 сигарет в день; а к 65 годам доза курения монотонно снижается до 7,5 сигарет в день. Для женщин средняя доза курения на всем диапазоне возрастов не выше одной сигареты в день. Согласно полученной модели, ожидаемая доза курения среднестатистического мужчины в УКАОН (возраст 34 года) – 12,2 сигарет в день; доза среднестатистической женщины в УКАОН (возраст 38 лет) – 0,3 сигарет в день.

Снижение дозы курения с возрастом связано со снижением доли курильщиков (вероятности курения). Это может быть связано с тем, что многие с возрастом бросали курить. Есть вероятность, что наиболее старые и больные люди могли не участвовать в опросах, что может приводить к смещенным оценкам. Однако, во избежание ошибок, связанных с невозможностью получения репрезентативной группы для пожилых людей, мы ограничиваем область определения возрастными моложе 64 лет. Половозрастная модель дозы курения не сглаживается простой функцией и будет использована в табличном виде.

Формулировка алгоритма учёта фактора курения

Полученные модели возрастных зависимостей интенсивности курения, вероятности курения и дозы курения не являются универсальными и эмпирически описывают только исследуемое население 1927–1962 годов рождения. В период 1927–1962 гг. попала и Великая Отечественная война, и тяжелый период послевоенного восстановления, и периоды относительного благополучия. Можно предположить, что те, кто родился в начале 1930-х годов и во взрослом возрасте застали войну, могут иметь другие привычки, связанные с курением, нежели те, кто родился в начале 1960-х. Однако чрезвычайно высокая индивидуальная вариативность, которую, например, можно наблюдать по разбросу точек на рисунке 2, не позволяет обнаружить существенные различия между поколениями. Например, имеет место статистически значимая, но весьма слабая корреляция (по Пирсону) между годом рождения и интенсивностью курения ($r = -0,135$; $p < 0,0001$). То есть имеет место слабая тенденция к снижению интенсивности курения у курильщиков более поздних годов рождения. Однако разделение данных на группы людей с разными годами рождения приводят к снижению статистической мощности, но не демонстрируют различий между подгруппными моделями интенсивности курения (разница менее 8 %). Поэтому для описания уровней курения в УКАОН для лиц исследованных годов рождения было принято решение не усложнять модель и не включать год рождения как независимую переменную.

Обнаруженные тенденции снижения количества курящих от года рождения и возраста (включая возраст начала курения) хорошо согласуются с литературными данными, описывающими наблюдения в других регионах России [15–17]. Тем не менее, следует с осторожностью экстраполировать полученные результаты на другие территории и годы рождения.

Считая, что характеристики курения у членов УКАОН репрезентативно отражены в регистре факторов риска населения наблюдаемой территории, использованном в текущем исследовании, был сформулирован алгоритм учёта фактора курения при совместном анализе радиационных и нерадиационных рисков:

1. Если у человека есть индивидуальные данные интенсивности курения, то следует использовать их в качестве индивидуальной дозы курения.
2. Если известно, что человек не курит, то доза курения равна нулю.
3. Если известно, что человек курил, но неизвестна интенсивность курения, то в качестве дозы для человека определенного пола и возраста следует использовать среднюю интенсивность курения согласно выражениям (2) и (3).
4. Если неизвестен статус курения, то для человека определенного пола и возраста следует использовать дозу

курения согласно рисунку 4. Для лиц старше 64-х лет принимаются фиксированные значения дозы курения: у мужчин – 7,5 сигарет в день; у женщин – 0,1 сигарет в день.

Индивидуализированные таким образом дозы курения будут использованы при анализе рисков заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований в комбинации с дозой ионизирующего излучения. Предполагается использовать регрессионные модели Кокса и Пуассона [18]:

$$h(t) = h_0(t) \cdot \exp(\beta_{rad} \cdot D_{rad} + \beta_{smk} \cdot D_{smk})$$

$$h(t) = \exp(\beta_1 + \beta_2 \cdot t^2 + \beta_{rad} \cdot D_{rad} + \beta_{smk} \cdot D_{smk})$$

где D_{rad} и D_{smk} – дозы радиационные и курения соответственно; β_{rad} и β_{smk} – параметры влияния доз радиации и курения соответственно; в регрессионной модели Кокса $h_0(t)$ – исходный уровень риска (базовый уровень); β_1 и β_2 – линейный и квадратичный члены возрастной зависимости риска в модели Пуассона.

Дозы ионизирующего излучения для жителей Уральского региона оценивались также по усредненным данным доступных измерений и индивидуализировались по полу и возрасту (а также по месту проживания в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территорий). Индивидуальные измерения содержания ^{90}Sr в биопробах или во всем организме были доступны для 40 % членов объединенной когорты р. Течи и ВУРС [19]. Таким образом, предлагаемый метод оценки дозы курения гармонизирован с методом расчета доз ионизирующего излучения.

Заключение

Полученные результаты будут использованы для дальнейших эпидемиологических исследований по оценке совместного воздействия ИИ и курения на заболеваемость и смертность в УКАОН от рака лёгкого и других нозологий. В модель радиационного риска будут включены две независимые переменные – доза облучения и доза курения. Это позволит оценить сочетанное влияние обоих факторов.

Настоящее исследование выполнено для конкретного населения (сельские жители, родившиеся в основном в советский период времени). Поскольку социокультурные, экономические факторы, а также современные ограничительные меры государственной политики в отношении курения влияют на формирование этой вредной привычки, то следует с осторожностью напрямую экстраполировать полученные результаты на другие территории и годы рождения людей. Тем не менее, метод оценки дозы курения, предлагаемый в настоящем исследовании, может применяться для учёта фактора курения в других эпидемиологических когортах в случаях недостаточного количества индивидуальных данных. В дальнейшем планируется оценить неопределённость модели и ее влияние на совместный анализ радиационных и нерадиационных рисков.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Ахмадуллин Р.М. – статистическая обработка данных, написание рукописи, редактирование рукописи;

Шишкина Е.А. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, написание рукописи, редактирование рукописи, утверждение окончательного варианта публикуемой версии рукописи;

Крестинина Л.Ю. – сбор и обработка материала, редактирование рукописи, утверждение окончательного варианта публикуемой версии рукописи.

Благодарности

Авторы благодарят коллектив эпидемиологической лаборатории за предоставление информации о курении из регистра нерадиационных факторов риска облученного населения, сформированного в течение нескольких десятилетий.

Информация о конфликте интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело финансовой поддержки.

Литература

1. Карпин А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П. А. Герцена, филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. 252 с.
2. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer statistics, 2022 // *Cancer Journal for Clinicians*. 2022. Vol. 72, No. 1. P. 7-33. DOI:10.3322/caac.21708.
3. Ferlay J., Colombet M., Soerjomataram I. et al. Cancer statistics for the year 2020: An overview // *International Journal of Cancer*. 2021. Vol. 149, No. 4. P. 778–789. DOI:10.1002/ijc.33588.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2019 Sources and effects of ionizing radiation Report to the general assembly, with scientific annexes. New York: United Nations, 2020. 312 p.
5. Туков А.Р., Шафранский И.Л., Бирюков А.П. и др. Риск смерти от рака легких среди ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, работников предприятий атомной промышленности // *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2022. Т. 11, № 5. С. 25-30. DOI:10.17116/onkolog20221105125.
6. Hunter N., Haylock R. Extended analysis of solid cancer incidence among nuclear industry workers in the UK 1955-2011: comparison of workers first hired in earlier and later periods // *Journal of Radiological Protection*. 2024. Vol. 44, No. 2. DOI:10.1088/1361-6498/ad4c72.
7. ВОЗ. Пак лёгкого. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/lung-cancer> (Дата обращения: 25.11.2024).
8. La Vecchia C., Franceschi S., Bosetti C. et al. Time Since Stopping Smoking and the Risk of Oral and Pharyngeal Cancers // *Journal of the National Cancer Institute*. 1999. Vol. 91, No. 8. P. 726-728. DOI:10.1093/jnci/91.8.726a.
9. Reitsma M., Kendrick P., Anderson J. et al. Reexamining Rates of Decline in Lung Cancer Risk after Smoking Cessation. A Meta-analysis // *Annals of the American Thoracic Society*. 2020. Vol. 17, No. 9. P. 1126-1132. DOI:10.1513/annalsats.201909-659oc.
10. Tindle H.A., Duncan M.S., Greevy R.A. et al. Lifetime smoking history and risk of lung cancer: Results from the Framingham Heart Study // *Journal of the National Cancer Institute*. 2018. Vol. 110, No. 11. P. 1201-1207. DOI:10.1093/jnci/djy041.
11. Силкин С.С., Крестинина Л.Ю., Старцев В.Н., Аклев А.В. Уральская когорта аварийно-облученного населения // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2019. Т. 21, № 3. С. 393-402.
12. Дегтева М.О., Шагина Н.Б., Воробьева М.И. и др. Современное представление о радиоактивном загрязнении реки Теча в 1949-1956 гг. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2016. Т. 56, № 5. С. 523-534. DOI:10.7868/s0869803116050039.
13. Авраменко М.И., Аверин А.Н., Лобойко Б.Г. и др. Авария 1957 г. Оценка параметров взрыва и анализ характеристик радиационного загрязнения территории // *Вопросы радиационной безопасности*. 1997. № 3. С. 18-28.
14. Соловьев В.Ю., Уйба В.В., Самойлов А.С. и др. Радиационные инциденты на территории бывшего СССР в 1950-1991 гг. и в Российской Федерации в 1992-2016 гг. с пострадавшими с диагнозом "острая лучевая болезнь" (обзор) // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017. № 2. С. 119-127.

15. Баланова Ю.А., Имаева А.Э., Шальнова С.А. и др. Поведенческие факторы риска в российской популяции: фокус на потребление табака. Результаты исследования ЭССЕ-РФ3 // Профилактическая медицина. 2024. Т. 27, № 1. С. 36-44. DOI;10.17116/profmed20242710136.
16. Бабанов С.А., Захарова Н.О. Табакокурение среди лиц старшего возраста // Клиническая геронтология. 2006. № 3. С. 46-48.
17. Постникова Л.Б., Доровской И.А., Костров В.А. и др. Эпидемиологическая характеристика табакокурения и сравнительная оценка состояния респираторной системы у молодых мужчин // Пульмонология. 2016. Т. 26, № 1. С. 52-58. DOI;10.18093/0869-0189-2016-26-1-52-58.
18. Kazutaka D., Shinji Y. Impact of confounding by smoking on cancer risk estimates in cohort studies of radiation workers: a simulation study // Journal of Radiation Research. 2025. Vol. 66, No. 2. P. 115-128. DOI;10.1093/jrr/rraf012.
19. Шишкина Е.А., Толстых Е.И., Дегтева М.О. и др. Индивидуализация доз внутреннего облучения для жителей прибрежных сел реки Теча: усовершенствование алгоритма расчетов / Радиобиология и экологическая безопасность – 2023: материалы международной научной конференции (25–26 мая 2023 г., Гомель). Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 307-309.

Поступила: 11.05.2025

Ахмадуллин Роман Марселевич – студент магистратуры программы 06.04.01 «Радиационная биология» биологического факультета, Челябинский государственный университет, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 454001, Челябинск, Россия, ул. Братьев Кашириных, д. 129; E-mail: rommrr3102@bk.ru

ORCID: 0009-0004-9488-9599

Шишкина Елена Анатольевна – доктор биологических наук, доцент кафедры радиационной биологии биологического факультета, Челябинский государственный университет, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; исполняющая обязанности заведующей биофизической лабораторией, Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Федеральное медико-биологическое агентство, Челябинск, Россия

ORCID: 0000-0003-4464-0889

Крестинина Людмила Юрьевна – кандидат медицинских наук, заведующая эпидемиологической лабораторией, Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Федеральное медико-биологическое агентство, Челябинск, Россия

ORCID: 0000-0003-0497-5879

Для цитирования: Ахмадуллин Р.М., Шишкина Е.А., Крестинина Л.Ю. Половозрастная модель интенсивности курения населения, облученного на Южном Урале // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 4. С. 41–48. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-41-48

Age-sex model of smoking intensity for the population exposed to radiation in the Southern Urals

Roman M. Akhmadullin¹, Elena A. Shishkina^{1,2}, Lyudmila Yu. Krestinina²

¹ Chelyabinsk State University, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Chelyabinsk, Russia

² Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

The study of smoking probability and intensity in the Ural region is for the subsequent analysis of combined smoking and radiation effect on lung cancer risk. The smoking dose - number of cigarettes per day smoked by a conditional cohort member of a certain sex and age (the product of smoking probability and an average smoking intensity) was introduced. The study purpose is developing a sex- and age-specific smoking dose model. Materials and Methods: The smoking information register was used (48,694 records for 24,587 Ural residents born in 1889–1997). Smokers are the people who had ever smoked. The probability theory, distribution analysis and regression analysis were used. Results and Discussion: The smoking intensity increases up to 40 years, and then becomes constant and equal to 17.5 and 10 cigarettes per day for men and women, respectively. The smoking probability increases with age up to 30 years, and then it decreases. The smoking probability in men over 18 years exceeds 40%. For women, the smoking probability is ≤ 5% at any age. Smoking doses of a conditional men and women aged 35 years are 12.2 and 0.3 cigarettes per day, respectively. An algorithm for smoking dose assigning was formulated to analyze the effects in the South Urals Population Exposed to Radiation cohort. The results should be extrapolated to other territories and generations with caution. Conclusion: The proposed method of smoking dose assigning can be used in other epidemiological cohorts with insufficient individual data. Evaluation of model uncertainty and model impact on the joint analysis of radiation and non-radiation risks is the further directions of the study.

Key words: smoking, smoking intensity, smoking probability, smoking dose, lung cancer, algorithm of accounting of smoking.

Roman M. Akhmadullin

Chelyabinsk State University

Address for correspondence: 129, Bratiev Kashirinykh Str., Chelyabinsk, 454001, Russia; E-mail: rommrr3102@bk.ru

Authors' personal contribution

Akhmadullin R.M. – data processing, writing manuscript, editing manuscript.

Shishkina E.A. – the concept and design of the study, statistical data processing, writing manuscript, editing manuscript, approval of manuscript final version.

Krestinina L.Yu. – collection and processing of material, editing manuscript, approval of manuscript final version.

Acknowledgments

The authors thank the staff of the epidemiological laboratory for providing information on smoking from the register of non-radiation risk factors of the exposed population, formed over several decades.

The authors express the gratitude to the anonymous reviewers for the work done.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

The study had no financial support.

References

- Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO. Malignant neoplasms in Russia in 2019 (morbidity and mortality). Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute, branch of the Federal State Budgetary Institution "NMIC of Radiology" of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2020. 252 p. (In Russian).
- Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, Jemal A. Cancer statistics. 2022. *Cancer Journal for Clinicians*. 2022;72(1): 7-33. DOI:10.3322/caac.21708.
- Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, Parkin DM, Piñeros M, Znaor A, et al. Cancer statistics for the year 2020: An overview. *International Journal of Cancer*. 2021;149(4): 778–789. DOI:10.1002/ijc.33588.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2019 Sources and effects of ionizing radiation Report to the general assembly, with scientific annexes. New York: United Nations; 2020. 312 p.
- Tukov AR, Shafransky IL, Biryukov AP, Prokhorova ON, Orlov YuV. Risk of death from lung cancer among the liquidators of the consequences of the Chernobyl accident, employees of the enterprises of the nuclear industry. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Herzena = P.A. Herzen Journal of Oncology*. 2022;11(5): 25-30. (In Russian). DOI:10.17116/onkolog20221105125.
- Hunter N, Haylock R. Extended analysis of solid cancer incidence among nuclear industry workers in the UK 1955-2011: comparison of workers first hired in earlier and later periods. *Journal of Radiological Protection*. 2024;44(2). DOI:10.1088/1361-6498/ad4c72.
- WHO. Lung cancer; 2023. Available from: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/lung-cancer> [Accessed 25 November 2024]. (In Russian).
- La Vecchia C, Franceschi S, Bosetti C, Levi F, Talamini R, Negri E. Time Since Stopping Smoking and the Risk of Oral and Pharyngeal Cancers. *Journal of the National Cancer Institute*. 1999;91(8): 726-728. DOI:10.1093/jnci/91.8.726a.
- Reitsma M, Kendrick P, Anderson J, Arian N, Feldman R, Gakidou E, et al. Reexamining Rates of Decline in Lung Cancer Risk after Smoking Cessation. A Meta-analysis. *Annals of the American Thoracic Society*. 2020;17(9): 1126-1132. DOI:10.1513/annalsats.201909-659oc.
- Tindle HA, Duncan MS, Greevy RA, Vasan RS, Kundu S, Massion PP, et al. Lifetime smoking history and risk of lung cancer: Results from the Framingham Heart Study. *Journal of the National Cancer Institute*. 2018;110(11): 1201-1207. DOI:10.1093/jnci/djy041.
- Silkin SS, Krestinina LYu, Startsev NV, Akleyev AV. Ural cohort of emergency-irradiated population. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy = Medicine of Extreme Situations*. 2019;21(3): 393-402. (In Russian).
- Degteva MO, Shagina NB, Vorobeva MI, Shishkina EA, Tolstykh EI, Akleyev AV. Modern understanding of radioactive contamination of the Techa River in 1949-1956. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology*. 2016;56(5): 523-534. DOI:10.7868/s0869803116050039. (In Russian).
- Avramenko MI, Averin AN, Loboiko BG, Filin VP, Glagolenko YuV, Drozhko EG, et al. Accident of 1957 Assessment of explosion parameters and analysis of characteristics of radiation pollution of the territory. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti = Radiation Safety Issues*. 1997;3: 18-28. (In Russian).
- Solovyov VYu, Uiba VV, Samoilov AS, Bushmanov AYU, Ilin LA, Guskova AK. Radiation incidents on the territory of the former USSR in 1950-1991 and in the Russian Federation in 1992-2016 with victims diagnosed with acute radiation sickness (review). *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy = Emergency medicine*. 2017;2: 119-127. (In Russian).
- Balanova YuA, Imaeva AE, Shalnova SA, Kutsenko VA, Maksimov SA, Soplenkova AG, et al. Behavioral risk factors in the Russian population: focus on tobacco consumption. The ESSE-RF3 study results. *Profilakticheskaya meditsina = Preventive medicine*. 2024;27(10): 36-44. DOI:10.17116/profmed20242710136. (In Russian).
- Babanov SA, Zakharova NO. Tobacco smoking among older people. *Klinicheskaya gerontologiya = Clinical Gerontology*. 2006;3: 46-48. (In Russian).
- Postnikov LB, Dorovskoy IA, Kostrov VA, Manyukova ET, Dolbin IV, Kuryshva MA. Epidemiology of tobacco smoking and assessment of respiratory status of young men. *Pulmonologiya = Pulmonology*. 2016;26(1): 52-58. DOI:10.18093/0869-0189-2016-26-1-52-58. (In Russian).
- Kazutaka D, Shinji Y. Impact of confounding by smoking on cancer risk estimates in cohort studies of radiation workers: a simulation study. *Journal of Radiation Research*. 2025;66(2): 115–128. DOI:10.1093/jrr/rraf012.
- Shishkina EA, Tolstykh EI, Degteva M.O. Individualization of internal exposure doses for the residents of nearshore villages of the Techa River: improvement of the calculation algorithm. In *Radiobiology and Environmental Safety – 2023: proceedings of the International Scientific Conference (May 25-26, 2023, Gomel)*. Minsk: IVC of the Ministry of Finance; 2023. 307-309.

Received: May 11, 2025

For correspondence: Roman M. Akhmadullin – Master's Degree Student of program 06.04.01 "Radiation Biology" of the Faculty of Biology, Chelyabinsk state university, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (129, Bratiev Kashirinykh Str., Chelyabinsk, 454001, Russia; E-mail: rommr3102@bk.ru)
ORCID: 0009-0004-9488-9599

Elena A. Shishkina – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Radiation Biology of the Faculty of Biology, Chelyabinsk State University, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; Acting Head of the Biophysical Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0003-4464-0889

Lyudmila Yu. Krestinina, Candidate of Medical Sciences, Head of the Epidemiological Laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0003-0497-5879

For citation: Akhmadullin R.M., Shishkina E.A., Krestinina L.Yu. Age-sex model of smoking intensity for the population exposed to radiation in the Southern Urals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 2. P. 41–48. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-41-48