

УДК 543.2:504.61:551.322

Купчик Е.Ю., к.х.н., ассист.

## ХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА Г. ЧЕРНИГОВА

*Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко,  
ул. Гетьмана Полуботка, 53, г. Чернигов, 14013, e-mail: chnpu@chnpu.edu.ua*

Снежный покров выбран в качестве естественного индикатора – коллектора атмосферных загрязнений. Актуальность такого выбора определяется тем, что государственные службы не исследуют систематически химический состав снежного покрова [1]. Химический состав фильтра талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снежным покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снежным покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы. При этом если количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, то фильтрат талого снега отражает степень загрязнения воздушного бассейна растворимыми формами элементов [2].

Состояние атмосферного воздуха в г. Чернигове зависит, прежде всего, от объемов выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников.

Основным видом передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха в городе является автомобильный транспорт. Качеством топлива автотранспортных средств определяется состав выбросов загрязняющих веществ. Около 20% бензина, поставляемого в г. Чернигов, приходится на этилированный бензин, который содержит свинец. Автомобильный транспорт, работающий на дизельном топливе, является главным источником загрязнения воздуха высокотоксичными соединениями, наибольшей активностью среди которых обладает бенз(а)пирен [3]. Характерными загрязняющими веществами являются так же оксиды серы и азота, тяжелые металлы, органические продукты неполного горения компонентов

топлива, например, полиароматические углеводороды. Также нельзя недооценивать и выбросы пыли, поднимаемой с поверхности дорог движущимися автомобилями [4].

Наиболее крупным стационарным загрязнителем атмосферного воздуха в городе остается коммунальное эксплуатационное предприятие «Черниговская ТЭЦ». За последние годы (2010-2013) наблюдается увеличение объемов выбросов за счет увеличения использования твердого топлива. Предприятием в атмосферный воздух выбрасывается за год 2,6 тыс. тонн соединений азота, диоксида серы 1,373 тыс. тонн, оксида углерода 0,2 тыс. тонн, веществ в виде твердых частиц 4,401 тыс. тонн [3].

Как показывают мониторинговые исследования, концентрация загрязняющих веществ в снеге оказывается на 2-3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе, поэтому измерения содержания веществ могут проводиться достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. Всего лишь один снеговой керн, взятый по всей толще снежного покрова, дает представительные данные о химическом загрязнении в период от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы (максимального снегозапаса) [1, 2].

В качестве информативных химических индикаторов состояния снежного покрова и антропогенных химических загрязнений выбраны следующие микроэлементы:  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  так как металлы в условиях таяния снега не трансформируются, а лишь перераспределяются в компоненты экосистем: почву, взвешенное вещество, донные осадки. И макрокомпоненты –  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $S^{2-}$ , содержание которых в талой воде обусловлено только воздействиями урбанизации [1].

Цель данной работы – оценить современное состояние снежного покрова г. Чернигова по распределению микро- и макрокомпонентов.

### Экспериментальная часть

**Пробоотбор.** Для проведения анализа использовали образцы снежного покрова, которые были отобраны в конце зимнего периода с 1 по 8 февраля 2014 года в семи точках г. Чернигова. В этот период среднесуточная температура колебалась в интервале (-10 – -1)°С, погода была ясной и безветренной. Было отобрано 35 образцов снежного покрова из всех функциональных зон города: промышленной, транспортной, жилой, рекреационной (зеленой).

В течение зимы активная уборка снега с городских территорий не производилась (за исключением транспортных магистралей). В связи с этим естественный, неизменный снежный покров сохранялся практически повсеместно. В скверах, парках мощность снежных наносов составляла порядка 15-20 см. Проезжие части магистралей и основных проездов свободны от снега; газоны, примыкающие к проезжей части, имели небольшую плотную обледеневшую корку мощностью 5-10 см [2].

Керны снега отбирали на всю глубину снегового покрова до основания его залегания с использованием трубы из пластмассы. Полученный керн, очищенный от остатков почвы и растительности в основании трубы, помещали в пластиковый пакет. В каждой точке отбора проб число кернов выбирали таким образом, чтобы общий вес пробы соответствовал 1,0-1,5 кг [4, 5].

При выборе ориентации направления маршрутного пробоотбора учитывали климатические характеристики местности и типа источника в зависимости от масштаба влияния на территорию (локальный, региональный) и его вида (точечный, линейный, площадной).

Для локальных источников при выборе направления вектора маршрута снегосъемки необходимо учитывать приземную розу ветров. Так, для источников с высотой выбросов от 100 до 200 м (трубы ТЭЦ) отбор проб проводят в диапазоне от 0,2 км до (3-5) км. Для автомагистралей зона наиболее интенсивного влияния выбросов распространяется на расстояние 150-200 м. Участок дороги для исследования необходимо выбирать таким образом, чтобы его ориентация была перпендикулярной относительно направления господствующих ветров [6].

**Таблица 1.** Точки отбора проб

№ точки отбора пробы	Наименование городской зоны	Место отбора и его характеристика
1	Промышленная зона	территория ТЭЦ, проходная, мало машин
2	Зеленая зона 1	ул. Преображенская, парк «ВАЛ», у 2-х полосной автодороги
3	Транспортная зона	перекресток, район Центрального рынка с 4-х полосной автодорогой
4	Зеленая зона 2	ул. Преображенская, парк «ВАЛ», 250 м от автодороги, фон
5	Зеленая зона 3	ул. Преображенская, парк «ВАЛ», детская площадка, 25 м от автодороги
6	Зеленая зона 4	дачный поселок «Жовинка», 3 км от ТЭЦ, 300 м от автодороги
7	Жилая зона	ул. Преображенская, двор через дорогу от парка «ВАЛ», 50 м от 2-х полосной автодороги, старая застройка с 5-тиэтажными домами

Пространственное размещение точек пробоотбора обеспечивало выявление источников загрязнения и ареалов их

воздействия, а также особенности перемещения загрязняющих веществ [7]. Для отбора «фоновой» пробы был отобран

участок, расположенный в парковой зоне на расстоянии 250 м от дороги, практически не подвергается загрязнению или испытывающей его в минимальной степени (табл. 1).

**Пробоподготовка.** Пробы снега доставляли в лабораторию и растапливали (без искусственного подогрева) в стеклянных стаканах. Пробы, отобранные в окрестностях антропогенных источников, как правило, включают взвешенное вещество. Для отделения твердых частиц от раствора пробы фильтровали через бумажный фильтр «синяя» лента. По результатам взвешивания высушенного при температуре  $95 \pm 5^\circ\text{C}$  фильтра определяли массу твердого остатка [4, 5].

При анализе талой воды возможно использование методик, применяемых при анализе вод. Химические анализы выполнялись по стандартным методикам. Для исследования химического состава талых вод использовали метод прямой потенциометрии при измерении pH, гравиметрии – при определении содержания взвешенных веществ, колориметрии – при определении нитратов, связанного азота, сульфатов, сульфидов, инверсионной вольтамперометрии – при определении содержания тяжелых металлов.

Гравиметрические исследования проводили с использованием аналитических весов ВЛР-200g и сушильного шкафа – SNOL 67/350; потенциометрические измерения осуществляли с помощью иономера pH-120 с применением в качестве рабочего индикаторного электрода – ЭСЛ-63-07 и электрода сравнения – хлорсеребряного электрода ЭВЛ-1МЗ.

Содержание тяжелых металлов определяли на анализаторе вольтамперометрическом TA-Lab (НПП «Томьяналит», РФ) в трехэлектродной электрохимической ячейке. В качестве индикаторного электрода использовали амальгамный электрод. В качестве электрода сравнения и вспомогательного электрода использовали хлорсеребряный электрод, заполненный раствором 1М хлорида калия.

Анализ проводили по стандартной методике для воды, на фоновом электролите, содержащем 200 мкл конц. муравьиной кислоты (х.ч.), при следующих условиях: электрохимическая очистка индикаторного

электрода при потенциале +0,050 В в течение 15 с, накопление металлов на поверхности индикаторного электрода при потенциале – 1,500 В в течение 30 с, успокоение раствора при потенциале -1,300 В в течение 5 с, развертка потенциала со скоростью 80 мВ/с относительная погрешность такого анализа не превышает 7 %.

Определение металлов проводили методом добавок с использованием стандартных растворов, содержащих по 1 мг/л или 10 мг/л каждого из определяемых металлов, которые были приготовлены на основе государственных стандартных образцов (ГСО) и бидистиллята. Расчет концентрации металлов выполняли с помощью специализированной компьютерной программы TA-Lab (версия 3.6.10).

Колориметрические измерения проводили на портативном фотоколориметре со встроенными аналитическими программами AQ4000. Этот микропроцессорный колориметр со светоизлучающими диодами позволяет в 10 мл пробы талой воды с помощью соответствующих каждой методике таблетированных реагентов, получить результат по концентрации определяемого иона на дисплее. Были использованы следующие таблетированные реагенты: для определения азота аммонийного – АС 2012 (LR), нитрат-иона – АС 2007, сульфат-иона – АС2082, сульфидной серы – АС2016.

Пробу каждого образца снега анализировали в трех параллельных опытах. Результаты обрабатывали методом математической статистики по известной методике; рассчитывали среднее значение и интервальное значение с доверительной вероятностью 95%.

### Результаты и их обсуждение

Растворимые формы тяжелых металлов значительно более опасны, чем твердофазные выпадения, поскольку практически мгновенно включаются в обменные процессы живых организмов.

На рисунке представлены типичные примеры вольтамперных кривых фона (1), пробы снега без добавления (2) и с добавкой (3) анализируемого металла, полученные для пробы № 3. Из рисунка видно, что на вольтамперных кривых раствора фона в

интервале потенциалов от -1200 мВ до +100 мВ отсутствуют пики тока окисления (кривая 1). Это свидетельствует о чистоте фонового электролита, а именно об отсутствии в нем цинка, кадмия, свинца и меди, поскольку в условиях регистрации вольтамперной кривой возможно анодное растворение ранее сконцентрированных на индикаторном электроде только этих металлов. На вольтамперограммах раствора пробы снега № 3 имеются три максимума тока – при потенциалах -900, -320 и -50 мВ, которые свидетельствуют процессам анодного окисления цинка, свинца и меди соответственно. При введении в раствор пробы добавок стандартного раствора на вольтамперных кривых пики тока окисления свинца, кадмия, цинка и меди возрастают пропорционально увеличению концентрации этих металлов.

Вольтамперные кривые, аналогичные приведенным на рисунке, были получены и для других образцов снега. Рассчитанное из вольтамперных кривых содержание металлов в пробах снега представлено в табл. 2.

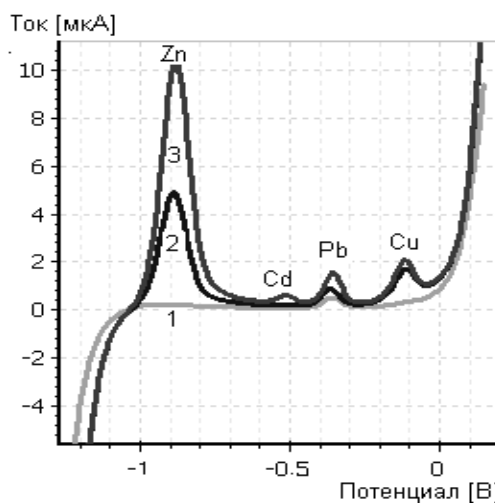
**Таблица 2.** Загрязнение водорастворимой части снегового покрова г. Чернигова тяжелыми металлами

№ пробы	Микроэлементы, мг/л			
	Zn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
1	0,013±0,004	не обнаружено	не обнаружено	0,0059±0,0002
2	0,031±0,006	0,00017±0,00006	0,0020±0,0006	0,026±0,008
3	0,044±0,003	0,00024±0,00009	0,0028±0,0004	0,084±0,001
4	0,00090±0,0006	0,000032±0,000008*	0,000048±0,000009*	0,0030±0,0010*
5	0,012±0,003	0,000037±0,000005*	0,00075±0,0005	0,018±0,005
6	0,016±0,004	не обнаружено	0,00011±0,00005	0,0069±0,0003
7	0,014±0,002	0,000036±0,000004*	0,00042±0,0004	0,010±0,003
ПДК вода	1,03 [8]	0,0013 [8]	0,03 [8]	1,03 [8]

\*- ниже предела обнаружения

Из табл. 2 следует, что во всех проанализированных образцах снега содержится цинк и медь. Наибольшее содержание цинка и меди в пробе № 3. В пробах снега № 1 и № 6 отсутствует кадмий (не детектируется в пределах чувствительности метода – 0,0002 мг/л), в пробе № 1 не обнаружен свинец. Обнаруженные количества ионов находятся ниже предела обнаружения данного метода в пробе № 4 – Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>; в пробе № 5 – Cd<sup>2+</sup>.

Как видно из табл. 2 концентрации тяжелых металлов в фильтрате талого снега в пределах города изменяются.



**Рис. 1.** Вольтамперограммы пробы снега № 3:

Содержание условно растворимых форм цинка и меди в транспортной зоне в 2-10 раз и более, соответственно, превышает его концентрацию в других зонах.

Рассматривая результаты проведенных анализов, можно сделать вывод о присутствии незначительного загрязнения снега тяжелыми металлами. В талой воде содержание всех металлов ниже, чем уровень предельно допустимых концентраций (ПДК) для воды водоемов, а именно: в среднем кадмия – в 5 раз, свинца – в 10 раз, меди – в 12 раз и цинка – в 23 раза.

Результаты химического анализа талых вод, представленные в табл. 3, свидетельст-

вуют о том, что практически по всем из рассматриваемых параметров данные и фоновый образец, и других проб имеют меньшие значения, чем величины предельно-допустимых концентраций для поверхност-

ных вод. Исключение составляет лишь количество взвешенных частиц, которое даже в фоновом образце практически лишенном, техногенной нагрузки, превышает уровень ПДК приблизительно в 35 раза.

**Таблица 3.** Загрязнение водорастворимой части снегового покрова г. Чернигова ионными макрокомпонентами

№ пробы	рН	взвеш. в-ва, мг/л	Макрокомпоненты, мг/л			
			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
1	5,65	36,5	3,017±0,001	0	0,515±0,004	0,190±0,004
2	6,32	71,7	5,469±0,005	0	2,515±0,002	0,504±0,005
3	5,88	109	40,04±0,002	0	3,170±0,001	1,014±0,002
4	6,00	26,4	4,210±0,001	0	0,508±0,009	0,167±0,004
5	6,20	34,3	4,562±0,003	0	1,652±0,003	0,213±0,003
6	6,05	37,1	5,503±0,005	1,761±0,005	0,858±0,003	1,252±0,002
7	5,93	29,3	4,310±0,004	0	0,974±0,005	0,169±0,003
ПДК вода	6,5-8,5[8]	0,75 [8]	500 [8]	отсутствие [8]	45 [8]	2 [8]

Из табл. 3 видно, что промышленная зона характеризуется наиболее низкими значениями рН (5,65). Вблизи автодорог обнаружены также низкие значения рН (~6,0) и высокое содержание взвешенных веществ обусловлено, во-первых, применением в качестве антигололедных средств песчано-соляных смесей, основой которых является песок; во-вторых, механическим выносом компонентов дорожного покрытия и различных частиц (сажа, каучук, кремний и т.д.) из состава автопокрышек, интенсивность которого резко возрастает в зимний период [7]. Как следует из данных таблицы 3, транспортная зона характеризуется максимальным содержанием кислотных остатков SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. В пробах № 2, №5 и №4, количество ионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а также иона NH<sub>4</sub><sup>+</sup> уменьшается, что соответствует увеличению расстояния от проезжей части. Если сравнить пробы № 1 и № 6, то очевидно, что содержание всех макрокомпонентов значительно увеличивается в направлении отдаленности от преобладающего источника загрязнения, т.е. ТЕЦ. Кроме того, только в пробе № 6 была обнаружена сульфидная сера, которая по нормативам ПДК вообще должна отсутствовать. В жилой зоне старой

застройки, огороженной от автодороги 5-ти этажным домом, влияние источников загрязнения снега значительно уменьшается, поэтому соответственно и уменьшается содержание загрязнителей.

Поскольку ГОСТа по загрязнению снежного покрова не существует в Украине, а применение нормативных документов поверхностных вод к талой воде не всегда обосновано, то для более объективной характеристики геохимической индикации загрязнения снежного покрова за основу принимается сопоставление концентраций загрязнителей городских проб снега с соответствующими значениями их фонового аналога. Это достигается расчетом коэффициента концентрации химических элементов, показывающего кратность превышения содержания химического компонента в точке апробирования над его содержанием в аналогичных условиях на фоновом участке (табл. 4) [7, 9].

В соответствии с данными табл. 4, используя коэффициенты корреляции химических соединений, можно составить следующие ряды коэффициентов аномальности загрязняющих веществ городского ландшафта в различных районах г. Чернигова:

**Таблица 4.** Коэффициенты корреляции химического состава проб снега

№ пробы	Коэффициент корреляции								
	рН	взвеш. в-во	Микроэлементы				Макрокомпоненты		
			Zn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
1	0,94	1,38	14,44	-	-	1,97	0,72	1,01	1,14
2	1,05	2,71	34,44	5,31	41,67	8,67	1,30	4,95	3,01
3	0,98	4,13	48,89	7,50	58,33	28,0	9,51	6,24	6,06
5	1,03	1,30	15,56	1,16	15,62	6,00	1,08	3,25	1,28
6	1,01	1,40	17,78	-	2,29	2,30	1,31	1,69	7,49
7	0,99	1,11	13,33	1,12	8,75	3,33	1,02	1,92	1,01

- промышленная зона: Zn (14,44) > Cu (1,97) > вз. в-во (1,38) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(1,14) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1,01) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (0,72);

- зеленая зона 1: Pb (41,67) > Zn (34,44) > Cu (8,67) > Cd (5,31) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (4,95) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(3,01) > вз. в-во (2,71) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(1,30);

- транспортная зона: Pb (58,33) > Zn (48,89) > Cu (28,0) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (13,27) > Cd (7,50) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (6,24) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (6,06) > вз. в-во (4,13);

- зеленая зона 3: Pb (15,62) > Zn (15,56) > Cu (6,0) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (3,25) > вз. в-во (1,30) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (1,28) > Cd (1,16) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (1,08);

- зеленая зона 4: Zn (17,78) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (7,49) > Cu (2,30) > Pb (2,29) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1,69) > вз. в-во (1,40) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (1,31);

- жилая зона: Zn (13,33) > Pb (8,75) > Cu (3,33) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1,92) > Cd (1,12) > вз. в-во (1,11) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (1,02) > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (1,01).

Полученные ряды свидетельствуют о том, что в пробах снега всех городских зон г. Чернигова преобладающее место занимают такие тяжелые металлы как свинец и цинк, а среди ионов – это ион аммония и нитрат-ион, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу. Кроме того, это согласуется с данными Центральной геофизической лаборатории о том, что воздух нашего города наиболее загрязнен диоксидом азота (2,0 ПДК). По данным областной санитарно-эпидемиологической станции превышение ПДК в 2013 г. имели место по пыли (0,2 ПДК), карбон оксиду и аммиаку, диоксиду серы (0,6 ПДК).

### Выводы

Таким образом, по результатам изучения химического состава снежного покрова различных функциональных зон г. Чернигова можно сделать следующие выводы:

1. Основными загрязняющими веществами городского ландшафта являются тяжелые металлы, такие как свинец и цинк, а также ионы аммония и сульфат-и нитрат-ионы, поступающие в атмосферу в результате выбросов в основном автотранспорта и соответствующих ему сервисными службами, а также промышленных предприятий. Все автодороги следует рассматривать в качестве самостоятельных источников загрязнения, оказывающих существенное влияние на изменение реакции среды и химического состава снежного покрова.

2. Исходя из данных анализа талой воды, по уровню загрязненности исследуемые районы города можно расположить в следующий ряд, убывающий по степени техногенной нагрузки: транспортная зона > зеленая зона 1 (у дороги) > зеленая зона 3 (дет. площадка) > жилая зона > зеленая зона 4 (дачи) > пром. зона > зеленая зона 2 (фон). Положение промышленной зоны в данном ряду подтверждает характерный пространственный масштаб влияния для точечного источника (в нашем случае ТЕЦ), который определяется его высотой и составом выбросов. Такое распределение загрязнения представляет опасность ингаляционного поступления биологически доступных форм тяжелых металлов в организм жителей города.

### Список использованных источников

1. Темерев С.В., Индошкин И.В. Химический мониторинг снежного покрова в области влияния Барнаула. *Изв. Алт. гос. ун-та.* 2010, 1(3), 196-203.
2. Смирнова С.М., Долин В.В. Тяжелые металлы в снежном покрове г. Николаева. *Збірник наукових*

праць Інституту геохімії навколишнього середовища. К.: ІГНС, 2011, 19, 115-124.

3. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2012 рік. Під. ред. С.В. Гороновича. Чернігів: [б. в.], 2013. С 342.

4. Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища. К.: Либідь, 1996. С. 304.

5. Алемасова А.С., Луговой К.С. Экологическая аналитическая химия. Донецк: ДонНУ, 2010. С. 271.

6. Ковкин В.В., Шуваева О.В., Морозов С.В., Ранута В.Ф. Руководство по методам полевых и лабораторных исследований снежного покрова для изучения закономерностей длительного загрязнения местности в зоне действия

антропогенных источников: Метод. пособие. Новосибирск: Новосибир. гос. ун-т, 2012. С. 85.

7. Шумилова М.А., Садиуллина О.В. Снежный покров как универсальный показатель загрязнения городской среды на примере Ижевска. Вестник Удмуртского университета. 2011, 2, 91-96.

8. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 4630-88. Введены с 01.01.89.

9. Прожорина Т.И., Малахова Н.А. Оценка загрязненности снежного покрова г. Воронежа. Электронное научное издание «Актуальные проблемы географии и геоэкологии» Мордовский ГУ, <http://geoeko.mrsu.ru/2009-1/pdf/21 Proiorina.pdf>.

Статья поступила в редакцию: 10.09.2014.

## CHEMICAL MONITORING OF SNOW COVER IN CHERNIGOV

**Kupchik E.Yu.**

Because of high sorption capacity of snow on the earth's surface, snow cover used as an indicator of the atmospheric air condition. As chemical indicators of the state of the snow cover and for identification of pollution sources was obtained spatial distributions of heavy metals, as well as sulfate-, sulfide-, nitrate ions and ammonium ions in the city. Determination of elements content is being conducted by the methods of colorimetry and inversion voltammetry. Here explores the relationship between the content of pollutants and the presence of various types of anthropogenic impact. Studies have shown that a significant portion of air pollution in Chernigov falls on motor vehicle emissions with its corresponding service agencies.

*Автор выражает благодарность проректору по научной работе Черниговского национального технологического университета, д.т.н., проф., лауреату Государственной премии Украины в области науки и техники, член-кор. Инженерной академии Украины В.В. Казимиру за предоставленную возможность проведения эксперимента.*