

УДК 612.111.45

СИЗОВА Елена Николаевна, доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой медико-биологических дисциплин Вятского социально-экономического института. Автор 198 научных публикаций, в т. ч. 4 монографий

КУЗНЕЦОВА Дарья Александровна, аспирант кафедры медико-биологических дисциплин факультета физической культуры Вятского государственного гуманитарного университета. Автор 14 научных публикаций, в т. ч. одной монографии (в соавт.)

ЦИРКИН Виктор Иванович, доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии Казанского государственного медицинского университета. Автор 450 научных публикаций, в т. ч. 17 монографий

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭРИТРОЦИТЫ ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И СРЕДНИХ ШИРОТ

В литературе отсутствуют данные о зависимости влияния высокого уровня техногенного загрязнения на организм человека от географической широты места проживания. Поэтому была поставлена цель изучить его влияние на функциональное состояние эритроцитов 14-летних девочек ($n = 374$) и мальчиков ($n = 380$), проживающих в г. Кирове и г. Яранске (средние широты) и в г. Ухте и пос. Седью (Европейский Север). Установлено, что эти территории не отличаются существенно между собой по социально-экономическим и демографическим показателям, но отличаются по климатогеографическим показателям (г. Киров и г. Яранск от г. Ухты и пос. Седью) и по уровню техногенного загрязнения. В частности, Яранск и Седью можно рассматривать как населенные пункты с низким уровнем техногенного загрязнения, а г. Киров и г. Ухта – с высоким. При этом концентрации формальдегида (в г. Кирове) и бенз(а)пирена (в г. Кирове и г. Ухте) превышали ПДК. Установлено, что у подростков пос. Седью и г. Яранска не отличаются концентрации гемоглобина, содержание гемоглобина в эритроците и СОЭ, но отличается количество эритроцитов (у мальчиков в пос. Седью ниже, чем в г. Яранске). Следовательно, проживание на Европейском Севере при низком уровне техногенного загрязнения существенно не влияет на состояние эритроцитов. Высокий уровень техногенного загрязнения в средних широтах (г. Киров в сравнении с г. Яранском) снижает у подростков СОЭ и повышает количество эритроцитов и концентрацию гемоглобина, не влияя на содержание гемоглобина в одном эритроците, а на Европейском Севере (г. Ухта в сравнении с пос. Седью) не влияет на СОЭ, но повышает количество эритроцитов (мальчики), концентрацию гемоглобина и содержание гемоглобина в одном эритроците (девочки). Таким образом, высокий уровень техногенного загрязнения можно расценивать как фактор, вызывающий гипоксию, адаптация к которому у подростков зависит от географической широты проживания и пола.

Ключевые слова: эритроциты подростков, гемоглобин, гипоксия, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерод, оксид азота, формальдегид, бенз(а)пирен.

Известно, что показатели, характеризующие механизмы адаптации, в т. ч. состояние эритроцитов людей, проживающих в условиях средних широт, изменяются под влиянием техногенного загрязнения. Показано, что техногенные загрязнения вызывают гемическую гипоксию [1–5]. Так, в среде с повышенным содержанием во вдыхаемом воздухе свинца снижаются средний объем, площадь и диаметр эритроцитов человека, но увеличивается средняя концентрация гемоглобина в них [3]. Известно также, что загрязнение воздуха формальдегидом и взвешенными частицами вызывает увеличение концентрации гемоглобина, но не изменяет количество эритроцитов в крови человека [1, 4]. Данные литературы о влиянии техногенного загрязнения на эритроциты людей, проживающих на Европейском Севере, малочисленны [6], а данные о влиянии проживания людей в этих условиях, полученные при допущении отсутствия техногенного загрязнения, неоднозначны. По мнению одних авторов, длительное проживание на Европейском Севере не меняет показатели состояния эритроцитов [6]; другие считают, что оно существенно изменяет их подобно различным факторам, вызывающим гипоксию [7–9]. Так, Н.П. Александров утверждает [8], что при проживании на Севере у мужчин, как и у женщин, увеличивается количество эритроцитов и концентрация гемоглобина вследствие адаптации к гипоксии. До настоящего времени уделялось мало внимания исследованию влияния техногенного загрязнения на состояние эритроцитов подростков, в т. ч. с рождения проживающих в разных географических условиях, в частности, в средних широтах и на Европейском Севере. Так, Ю.Г. Солонин с соавторами [10] провели исследование подростков 14–15 лет, проживающих на Европейском Севере (Республика Коми) вблизи целлюлозно-бумажного комбината. Они показали, что концентрация гемоглобина у них была выше, чем у подростков, проживающих на относительно экологически чистой территории этого района. С учетом перспектив освоения Севера и вышесказанного в нашей работе была поставлена цель – исследовать влияние техногенного загрязнения

на показатели, характеризующие состояние эритроцитов девочек и мальчиков 14 лет, проживающих с рождения либо на Европейском Севере, либо в средних широтах.

Материалы и методы. Обследовано 754 подростка 14 лет, из которых 320 (162 девочки и 158 мальчиков) проживали в г. Кирове (58°36' с. ш.); 163 (80 девочек и 83 мальчика) – в г. Яранске (57°18' с. ш.); 221 (107 девочек и 154 мальчика) – в г. Ухте (63°34' с. ш.); и 50 (25 девочек и 25 мальчиков) – в пос. Седью (63°33' с. ш.). Выборки составляли по принципу рандомизации, с обязательным условием постоянного проживания (с рождения) подростков на соответствующей территории: либо в средних широтах (Киров и Яранск), либо на Европейском Севере (Ухта, Седью).

Для всех населенных пунктов нами проанализированы концентрации за 5 лет (с 2006-го по 2010 год) шести основных загрязняющих веществ (PM₁₀, PM_{2,5}): взвешенных веществ, SO₂, CO, NO₂, формальдегида и бенз(а)пирена. Сведения о них получены из ежегодных региональных докладов по Кировской области и Республике Коми «О состоянии окружающей природной среды». Каждый из 6 показателей выражали в мг/м³, рассчитывая среднюю и ошибку средней (M±m), и оценивали его в процентах от предельно допустимой концентрации (ПДК) [11].

Для каждого населенного пункта оценивали 16 климато-географических показателей (широтность, тип климата, тип природной зоны, среднегодовая температура, среднемесячная температура зимних и летних месяцев, среднее многолетнее количество осадков, атмосферное давление, среднее число дней со снежным покровом, глубина промерзания почвы, многолетняя мерзлота, средняя скорость ветра, преобладающее направление ветра в январе и июле, продолжительность светового дня в январе и июле). Сведения получены из региональных докладов по Кировской области [12] и по Республике Коми [13] за 14 лет (с 1996 года по 2010-й, т. е. с момента рождения исследуемых). Для каждого из 16 показателей рассчитывали среднюю и ошибку средней (M±m).

Также для каждого населенного пункта оценивали по итогам 2011 года 6 демографических показателей (число родившихся, число умерших, число умерших до года, число русских, число коми, число прочих национальностей), 7 социально-экономических показателей (число зарегистрированных безработных, относительные (т. е. по отношению к средней заработной плате) стоимости коммунальных услуг, 1 м² жилья, минимального набора продуктов, 1 буханки белого хлеба, 1 л молока, 1 кг говядины), а также 11 показателей, характеризующих уровень медицинского обслуживания (объем стационарной помощи больничных учреждений, уровень госпитализации детского населения, обеспеченность больничными койками, обеспеченность врачами, число работающих лиц в городе и пригороде, укомплектованность врачами-педиатрами в городе и пригороде, относительная стоимость единицы скорой, амбулаторной и стационарной помощи). Сведения по всем 24 показателям получили из официальных источников по Кировской области и Республике Коми [14, 15]. Показатели сравнивали со средними данными по России, представленными Росстатом РФ в кратком статистическом сборнике «Россия в цифрах 2011» [15].

Для исключения влияния вредных привычек на показатели эритроцитов провели анкетирование среди подростков.

Показатели, характеризующие состояние эритроцитов обследуемых, получены с согласия администраций поликлиник. Они представляли собой результаты диспансеризации, проведенной в 2010 и 2011 годах. В соответствии с общепринятой процедурой [16] в число исследуемых включали подростков, возраст которых на момент диспансеризации составлял от 13 лет 6 мес. до 14 лет 6 мес. и которые не имели острой и хронической патологии. Оценивали такие показатели, как количество эритроцитов, концентрация гемоглобина, содержание гемоглобина в одном эритроците и СОЭ, полученные в лабораториях детских поликлиник. Первые три показателя определяли с использованием гематологического анализатора

«Abacus junior» фирмы «Diatron Messtechnik GmbH» или его аналогов [17], у которых точность измерения и вероятность ошибки соответствовали ГОСТ Р 53133.1-2008 «Контроль качества клинических лабораторных исследований». Измерение СОЭ проводилось во всех лабораториях по методике Панченкова [17].

Результаты исследования подвергнуты статистическому анализу с учетом того, что распределение всех показателей было нормальным (по критерию Шапиро–Уилка) [18]. При этом различия количественных показателей оценивали по t-критерию Стьюдента, а качественных показателей – по Хи-квадрат. Во всех случаях их считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследований.

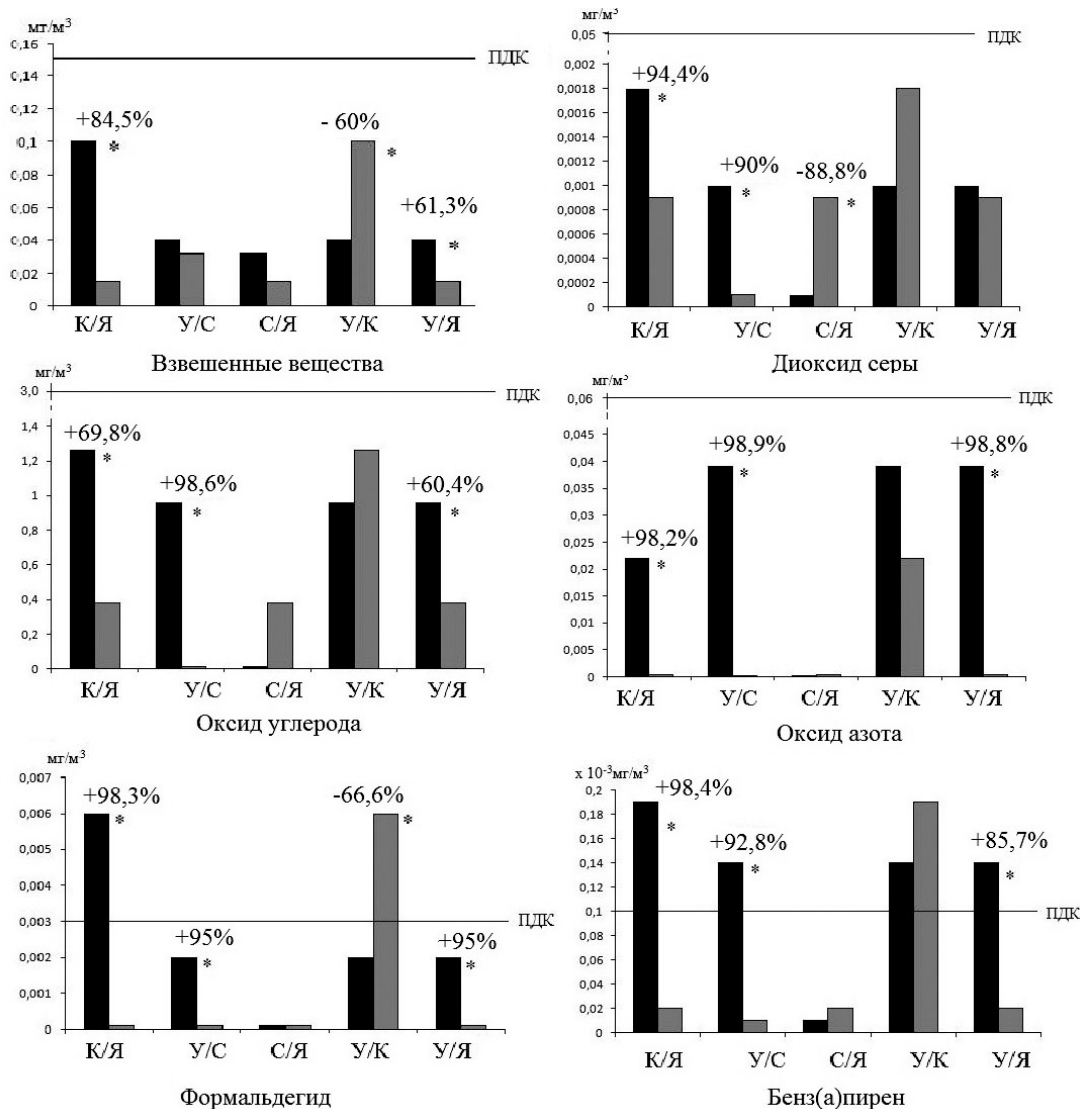
Сравнительная климатогеографическая характеристика Кирова, Яранска, Ухты и пос. Седью. Климатогеографические показатели населенных пунктов, расположенных в средних широтах, т. е. Кирова и Яранска, совпадают, но отличаются от населенных пунктов Европейского Севера (Ухты, Седью), между которыми также нет различий.

Демографические и социально-экономические характеристики населенных пунктов. Мы полагаем, что в целом существующие различия, вероятнее всего, не отразились на состоянии эритроцитов.

Не выявлены значимые различия между школьниками с вредными привычками и без них, $p > 0,05$.

Характеристика техногенного загрязнения населенных пунктов. Установлено (рисунок), что имело место превышение ПДК: в Кирове – формальдегида (0,006 против 0,003 мг/м³ по ПДК, т. е. в 2 раза) и бенз(а)пирена ($0,19 \cdot 10^{-3}$ против $0,10 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, т. е. в 1,9 раза), в Ухте – бенз(а)пирена ($0,14 \cdot 10^{-3}$ против $0,10 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, т. е. в 1,4 раза). Все остальные показатели в рассматриваемых населенных пунктах ниже ПДК.

Для оценки суммарного эффекта были рассмотрены комбинации оксида азота и диоксида серы. Для Кирова этот показатель составил 0,4, для Яранска – 0,03, для Ухты – 0,67, для Седью – 0,004.



Соотношение содержания вредных веществ в атмосферном воздухе: К – Киров, Я – Яранск, У – Ухта, С – Седью; * – различия статистически значимы по критерию Стьюдента.

При сравнении Кирова и Яранска, расположенных в средних широтах, выявлено, что в Кирове выше содержание взвешенных веществ (в 6,5 раза), диоксида серы (в 3,3 раза), оксида углерода (в 55 раз), оксида азота (в 60 раз), формальдегида (в 19 раз) и бенз(а)пирена (в 2 раза). Поэтому можно расценивать его как город с высоким уровнем техногенного загрязнения, а Яранск – как город с низким уровнем техноген-

ного загрязнения. При сравнении Ухты и Седью, расположенных на Европейском Севере, показано, что в Ухте выше содержание взвешенных веществ (в 1,3 раза), диоксида серы (в 10 раз), оксида углерода (в 71 раз), оксида азота (в 39 раз), формальдегида (в 20 раз) и бенз(а)пирена (в 14 раз). Поэтому Ухту можно расценивать как город с высоким техногенным загрязнением, а Седью – как поселок с низким уровнем тех-

МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ногенного загрязнения. При сравнении Седью и Яранска установлено, что в Седью ниже содержание диоксида серы (в 9 раз). Различия остальных 5 показателей (содержание взвешенных веществ, оксида углерода, оксида азота, формальдегида и бенз(а)пирена) статистически незначимы. Эти данные позволяют рассматривать Седью и Яранск как населенные пункты, имеющие относительно одинаковый низкий уровень техногенного загрязнения, но существенно отличающиеся по климатогеографическим характеристикам.

В целом результаты, представленные в первых трех разделах работы, позволяют считать, что выбранные нами модели сравнения 4 населенных пунктов позволяют оценить влияние техногенных загрязнений на состояние эритроцитов подростков 14 лет, проживающих в разных климатогеографических условиях (Европейский Север и средние широты).

Количество эритроцитов. Сравнение подростков Кирова (средние широты с высоким уровнем техногенного загрязнения) с подростками Яранска (средние широты с низким уровнем техногенного загрязнения) показало (табл. 1 и 2), что у подростков Кирова выше количество эритроцитов: у девочек – на 5,7 % и у мальчиков – на 5,6 %.

Сравнение подростков Ухты с подростками Седью показало, что у девочек Ухты количество эритроцитов такое же, как у девочек Седью, но у мальчиков оно выше на 20 %. Сравнение подростков пос. Седью с подростками г. Яранска показало, что у девочек Седью количество эритроцитов такое же, как у девочек Яранска, а у мальчиков на 16,0 % ниже. Показано, что во всех 4 населенных пунктах у девочек количество эритроцитов было ниже, чем у мальчиков. Это различие было статистически значимо для Яранска, Ухты и Седью.

Таблица 1

СОСТОЯНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ 14-ЛЕТНИХ ПОДРОСТКОВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И СРЕДНИХ ШИРОТ

| Показатели | Пол | г. Киров | | г. Яранск | | г. Ухта | | пос. Седью | |
|--|-----|----------|-------------------|-----------|------------------|---------|--------------------|------------|-----------------|
| | | п | М±m | п | М±m | п | М±m | п | М±m |
| Количество эритроцитов в 1 л | Д | 25 | 4,63±0,06 Я | 80 | 4,38±0,03 | 25 | 4,49±0,08 | 25 | 4,50±0,10 |
| | М | 47 | 4,90±0,06 Я | 83 | 4,64±0,05 # | 25 | 4,80±0,10 С# | 25 | 4,00±0,22 Я# |
| Концентрация гемоглобина, г/л | Д | 162 | 136,86±0,89 Я | 80 | 129,40±1,41 | 107 | 140,35±1,25 СК | 25 | 130,30±2,01 |
| | М | 157 | 150,17±0,96 Я# | 83 | 137,42±1,15 # | 154 | 150,00±1,01 СЯ# | 25 | 128,45±2,21 |
| Содержание гемоглобина в отдельном эритроците, пг/эритроците | Д | 25 | 30,68±0,41 | 80 | 29,60±0,33 | 25 | 31,64±0,32 СКЯ | 25 | 30,35±0,38 |
| | М | 47 | 29,98±0,35 Я | 83 | 29,76±0,30 | 25 | 31,34±0,39 Я | 25 | 30,29±0,59 Я |
| СОЭ, мм/ч | Д | 162 | 5,23±0,32 Я | 80 | 11,16±0,89 | 107 | 6,93±0,50 Я | 25 | 7,90±1,00 |
| | М | 157 | 4,43±0,30 Я# | 83 | 8,77±0,65 # | 154 | 5,68±0,36 Я# | 25 | 5,55±1,17 |

Примечание. Д – девочки, М – мальчики; # – различия с девочками статистически значимы ($p < 0,05$) по критерию Стьюдента; Я – различия с Яранском, С – различия с Седью, К – различия с Кировом статистически значимы ($p < 0,05$) по критерию Стьюдента.

Таблица 2

**НАПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СОСТОЯНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ,
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ У 14-ЛЕТНИХ ПОДРОСТКОВ**

| Пол | Количество эритроцитов | Концентрация гемоглобина | Содержание гемоглобина в эритроците | СОЭ |
|--|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----|
| <i>Высокий уровень техногенного загрязнения в средних широтах в сравнении с более низким уровнем в средних широтах</i> | | | | |
| Девочки | ↑ | ↑ | – | ↓ |
| Мальчики | ↑ | ↑ | – | ↓ |
| <i>Высокий уровень техногенного загрязнения на Европейском Севере в сравнении с более низким уровнем на Европейском Севере</i> | | | | |
| Девочки | – | ↑ | ↑ | – |
| Мальчики | ↑ | ↑ | – | – |
| <i>Низкий уровень техногенного загрязнения на Европейском Севере в сравнении с низким уровнем техногенного загрязнения в средних широтах</i> | | | | |
| Девочки | – | – | – | – |
| Мальчики | ↓ | – | – | – |

Примечание. ↑ – значения выше; ↓ – значения ниже.

Концентрация гемоглобина. Показано, что у подростков Кирова концентрация гемоглобина статистически значимо выше, чем у подростков Яранска, в частности у девочек – на 5,7 %, у мальчиков – на 9,3 %. У подростков Ухты концентрация гемоглобина статистически значимо выше, чем у подростков Седью: у девочек – на 7,7 %, мальчиков – на 8,3 %. У подростков Седью концентрация гемоглобина такая же, как у подростков Яранска. Показано, что у девочек концентрация гемоглобина в трех населенных пунктах была статистически значимо ниже, чем у мальчиков в Яранске, Кирове и Ухте. И лишь показатели девочек из Седью не отличались статически значимо от показателей мальчиков.

Среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците. Показано, что у подростков Кирова содержание гемоглобина в отдельном эритроците такое же, как у их сверстников из Яранска. У девочек и мальчиков Ухты содержание гемоглобина в отдельном эритроците такое же, как у подростков из Седью. У девочек и мальчиков Седью содержание гемоглобина в отдельном эритроците такое же, как у их сверстников из Яранска. Выявлено, что различие между девочками и мальчиками по содержанию гемо-

глобина в одном эритроците для всех четырех населенных пунктов статистически незначимы.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ). Показано, что у подростков Кирова СОЭ статистически значимо ниже, чем у подростков Яранска; в частности, у девочек – на 113,4 %, у мальчиков – на 97,7 %. Не выявлено статистически значимых различий между СОЭ подростков Ухты и Седью, Седью и Яранска. Выявлено, что статистически значимые различия по СОЭ имеются между девочками и мальчиками в Кирове, в Яранске и в Ухте, но отсутствуют в Седью.

Обсуждение. Считается [17], что у подростков 14 лет, проживающих в средних широтах, содержание эритроцитов находится в пределах $3,5-5,6 \cdot 10^{12}$ кл/л, концентрация гемоглобина – 115–150 г/л, содержание гемоглобина в эритроците – 26,0–32,0 пг/мл, СОЭ – 2–20 мм/ч. Отмечены половые различия в этом возрасте: у мальчиков число эритроцитов, концентрация гемоглобина выше, чем у девочек [16], содержание гемоглобина в эритроците такое же, как у девочек [16], а СОЭ ниже [16]. Следует отметить, что все эти значения даются без учета техногенных загрязнений места проживания. Наши данные, полученные для подростков Яранска, т. е. проживающих в средних широтах

при отсутствии техногенного загрязнения, в определенной степени совпадают с указанными данными литературы, в т. ч. по характеру половых различий.

Нами впервые установлено на примере г. Кирова, что проживание подростков 14 лет в условиях средних широт, но при техногенном загрязнении (повышенные концентрации взвешенных веществ, оксида углерода, диоксида серы, оксида азота, формальдегида, бенз(а)пирена) вызывает повышение у них количества эритроцитов и концентрации гемоглобина, не влияя при этом на содержание гемоглобина в одном эритроците, т. е. повышает продукцию нормохромных эритроцитов, а также снижает СОЭ. Данные литературы о влиянии техногенного загрязнения на показатели состояния эритроцитов подростков 14 лет, проживающих в средних широтах, отсутствуют. Вместе с тем имеются единичные сведения о том, что высокое техногенное загрязнение городской среды изменяют состояние эритроцитов у студентов Уфы, в частности, повышают содержание фетального гемоглобина. По мнению авторов, это свидетельствует о развитии у них техногенной гипоксии, механизмом компенсации которой и является рост содержания фетального гемоглобина [2]. При обследовании металлургов установлено [3], что работа в условиях повышенной температуры и загрязнения свинцом вызывает снижение средних объема, площади и диаметра эритроцита, но при этом увеличивается средняя концентрация гемоглобина в эритроците и концентрация гемоглобина в крови. Исследователи предполагают, что эти изменения отражают процесс адаптации к гипоксии со стороны системы эритрона, направленный на увеличение кислородной емкости крови. Показано [4], что загрязнение воздуха формальдегидом вызывает адаптивное увеличение концентрации в крови гемоглобина при отсутствии изменений в содержании эритроцитов. Подобные изменения наблюдаются при повышенном содержании в воздухе взвешенных частиц, что отмечено при обследовании студентов Дании [1]. С учетом этих данных полагаем, что выявленные нами

изменения показателей, характеризующие состояние эритроцитов у подростков Кирова, свидетельствуют о развитии у них механизмов адаптации к техногенной гипоксии. Эту гипоксию согласно принятой классификации [19] можно расценивать как следствие гемической гипоксии. Известно, что оксид серы вызывает образование сульфогемоглобина [5], оксид углерода – образование карбоксигемоглобина [5], что в целом снижает кислородную емкость крови [5]. По-видимому, снижение кислородной емкости крови происходит и при воздействии формальдегида и взвешенных веществ, адаптация к которым, как отмечено выше [1, 4], также проявляется в повышении концентрации гемоглобина в крови без изменения количества эритроцитов в ней.

Как известно [16, 19], гипоксия, в т. ч. гемическая гипоксия, усиливает эритропоэз, что проявляется в увеличении числа эритроцитов, концентрации гемоглобина в крови. При этом в одних случаях насыщенность эритроцита гемоглобином не меняется, т. е. происходит продукция нормохромных эритроцитов [19], а в других случаях возрастает [19], что может быть следствием повышенной экспрессии гена фетального гемоглобина. Гипоксия, действительно, может приводить к повышению содержания фетального гемоглобина, обладающего повышенным сродством к кислороду [2]. Согласно нашим данным, адаптация подростков к техногенной гипоксии при проживании в условиях средних широт происходит за счет повышения числа эритроцитов и концентрации гемоглобина без признаков увеличения фетального гемоглобина, судя по продукции нормохромных эритроцитов. Известно [16, 19], что повышение эритропоэза при гипоксии происходит преимущественно за счет роста продукции в почках эритропоэтина. Очевидно, что и у подростков 14 лет реализуется этот же механизм. Не исключено, что у обследованных детей из Кирова, действительно, уровень эритропоэтина выше, чем у детей из Яранска. Очевидно, что изучение изменения уровня этого гормона позволит в будущем определить и возраст, при котором

начинается и завершается адаптация организма к высокому уровню техногенного загрязнения.

Нами впервые показано, что у девочек и мальчиков, проживающих в условиях техногенного загрязнения (Киров), СОЭ ниже, чем у их сверстников, проживающих при его отсутствии (Яранск). Полагаем, что это также отражает процесс адаптации эритронов к гипоксии, при котором меняются и седиментационные свойства эритроцитов.

Тот факт, что содержание эритроцитов и гемоглобина у 14-летних мальчиков Яранска и Кирова выше, чем у их сверстниц, согласуется с представлением о том, что андрогены повышают эритропоэз, о чем свидетельствует более высокие значения количества эритроцитов и концентрации гемоглобина у мужчин по сравнению с женщинами [20].

При исследовании подростков пос. Седью, т. е. проживающих в условиях Европейского Севера при отсутствии техногенного загрязнения, нами установлено, что у девочек все рассмотренные нами показатели (количество эритроцитов в крови, концентрация гемоглобина в крови, содержание гемоглобина в эритроците и СОЭ) были такими же, как у девочек Яранска, т. е. проживающих в условиях средних широт в отсутствие техногенного загрязнения. Для мальчиков характерна подобная же ситуация за исключением количества эритроцитов: у них оно ниже, чем у сверстников из Яранска. Таким образом, проживание подростков в условиях Европейского Севера при отсутствии техногенного загрязнения не повышает количество эритроцитов (у мальчиков даже снижает его), не увеличивает концентрацию гемоглобина в крови, его содержание в одном эритроците и СОЭ. Это означает, что у этих подростков интенсивность эритропоэза не возрастает, а даже, как это наблюдается у мальчиков, в определенной степени может быть снижена (не исключено, что это обусловлено более низкой продукцией андрогенов). Вопрос о состоянии эритронов жителей Европейского Севера до настоящего времени дискутируется. Первоначально считалось, что жители этой территории испытывают

гипоксию из-за низкого парциального содержания кислорода в воздухе, в связи с чем в процессе адаптации повышается эритропоэз [7, 8], хотя процесс адаптации длительный [7]. Однако в последние годы появились данные [6, 9], согласно которым жители Европейского Севера не испытывают гипоксию, а следовательно, у них не повышен эритропоэз, т. к. оказалось, что парциальное содержание кислорода в атмосферном воздухе такое же, как в средних широтах. Так, по данным Ю.Г. Солонина и соавторов [6] у подростков 14-15 лет, проживающих в условиях Европейского Севера, но на разной географической широте (62° и 65° с. ш.), статистически значимо не различается концентрация гемоглобина. По данным А.А. Благинина и соавторов [9] у военнослужащих после длительного (3 года и более) проживания в районах Заполярья наблюдается снижение концентрации гемоглобина в среднем на 25 % по сравнению с показателями до прибытия на место службы. Таким образом, наши данные, полученные для подростков пос. Седью, несмотря на относительно небольшое число исследуемых (25 девочек и 25 мальчиков), подтверждает представление о том, что жители Европейского Севера не испытывают гипоксию, а следовательно, у них не повышен эритропоэз, но при условии, что они проживают в местности с низким уровнем техногенного загрязнения. Отметим, что у подростков Седью, в отличие от подростков Яранска, половые различия еще не выражены, т. е. концентрация гемоглобина, содержание гемоглобина в одном эритроците и СОЭ у них были такими же, как у девочек, а содержание эритроцитов даже ниже. Эти результаты согласуются с данными Ю.Г. Солонина и соавторов [10], согласно которым у подростков 14-15 лет, проживающих в условиях Европейского Севера (на широте 62° или на широте 65° с. ш.), отсутствуют половые различия по концентрации гемоглобина в крови. Полагаем, что отсутствие половых различий связано с задержкой полового развития у мальчиков, хотя сведений об этом мы в литературе не нашли.

При исследовании мальчиков и девочек Ухты, т. е. проживающих в условиях Европей-

ского Севера, но при наличии техногенных загрязнений, характер которых во многом подобен техногенным загрязнениям в Кирове, нами впервые установлено, что у мальчиков происходят примерно такие же изменения, как и у их сверстников из Кирова: по сравнению с мальчиками Седью у мальчиков Ухты было выше количество эритроцитов в крови и концентрации гемоглобина, в то время как содержание гемоглобина в одном эритроците и СОЭ были такими же, как у мальчиков Седью. Это свидетельствует о повышении у мальчиков Ухты интенсивности эритропоэза, что, вероятно, является следствием развития гемической гипоксии под влиянием техногенного загрязнения.

У девочек Ухты в сравнении с девочками Седью была выше концентрация гемоглобина и содержание гемоглобина в эритроците, в то время как содержание эритроцитов и СОЭ были такие же, как у девочек Седью. Это означает, что техногенное загрязнение в условиях Европейского Севера не повышает эритропоэз (у девочек), как это наблюдается у девочек и мальчиков Кирова и у мальчиков Ухты, а повышает лишь насыщенность эритроцита гемоглобином, т. е., скорее всего, повышает продукцию фетального гемоглобина. Наши результаты в определенной степени согласуются с данными Ю.Г. Солонина, Е.Р. Бойко [6], согласно которым у 14-15-летних подростков, проживающих вблизи целлюлозно-бумажного комбината в пос. Ижма (Республика Коми), концентрация гемоглобина была выше, чем у подростков, проживающих на относительно экологически чистой территории этого района. Это объясняется авторами как отражение адаптации к проживанию в условиях воздействия химически вредных веществ.

Таким образом, нами впервые показано, что проживание в условиях техногенного загрязнения вызывает процесс адаптации эритрона, характер которого зависит от места проживания и пола: в условиях средних широт эта адаптация у девочек и мальчиков проявляется в усилении

эритропоэза, при котором продуцируют нормохромные эритроциты, т. е. без экспрессии фетального гемоглобина; в условиях Европейского Севера у мальчиков адаптация идет таким же путем, в то время как у девочек она происходит преимущественно за счет повышения насыщенности эритроцитов гемоглобином, т. е., вероятнее всего, за счет повышения продукции фетального гемоглобина.

Выводы:

1. Проживание в условиях Европейского Севера с низким уровнем техногенного загрязнения у девочек не влияет на количество эритроцитов, концентрацию гемоглобина, содержание гемоглобина в отдельном эритроците и СОЭ, а у мальчиков снижает количество эритроцитов, не изменяя при этом остальные показатели.

2. Наличие техногенного загрязнения в средних широтах снижает СОЭ, повышает количество эритроцитов и концентрацию гемоглобина у девочек и мальчиков, но не влияет на содержание гемоглобина в отдельном эритроците. Аналогичные изменения характерны для мальчиков, проживающих на Европейском Севере в условиях высокого уровня техногенного загрязнения, в то время как у девочек не меняются СОЭ и содержание эритроцитов, но повышается концентрация гемоглобина и его содержание в отдельном эритроците. Следовательно, техногенное загрязнение можно расценивать как фактор, вызывающий гипоксию, адаптация к которому у подростков зависит от географической широты проживания и пола.

3. В 14-летнем возрасте и в средних широтах, и на Европейском Севере у девочек по сравнению с мальчиками выше СОЭ, ниже количество эритроцитов и концентрация гемоглобина и одинаковое содержание гемоглобина в отдельном эритроците. Это указывает на более низкий уровень эритропоэза у девочек, при котором, как и у мальчиков, синтезируются нормохромные эритроциты.

Список литературы

1. Sørensen M., Daneshvar B., Hansen M., Dragsted L.O., Hertel O., Knudsen L., Loft S. Personal PM2.5 Exposure and Markers of Oxidative Stress in Blood // *Environ. Health Perspect.* 2003. Vol. 111, № 2. P. 161–166.
2. Шамратова В.Г., Исаева Е.Е., Крапивко Ю.К. Оценка функционирования кислородтранспортной системы крови у студентов // *Вестн. Башкир. ун-та.* 2007. Т. 12, № 4. С. 38–40.
3. Верещак Е.В. Сравнительная оценка морфофункционального состояния эритроцитов у рабочих вредного производства в зависимости от стажа работы // *Фундаментальные исследования в биологии и медицине: сб. науч. тр.* Ставрополь, 2008. Вып. 5. С. 111–115.
4. Хрипач Л.В., Новиков С.М., Зыкова И.Е., Федосеева В.Н., Железняк Е.В., Князева Т.Д., Коганова З.И., Маковецкая А.К., Волкова И.Ф., Скворцов С.А., Воинова И.В., Ревазова Т.Л., Солнцева Н.В., Миславский О.В. Апробация системы биохимических и иммунологических показателей состояния здоровья населения у обследуемых жителей Москвы, подвергавшихся воздействию загрязнений атмосферного воздуха // *Гигиена и санитария.* 2012. № 5. С. 30–34.
5. Лобовиков А.О., Базылева Я.В. Эколого-экономическая оценка эффективности технологии очистки выбросов тепловых электростанций // *Эконом. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз.* 2013. № 5(29). С. 149–155.
6. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р., Варламова Н.Г., Есева Т.В., Кеткина О.А., Логинова Т.П., Паришкова О.И., Потоплицына Н.Н. Влияние широты проживания в условиях севера на организм подростков // *Физиология человека.* 2012. Т. 38, № 2. С. 107–112.
7. D'Alessandro M.M., Reed H.L., Lopez A. Hematological Parameters are Altered During Cold Air Exposure // *Arctic Med. Res.* 1992. Vol. 51, № 1. P. 16–22.
8. Александров Н.П. Изменения в системе красной крови человека (эритроне) при адаптации к новым условиям // *Зем. врач.* 2010. № 1. С. 23–27.
9. Благинин А.А., Саввин Ю.Ю., Пятибрат Е.Д., Уховский Д.М. Особенности реадаптации военнослужащих из районов Крайнего Севера к климатогеографическим условиям средних широт // *Вестн. Рос. воен.-мед. акад.* 2013. № 2(24). С. 88–90.
10. Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р., Варламова Н.Г., Вахнина Н.А., Есева Т.В., Канева А.М., Кеткина О.А., Кочан Т.И., Логинова Т.П., Льюорова Т.М., Пришкова О.И., Помаскина Е.Н., Пономарёв М.Б., Потоплицына Н.Н., Шадрин В.Д. Влияние аэровыбросов целлюлозно-бумажного производства на организм подростков Коми // *Экология человека.* 2009. № 2. С. 59–62.
11. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Введ. 2003.06.25. М., 2003.
12. О состоянии окружающей среды Кировской области в 1996–2011 гг.: регион. докл. / под общ. ред. А.В. Албеговой. Киров, 1997–2012.
13. О состоянии окружающей среды Республики Коми в 1996–2011 годах: регион. докл. / под общ. ред. Ю.В. Лисина. Сыктывкар, 1997–2012.
14. Ресурсы и деятельность учреждений здравоохранения: статист. сб. М., 2012. 375 с.
15. Россия в цифрах 2011: крат. статист. сб. / под ред. А.Е. Суринова. М., 2012. 581 с.
16. Агаджанян Н.А., Тель Т.З., Циркин В.И., Чеснокова С.А. Физиология человека. М., 2009. 528 с.
17. Долгов В.В., Меньшикова В.В. Клиническая лабораторная диагностика. М., 2012. 928 с.
18. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М., 1999. 459 с.
19. Патофизиология: учеб. для студ. учреждений высш. мед. проф. образования: в 3-х т. / под ред. А.И. Воложина, Г.В. Порядина. М., 2010. Т. 1. 272 с.
20. Чеснокова Н.П., Моррисон В.В., Понукалина Е.В., Жевак Т.Н., Афанасьева Г.А., ПолUTOва Н.В., Невважай Т.А. Гемопоз и его регуляция на разных стадиях дифференцировки гемопозитических клеток костного мозга // *Саратов. науч.-мед. журн.* 2012. Т. 8, № 3. С. 711–719.

References

1. Sørensen M., Daneshvar B., Hansen M., Dragsted L.O., Hertel O., Knudsen L., Loft S. Personal PM2.5 Exposure and Markers of Oxidative Stress in Blood. *Environ. Health Perspect.*, 2003, vol. 111, no. 2, pp. 161–166.
2. Shamratova V.G., Isaeva E.E., Krapivko Yu.K. Otsenka funktsionirovaniya kislorodtransportnoy sistemy krovi u studentov [Evaluation of the Oxygen Transport System of the Blood in Students]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2007, vol. 12, no. 4, pp. 38–40.

3. Vereshchak E.V. Sravnitel'naya otsenka morfofunktsional'nogo sostoyaniya eritrotsitov u rabochikh vrednogo proizvodstva v zavisimosti ot stazha raboty [Comparative Assessment of the Morphofunctional State of Erythrocytes in Hazardous Industry Workers, Depending on the Length of Service]. *Fundamental'nye issledovaniya v biologii i meditsine: sb. nauch. tr.* [Fundamental Research in Biology and Medicine: Collected Papers]. Stavropol, 2008, iss. 5, pp. 111–115.
4. Khripach L.V., Novikov S.M., Zykova I.E., Fedoseeva V.N., Zheleznyak E.V., Knyazeva T.D., Koganova Z.I., Makovetskaya A.K., Volkova I.F., Skvortsov S.A., Voinova I.V., Revazova T.L., Solntseva N.V., Mislavskiy O.V. Aprobatsiya sistemy biokhimicheskikh i immunologicheskikh pokazateley sostoyaniya zdorov'ya naseleniya u obsleduemykh zhiteley Moskvy, podvergayushchikhsya vozdeystviyu zagryazneniy atmosfernogo vozdukha [Testing of the System of Biochemical and Immunological Indices of the State of Population Health in the Survey of Residents of Moscow, Exposed to Ambient Air Pollution]. *Gigiena i sanitariya*, 2012, no. 5, pp. 30–34.
5. Lobovikov A.O., Bazyleva Ya.V. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka effektivnosti tekhnologii ochistki vybrosov teplovykh elektrostantsiy [Eco-Economic Evaluation of Emission Treatment Technologies Efficiency at Thermal Power Stations]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 2013, no. 5 (29), pp. 149–155.
6. Solonin Yu.G., Boyko E.R., Varlamova N.G., Eseva T.V., Ketkina O.A., Loginova T.P., Parshukova O.I., Potolitsyna N.N. Vliyanie shirotы prozhivaniya v usloviyakh severa na organizm podrostkov [Effect of Latitude on Adolescents Living in the North]. *Fiziologiya cheloveka*, 2012, vol. 38, no. 2, pp. 107–112.
7. D'Alesandro M.M., Reed H.L., Lopez A. Hematological Parameters Are Altered During Cold Air Exposure. *Arctic Med. Res.*, 1992, vol. 51, no. 1, pp. 16–22.
8. Aleksandrov N.P. Izmeneniya v sisteme krasnoy krovi cheloveka (eritrone) pri adaptatsii k novym usloviyam [Changes in Human Red Blood Cells (Erythron) at Adaptation to New Conditions]. *Zemskiy vrach*, 2010, no. 1, pp. 23–27.
9. Blagin A.A., Savvin Yu.Yu., Pyatibrat E.D., Ukhovskiy D.M. Osobennosti readaptatsii voennosluzhashchikh iz rayonov Kraynego Severa k klimatogeograficheskim usloviyam srednikh shirot [Readaptation Features in Military Men from the Polar North Region to Climate and Geographical Conditions of Midlatitudes]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2013, no. 2 (24), pp. 88–90.
10. Solonin Yu.G., Boyko E.R., Varlamova N.G., Vakhnina N.A., Eseva T.V., Kaneva A.M., Ketkina O.A., Kochan T.I., Loginova T.P., Lyyurova T.M., Prshukova O.I., Pomaskina E.N., Ponomarev M.B., Potolitsyna N.N., Shadrina V.D. Vliyanie aerovybrosov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva na organizm podrostkov Komi [Influence of Atmospheric Pollution from a Pulp-And-Paper Mill on Organism of Komian Adolescents]. *Ekologiya cheloveka*, 2009, no. 2, pp. 59–62.
11. GN 2.1.6.1338-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh'e naseleennykh mest [GN 2.1.6.1338-03. Maximum Permissible Pollutant Concentrations in the Ambient Atmosphere of Populated Areas]. Moscow, 2003.
12. O sostoyanii okruzhayushchey sredy Kirovskoy oblasti v 1996–2011 gg.: Regional'nyy doklad [On the State of the Environment of the Kirov Region in 1996–2011: Regional Report]. Ed. by Albegova A.V. Kirov, 1997–2012.
13. O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Komi v 1996–2011 gg.: Regional'nyy doklad [On the State of the Environment of the Komi Republic in 1996–2011: Regional Report]. Ed. by Lisin Yu.V. Syktyvkar, 1997–2012.
14. Resursy i deyatel'nost' uchrezhdeniy zdravookhraneniya: Statisticheskiy sbornik [The Resources and Work of Health Care Institutions: Statistical Yearbook]. Moscow, 2012. 375 p.
15. Rossiya v tsifrakh 2011: Kratkiy statisticheskiy sbornik [Russia in Figures 2011: A Short Statistical Yearbook]. Ed. by Surinov A.E. Moscow, 2012. 581 p.
16. Agadzhanyan N.A., Tel' T.Z., Tsirkin V.I., Chesnokova S.A. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. Moscow, 2009. 528 p.
17. Dolgov V.V., Men'shikova V.V. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical Laboratory Diagnostics]. Moscow, 2012. 928 p.
18. Glantz S. *Primer of Biostatistics*. The McGraw-Hill Companies, Inc. 1997 (Russ. ed.: Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika*. Moscow, 1999. 459 p.).
19. *Patofiziologiya: v 3-kh t.* [Pathophysiology: In 3 Vols.]. Ed. by Volozhin A.I., Poryadin G.V. Moscow, 2010. 272 p. Vol. 1. 272 p.
20. Chesnokova N.P., Morrison V.V., Ponukalina E.V., Zhevak T.N., Afanas'eva G.A., Polutova N.V., Nevvazhay T.A. Gemopoez i ego regulyatsiya na raznykh stadiyakh differentsirovki gemopoeticheskikh kletok kostnogo mozga [Haemopoiesis and Its Regulation at Various Stages of Haemopoietic Cell Differentiation of Bone Marrow (Review)]. *Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal*, 2012, vol. 8, no. 3, pp. 711–719.

Sizova Elena Nikolaevna

Vyatka Social-Economic Institute (Kirov, Russia)

Kuznetsova Darya Aleksandrovna

Postgraduate Student, Vyatka State Humanities University (Kirov, Russia)

Tsirkin Viktor Ivanovich

Kazan State Medical University (Kazan, Russia)

THE EFFECT OF ANTHROPOGENIC POLLUTION ON RED BLOOD CELLS IN ADOLESCENTS LIVING IN THE EUROPEAN NORTH AND MIDLATITUDES

There are no published data on the relation between the effect of high levels of anthropogenic pollution on the human body and the latitude where the person lives. Thus, the aim was to study the effect of such pollution on the functional state of erythrocytes in 14-year-old girls ($n=374$) and boys ($n=380$) living in Kirov and Yaransk (midlatitudes) and in Ukhta and village Sedyu (European North of Russia). We found that Kirov and Ukhta do not differ significantly from Yaransk and Sedyu in terms of socioeconomics and demographics, but do differ in terms of climate and geography as well as man-made pollution. In particular, Yaransk and Sedyu can be considered as settlements with a low level of anthropogenic pollution, while Kirov and Ukhta – with a high one. The concentration of formaldehyde (in Kirov) and benzo[*a*]pyrene (in Kirov and Ukhta) exceeded the threshold limit values. It was found that adolescents from Sedyu and Yaransk had the same hemoglobin concentration, corpuscular hemoglobin concentration, and erythrocyte sedimentation rate, but different number of red blood cells (in boys from Sedyu it was lower than in those from Yaransk). Consequently, living in the European North with low anthropogenic pollution has no significant effect on the state of red blood cells. High level of man-made pollution in midlatitudes (Kirov as compared to Yaransk) reduces the ESR in adolescents and increases the number of red blood cells and hemoglobin concentration, without affecting the content of hemoglobin per erythrocyte. In the European North (Ukhta as compared to Sedyu), anthropogenic pollution has no effect on the ESR, but increases the number of red blood cells (in boys) as well as hemoglobin concentration and hemoglobin content per erythrocyte (in girls). Thus, high level of anthropogenic pollution can be considered as a factor causing hypoxia, adaptation to which in adolescents depends on their geographic latitude and sex.

Keywords: *erythrocytes in adolescents, hemoglobin, hypoxia, suspended matter, sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxide, formaldehyde, benzo[*a*]pyrene.*

Контактная информация:

Сизова Елена Николаевна

адрес: 610001, г. Киров, ул. Казанская, д. 91;

e-mail: dekando@vsei.ru

Кузнецова Дарья Александровна

адрес: 610001, г. Киров, ул. Красноармейская, д. 26;

e-mail: kdashik@mail.ru

Циркин Виктор Иванович

адрес: 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49;

e-mail: tsirkin@list.ru