

© В. И. Минина<sup>1,2</sup>,  
В. Г. Дружинин<sup>1,2</sup>,  
Т. А. Головина<sup>1,2</sup>,  
Т. А. Толочко<sup>2</sup>, А. В. Мейер<sup>2</sup>,  
А. В. Волков<sup>2</sup>, М. Л. Баканова<sup>1</sup>,  
Я. А. Савченко<sup>1</sup>,  
А. В. Рыжкова<sup>1</sup>, С. А. Ларин<sup>1</sup>,  
Р. А. Титов<sup>1</sup>, Ю. Е. Кулемин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт экологии человека СО РАН, Кемерово;

<sup>2</sup>ФГБУ ВПО Кемеровский государственный университет

✿ Изучен уровень и спектр хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови у жителей крупного промышленного центра Западной Сибири — г. Кемерово в двух периодах: с 1986 по 2000 гг. и с 2001 по 2012 гг. Цитогенетические исследования были проведены в целом для 668 человек (333 — в первый период и 335 — во второй). При сравнении двух временных промежутков установлено уменьшение частоты aberrаций хромосом у жителей в 2001–2012 гг., что согласуется со снижением количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Кемерово. Получено новое значение фонового уровня хромосомных нарушений у жителей г. Кемерово, не контактирующих профессионально с промышленными генотоксикантами —  $1,48 \pm 0,08\%$ , которое может использоваться в дальнейшем в генетико-экологических исследованиях.

✿ **Ключевые слова:** хромосомные aberrации; загрязнение окружающей среды; промышленные города.

Поступила в редакцию 14.04.2014  
Принята к публикации 25.09.2014

## ДИНАМИКА УРОВНЯ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ У ЖИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач современной экологии является изучение реакций генома организмов на воздействие мутагенных факторов окружающей среды. Для анализа уровня повреждений ДНК чаще всего изучают: хромосомные aberrации (ХА), сестринские хроматидные обмены, микроядра, анеуплоидии и стабильные aberrации хромосом с использованием FISH-метода, а на уровне организма — врожденные морфогенетические варианты, врожденные пороки развития (Сычева, 2013). Наиболее детально разработанным является тест на ХА в лимфоцитах крови человека.

ХА — это нарушения структуры хромосом, которые возникают спонтанно или в результате экзогенных (химических, физических, биологических) воздействий (Russell, 2002). Структурные ХА в лимфоцитах периферической крови изучаются уже более 40 лет как биомаркеры ранних эффектов действия генотоксических канцерогенов (Бочков и др., 2001; Hagmar et al., 2004). В многочисленных работах выполнены исследования частоты ХА у жителей территорий с различной степенью антропогенной нагрузки (Дружинин, 2003; Пилинская и др., 2011; Минина, 2013). Показана возможность использования теста на ХА в лимфоцитах крови при популяционной оценке риска онкологических заболеваний у населения урбанизированных территорий (Bonassi et al., 2000; Минина, 2011). Установлено повышение уровня ХА у жителей городов с развитой промышленностью (Валинуров и др., 1998; Волков и др., 2001; Ингель, Прихожан, 2002; Дружинин, 2003).

В Кузбассе была создана и постоянно обновляется база данных ХА у населения Кемеровской области, в том числе и г. Кемерово. Количественные характеристики данной базы впервые были опубликованы более 10 лет назад (Дружинин, 2003). За последние годы данная база была значительно расширена, что потребовало пересмотра и верификации полученных ранее оценок.

Город Кемерово — крупный промышленный, административный и культурный центр Кузбасса расположен на юго-востоке Западной Сибири в центре Кузнецкой котловины по обоим берегам реки Томь. Высокая концентрация предприятий углеперерабатывающей, химической промышленности и теплоэнергетики, интенсивные транспортные потоки, а также неблагоприятные метеорологические условия с частыми штилями и температурными инверсиями создают сложную экологическую ситуацию в городе.

В результате цитогенетических исследований, проведенных в Кемерово ранее, было установлено, что население этого промышленного города, вне зависимости от района проживания, можно характеризовать как единую популяцию в плане воздействия генотоксикантов (Дружинин, 2003). Показано, что существует корреляционная связь между динамикой уровня ХА у населения и изменением концентрации отдельных генотоксических загрязнителей воздуха (Волков и др., 2001).

В двухтысячные годы произошли значительные трансформации в состоянии окружающей среды, вызванные изменением социально-экономической

ситуации в регионе. Снизились валовые выбросы загрязняющих веществ базовыми отраслями промышленности (угледобывающая, металлургическая промышленность, теплоэнергетика), изменилась степень их экологической опасности (Мун и др., 2011). Однако канцерогенные риски для населения, связанные с присутствием в воздухе городов и отдельных районов Кузбасса мощных канцерогенов, остаются очень высокими (Ларин и др., 2004; Глушков и др., 2006; Мун С. А. и др., 2006).

Поэтому целью данного исследования стал сравнительный анализ генотоксических эффектов (уровня и спектра ХА) у населения г. Кемерово в двух периодах: 1986–2000 гг. и 2001–2012 гг.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Анализ состояния окружающей среды в г. Кемерово проводили на основании данных, представленных в Докладах о состоянии окружающей среды в Кемеровской области (в 1998–2013 гг.), и сведений, любезно предоставленных Центром гигиены и эпидемиологии по Кемеровской области.

Материалом для анализа динамики кластогенных эффектов послужили результаты цитогенетических исследований, выполненных кафедрой генетики Кемеровского госуниверситета и лабораторией цитогенетики Института экологии человека СО РАН в период 1986–2012 гг. Были проанализированы данные для 668 человек, проживающих в г. Кемерово и профессионально не контактирующих с промышленными генотоксикантами. В обследованную группу включили детей школьного возраста и взрослых: преподавателей и студентов КемГУ (1986, 1995, 1998 гг.), сотрудников центра здоровья «Энергетик» (2005, 2008 гг.), здоровых доноров областной станции переливания крови (2010, 2012 гг.). Всего цитогенетический анализ был выполнен

у 431 взрослого (средний возраст — 40,4 лет) и 237 детей и подростков (средний возраст — 14,5 лет), мужского пола — 388, женского — 280. Из них 333 человека было обследовано в период до 2000 г. (девятидесятые годы) и 335 — позднее, в двухтысячные годы (2005–2012 гг.). Половозрастная характеристика обследованных групп представлена в таблице 1.

Материалом для исследования ХА служила цельная периферическая кровь, которую забирали у жителей г. Кемерово из локтевой вены в асептических условиях. Культивирование клеток крови проводили по единому стандартному протоколу в 48-часовых культурах лимфоцитов периферической крови (Hungerford, 1965; Дружинин, 2003). Питательную смесь готовили из расчета: среда RPMI–1640 (4,5 мл), эмбриональная телячья сыворотка (1 мл) и 0,1 мл фитогемагглютинина (ПанЭко). Смесь помещали в стерильные культуральные флаконы и добавляли 0,5 мл гепаринизированной крови. Культуральные флаконы выдерживали при 37 °С в течение 48 ч. За 2 часа до фиксации в культуры вводили колхицин (0,5 мкг/мл). После гипотонической обработки и фиксации клеток суспензию раскапывали на охлажденные чистые предметные стекла и высушивали. Препараты окрашивали 1%-м красителем Гимза (Merk) и анализировали при помощи микроскопа Axio Scope 2 plus (Carl Zeiss).

Отбор метафаз, включаемых в анализ, и критерии для регистрации цитогенетических нарушений соответствовали общепринятым рекомендациям (Бочков и др., 1971). На каждого человека анализировали по 100–200 метафаз. Долю aberrантных метафаз определяли как отношение числа клеток с aberrациями хромосом к общему числу изученных клеток. Учитывали aberrации хроматидного (одиночные фрагменты и межхроматидные обмены) и хромосомного (парные фрагменты, дицентрические хромосомы с фрагментами и без, кольцевые хромосомы,

Таблица 1

**Половозрастной состав жителей г. Кемерово, включенных в исследование**

Группа	Период наблюдений, года	Всего обследовано	Возраст, лет		Пол	
			Min–Max	Mean ± St.err	муж	жен
Дети и подростки	1992	26	14–17	15,0 ± 0,2	9	17
	1993	81	10–17	13,4 ± 0,2	40	41
	1994	67	11–17	14,2 ± 0,2	37	30
	1995	23	9–17	15,5 ± 0,5	20	3
	1996	40	11–16	14,5 ± 0,1	20	20
Взрослые	1986	56	19–34	22,9 ± 0,6	33	23
	1995	9	18–59	30,9 ± 4,5	1	8
	1998	31	19–60	28,9 ± 1,9	17	14
	2005	79	21–59	45,2 ± 0,9	24	55
	2008	62	24–62	42,5 ± 1,1	14	48
	2010	20	18–63	43,4 ± 1,1	8	12
	2012	174	19–67	42,7 ± 0,5	165	9

Mean ± St.err — средние значения ± ошибка средней; Min–Max — минимальное и максимальное значения

атипичные моноцентрики) типов. Ахроматические пробы в число аберраций не включали.

Математическую обработку результатов проводили с помощью программы «STATISTICA for WINDOWS v.8.0». Проверку нормальности распределения выполняли с использованием W-критерия Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk’s W test). Было установлено, что анализируемые распределения отличались от нормального ( $p < 0,05$ ). Поэтому дальнейший анализ проводили непараметрическими методами. При анализе различий между несколькими независимыми выборками применяли критерий Краскела–Уоллиса (Kruskal–Wallis test). Для оценки различий между двумя независимыми выборками использовали U-критерий Манна–Уитни (Mann–Whitney U-test). Для изучения взаимосвязей между загрязнением воздуха и ХА использовали корреляционный (рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и регрессионный анализ (рассчитывали коэффициенты линейной регрессии) (Гланц, 1999). Для исключения ошибки первого рода при множественных сравнениях применяли критерий Бонферрони (Гржибовский, 2008).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка состояния радиационной обстановки воздуха на территории г. Кемерово осуществлялась по данным станций государственной наблюдательной сети Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Ежедневно на 14 метеостанциях проводятся измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД). По результатам мониторинга МЭД во все изученные периоды не превышала естественного фона, а значение находилось в пределах от 9 до 14 мкР/час (в среднем, 12 мкР/час). Существенных изменений радиационной обстановки в г. Кемерово в рассматриваемый период времени (1986–2012 гг.) не происходило.

Анализ загрязненности питьевой воды городского водопровода г. Кемерово, а также качества пищевых продуктов (содержание токсических элементов, антибиотиков, нитратов, пестицидов и микотоксинов), проведенный ранее (Волков и др., 2001), позволил сделать вывод об отсутствии токсико-генетического риска, связанного с потреблением питьевой воды или недоброкачественной продовольственной продукции. Наиболее значимым в этом аспекте представляется влияние загрязнения атмосферного воздуха.

В результате многолетних наблюдений, проводившихся Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Кемерово был признан высоким (Доклад о состоянии ..., 2013). Однако если рассмотреть динамику валовых выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников (рис. 1) можно отчетливо наблюдать снижение количества валовых выбросов в период с 1986 по 2012 г. Вероятно, причина наблюдаемых процессов связана с изменением социально-экономической ситуации в Кузбассе, сокращением объемов производства, внедрением новых технологий и ужесточением экологического контроля за выбросами предприятий.

На стационарных постах г. Кемерово регулярно отслеживается содержание в воздухе таких соединений, как аммиак, бензо(а)пирен (БП), формальдегид, сажа, взвешенные вещества, диоксид серы, диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, анилин, диметиламин, водород цианистый, фенол, водород хлористый, металлы.

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Кемерово (наиболее значительное превышение ПДК) вносят БП, формальдегид, диоксид азота, аммиак, сажа. Загрязнение атмосферы хлором, серной кислотой, метиловым спиртом, толуолом, хлористым водородом, диметиламином, изопропиловым спиртом, анилином, нафталином, ксилолом и цианистым водородом, металлами не достигает ПДК ни по средним, ни по максимальным концентрациям. Изменение вклада ведущих загряз-

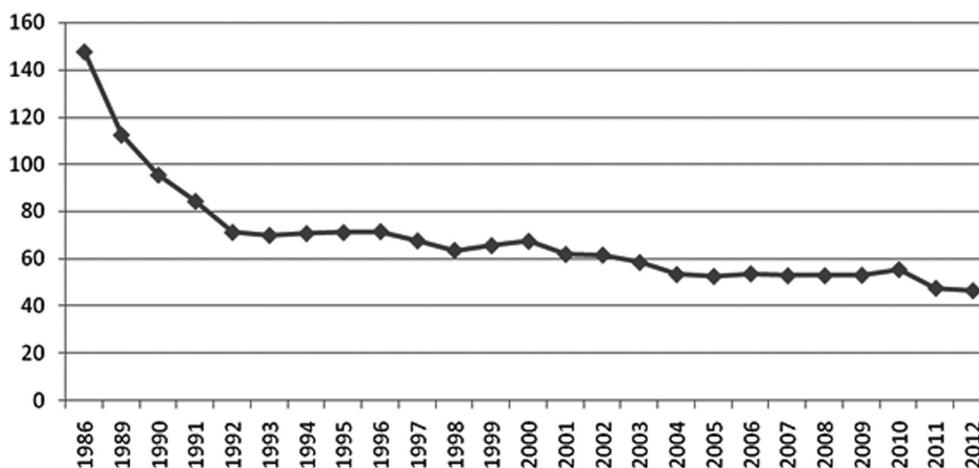
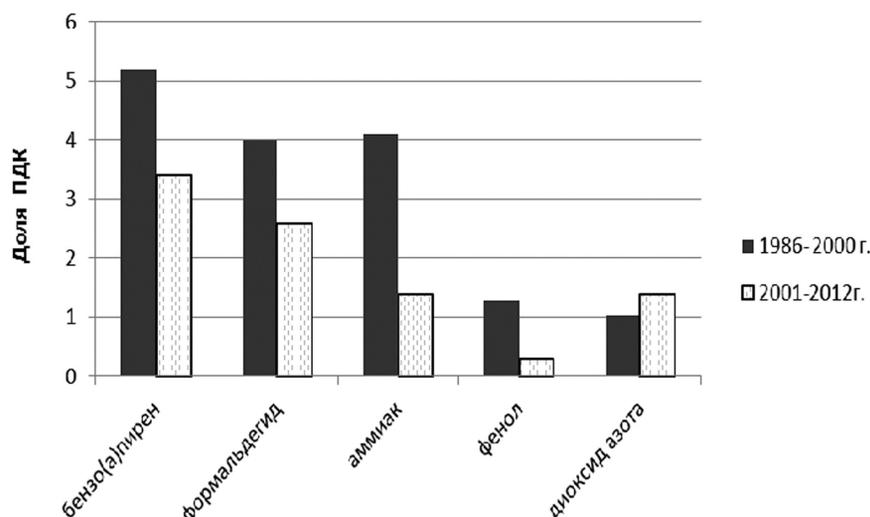


Рис. 1. Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ по г. Кемерово от стационарных источников. По оси абсцисс — год наблюдений. По оси ординат — суммарный выброс загрязняющих веществ, тыс. т/год



**Рис. 2.** Среднегодовая концентрация загрязняющих веществ в г. Кемерово в сравниваемых периодах. По оси абсцисс — вид поллютанта. По оси ординат — среднегодовая концентрация загрязняющего вещества в % ПДК. \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,001$ , \*\*\* —  $p < 0,01$  (указаны статистически значимые различия среднегодовых концентраций поллютантов в сравниваемых периодах)

нителers атмосферного воздуха (превышающих ПДК) в периоды 1986–2000 гг. и 2001–2012 гг. представлено на рисунке 2.

Выраженные, статистически значимые изменения наблюдаются в отношении БП. Если в период 1986–2000 гг. его среднегодовая концентрация составляла в среднем  $5,2 \text{ нг/м}^3$ , то в 2001–2012 гг. —  $3,4 \text{ нг/м}^3$  (различия статистически значимы  $U = 46,0$ ;  $p = 0,0177$ ), во всех замерах значимо превышая ПДК  $1 \text{ нг/м}^3$ . Согласно данным литературы, БП относится к веществам с несомненным мутагенным и канцерогенным эффектом, поэтому его можно рассматривать в качестве одного из ведущих факторов формирования ХА у горожан.

Значимым показателем загрязнения атмосферного воздуха городов является присутствие сажи и пыли. Средняя за год концентрация данных поллютантов в атмосфере Кемерово не превышала ПДК ни в одном из периодов наблюдений. Однако во время разовых замеров на отдельных постах наблюдали превышение ПДК (т. е. имело место эпизодическое повышение). Доля проб выше ПДК варьировала от 1,4 до 14,4 %. Максимальные разовые концентрации сажи достигали 3,8 ПДК. Известно, что присутствие в атмосфере пыли, сажи, взвешенных частиц может способствовать реализации генотоксических эффектов мутагенов окружающей среды. ПАУ легко аккумулируются на поверхности сажистых и других взвешенных частиц. Таким образом, в атмосфере г. Кемерово существуют все условия для проявления мутагенных свойств ПАУ и, в частности, бензо(а)пирена.

Помимо значительного снижения концентрации БП в двухтысячные годы наблюдалось статистически значимое уменьшение содержания в атмосфере г. Кемерово формальдегида, аммиака и фенола и повышение концентрации диоксида азота (рис. 2). Формальдегид и фенол,

как известно, обладают выраженным канцерогенным и мутагенным действием на клетки животных и человека (IARC, 2006; Schmid, Speit, 2007). Кластогенные эффекты этих веществ проявляются в повышении частоты ХА в клетках крови при длительном контакте с ними в производственной среде (Santovito et al., 2011; Ladeira et al., 2013). Наблюдаемое в Кемерово в двухтысячные годы снижение уровня формальдегида и фенола, а также аммиака (который нередко рассматривается, как слабый мутаген) в атмосфере потенциально способно влиять на уровень ХА у горожан. Вопрос о мутагенной активности диоксида азота остается спорным. Мутагенный эффект вещества установлен в бактериальном тесте Эймса, в тестах по выявлению разрывов ДНК и ХА в клетках легких крыс (WHO, 1997), при исследовании цитогенетических повреждений в лимфоцитах периферической крови людей при высокой концентрации вещества в воздухе рабочей зоны (Jodinger et al., 1998). В то же время мутагенный эффект воздействия диоксида азота не был подтвержден в полиорганном микроядерном тесте на крысах (Сычева и др., 2006).

Первые цитогенетические исследования населения г. Кемерово были начаты сотрудниками Кемеровского государственного университета в 1986 г. Динамика спонтанного уровня хромосомных aberrаций в этот и последующие годы представлены в таблицах 2 и 3.

При первом обследовании взрослых (1986 г., студенты и сотрудники КемГУ) была зарегистрирована довольно высокая частота клеток с ХА — медиана — 3,0; максимум — 13 % (табл. 2). Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу города в этот год были самыми высокими (рис. 1). Последующие исследования генотоксических эффектов воздействия факторов окружающей среды г. Кемерово демонстрировали снижение

Таблица 2

## Частота клеток с хромосомными aberrациями у взрослых жителей г. Кемерово в разные года и периоды, %

№	Группа	n	Медиана	Мода	Нижняя и верхняя квартиль	Min-Max	Асимметрия	Эксцесс	Mean ± St. err
1	1986	56	3,00	3,00	2,00–6,00	0–13,00	0,92	0,45	4,04 ± 0,42* 4–7
2	1995	9	2,44	м	1,00–4,00	0–6,00	0,72	–1,01	2,44 ± 0,78
3	1998	31	3,00	3,00	2,00–4,00	0–8,00	0,69	–0,14	3,19 ± 0,38* 6,7
4	2005	79	1,00	м	0–3,00	0–11,00	1,54	2,79	2,11 ± 0,25* 1,6
5	2008	62	2,00	3,00	1,00–3,00	0–6,00	0,26	–0,65	1,98 ± 0,19* 1,6,7
6	2010	20	0,13	0	0–0,87	0–3,00	2,36	7,04	0,48 ± 0,16* 1,7
7	2012	174	1,00	1,00	0,50–1,50	0–5,00	1,28	2,52	1,12 ± 0,07* 1,3,5,6
Все взрослые г. Кемерово до 2000 г. (1986–1998 гг.)		96	3,00	3,00	1,50–6,00	0–13,00	1,02	0,95	3,61 ± 0,29
Все взрослые г. Кемерово после 2000 г. (2005–2012 гг.)		335	1,00	1,00	0,50–2,00	0–11,00	1,97	6,37	1,48 ± 0,08**
Региональный фоновый уровень у взрослых Кемеровской области		124	3,00	2,00	2,00–4,50	0–12,00	1,31	1,98	3,35 ± 0,22

p — объем выборки; Mean ± St. err — среднее значение ± ошибка среднего; Min-Max — минимальное и максимальное значения, M — мультимодальность. \* — статистически значимо отличаются от значения аналогичного показателя в группах с указанным № (рассчитано по критерию Манна-Уитни, с учетом поправки Бонферрони (0,05/7) приняты значимыми отличия при p < 0,0071). Например, значение в группе № 1 (1986 г.) отличается от данных в группах № 4 (2005 г.), № 5 (2008 г.), № 6 (2010 г.), № 7 (2012 г.). \*\* — отличаются от значений регионального фонового уровня Кемеровской области (U = 9677; p = 0,0000001) и от взрослых г. Кемерово в 1986–1998 гг. (U = 7936; p = 0,0000001)

спонтанного уровня хромосомных нарушений у взрослых (статистически значимыми были отличия с данными 2005–2012 гг.). Уровень хромосомных нарушений, регистрировавшийся у кемеровчан в период 2005–2012 гг. (медиана=1,0), был статистически значимо ниже регионального фонового уровня ХА у взрослого населения

Кемеровской области (медиана = 3,0), рассчитанного на основе результатов цитогенетического анализа у жителей деревень и поселков, не испытывающих генотоксического давления окружающей среды (Дружинин, 2003; Минина, 2013). Таким образом, в 2000-х годах было установлено новое значение фонового уровня хромосомных

Таблица 3

## Частота клеток с хромосомными aberrациями у детей г. Кемерово в разные года, %

№	Группа	Объем выборки (n)	Медиана	Мода	Нижняя и верхняя квартиль	Min-Max	Асимметрия	Эксцесс	Mean ± St. err
1	1992	26	1,00	0	0–2,00	0–7,00	1,86	3,72	1,27 ± 0,34* 2,3,5
2	1993	81	3,32	2,00	2,00–5,00	0–8,00	0,25	–0,94	3,32 ± 0,24* 1,5
3	1994	67	4,00	4,00	1,00–6,00	8,00	0,10	–1,06	3,55 ± 0,28* 1,5
4	1995	23	3,00	4,00	1,00–4,00	0–7,00	0,22	–0,90	2,97 ± 0,36* 1,5
5	1996	40	4,00	2,00	2,00–6,00	0–11,00	0,63	–0,23	4,25 ± 0,43* 1,2,3,4
Все дети г. Кемерово		237	3,00	2,00	1,00–5,00	0–11,00	0,46	–0,43	3,30 ± 0,15**
Региональный фоновый уровень у детей Кемеровской области		267	2,50	2,00	1,50–3,50	0–9,50	0,87	0,99	2,65 ± 0,10

Mean ± St. err — средние значения ± ошибка среднего; Min-Max — минимальное и максимальное значения; \* — статистически значимо отличаются от значения аналогичного показателя в группах с указанным № (рассчитано по критерию Манна-Уитни, с учетом поправки Бонферрони (0,05/5) приняты значимыми отличия при p < 0,01). Например, значение в группе 1992 г. отличается от данных в группах № 2 (1993 г.), № 3 (1994 г.), № 5 (1996 г.). \*\* — отличаются от значений регионального фонового уровня у детей Кемеровской области (U = 27 046; p = 0,0047)

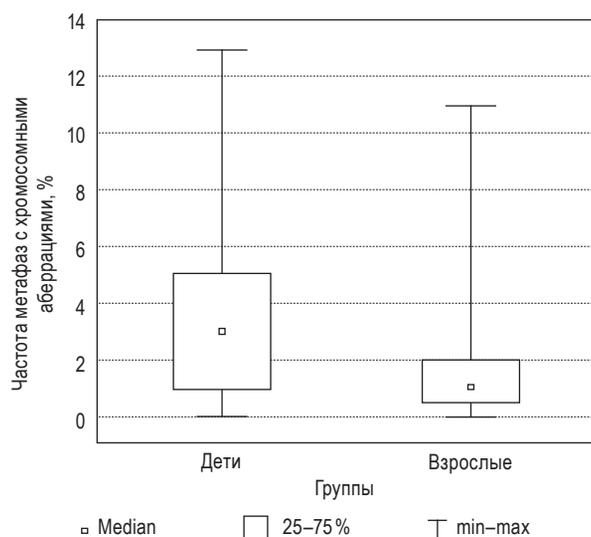


Рис. 3. Уровень хромосомных нарушений у детей и взрослых г. Кемерово в период 1986–1998гг.

нарушений у жителей г. Кемерово, не контактирующих профессионально с промышленными генотоксикантами, которое может использоваться в дальнейшем в генетико-экологических исследованиях (табл. 2).

У детей г. Кемерово в период 1992–1996 гг. уровень ХА (медиана — 3,0 %) был значимо выше регионального фонового уровня у детей Кемеровской области (медиана — 2,5 %) (табл. 3). Наиболее высокие значения уровня aberrаций хромосом были выявлены в апреле 1996 г., когда были обследованы 40 подростков, проживающих в г. Кемерово. Причины подобного резкого повышения не вполне ясны. Частота метафаз с ХА у них составила в среднем  $4,25 \pm 0,43$  %, медиана — 4,0. Такая высокая частота нарушений не регистрировалась более ни в одной из групп детей или взрослых. Самая низкая частота ХА у детей была зарегистрирована в 1992 г. (медиана — 1,0 %). В последующие годы aberrаций хромосом было уже статистически значимо больше: медиана в 1993 г. — 3,3 %.; в 1994 г. — 4,0 %; в 1995 г. — 3,0 %, в 1996 г. — 4,0 %. Связать низкую частоту ХА в 1992 г. и высокую в 1996 г. с изменением выброса изученных загрязняющих веществ не представляется возможным (рис. 1). Вероятно, в эти года существовали некие неучтенные факторы, сопутствующие проявлению мутагенных эффектов в условиях крупного промышленного города, которые требуют дальнейшего изучения. Не исключено, что такими факторами были спонтанные залповые выбросы загрязняющих веществ, не включенные в официальные отчеты.

Поскольку в период 1986–1998 гг. проводились обследования как взрослых, так и детей, появилась возможность провести сравнения между ними. Установлено, что показатели хромосомного мутагенеза (как общая частота aberrаций, так и их отдельных типов) у взрослых и детей, проживающих в г. Кемерово, ста-

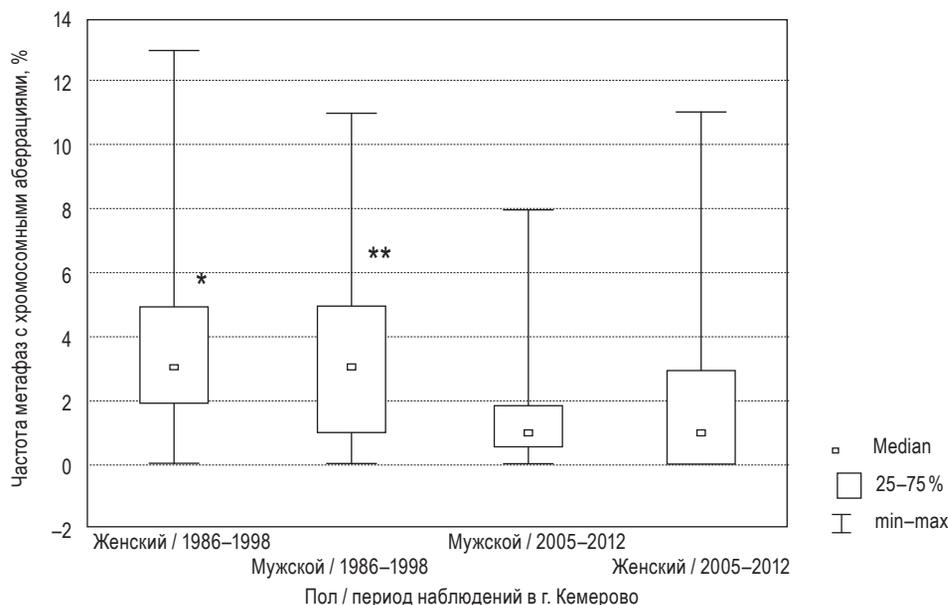
тистически значимо не различались. Так, например, медиана частоты клеток с ХА у детей (суммарно за период до 2000 г.) составила 3,00 % ( $n = 237$ ), у взрослых (суммарно за тот же период) медиана — 3,0 % ( $n = 96$ ) (рис. 3). Корреляционный анализ также не показал существования зависимости между возрастом и ХА. Таким образом, можно заключить, что возраст в исследованной выборке не модифицировал частоту мутаций хромосом.

Гендерные особенности выборки также не оказывали значимого влияния на ХА. Не было отличий между лицами мужского и женского пола как в период в 1986–1998 г., так и в 2005–2012 гг. (рис. 4). Однако наблюдались четкие отличия между лицами одного пола, но в разные периоды: как у мужчин, так и у женщин в 2005–2012 гг. частота ХА была статистически значимо ниже, чем в 1986–1998 гг. Это снижение хорошо согласуется с динамикой валового выброса загрязняющих веществ (рис. 1) и изменением после 2000 г. среднегодовой концентрации таких поллютантов как бензо(а)пирен, формальдегид, фенол (рис. 2). Учитывая отсутствие значимого влияния пола и возраста на показатели ХА в данной выборке, в дальнейшем, группы детей и взрослых, мужчин и женщин объединили и анализировали совместно.

Анализ качественного спектра aberrаций показал, что ведущим типом хромосомных нарушений у жителей г. Кемерово являются одиночные и парные фрагменты. В целом преобладали aberrации хроматидного типа (одиночные фрагменты). Было установлено, что в двухтысячные годы произошло значительное снижение частот встречаемости одиночных, парных фрагментов, обменов хроматидного типа и небольшое повышение частоты дицентрических хромосом (табл. 4).

Была проведена оценка значимости влияния фактора курения на изученные цитогенетические показатели. Установлено отсутствие статистически значимых отличий между курящими и некурящими как в период до 2000 г., так и после. Например, доля aberrантных метафаз до 2000 г.: у курящих медиана — 3,0 % ( $n = 62$ ), у некурящих — медиана — 3,0 % ( $n = 271$ ) и после 2000 г.: у курящих медиана — 1,0 % ( $n = 118$ ), у некурящих медиана — 1,0 % ( $n = 217$ ).

При анализе зависимостей между загрязнением атмосферного воздуха и уровнем ХА у жителей г. Кемерово было отмечено наличие статистически значимой положительной корреляции между валовым выбросом загрязняющих веществ в атмосферу Кемерово и уровнем ХА у населения (коэффициент корреляции Спирмена  $r_s = 0,68$ ,  $p = 0,000001$ ) (рис. 5 а). При анализе вклада отдельных загрязнителей статистически значимые положительные коэффициенты корреляции выявлены при сопоставлении динамики ХА и концентрации в воздухе бензо(а)пирена ( $r_s = 0,88$ ;  $p = 0,000001$ ) (рис. 5 б) и формальдегида ( $r_s = 0,68$ ;  $p = 0,000001$ ) (рис. 5 в).



**Рис. 4.** Уровень хромосомных нарушений у лиц разного пола в двух периодах наблюдений: 1986–1998 и 2005–2012 гг. \* —  $p=0,0000001$  указаны статистически значимые различия между женщинами в разные периоды наблюдений: 1986–1998 и 2005–2012 гг. \*\* —  $p=0,0000001$  указаны статистически значимые различия между мужчинами в 1986–1998 и 2005–2012 гг.

Таблица 4

#### Качественный спектр хромосомных aberrаций (%) у жителей г. Кемерово в двух периодах наблюдений

Виды хромосомных aberrаций	1986–1998 гг.		2005–2012 гг.		p*
	Медиана	Min–Max	Медиана	Min–Max	
Одиночные фрагменты	2,00	0–13,00	1,0	0–10,00	0,000001
Обмены хроматидного типа	0	0–1,00	0	0–0,3	0,010313
Парные фрагменты	1,00	0–6,00	0	0–2,00	0,000001
Дицентрики с фрагментами	0	0–1,00	0	0–1,00	0,717738
Дицентрики без фрагментов	0	0–1,00	0	0–1,00	0,004406
Кольцевые хромосомы	0	0–1,00	0	0–1,00	0,691571
Атипичные моноцентрики	0	0–2,00	0	0–1,00	0,246968

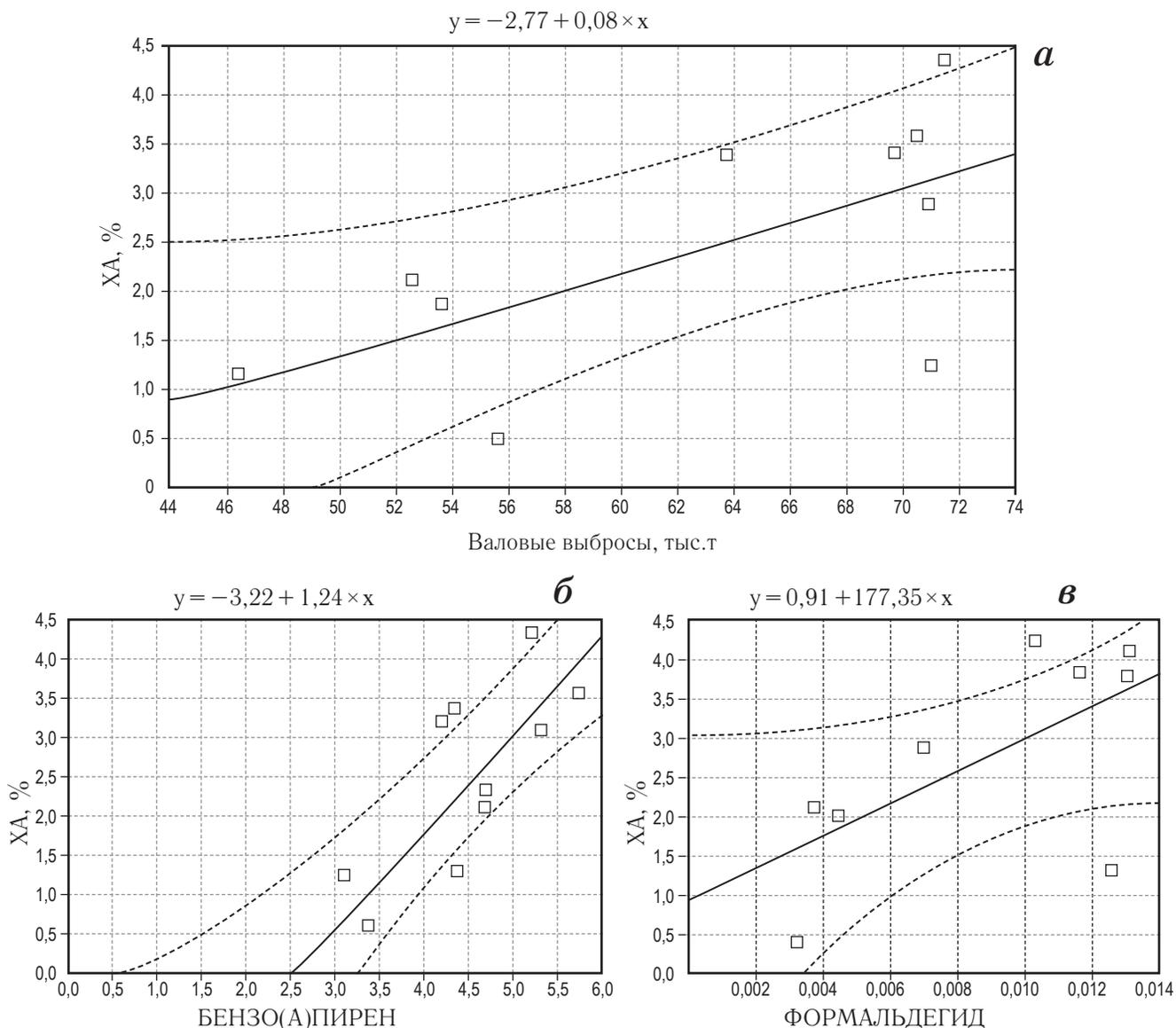
\* — значение p, рассчитанное при сравнении показателей двух периодов наблюдений с помощью рангового U-критерия Манна–Уитни

Эти взаимосвязи не удивительны и подтверждают кластогенный эффект воздействия данных соединений на организм человека.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значимая роль состояния окружающей среды в формировании популяционного уровня цитогенетической нестабильности у жителей промышленных городов не вызывает сомнений. В данной работе удалось проследить изменение уровня ХА у жителей г. Кемерово

на протяжении более 20 лет в зависимости от динамики концентрации ведущих загрязнителей, выявлены прямые корреляции между содержанием бензо(а)пирена, формальдегида и частотой клеток крови, несущих повреждения хромосом. Установлено значительное снижение уровня ХА у жителей крупного промышленного центра Сибири в двухтысячные годы по сравнению с предыдущим периодом, согласующееся с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Получено новое значение средней частоты ХА у жителей г. Кемерово —  $1,48 \pm 0,08 \%$ , так и частот



**Рис. 5.** Зависимость уровня хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови жителей Кемерово от концентрации ведущих загрязнителей атмосферного воздуха. По оси абсцисс — выброс загрязняющих веществ. По оси ординат — уровень хромосомных aberrаций (доля aberrантных метафаз), %. а) влияние валового выброса загрязняющих веществ от стационарных источников, тыс. тонн; б) влияние среднегодовой концентрации бензо(а) пирена, нг/м<sup>3</sup>; в) влияние среднегодовой концентрации формальдегида, мг/м<sup>3</sup>

отдельных видов aberrаций (табл. 4). Необходимо отметить, что снижение уровня ХА в период после 2000 г. совпадает со снижением показателей онкологической заболеваемости населения г. Кемерово. Ранее было отмечено статистически значимое снижение показателей онкозаболеваемости в период 2000–2009 гг. по сравнению с 1990–1999 гг. (Мун и др., 2013). Этот факт может служить дополнительным подтверждением согласованности процессов загрязнения окружающей среды, мутагенеза и канцерогенеза у населения промышленных городов.

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-06-98014 р-Сибирь-а, соглашения № 19 с АКО и государственного задания Минобрнауки РФ № 2014/64

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бочков Н.П. (1971). Хромосомы и облучение. М.: Наука.
2. Бочков Н.П., Чеботарев А.Н., Катосова Л.Д., Платонова В.И. (2001) База данных для анализа коли-

- чественных характеристик частоты хромосомных aberrаций в культуре лимфоцитов периферической крови человека. Генетика. Т. 37(4): С. 549–557.
3. Валинуров Р.Г., Турьянов А.Х., Викторова Т.В. и др. (1998). Цитогенетический анализ хромосомных aberrаций у детей г. Уфы. Здравоохран. Башкортостана. № 3–4: С. 25–27.
  4. Волков А.Н., Дружинин В.Г. (2001) Многолетняя динамика цитогенетических нарушений у подростков из крупного промышленного города. Генетика. Т. 37(9): С. 1296–1299.
  5. Гланц С. (1999). Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. Ю.А. Данилова. Под редакцией Н.Е. Бузикашвили и Д.В. Самойлова. М.: Практика.
  6. Глушков А.Н., Ларин С.А., Мун С.А. и др. (2006). Влияние техногенных факторов на загрязнение воздуха химическими канцерогенами в г. Кемерово. ТЭК и ресурсы Кузбасса № 2(25): С. 22–27.
  7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Кемеровской области. Дата обращения 23.03.2014. URL: <http://gosdoklad.kuzbasseco.ru/2012>.
  8. Гржибовский А.М. (2008). Анализ трех и более независимых групп количественных данных. Дата обращения 23.03.2014. URL: [http://www.nsmu.ru/human\\_ecology/dop\\_mat](http://www.nsmu.ru/human_ecology/dop_mat).
  9. Дружинин В.Г. (2003) Количественные характеристики частоты хромосомных aberrаций в группе жителей крупного промышленного региона Западной Сибири. Генетика. Т. 39(10): С. 1373–1378.
  10. Ингель Ф.И., Прихожан А.М. (2002). Связь эмоционального стресса у жителей г. Чапаевска с токсикологическими и генетическими показателями. Гигиена и санитария. № 1: С. 13–19.
  11. Ларин С.А., Мун С.А., Браиловский В.В. и др. (2004) Заболеваемость злокачественными новообразованиями в Кемеровской области в 1990–2000 гг. Вопросы онкологии. Т. 50(1): С. 36–37.
  12. Минина В.И. (2011) Комплексный анализ мутагенных и канцерогенных эффектов загрязнения окружающей среды в популяциях человека. Экология человека. Т. 3: С. 21–9.
  13. Минина В.И. (2013) Система оценки регионального фонового уровня хромосомных aberrаций. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 15. № 3 (6): С. 1872–1874.
  14. Мун С.А., Ларин С.А., Браиловский В.В. и др. (2006) Бенз(а)пирен в атмосферном воздухе и онкологическая заболеваемость в Кемерово. Гигиена и санитария. № 4: С. 28–30.
  15. Мун С.А., Ларин С.А., Браиловский В.В. и др. (2011) Сравнительный анализ экологической опасности базовых отраслей промышленности Кемеровской и Донецкой областей. Экология человека. № 12: С. 14–20
  16. Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н. (2013) Статистические методы исследования влияния выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на заболеваемость населения Кемеровской области раком легкого. Сибирский экологический журнал. Вып. 2: С. 295–301.
  17. Пилинская М.А., Дыбский С.С., Шеметун Е.В., Дыбская Е.Б. (2011) Соматический хромосомный мутагенез у жителей Украины, пострадавших от действия ионизирующего излучения, в разные сроки после аварии на Чернобыльской АЭС. Вестник Российской Академии медицинских наук. Т. 9: С. 63–66.
  18. Сычева Л.П., Журков В.С., Рахманин Ю.А. (2013) Актуальные проблемы генетической токсикологии. Генетика. 49 (3): 293–310.
  19. Сычева Л.П., Шереметьева С.М., Коваленко В.С. и др. (2006) Изучение цитогенетического и цитотоксического действия диоксида азота полиорганным микроядерным методом. Токсикологический вестник. № 4. С. 23–27.
  20. Bonassi S., Hagmar L., Stromberg U. et al. (2000) Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer independently of exposure to carcinogens. European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health. Cancer Res. V. 60: P. 1619–1625.
  21. Environmental Health Criteria 188. Nitrogen oxides (1997) 2nd edition. WHO, Geneva.
  22. Hagmar L., Stromberg U., Bonassi S. et al. (2004). Impact of types of lymphocyte chromosomal aberrations on human cancer risk: results from Nordic and Italian cohorts. Cancer Res. V. 64: P. 2258–2263.
  23. Hungerford P.A. (1965). Leukocytes cultured from small inocula of whole blood and the preparation of metaphase chromosomes by treatment with hypotonic KCl. Stain Techn. V. 40: P. 333–338.
  24. International Agency for Research on Cancer (IARC). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol. (2006). IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. V. 88: P. 1–478.
  25. Ladeira C., Viegas S., Carolino E. et al. (2013). The influence of genetic polymorphisms in XRCC3 and ADH5 genes on the frequency of genotoxicity biomarkers in workers exposed to formaldehyde. Environ Mol Mutagen. V.54(3): P. 213–233.
  26. Russell P.J. Chromosomal mutations (2002). in: B. Cummings (Ed.). Genetics. San Francisco: Pearson Education Inc.
  27. Santovito A., Schilirò T., Castellano S. et al. (2011) Combined analysis of chromosomal aberrations and glutathione S-transferase M1 and T1 polymorphisms in pathologists occupationally exposed to formaldehyde. Arch Toxicol. V. 85(10): P. 1295–1302.
  28. Schmid O., Speit G. (2007) Genotoxic effects induced by formaldehyde in human blood and implications for the interpretation of biomonitoring studies. Mutagenesis. V. 22(1): P. 69–74.

**DYNAMICS OF CHROMOSOMAL ABERRATIONS LEVEL IN RESIDENTS OF AN INDUSTRIAL CITY IN CONDITIONS OF CHANGING ATMOSPHERE POLLUTION**

*Minina V. I., Druzhinin V. G., Golovina T. A., Tolochko T. A., Meyer A. V., Volkov A. V., Bakanova M. L., Savchenko Ya. A., Ryzhkova A. V., Larin S. A., Titov R. A., Kulemin Yu. E.*

✿ **SUMMARY: Background.** The level and range of chromosomal aberrations in inhabitants of Kemerovo, a large industrial center of Western Siberia, were studied in two time periods: from 1986 to 2000 and from 2001 to 2012. **Materials and methods.** Total of 668 inhabitants were examined for chromosomal aberrations in their blood lymphocytes: 333 in the first time period and 335 in the second one. Official data on emission of air pollutants in Kemerovo, obtained by the Center for Hygiene and Epidemiology in the Kemerovo region in the period from 1986 to 2012, were also analyzed. **Results.** We found that frequency of aberrations among residents in Kemerovo was lower in 2000s as compared to the previous time period studied, which is consistent with reduced emission of pollutants into the air in Kemerovo. The new value of the background level of chromosomal aberrations in Kemerovo residents not contacting industrial genotoxicants was established at  $1.48 \pm 0.08\%$  and can be used in further genetic and ecological studies. **Conclusion.** Obtained results confirm coherence of environmental pollution and mutagenesis in populations of industrial cities.

✿ **KEY WORDS:** chromosomal aberrations; environmental pollution; industrial cities.

✿ **REFERENCES (TRANSLITERATED)**

- Bochkov N. P. (1971) Hromosomy i obluchenie [Chromosomes and irradiation]. Moscow: Nauka.
- Bochkov N. P., Chebotarev A. N., Katosova L. D., Platonov V. I. (2001) Baza dannyh dlja analiza kolichestvennyh harakteristik chastoty hromosomnyh aberracij v kul'ture limfocitov perifericheskoj krovi cheloveka [Database for analysis of quantitative characteristics of the frequency of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocyte culture of human]. *Genetics*. V. 37(4): P. 549–557.
- Valinurov R. G., Turyanov A. H., Viktorova T. V. et al. (1998) Citogeneticheskij analiz hromosomnyh aberracij u detej g. Ufy [Cytogenetic analysis of chromosomal aberrations in children of Ufa]. *Healthcare of Bashkortostan*. № 3–4: P. 25–27.
- Volkov A. N., Druzhinin V. G. (2001) Mnogoletnjaja dinamika citogeneticheskikh narushenij u podrostkov iz krupnogo promyshlennogo goroda. [Long-term dynamics of cytogenetic abnormalities in adolescents from a large industrial city]. *Genetics*. V. 37(9): P. 1296–1299.
- Glantz S. (1999). *Mediko-biologicheskaja statistika [Primer of Biostatistics]*. M.: Praktika.
- Glushkov A. N., Larin S. A., Mun S. A. et al. (2006). Vlijanie tehnogennyh faktorov na zagryznenie vozduha himicheskimi kancerogenami v g. Kemerovo. [The influence of technological factors on air pollution by chemical carcinogens in Kemerovo]. *Energy and Resources of Kuzbass*. № 2 (25): P. 22–27.
- Gosudarstvennyj doklad o sostojanii okruzhajushhejsredy Kemerovskoj oblasti. [State report on the state of the environment of the Kemerovo region] Cited 23.03.2014. URL: <http://gosdoklad.kuzbasseco.ru/2012>.
- Grzhibovskij A. M. (2008). Analiz treh i bolee nezavisimyh grupp kolichestvennyh dannyh [Analysis three or more independent groups of quantitative data]. Cited 23.03.2014. URL: [http://www.nsmu.ru/human\\_ecology/dop\\_mat](http://www.nsmu.ru/human_ecology/dop_mat).
- Druzhinin V. G. (2003). Kolichestvennyje harakteristiki chastoty hromosomnyh aberracij v gruppe zhitelej krupnogo promyshlennogo regiona Zapadnoj Sibiri. [Quantitative characteristics of the frequency of chromosomal aberrations in a group of residents of large industrial region of Western Siberia]. *Genetics*. V. 39(10): P. 1373–1378.
- Ingel F. I., Parishioners A. M. (2002). Svjaz' jemocional'nogo stressa u zhitel'nic g. Chapaevska s toksikologicheskimi i geneticheskimi pokazateljami [Communication of emotional stress from residents Chapaevska with toxicological and genetic indicators]. *Hygiene and Sanitation*. № 1: P. 13–19.
- Larin S. A., Mun S. A., Brailovski V. V. et al. (2004). Zabol'evaemost' zlokachestvennymi novoobrazovanijami v Kemerovskoj oblasti v 1990–2000 gg. [The incidence of malignant tumors in the Kemerovo region, 1990–2000]. *Problems of Oncology*. V. 50(1): P. 36–37.
- Minina V. I. (2011). Kompleksnyj analiz mutagennyh i kancerogennyh jeffektov zagryznenija okruzhajushhej sredy v populjacijah cheloveka. [Comprehensive analysis of the mutagenic and carcinogenic effects of environmental pollution in human populations]. *Human Ecology*. V. 3: P. 21–30.
- Minina V. I. (2013). Sistema ocenki regional'nogo fonovogo urovnja hromosomnyh aberracij [The evaluation system of regional background levels of chromosomal aberrations]. *Proceedings of the Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences*. V. 15. № 3(6): P. 1872–1874.
- Mun S. A., Larin S. A., Brailovski V. V. et al. (2006) Benz (a)piren v atmosfernom vozduhe i onkologicheskaja zabol'evaemost' v Kemerovo. [Benzo (a) pyrene in the air and cancer incidence in Kemerovo]. *Hygiene and Sanitation*. № 4: P. 28–30.
- Mun S. A., Larin S. A., Brailovski V. V. (2011). Sravnitel'nyj analiz jekologicheskogo opasnosti bazovyh otraslej promyshlennosti Kemerovskoj i Doneckoj oblastej [Comparative analysis and other environmental hazards basic industries Kemerovo and Donetsk regions]. *Human Ecology*. № 12: P. 14–20
- Mun S. A., Larin S. A., Glushkov A. N. (2013). Statisticheskie metody issledovanija vlijanija vybrosov zagr-

- jaznjajushhiv veshhestv v atmosferu na zabelevaemost' naselenija Kemerovskoj oblasti rakom legkogo. [Statistical Methods for Studying the Effects of Pollutant Emissions into the Atmosphere on Lung Cancer Incidence Rates in the Population of Kemerovo Oblast]. Contemporary Problems of Ecology. Vol. 6(2): P. 236–241
17. Pilinski M. A., Dybsky S. S., Shemetun E. V. Dybskaya E. B. (2011). Somaticheskij hromosomnyj mutagenез u zhitelej Ukrainy, postradavshih ot dejstvija ionizirujushhego izlucheniya, v raznye sroki posle avarii na Chernobyl'skoj AJeS. [Somatic mutagenesis in chromosomal residents of Ukraine affected by the effects of ionizing radiation at different times after the Chernobyl accident]. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. V. 9: P. 63–66.
  18. Sycheva L. P., Zhurkov V. S., Rahmanin Ju. A. (2013). Aktual'nye problemy geneticheskoy toksikologii. Actual problems of genetic toxicology]. Genetics. V. 49 (3): P. 293–310.
  19. Sychyova L. P., Sheremetyeva S. M., Kovalenko V. S. et al. (2006). Izuchenie citogeneticheskogo i citotoksicheskogo dejstvija dioksida azota poliorgannym mikrodjademnym metodom. [Study of cytogenetic and cytotoxic actions of nitrogen dioxide using a polyorganic micronuclear method]. Toxicological Review. № 4: P. 23–27.
  20. Bonassi S., Hagmar L., Stromberg U. et al. (2000). Cancer Res. Vol. 60. P. 1619–1625.
  21. Environmental Health Criteria 188. Nitrogen oxides. (1997). 2nd edition. WHO, Geneva
  22. Hagmar L., Stromberg U., Bonassi S. et al. (2004) Cancer Res. V. 64: P. 2258–2263.
  23. Hungerford P.A. (1965). Stain Techn. V. 40: P. 333–338.
  24. International Agency for Research on Cancer (IARC). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol. (2006) IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. V.88: P. 1–478.
  25. Ladeira C., Viegas S., Carolino E. et al. (2013). Environ Mol Mutagen. V. 54(3). P. 213–233.
  26. Russell P.J. (2002). Chromosomal mutations in: B. Cummings (Ed.). Genetics. Pearson Education Inc. San Francisco.
  27. Santovito A., Schilirò T., Castellano S. et al. (2011). Arch Toxicol. V. 85(10): P. 1295–1302.
  28. Schmid O., Speit G. (2007). Mutagenesis. V.22(1). P. 69–74.

✉ Информация об авторах

**Минина Варвара Ивановна** — к. б. н., зав. лаб. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650002, Кемерово, пр-т Шахтеров, д. 72 а. E-mail: vminina@mail.ru.

**Дружинин Владимир Геннадьевич** — д. б. н., проректор по научной работе. Административный отдел. Кемеровский государственный университет. 650003, Кемерово, Ленинградский пр-т, д. 40. E-mail: druzhinin\_vladim@mail.ru.

**Головина Татьяна Александровна** — инженер. Кафедра генетики. Кемеровский государственный университет. 650055, Кемерово, ул. Сарыгина д. 23. E-mail: genetics.golovina@gmail.com.

**Толочко Татьяна Андреевна** — старший преподаватель. Кафедра генетики. Кемеровский государственный университет. 650055, Кемерово, ул. Мичурина д. 35. E-mail: totat@list.ru.

**Мейер Алина Викторовна** — к. б. н., ассистент. Кафедра генетики. Кемеровский государственный университет. 650055, Кемерово, Кузнецкий пр-т, д. 122 а. E-mail: shapo-alina@yandex.ru.

**Волков Алексей Николаевич** — к. б. н., доцент. Кафедра генетики. Кемеровский государственный университет. 650056, Кемерово, пр. Ленина, 125 а. E-mail: volkov\_alex@rambler.ru.

**Баканова Марина Леонидовна** — младший научный сотрудник. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650023, Кемерово, Октябрьский пр-т, д. 42. E-mail: mari-bakano@yandex.ru.

**Савченко Яна Александровна** — младший научный сотрудник. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650056, Кемерово, ул. Волгоградская д. 29. E-mail: yasavchenko@ya.ru.

**Рыжкова Анастасия Владимировна** — инженер. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650002, Кемерово, ул. Авроры, д. 4. E-mail: kotia@mail.ru.

**Титов Руслан Александрович** — инженер. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650000, Кемерово, ул. Халтурина, д. 25. E-mail: Ruslan-tito00@rambler.ru.

**Ларин Сергей Анатольевич** — старший научный сотрудник. Лаборатория иммунохимии. Институт экологии человека СО РАН. 650002, Кемерово, пр-т Шахтеров, д. 72 а. E-mail: Larin57@list.ru.

**Кулемин Юрий Евгеньевич** — инженер. Лаборатория цитогенетики. Институт экологии человека СО РАН. 650000, Кемерово, ул. Халтурина, д. 25. E-mail: Ruslan-tito00@rambler.ru.

**Minina Varvara Ivanovna** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650002, Кемерово, prospekt Shakhтеров, 72 а. E-mail: vminina@mail.ru.

**Druzhinin Vladimir Gennadyevich** — Кемерово State University. 650003, Кемерово, Leningradskiy prospekt, 40. E-mail: druzhinin\_vladim@mail.ru.

**Golovina Tatyana Aleksandrovna** — Кемерово State University. 650055, Кемерово, Sarygina St., 23. E-mail: genetics.golovina@gmail.com.

**Tolochko Tatyana Andreyevna** — Кемерово State University. 650055, Кемерово, Michurina St., 35. E-mail: totat@list.ru.

**Meyer Alina Viktorovna** — Кемерово State University. 650055, Кемерово, Kuznetskiy prospekt, 122 а. E-mail: shapo-alina@yandex.ru.

**Volkov Aleksey Nikolayevich** — Кемерово State University. 650056, Кемерово, prospekt Lenina, 125 а. E-mail: volkov\_alex@rambler.ru.

**Bakanova Marina Leonidovna** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650023, Кемерово, Oktyabrskiy prospekt, 42. E-mail: mari-bakano@yandex.ru.

**Savchenko Yana Aleksandrovna** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650056, Кемерово, Volgogradskaya St., 29. E-mail: yasavchenko@ya.ru.

**Ryzhkova Anastasiya Vladimirovna** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650002, Кемерово, Avrory St., 4. E-mail: kotia@mail.ru.

**Titov Ruslan Aleksandrovich** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650000, Кемерово, Khalturina St., 25. E-mail: Ruslan-tito00@rambler.ru.

**Larin Sergey Anatolyevich** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650002, Кемерово, prospekt Shakhтеров, 72 а. E-mail: Larin57@list.ru.

**Kulemin Yuriy Yevgenyevich** — Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the RAS. 650000, Кемерово, Khalturina St., 25. E-mail: Ruslan-tito00@rambler.ru.