

- при оценке локального распределения вредных химических веществ в окружающей среде необходимо учитывать водную миграцию реками, что особенно важно для ООПТ, имеющей статус биосферного резервата;
- расчёт коэффициента разбавления и сравнение его с данными наблюдений показал, что в межень существует вероятность устойчивого загрязнения неконсервативными соединениями – взвешенными веществами и фосфатами. Сток нитратов и фосфатов с прилегающей водосборной площади присутствует в количестве, достаточном для эвтрофирования мелководий;
- расчёт потенциального риска здоровью, связанного с содержанием фосфатов 0,19 мг/дм<sup>3</sup> в воде, показал, что риск немедленного воздействия характеризуется как удовлетворительный, хронического воздействия – как приемлемый.

### Литература

1. Гусакова Н.В. Химия окружающей среды. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 192 с.

2. Ефремов Ю.В., Салпагаров Д.С. Озёра Тебердинского заповедника и сопредельных территорий: Труды Тебердинского госуд. природного биосферного заповедника / Ред. Ю.П. Хрусталева. Вып. 24. Ставрополь: Кавказский край, 2001. 112 с.

3. Железняков Г.В. Гидрология и гидрометрия. М.: Высш. школа, 1981. 264 с.

4. Иванов А.В., Тафеева Е.А. Состояние водных ресурсов и условия водоснабжения населения в нефтедобывающих районах республики Татарстан // Вод. ресурсы. 2006. Т. 33. №3. С. 273-282.

5. Калошин Ю.А. Технология и оборудование масложировых предприятий. М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002. С. 292-306.

6. Липина Н.Н., Липин О.А. Озёра Тебердинского заповедника // Сб. науч. тр. / Ставроп. книж. изд-во, 1962. Вып. IV. С. 73-99.

7. Лурье П.М., Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Салпагаров А.Д. Снежный покров и ледники бассейна реки Кубань: Труды Тебердинского госуд. природного биосферного заповедника. Вып. 41. Кисловодск, 2006. 244 с.

8. Стурман, В.И. Картографирование загрязнения вод суши // Экологическое картографирование: учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2003. С. 106-120.

УДК 504.3.054:547

## Оценка загрязнения снежного покрова органическими соединениями в зоне воздействия выбросов целлюлозно-бумажного комбината

© 2007. М.И. Василевич, Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратёнок  
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Проведён качественный и количественный анализ органических компонентов снежного покрова в зоне влияния выбросов целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Оценен вклад органических соединений в общем пуле выбросов химических поллютантов при формировании снежного покрова. Предложены критерии для установления загрязнения органическими веществами природных комплексов в зоне воздействия выбросов ЦБК.

The qualitative and quantitative analysis of snow cover organic components in a zone of influence of pulp-and-paper combine (PPC) emissions is carried out. The contribution of organic connections in a general bullet of emissions chemical pollutants at a snow cover formation is appreciated. Criteria for an establishment of pollution by organic substances of natural complexes in the influence zone of PPC emissions are offered.

### Введение

В последнее время всё больше проявляется интерес к теоретической и прикладной направленности исследований снежного покрова [1, 2]. Загрязнённость снежного покро-

ва отражает степень антропогенного воздействия на окружающую среду, т. к. снег способен сохранять и накапливать вещества, поступающие на его поверхность из атмосферы. На основе информации о химическом составе

снежного покрова можно проводить интегральные оценки загрязнённости различных экосистем за длительные временные периоды, дифференцировать территории вокруг городов и промышленных районов по степени техногенной нагрузки.

Как указывают И.Л. Калюжный и др. одним из методов получения объективной информации о потоках аэрогенных осадков природного и техногенного происхождения является изучение химического состава снежного покрова, аккумулирующего химические примеси из воздуха и атмосферных осадков в течение определённого времени [1]. По количеству индивидуального вещества и суммарному содержанию загрязняющих компонентов, накопившихся в снежном покрове в районах расположения тех или иных промышленных предприятий, а также исследования фоновых территорий, можно судить о степени влияния различных производств на окружающую среду [3, 4].

Среди веществ – загрязнителей внешней среды по особенной сложности для исследования выделяют органические соединения, многие из которых являются суперэтоксикантами. Многочисленные исследования, выполненные в последние годы, показывают, что органическое вещество является одним из основных компонентов аэрозолей, как над сушей, так и над океаном. Содержание органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) иногда может достигать 60% от общей массы частиц. Для «индустриальных» аэрозолей отмечено высокое содержание сажевого углерода, состоящего из субмикронных частиц, который может переноситься далеко от источника загрязнения [5, 6]. Органические вещества присутствуют в отходах практически любых сфер техногенной деятельности человека и поэтому являются важными объектами повсеместного контроля. Среди органических соединений большое внимание уделяется изучению фенольных соединений, поскольку те имеют множество техногенных источников поступления в окружающую среду. Характер опасности фенолов разнообразный. Они могут быть мутагенами, тератогенами, канцерогенами, обладать местной и общей токсичностью и проявлять другие негативные свойства. Опасность этих соединений ещё связана с тем, что, поступая в атмосферу, они подвергаются трансформации с образованием более опасных соединений: полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), альдегидов. ПАУ в свою очередь образуют особую группу соединений, анализ

которых в объектах окружающей среды имеет большое значение в связи с их канцерогенными свойствами, высокой устойчивостью и способностью к накоплению [7]. ПАУ обладают высокой мобильностью, способностью к рассеиванию в биосфере и имеют как природное, так и техногенное происхождение. Накопление ПАУ в объектах окружающей среды связано с процессами трансформации органических веществ и их переносом от техногенных источников. Большинство ПАУ имеет пирогенное происхождение, являясь продуктами неполного сгорания ископаемого топлива (уголь, нефть и природный газ) и сжигания биомассы (древесина).

Органические загрязнители, продуцируемые в результате работы промышленных предприятий, образуют техногенно загрязнённые территории различной протяжённости. По некоторым данным [8], диффузия загрязнения атмосферы способствует распространению ПАУ на значительное расстояние (до 10 км) за пределы территории предприятий. При этом наибольшие концентрации бенз[а]пирена в снеге и почве отмечались на расстоянии 1 км от предприятий, а по мере удаления от источников загрязнения их содержание снижалось. По данным А.И. Шилиной [9], только 10% бенз[а]пирена выпадает на подстилающую поверхность в радиусе ближайших 30 км от предприятий. Основная же часть его (до 80%) перемещается вместе с тонкодисперсными аэрозолями воздуха на расстояние свыше 100 км от источника загрязнения.

Актуальными задачами экологических исследований являются разработка критериев, позволяющих различать природное и техногенное происхождение поллютантов, исследование возможных техногенных источников их поступления в окружающую среду, выявление масштабов их распространения и поиск надежных индикаторов загрязнения.

Цель работы – оценить степень загрязнения снежного покрова органическими соединениями в зоне воздействия выбросов ЦБК и выявить критерии загрязнения ландшафтов этими компонентами.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования при оценке загрязнения выбросами ЦБК являлись образцы снега, отобранные непосредственно на территории целлюлозно-бумажного предприятия, на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), а также на участках, расположенных в соответ-

ствии с характерной для данной местности «розы ветров». В зимний период на данной территории преобладают ветры южного и юго-западного направлений. Этот факт был учтен при проведении отбора проб. В качестве фоновых территорий поступлений контролируемых компонентов рассматривали экспериментальные результаты по качественному и количественному составу снежного покрова, характеризующихся устойчивыми показателями и независимыми от выбросов целлюлозно-бумажного предприятия. Экспериментальные данные показали, что фоновые территории находятся в 22 км от источника эмиссии. Образцы снега отбирали на площадках с нарушенным снежным покровом в период начала снеготаяния (II и III декады марта).

Количественный химический анализ (КХА) проб талой воды был проведен в лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН, аккредитованной применительно к объектам количественного химического анализа для целей производственного экологического контроля, мониторинга загрязнения окружающей природной среды и научных исследований. Все исследования, включая отбор проб, хранение образцов снежного покрова, их химический анализ, были выполнены в соответствии с действующими нормативными документами.

Содержание исследуемых компонентов в талой снеговой воде определяли в единицах массовых концентраций. Для более корректной интерпретации результатов эксперимента полученные результаты пересчитывали в соответствующие значения уровней поступления веществ на поверхность в г/м<sup>2</sup>, мг/м<sup>2</sup> или мкг/м<sup>2</sup> по формуле:

$$P = \frac{C_m \cdot V}{S \cdot n} \cdot 10, \quad (1)$$

где  $P$  – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли за весь период сохранения снежного покрова, г/м<sup>2</sup>, мг/м<sup>2</sup> или мкг/м<sup>2</sup>;

$C_m$  – массовая концентрация компонента в талой воде, мг/дм<sup>3</sup>, мкг/дм<sup>3</sup> или нг/дм<sup>3</sup> соответственно;

$V$  – объем талой воды всей пробы, дм<sup>3</sup>;

$S$  – площадь внутреннего поперечного сечения трубы для отбора проб снега, см<sup>2</sup>;

$n$  – число кернов снежного покрова, отобранных в данной точке;

10 – коэффициент для согласования размерности.

Определение ПАУ в талых водах проводили, руководствуясь методиками РД

52.44.590-98 и ПНД Ф 14.2:4.70-96. Качественный и количественный анализ осуществляли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в градиентном режиме и спектрофлуориметрическом детектировании («Флюорат-02-Панорама», фирма «Люмэкс», Россия). Хроматографирование выполняли при температуре 25<sup>0</sup>С на колонке фирмы «Supelco» Supelcosil™ LC-PAH 5 мкм (25 см x 2,1 мм). В качестве подвижной фазы использовали градиент ацетонитрил – вода. Пробу объемом 10 мм<sup>3</sup> вводили с помощью крана-дозатора. Идентификацию ПАУ проводили по временам удерживания и сравнения спектров флуоресценции выходящих из колонки компонентов со спектрами стандартных ПАУ. Количественный анализ ПАУ проводили методом внешнего стандарта.

Определение дихроматной окисляемости, или химического потребления кислорода (ХПК) в пробах, проведено по методике ПНДФ 14.1:2:4.190-05 с применением анализатора жидкости «Флюорат-02».

Степень окисления многих присутствующих в поверхностных водах органических веществ дихроматом калия в концентрированном растворе серной кислоты близка к 100%, поэтому величины дихроматной окисляемости служат для определения их суммарного содержания. Содержание  $C_{орк}$  (мг/дм<sup>3</sup>) в образцах талой воды рассчитывали по формуле:

$$C_{орк} = \frac{ХПК \cdot 12}{32}, \quad (2)$$

где  $ХПК$  – значение дихроматной окисляемости, мг О/дм<sup>3</sup>.

Определение фенола в пробах талой воды основано на реакции бромирования в кислой среде и концентрировании образовавшегося 2,4,6-трибромфенола методом жидкостной экстракции (экстрагент – толуол). Полученный экстракт анализировали на газовом хроматографе «Кристалл 2000М» (Хроматэк, Россия) с детектором электронного захвата в изотермическом режиме (200<sup>0</sup>С) на кварцевой капиллярной колонке 30 м x 0,25 мм (НР-5, Hewlett-Packard), газ-носитель – азот, ос.ч. Условия газохроматографического определения: скорость потока газа-носителя через колонку – 0,8 см<sup>3</sup>/мин, деление потока – 1:30, поддув детектора – 20 см<sup>3</sup>/мин, температура испарителя 320<sup>0</sup>С, детектора 300<sup>0</sup>С. Регистрацию и обработку хроматограмм осуществляли с помощью системы сбора и обработки хроматографических данных «Хроматэк-аналитик» (версия 1.21).

Обсуждение результатов

В данной работе был проведён анализ органического ( $X_{ПК}$ ,  $C_{орг}$ ), минерального углерода ( $НСО_3^-$ ,  $C_{мин}$ ) и ряда индивидуальных органических соединений – поллютантов (полициклические ароматические углеводороды, фенол) в образцах снежного покрова.

Гидрокарбонат-ионы ( $C_{мин}$ ) – одни из основных макрокомпонентов в составе талой воды снежного покрова, которые связаны с выбросами предприятия. При проведении анализа содержания минеральных компонентов в снежном покрове для выбранной территории рассчитан коэффициент корреляции ( $r$ ) между  $НСО_3^-$  ( $C_{мин}$ ) и значениями общей минерализации, который составил 0,75 (табл. 1).

Достоверность существования органических примесей в выбросах целлюлозно-бумажного предприятия подтверждается высоким коэффициентом корреляции значений  $X_{ПК}$  ( $C_{орг}$ ) и содержания гидрокарбонат-ионов ( $C_{мин}$ ), доля которых в выбросах составляет 30% и более, в зависимости от удаления от источника эмиссии (табл. 2).

Установлено, что характер поступления и накопления  $C_{орг}$  и  $C_{мин}$  на поверхности снежного покрова неодинаков. Это подтверждается разницей корреляционной взаимосвязи между  $r_{X_{ПК}-SO_4}$  и  $r_{X_{ПК}-HCO_3^-}$ : значение  $r$  между  $X_{ПК}$  и сульфатами выше, чем  $r_{X_{ПК}-HCO_3^-}$  (табл. 1). Известно, что сульфат-ионы, в отличие от гидрокарбонат-ионов, распространяются как в виде сухих, так и в виде влажных аэрозолей.

На основе полученных значений  $X_{ПК}$  в талой воде было рассчитано содержание органического углерода, его доля в общем объёме выбросов и углеродном балансе (табл. 2).

Результаты свидетельствуют о том, что в суммарном объёме компонентов доля общего углерода составляет 24,7% на территории санитарно-защитной зоны и 19,9% – на фоновых территориях. Отношение содержания минерального к содержанию органического углерода ( $C_{орг}/C_{мин}$ ) на территории

Таблица 1  
Коэффициенты корреляции между массивами экспериментальных данных ( $n=52$ ,  $P=0,95$ ).

$r(X - Y)$	$r$
Электропроводность – $НСО_3^-$	0.75
Электропроводность – $SO_4^{2-}$	0.77
Электропроводность – $X_{ПК}$	0.52
$SO_4^{2-}$ – $X_{ПК}$	0.75
$НСО_3^-$ – $X_{ПК}$	0.62
$НСО_3^-$ – $SO_4^{2-}$	0.91
Фенол - $X_{ПК}$	0.77
Сумма ПАУ - $X_{ПК}$	0.63
Сумма ПАУ - фенол	0.79

СЗЗ равно 3, на фоновых участках – приблизительно 1. Таким образом, при удалении от источника эмиссии доля органического углерода уменьшается. Значительная доля углерода в выбросах находится в составе органических поллютантов.

При проведении исследования рассчитывали долю органических веществ в талой воде в составе взвешенных частиц, поскольку данный интегральный показатель отражает уровень техногенной нагрузки на территорию. Было установлено, что доля органического вещества ( $C_{орг}$ ) в составе взвешенных частиц составила вблизи источника – 70 ... 80%, на границе санитарно-защитной зоны – 20 ... 40%. На фоновых территориях полученные значения  $C_{орг}$  близки к нулю. Установлено, что доля нерастворённых форм органических соединений в образцах талой воды фоновых территорий незначительна. Загрязнение снежного покрова растворимыми органическими компонентами имеет большую площадь, чем твёрдыми веществами (более локально), поскольку первые имеют меньшую массу и обладают большей летучестью. Таким образом, отношение  $C_{орг}/C_{мин}$ , а также значение доли  $C_{орг}$  в составе взвешенных частиц может служить критерием степени техногенной нагрузки на территорию в зоне действия промышленного предприятия.

Таблица 2

Массовые доли общего ( $C_{общ}$ ), минерального ( $C_{мин}$ ), органического ( $C_{орг}$ ) углерода и гидрокарбонат-ионов в общем модуле загрязнения

Территория	Общий модуль загрязнения, мг/дм <sup>3</sup>	Доля $C_{общ}$ , %	Доля $НСО_3^-$ , %	Доля $C_{мин}$ , %	Доля $C_{орг}$ , %
СЗЗ	91.3	24.7	30.0	5.9	18.8
граница СЗЗ	86.9	20.3	32.4	6.4	13.9
фон	8.8	19.9	47.0	9.3	10.6

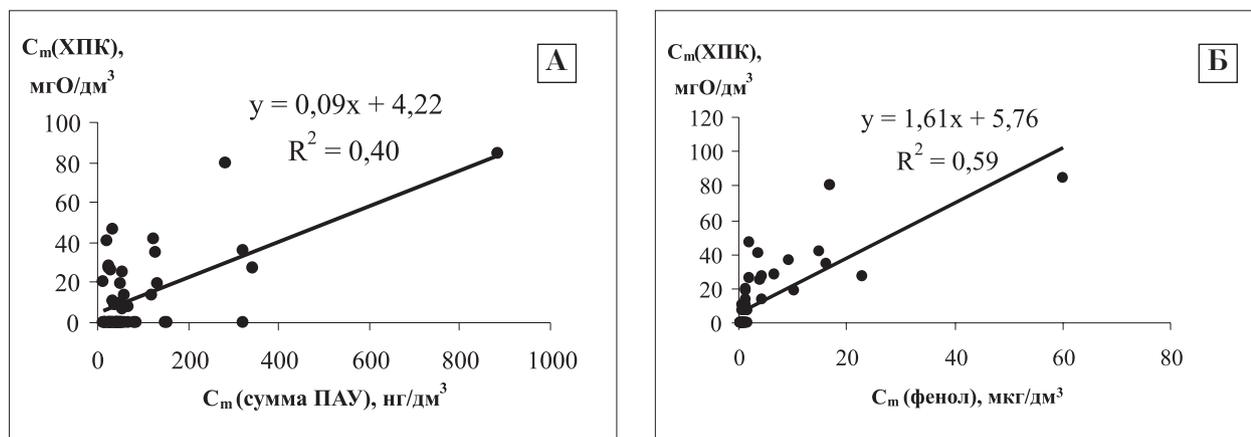


Рис. 1. Корреляционная зависимость между массивами значений: А – величина дихроматной окисляемости и массовая концентрация ПАУ; Б – величина дихроматной окисляемости и массовая концентрация фенола

Проведённые расчёты показали достаточно высокие значения  $r$  между массивами значений  $C_{орг}$ , содержанием фенола и суммы ПАУ (табл. 1). Из рассчитанных значений коэффициентов корреляции следует, что зона загрязнения органическими соединениями совпадает с зонами накопления фенола и ПАУ, т. е. эти компоненты характеризуются общим источником их поступления в окружающую среду (рис. 1).

Эти данные также подтверждаются результатами факторного анализа, применение которого помогает выявить группы генетически связанных между собой компонентов и классифицировать химические вещества по характеру распространения и источнику поступления в окружающую среду (табл. 3).

Вклад первого фактора в общую дисперсию основной – 67%. Как видно из таблицы, группу первого фактора образовали такие показатели, как ХПК ( $C_{орг}$ ), фенол и в основном легкие ПАУ (за исключением бенз[b]флуорантена). Во вторую группу вошли все тяжёлые 5-6-ядерные полиарены, их вклад составил 26,1%. Суммарный вклад третьего фактора ( $C_{мин}$ ) в составе выбросов незначителен – 6,9%, причём доминирующая нагрузка на этот фактор приходится, главным образом, на минеральный углерод, а воздействие других компонентов близко к нулю. Этот факт ещё раз указывает на различия в распространении минерального и органического углерода. Таким образом, по результатам факторного анализа все компоненты условно могут быть представлены тремя гипотетическими переменными факторами: «органический углерод», «тяжёлые полиарены», «минеральный углерод».

В ходе исследования был проведён анализ содержания в снежном покрове фенола и ПАУ как для фоновых, так и техногенно нарушенных участков. Количественный и качественный состав ПАУ в снежном покрове фоновых участков представлен в таблице 4.

Анализ результатов по распределению ПАУ в снежном покрове фоновых территорий показал наличие в нём в основном низкомолекулярных полиаренов, таких как фенантрен, флуорантен, пирен, хризен. Эти компоненты составляют более 90% от суммарного содержания ПАУ на территории СЗЗ. Тяжёлые ПАУ (бенз[b]флуорантен,

Таблица 3

Факторные нагрузки концентраций компонентов в образцах снежного покрова

Компонент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Доля общей дисперсии, %	67.0	26.1	6.9
Нафталин	<b>0.79</b>	-0.42	-0.01
Флуорен	<b>0.90</b>	-0.33	0.07
Фенантрен	<b>0.95</b>	-0.26	-0.15
Антрацен	<b>0.89</b>	-0.03	0.18
Флуорантен	<b>0.98</b>	0.16	-0.09
Пирен	<b>0.92</b>	0.38	-0.03
Бенз[a]антрацен	<b>0.96</b>	0.25	-0.13
Хризен	<b>0.99</b>	0.13	0.02
Бенз[b]флуорантен	<b>0.87</b>	0.46	-0.10
Бенз[k]флуорантен	0.24	<b>0.97</b>	-0.06
Бенз[a]пирен	0.56	<b>0.81</b>	-0.15
Дибенз[a,h]антрацен	-0.34	<b>0.91</b>	-0.21
Бенз[ghi]перилен	-0.25	<b>0.96</b>	-0.07
Индено[1,2,3-cd]пирен	-0.66	-0.40	-0.37
Сумма ПАУ	<b>0.95</b>	-0.23	-0.16
ХПК ( $C_{орг}$ )	<b>0.97</b>	-0.11	0.09
Фенол	<b>0.95</b>	-0.24	-0.12
С мин.	0.02	0.38	<b>0.90</b>

Модули накопления ПАУ и фенола в снежном покрове фоновых и техногенных территорий, мкг/м<sup>2</sup>

Компонент	2003 г.		2005 г.	
	фон	СЗЗ	фон	СЗЗ
Фенантрен	2.5±1.6 (60*)	13±6 (65)	1.9±1.2 (54)	61.0± 40.0 (80)
Антрацен	0.09±0.06 (2)	0.26±0.17 (1)	0.09±0.06 (2)	0.32±0.20 (0.4)
Флуорантен	0.7±0.5 (17)	2.9±1.9 (14)	0.7±0.5 (21)	5.0±3.3 (7)
Пирен	0.5±0.3 (13)	2.4±1.5 (12)	0.5±0.3 (14)	3.4±2.0 (4)
Бензо[а]антрацен	0.09±0.06 (2)	0.40±0.26 (2)	0.03±0.02 (1)	0.8±0.5 (1)
Хризен	0.13±0.08 (3)	0.8±0.5 (4)	0.22±0.15 (6)	2.6±1.7 (3)
Бенз[б]флуорантен	0	0	0	1.4±0.9 (2)
Бенз[к]флуорантен	0.08±0.05 (2)	0.18±0.12 (1)	0.03±0.02 (1)	0.52±0.34 (0.7)
Бенз[а]пирен	0.040±0.026 (1)	0.18±0.12 (1)	0.02±0.01 (1)	0.57±0.37 (0.7)
Дибенз[а,h]антрацен	0	0	0	0.03±0.02 (0.1)
Бенз[ghi]перилен	0	0	0	0.60±0.4 (0.8)
Индено[1,2,3-cd]пирен	0	0	0	0.19±0.12 (0.3)
<b>Сумма ПАУ</b>	<b>4.1</b>	<b>20.12</b>	<b>3.5</b>	<b>76.3</b>
Фенол	102±15	2900±377	99±14	4586±573

Примечание: \* в скобках указана доля соединения от суммы ПАУ

бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен, дибенз[а, h]антрацен, бенз[ghi]перилен, индено[1,2,3-cd]пирен) в снежном покрове присутствуют в незначительных количествах. Состав легких 3-, 4-ядерных ПАУ в снеге и почвах фоновых территориях коррелирует между собой ( $r=0.90$ ,  $n=8$ ,  $P=0.95$ ). Это свидетельствует о том, что часть низкомолекулярных ПАУ, содержащихся в почвах, привносится с атмосферными выпадениями. Отсутствие тяжёлых 5-6-ядерных ПАУ в снежном покрове и наличие их в почвах фоновых территорий свидетельствует, что тяжёлые арены имеют преимущественно педогенное происхождение в результате трансформации органического вещества опада.

Степень техногенного воздействия аренов оценивали на основе сопоставления уровней поступления ПАУ на подстилающую поверхность аэротехногенных и фоновых ландшафтов. В газопылевых выбросах этого предприятия содержится значительное количество полиароматических углеводородов, что определяет их повышенное накопление в снежном покрове на территории СЗЗ. Следует отметить, что качественный состав ПАУ атмосферных осадков фоновых и техногенных территорий практически одинаков. Модули поступления ПАУ на территории СЗЗ предприятия превышают фоновые значения для целлюлозно-бумажного комбината в среднем в 4,9...16,4 раза, на границе СЗЗ в среднем – 1,5 раза, что указывает на узкую локализацию этих компонентов и их быстрое выпадение на подстилающую поверхность.

Степень биогеохимической трансформации техногенных ПАУ в почвах и снежном покрове рассчитывали через биогеохимический потенциал трансформации ПАУ (БПТ), который представляет собой отношение суммы биогенных к сумме ПАУ техногенного происхождения [10]. Этот показатель используется для оценки техногенной нагрузки на почвенные экосистемы. Однако мы посчитали целесообразным применить данный показатель для оценки уровня антропогенного влияния на снежный покров. Анализ качественного состава ПАУ в атмосферных осадках показал, что техногенные ПАУ – это в основном 4-ядерные структуры: флуорантен, пирен, бенз[а]антрацен, хризен, а биогенные – 3-, 5- и 6-ядерные структуры. БПТ – отношение суммы 3-, 5- и 6-ядерных ПАУ к сумме 4-ядерных. БПТ <1 соответствует экосистеме, перегруженной техногенными ПАУ. Расчёты свидетельствуют, что для фоновой территорий характерны достаточно высокие значения БПТ – в среднем 1,44, в СЗЗ этот показатель равен 0,19, т. е. БПТ <1, что указывает на достаточно выраженную перегруженность санитарно-защитной зоны ЦБК полициклическими ароматическими углеводородами.

Таким образом, результаты проведённых исследований свидетельствуют, что молекулярный состав ПАУ, количественные отношения их отдельных групп с различным числом ароматических структур могут быть использованы в качестве индикатора уровня загрязнения в зонах влияния промышленных предприятий.

**Заключение**

В результате исследований оценен вклад соединений органической природы в общий пул выбросов химических ингредиентов ЦБК в снежном покрове. Выявлено, что доля органических компонентов на территории СЗЗ в среднем составляет 18,8%, на фоновой территориях – 10,6% от объёма поступления поллютантов на подстилающую поверхность. Расчётным путем установлено, что значительная часть (до 80%) органических веществ депонируется в снеге в составе взвешенных частиц, что может служить критерием оценки степени техногенного воздействия на окружающую среду. Определены устойчивые корреляционные взаимосвязи между массами значений содержания органического углерода (ХПК), ПАУ и фенола в снежном покрове. Вследствие этого зона распространения токсичных органических компонентов может быть оценена по результатам измерений ХПК в талой воде. Качественный состав ПАУ снежного покрова фоновых и техногенных территорий практически одинаков, в основном преобладают низкомолекулярные полиарены. Модули поступления ПАУ на территории СЗЗ предприятия превышают фоновые значения для целлюлозно-бумажного комбината в 4.9...16.4 раза, на границе СЗЗ – 1,5 раза. В качестве индикатора уровня техногенной нагрузки в зонах влияния промышленных предприятий целесообразно использовать биогеохимический потенциал трансформации ПАУ, представляющий количественные отношения 3-, 5- и 6-ядерных ПАУ к сумме 4-ядерных структур.

**Литература**

1. Калюжный И.Л., Шутов В.А. Современное состояние и проблемы натуральных исследований снежного покрова // Водные ресурсы. 1998. № 1. С. 34-42.

2. Walker T.R., Young S.D., Crittenden P.D., Zhang H. Anthropogenic metal enrichment of snow and soil in north-eastern European Russia // Environmental Pollution. 2003. Vol. 121. P. 11-21.

3. Kaasik M., Room R., Roysset O., Vadset M., Soukand U., Tougu K., Kaasik H. Elemental and base anions deposition in the snow cover of north-eastern Estonia // Water, Air, and Soil Pollution. 2000. Vol. 121. P. 349-366.

4. Никитин В.А., Коноплев А.В., Самсонов Д.П., Хомушкы Г.В., Черник Г.В., Рычков А.М. Полициклические ароматические углеводороды в атмосфере дальневосточной российской Арктики // Метеорология и гидрология. 2006. № 1. С. 70-79.

5. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Серова В.В., Штайн Р. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосферы и океана. 2000. № 6. С. 551-575.

6. Елин Е.С. Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск: Издательство СО РАН. 2001. 392 с.

7. Slater J.F., Currie L.A., Dibb J.E., Benner B.A. Distinguishing the relative contribution of fossil fuel and biomass combustion aerosols deposited at Summit, Greenland through isotopic and molecular characterization of insoluble carbon // Atmospheric Environment. 2002. Vol. 36. P. 4463-4477.

8. Галиулин Р.В., Башкин В.Н. Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения – растение – почва // Агрохимия. 1999. № 12. С. 69-77.

9. Шилина А.И. Миграция бенз(а)пирена в окружающей среде // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. Л.: Гидрометеоиздат. 1982. С. 238-241.

10. Геннадиев А.Н., Козин И.С., Шурубор Е.И., Теплицкая Т.А. Динамика загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами и индикация состояния почвенных экосистем // Почвоведение. 1990. № 10. С. 75-85.