

РАЗДЕЛ V. ТЕХНОЛОГИИ. ХИМИЯ И ФИЗИКА  
МАТЕРИАЛОВ  
[TECHNOLOGY. CHEMISTRY AND PHYSICS  
OF MATERIALS]

УДК 502.55

Л.Х. ТАС-ООЛ, Н.Н. ЯНЧАТ

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

**ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ  
АТМОСФЕРЫ г. КЫЗЫЛА В 2011–2017 гг.**

В статье приведён обзорный анализ состояния воздушной атмосферы г. Кызыла в период 2011–2017 гг. по сведениям Росгидромет и по данным мониторинга снегового покрова, проводимых ТувИКОПР СО РАН.

*Ключевые слова:* загрязнение воздушной атмосферы, снежный покров, дымовые выбросы угля, бенз(а)пирен, сажа.

Табл. 1. Библ. 11 назв. С. 56–61.

L.Kh. TAS-OOL, N.N. YANCHAT

*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

**TECHNOGENIC AIR ATMOSPHERE POLLUTION OF KYZYL IN  
2011–2017**

The paper provides an overview analysis of the state of the air atmosphere in Kyzyl within 2011-2017 years period according to Roshydromet data and according to the snow cover monitoring carried out in TuvIENR SB RAS.

*Keywords:* air pollution, snow cover, smoke coal emissions, benz(a)pyrene, soot.

Table 1. References 11. P. 56–61.

**ВВЕДЕНИЕ**

В статье представлен обзор информации о качестве воздушной атмосферы г. Кызыла в период 2011–2017 гг. по результатам мониторинга химического состава снегового покрова, проводимого в ТувИКОПР СО РАН, и материалам ежегодников (ежегодных обзоров) о состоянии загрязнения атмосферы (окружающей среды) в городах на территории России, публикуемых Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова и Росгидромет (Ежегодники ..., 2007–2017: Электрон. ресурс; Обзор ..., 2007–2018: Электрон. ресурс).

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБОБЩЕНИЯ ДАННЫХ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА**

Уровень загрязнения воздушной среды оценивается путём сопоставления усреднённых концентраций примесей в атмосфере с гигиеническими нормативами качества атмосферного воздуха — предельно допустимыми концентрациями веществ (ПДК), которые не оказывают на человека и его потомство прямого или косвенного неблагоприятного воздействия, не ухудшают их работоспособности, самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни (Гигиенические...: Электрон. ресурс). Максимальную разовую концентрацию примеси  $q_m$  (измеренная за 20 мин, мг/м<sup>3</sup>) сравнивают с мак-

симальной разовой ПДК<sub>м.р.</sub> (осреднённая из показаний за 20 мин), а среднюю концентрацию (среднесуточная  $q_{с.с.}$ , среднемесячная  $q_{с.мес.}$ , среднегодовая  $q_{ср.}$ ) — со среднесуточной ПДК<sub>с.с.</sub>.

Различают четыре уровня загрязнения воздушной среды населённых пунктов — низкий, повышенный, высокий, очень высокий:

1. Низкий — при ИЗА = (0–4), СИ < 1, НП < 10 %;
2. Повышенный — при ИЗА = (5–6), СИ < 5, НП = (10–20) %;
3. Высокий — при ИЗА = (7–13), СИ = (5–10), НП = (20–50) %;
4. Очень высокий, при ИЗА ≥ 14, СИ > 10, НП > 50 %.

ИЗА( $n$ ) или  $I(n)$  — комплексный индекс загрязнения атмосферы по набору примесей ( $n$ ), которые вносят основной вклад в загрязнение.

$$I(n) = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{с.р.i}}{ПДК_{с.с.i}} \right)^{C_i},$$

где  $q_{с.р.i}$ , мг/м<sup>3</sup> — среднегодовая концентрация загрязнителя;  $C_i$  — константа, используемая для перевода степени вредности примеси к степени вредности SO<sub>2</sub> (класс опасности 3), принимается равной 1,5; 1,3; 1,0; 0,85 для веществ 1, 2, 3, 4 класса опасности соответственно. СИ — стандартный индекс, наибольшая разовая концентрация примеси, выраженная в единицах ПДК, СИ =  $q_{м.р.}/ПДК$ ; из значений СИ для всех примесей выбирается наибольший. Для бенз(а)пирена и металлов величина СИ определяется по значению среднемесячной концентрации ( $q_{с.мес.}$ ), отнесённой к ПДК<sub>с.с.</sub>. НП, % — наибольшая повторяемость превышения уровня ПДК, определяется как доля случаев наибольшего превышения ПДК в общем числе наблюдений (за месяц/год) на всех постах (станциях) за одной или всеми примесями.

Степень техногенного загрязнения воздушной среды оценивается (Методические..., 1990) и по величине суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) устойчивого снежного покрова (СП):

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где  $K_c = \frac{C_i}{C_f}$  — коэффициент накопления загрязнителя в устойчивом СП;  $C_i$  и  $C_f$  —

концентрация конкретного элемента-загрязнителя, соответственно, в точках отбора проб исследуемой территории и в её фоновой точке, мг/кг. Вышеотмеченным четырём отличимым уровням загрязнения воздушной атмосферы соответствуют интервальные значения  $Z_c$ , указанные в скобках: низкий (32–64), средний (64–128), высокий (128–256), очень высокий (>256).

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

*Состояние воздушной атмосферы г. Кызыла по данным Росгидромет.* В прошедшее десятилетие по результатам обработки регулярных данных, снимаемых с трёх стационарных постов Росгидромет в столице Республики Тыва в 07.00, 13.00 и 19.00 час., г. Кызыл относится к числу экологически неблагоприятных малых городов России (Обзор ..., 2007–2018: Электрон. ресурс). Начиная с 2013 г. уровень загрязнения его воздушной атмосферы характеризуется (табл. 1) как очень высокий, ИЗА(5) ≥ 14, а в период 2007–2013 гг. — высокий и очень высокий, чаще ИЗА(5) > 7.

Основными загрязнителями города являются бенз(а)пирен (БП), взвешенные вещества (пыль), сажа, фенол, диоксид азота. Чрезвычайно велики выбросы БП — вещества первого класса опасности, вещества-канцерогены (ПДК<sub>с.с.</sub> 1 нг/м<sup>3</sup>). Если до 2012 г. среднегодовые концентрации БП превышали ПДК более чем в десять раз (СИ<sub>БП</sub> > 10 ПДК), то позднее в период 2012–2017 гг. кратность превышения ПДК у БП увеличилась до 20, 30 и даже 50 раз. Длительное вдыхание БП в дозах, превышающих ПДК, может привести к снижению иммунитета и развитию раковых новообразований (Руководство..., 2004).

Таблица 1. Показатели загрязнения воздушной атмосферы\*, снегового покрова\*\*, ввода индивидуальных жилых домов, численности\*\*\* и заболеваемости\*\*\*\* населения в период 2007–2017 гг. по г. Кызылу

Показатели	Год										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Уровень загрязнения атмосферы	В, ИЗА>7	ОВ, ИЗА>14	ОВ, ИЗА>7	ОВ, ИЗА>7	В, ИЗА>7	В, ИЗА>7	ОВ, ИЗА>14	ОВ, ИЗА>14	ОВ, ИЗА>14	ОВ, ИЗА>14	ОВ, ИЗА>14
Вещества, определяющие уровень загрязнения атмосферы, $q_{cp} > 1$ ПДК	БП, ВВ, Ф	БП, ВВ, Ф	БП, ВВ, Ф, сажа	БП, ВВ, Ф, сажа	БП, ВВ, Ф, сажа	БП, ВВ, Ф, сажа	БП, ВВ, Ф, сажа	БП	БП	БП, ВВ, Ф, сажа, NO <sub>2</sub>	БП, ВВ, Ф, сажа, NO <sub>2</sub>
Вещества, для которых СИ > 10	БП (10,5)		БП (10,2)	БП (19,0)			БП (21,2)	БП (51,2)	БП (30,8)	БП (17,5)	БП (35,0)
НП > 20 %			сажа (21,3)				сажа (24,0)				
Суммарные выбросы, тыс. т:											
пыль	2,9	8,1	3,3	3,7	3,9	1,8	2,2	1,7	2,2	2,2	2,0
SO <sub>2</sub>	1,4	1,6	1,7	1,7	1,7	1,4	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4
NO <sub>2</sub>	0,3	1,5	2,9	5,1	5,2	0,9	1,1	0,91	1,1	0,6	1,0
CO	3,3	17,1	11,6	15,6	17,0	6,8	7,1	7,2	7,1	7,2	7,0
Усредн. содерж. пыли в СП, мг / (м <sup>2</sup> -сутки)					8,83	19,53	37,41	62,79	75,56		
Z <sub>c</sub> суммарное загрязнение снежного покрова пылью по зонам:											
северная						62,4	101,7	191,5			
центральная						127,9	359,2	392,5			
южная						51,6	73,3	142,2			
по городу						80,6	178,1	242,1		250,9	
Ввод жилья, м <sup>2</sup> :											
г. Кызыл, всего:	12005	12607	13974	17274	19361	23562	19068	45732	46706	61624	55334
инд. жил. дома	7000	7666	6792	9344	11871	19073	19068	39339	42071	38209	39957
пгт Каа-Хем	672	5317	6636	8245	7054	6961	15360	18796	21302	14100	9195
Численность населения на начало года, в тыс. чел.:											
г. Кызыл	108,3	108,1	108,3	109,9	110,2	112,0	113,3	114,0	114,2	115,9	116,0
пгт Каа-Хем			11,08	15,04	15,12	15,48	14,78	16,02	16,63	16,9	17,62
Злокачественные новообразования (на 100 тыс. населения):											
в РФ	340,7	345,9	355,8	364,2	365,7	367,6	374,2	387,6	402,9	408,6	
в Респ. Тыва	165,1	158,8	155,8	162,4	171,0	177,5	179,1	194,7	209,1	228,4	241,4
в г. Кызыле	215,1	204,5	193,9	212,8	200,5	195,5	214,4	220,2	251,2	262,4	262,9

Примечания. По данным: \* — Ежегодники ..., 2007–2017: Электрон. ресурс;

\*\* — Тас-оол, Калуш, Чупикова, 2016;

\*\*\* — <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst93/DBInet.cgi>; \*\*\*\* — Государственные... Электрон. ресурс.

БП — бенз(а)пирен; ВВ — взвешенные вещества; В — уровень загрязнения высокий; ОВ — уровень загрязнения очень высокий; ИЗА — индекс загрязнения атмосферы; Ф — фенол; СИ — стандартный индекс; НП — наибольшая повторяемость превышения уровня ПДК; ПДК — предельно-допустимые концентрации.

Среднегодовые содержания сажи (чёрный углерод), взвешенных веществ, формальдегида и оксида азота также превышают ПДК ( $q_{cp} > 1$  ПДК), но в меньшей степени, чем таковые у БП. Наибольшая повторяемость превышения ПДК — в более чем в 20 % от общего количества измерений фиксировалась по саже (НП<sub>сажа</sub> > 20 %) на станции № 5, расположенной на территории большого городка по ул. Оюна Курседи, недалеко от частного сектора.

Состояние устойчивого снегового покрова г. Кызыла по данным мониторинга. Вся территория города, с учётом влияния розы ветров, рельефа и характера распределе-

ния экспериментальных данных по точкам отбора проб, нами поделена на три условные зоны: северная (правобережная), центральная и южная. Одна из разделительных линий зон проведена по руслу р. Енисей, другая — по параллели, проведённой южнее русла на удалениях ~2,5 км. В наихудшем состоянии всегда находилась центральная зона города, в её пределах загрязнение СП увеличилось до уровня *очень высокий* ещё в 2013 г. Загрязнение воздушной атмосферы в северной и южной зонах не поднималось выше уровня *высокий* и возрастало медленнее в сравнении с центральной зоной.

В период 2011–2015 гг. усреднённое суммарное загрязнение СП города нерастворимыми компонентами ( $Z_c$ ) повышалось по типу восходящей линейной регрессии (Тас-оол, Калуш, Чупикова, 2016):

$$y = 17,7x - 12,9 \quad R^2 = 0,98,$$

где:  $y$  ( $\text{мг}/\text{м}^2$  сутки) — среднесуточная масса осевшей пыли, усреднённая по территории города,  $x$  — год мониторинга,  $R^2$  — коэффициент детерминации (достоверность аппроксимации). Как видно, расчётный коэффициент годового прироста количества пыли на единицу площади СП составил почти  $18 \text{ мг}/(\text{м}^2 \text{ сутки})$ . Это означает, что в указанный период усреднённая величина суточных выбросов вредных компонентов углестигания возрастала ежегодно на ~18 мг.

В составе пылевой фракции СП, помимо «чёрного углерода» — недожог угля, идентифицируются (метод электронной микроскопии) тридцать три элемента неорганического вещества каахемских углей (Тас-оол, Хомушку и др., 2016). Вблизи жилых домов с печным отоплением и производственных котельных содержание сажи достигало 60–70 % от общей массы осевшей мелкодисперсной пыли. Из этого следует, что основными загрязнителями г. Кызыла являются теплоэнергетические установки, в которых в качестве топлива используются каахемские угли марки Г, ГЖ с высоким выходом летучих (до 40 %).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Отмеченный в прошедшее десятилетие рост загрязнения окружающей среды в столице Республики Тыва обусловлен увеличением объёмов сжигания угольного топлива в новых домах (коттеджах), возведённых в г. Кызыле и пгт Каа-Хем (административный центр муниципального образования Кызылский кожуун), примыкающем к территории города с наветренной восточной стороны.

Строительство таких домов велось за счёт собственных и заёмных средств горожан и сельчан; в 2007–2017 гг. численность населения в г. Кызыле возросла на 7,7 тыс. чел, в пгт Каа-Хем — на 6,5 тыс. чел. В этот период в г. Кызыле введено жилья более 327 тыс.  $\text{м}^2$ , в их числе 240 тыс.  $\text{м}^2$  (72 %) индивидуальных жилых домов (ИЖД). В пгт Каа-Хем построено ИЖД 114 тыс.  $\text{м}^2$ . Таким образом, на сопредельных территориях города и пгт построено > 354 тыс.  $\text{м}^2$  или более 4,38 тыс. ИЖД. В Туве в 2014 г. средняя площадь жилья, возводимого населением, составила  $80,8 \text{ м}^2$  (РосРи-элт...: Электрон. ресурс).

Неснижающийся *очень высокий* уровень загрязнения воздушной атмосферы г. Кызыла ( $\text{ИЗА} > 14$ ), неснижающийся *очень высокий* уровень суммарного загрязнения снежного покрова ( $Z_c > 359$ ) центральной зоны города установился в 2013 г. (см. табл. 1). Ухудшение состояния воздушной среды и подстилающей поверхности обусловлено увеличением объёмов сжигаемого угля, являющегося следствием ввода в эксплуатацию новых ИЖД. Так, в 2013 г. в пгт Каа-Хем ввод жилья (в сравнении с предыдущим годом) возрос двукратно, а в следующем 2014 г. показатель ввода ИЖД удвоился и в г. Кызыле. По данным опроса населения выявлено, что в каждом отдельном доме за один отопительный сезон в среднем сжигается до ~7 т угля. Простой подсчёт покажет, что в 2017 г. в г. Кызыле и пгт Каа-Хем общий объём угля, сожжённого в печах ИЖД, превысил уровень 2007 г. почти на 31 млн. т.

На высокий уровень загрязнения СП в центральной зоне города влияют два фактора. *Первый* — расположение зоны на самых низких уровнях межгорной котловины, на которых влияние запирающего слоя приземной температурной инверсии сильнее,

чем в соседних вышерасположенных зонах. *Второй* — появление новых кварталов новостроек с печным отоплением в восточной (навстремной) стороне зоны.

Сохранение в течение длительного (десятилетнего) периода *очень высокого* и *высокого* уровней загрязнения воздушной атмосферы вредными выбросами, в т. ч. канцерогенным бенз(а)пиреном в количествах, превышающих ПДК, может быть одной из основных причин, обусловивших рост раковых заболеваний у жителей г. Кызыла. Согласно информации Минздрава Республики Тыва (О Государственном..., 2018: Электрон. ресурс), за пять лет с 2012 по 2017 г. показатель онкологической заболеваемости кызылчан вырос на 34 % (со 196 чел. до 263 на 100 тыс. населения). Этот показатель выше среднего республиканского на 10–30 %, у горожан в структуре выявленных злокачественных новообразований рак лёгкого занимает первое место, у сельчан — рак желудка.

В целях решения актуальной для г. Кызыла проблемы загрязнения воздушной атмосферы дымовыми выбросами углесжигания мэрия прорабатывает вопрос по выпуску брикетов «бездымного» топлива. Правительство Республики Тыва в январе 2019 г. одобрило «дорожную карту» по развитию *многоэтажной комплексной застройки* территории. Согласно карте в генеральные планы мэрии Кызыла и администрации Кызылского кожууна будут внесены изменения. В частности, столичные власти зарезервируют земли в районе дачных обществ «Вавилинский затон» исключительно под строительство многоэтажного жилья с необходимыми инженерными коммуникациями, социальными, торговыми и др. объектами. В такой же резерв будет передана часть земель Кызылского района в пгт Каа-Хем и с. Сукпак, расположенном в двух десятках километров от Кызыла (Новости..., 2019: Электрон. ресурс).

## Выводы

В Республике Тыва население г. Кызыла в последнее десятилетие (2007–2017) находится под воздействием *высокого* и *очень высокого* уровней загрязнения воздушной атмосферы. Среднегодовые содержания сажи (чёрный углерод), взвешенных веществ, формальдегида и оксида азота превышали ПДК ( $q_{\text{ср.}} > 1$  ПДК), а средняя за год концентрация бенз(а)пирена превышала ПДК в десять и более раз ( $\text{СИ}_{\text{БП}} > 10$  ПДК).

Стабильный *очень высокий* уровень загрязнения воздушной атмосферы г. Кызыла ( $\text{ИЗА} > 14$ ), *очень высокий* уровень суммарного загрязнения снежного покрова ( $Z_c > 359$ ) в центральной зоне города наблюдается с 2013 г. В период 2011–2015 гг. количество мелкодисперсных пылевых частиц, привносимых ежедневно в атмосферный воздух в составе дымовых выбросов углесжигания и оседающих на единицу площади снегового покрова, ежегодно возрастало на ~ 18 мг. Ухудшение качества воздушной среды и подстилающей поверхности связано с увеличением количества индивидуальных жилых домов и, как следствие, с увеличением объёмов угля, сжигаемого в их отопительных системах (печах / котлах).

## ЛИТЕРАТУРА

Гигиенические нормативы: ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71750374/>, свободный (дата обращения: 20.02.2019).

Государственные доклады: Офиц. портал Республики Тыва [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://gov.tuva.ru/content/1418/>, свободный.

Ежегодники о загрязнении окружающей среды (по компонентам) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/>, свободный (дата обращения: 20.02.2019) (см. 2007–2017 гг.).

Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. МР 5174–90 [Электрон. ресурс]. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 16 с. – Режим доступа: <https://docplan.ru/Data2/1/4293736/4293736062.pdf>, свободный (дата обращения 04.03.2019).

Новости Правительства Республики Тыва [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://gov.tuva.ru/press\\_center/news/building/38779/](http://gov.tuva.ru/press_center/news/building/38779/), свободный (дата обращения: 16.04.2019).

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007–2018 гг. [Электрон. ресурс]. – М.: Росгидромет, 2008–2019. – Режим доступа: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/>, свободный (дата обращения 05.03.2019).

О Государственном докладе о состоянии здоровья населения Республики Тыва в 2017 г.: пост. прав. Респ. Тыва от 27.04.2018 г. № 227 [Электрон. ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/550147526>, свободный (дата обращения 16.04.2019).

Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04 (Утв. и введено в действие первым зам. Министра здравоохранения РФ, Гл. гос. сан. врачом РФ Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [Электрон. ресурс]. – М., 2004. – 324 с. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/r2110192004rukovodstvopoo.html>, свободный (дата обращения 27.03.2019).

Тас-оол Л.Х., Калуш Ю.А., Чуникова С.А. 3D-моделирование загрязнения атмосферы на примере г. Кызыла // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 12–16.

Тас-оол Л.Х., Хомушку Б.Г., Чуникова С.А., Янчат Н.Н. Геохимические аспекты загрязнения окружающей среды г. Кызыла пылевыми частицами дымовых выбросов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 6. – С. 531–542.

РосРеэлт Тыва [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://rosrealt.ru/tyva/Tyva-otlichaetsya-skromnostjyu-individualjnyh-zastroyschikov>, свободный (дата обращения 15.04.2019).

УДК 662.74:663.18

Р.Б. ЧЫСЫМА

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗВЕДЕНИЯ УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ УГЛЕЙ**

В статье приведены результаты опытов по подбору оптимального разведения угольной суспензии для проведения микробиологического анализа. В процессе работы из экспериментально подбираемых разведений определено разведение угольной суспензии в соотношении равное 1 : 100, которое имело существенное преимущество перед остальными, поскольку обеспечивало получение заданного числа изолированных колоний бактериальных клеток и микроскопических грибов. Полученные параметры разведения угольной суспензии могут быть рекомендованы в дальнейших микробиологических исследованиях.

*Ключевые слова:* каменный уголь, угольная суспензия, колониеобразующая единица, параметры разведения.

Табл. 1. Библ. 15 назв. С. 61–64.

R.B. CHYSYMA

*Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)*

### **DETERMINATION OF OPTIMAL DIVISION OF COAL SUSPENSION IN MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF COALS**

The article presents the results of experiments on the selection of the optimal dilution of the coal suspension for microbiological analysis. In the course of work, the dilution