

УДК 543.06; 543.07; 543.2; 543.7/1.79; 543.3

DOI: 10.15372/ChUR2021350

## Химико-аналитический контроль меди, свинца, кадмия и цинка в снежном покрове города Барнаула

О. В. ХУМОНИНА, С. В. ТЕМЕРЕВ, А. Е. ДМИТРИЕВА, Л. В. ЗАТОНСКАЯ

*Алтайский государственный университет,  
Барнаул (Россия)**E-mail: oksana.gorbatschowa.95@mail.ru*

(Поступила 10.11.20; после доработки 18.03.21)

### Аннотация

Выполнен количественный химический анализ снега на содержание водорастворимых форм Zn, Pb, Cd, Cu методом инверсионной вольтамперометрии в образцах снеговой воды, взятых в 2019 г. В осадках, собранных на фильтр, методом титриметрии определено содержание органического углерода. По результатам химико-аналитического контроля выполнен расчет жидкого и твердого талого стока в период снегового паводка 2019 г. На основании ранее выполненных химико-аналитических исследований твердых частиц снежных кернов на содержание сорбированных форм Zn, Pb, Cd, Cu рассчитан объем химической нагрузки на русловую сеть участка верхнего течения р. Обь в области влияния города Барнаула.

**Ключевые слова:** снежный покров, снегосъемка, пробоотбор, инверсионная вольтамперометрия, фильтраты снеговой воды, химическая нагрузка

### ВВЕДЕНИЕ

Химико-аналитический контроль атмосферного воздуха крупных городов по результатам анализа снежного покрова позволяет получить достоверную информацию о мощности диффузных и точечных источников загрязнения в зимний период года и рассчитать объем снегового стока в русловую сеть за период снегового паводка [1].

В настоящей работе выполнен количественный химический анализ снежных кернов, взятых в 2019 г. Полученные результаты химико-аналитического контроля снеговой воды и твердых частиц снега представляются новыми и практически значимыми для эколого-химической оценки текущего состояния снежного покрова г. Барнаула. Расчет химической нагрузки в период снегового паводка имеет практическую значимость для городов Сибири, которые применяют обскую воду для питьевого водопользования. Экологическая безопасность вторич-

ного загрязнения экосистем от твердого и жидкого снегового стока остается на втором плане [2], не принимается во внимание техногенное загрязнение поверхностных вод и почвенного покрова. Дифференцировать химическую нагрузку по природным и техногенным источникам весьма сложно [3].

В качестве химических индикаторов выбраны ионные формы кадмия, меди, свинца, цинка как лабильные водорастворимые неорганические формы химического стока. В качестве индикатора органических загрязнений, который сорбируется частицами снежной массы, выбран органический углерод, позволяющий рассчитать твердый сток “условного” органического вещества (УОВ), анализируемого в точных воздушно-сухих навесках твердых частиц образцов снега методом сжигания по И. В. Тюрину [4] (бихроматная окисляемость). Ранее авторы анализировали в образцах снежного покрова г. Барнаула нефтепродукты и фенолы экстракционно-флуориметрическим методом [5].

Цель настоящей работы – по результатам химического анализа тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn) в фильтрах снеговой воды и массовой доле углерода в твердом компоненте образцов снега оценить эколого-химическое состояние талых вод и рассчитать химическую нагрузку на русловую сеть р. Оби в области влияния г. Барнаула в период снегового паводка 2019 г.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Объекты исследований

Фильтраты снеговой воды получены путем выдерживания каждого образца снежной массы при комнатной температуре до полного таяния в лабораторных условиях и последующего фильтрования на специальной установке ГР-60 (Россия) через трековые мембраны (диаметр пор 0.11 мкм) в атмосфере аргона.

### Материалы и реактивы

Определение концентраций элементов в фильтрах выполнено методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) в соответствии с методи-

ческими указаниями [6] изготовителя вольтамперометрического анализатора ТА-Lab (Россия).

### Отбор образцов снежного покрова

Образцы снега отбирали на определенной площади г. Барнаула при помощи снегомера – полого полиэтиленового цилиндра длиной 100 см с внутренним диаметром 42 мм с острой торцевой кромкой, вырезающей kern снега путем вращения. Пóлый цилиндр погружали вертикально в снег до соприкосновения с подстилающей поверхностью. Вырезанный цилиндр снега аккуратно вынимали вместе со снегомером. На внешней поверхности пробоотборник имел разметку для контроля высоты снежного покрова. Путем деления массы пробы снега на ее объем рассчитывали плотность снега [7]. Образцы снежной массы отбирали методом конверта в количестве пяти кернов в каждой точке на местности.

Для оценки уровня загрязнения снежного покрова цинком, кадмием, медью и свинцом и расчета химической нагрузки на русловую сеть выбраны 25 точек отбора снежных кернов (в каждой точке взято по пять образцов кернов) на территории г. Барнаула. Снег отобран в городе

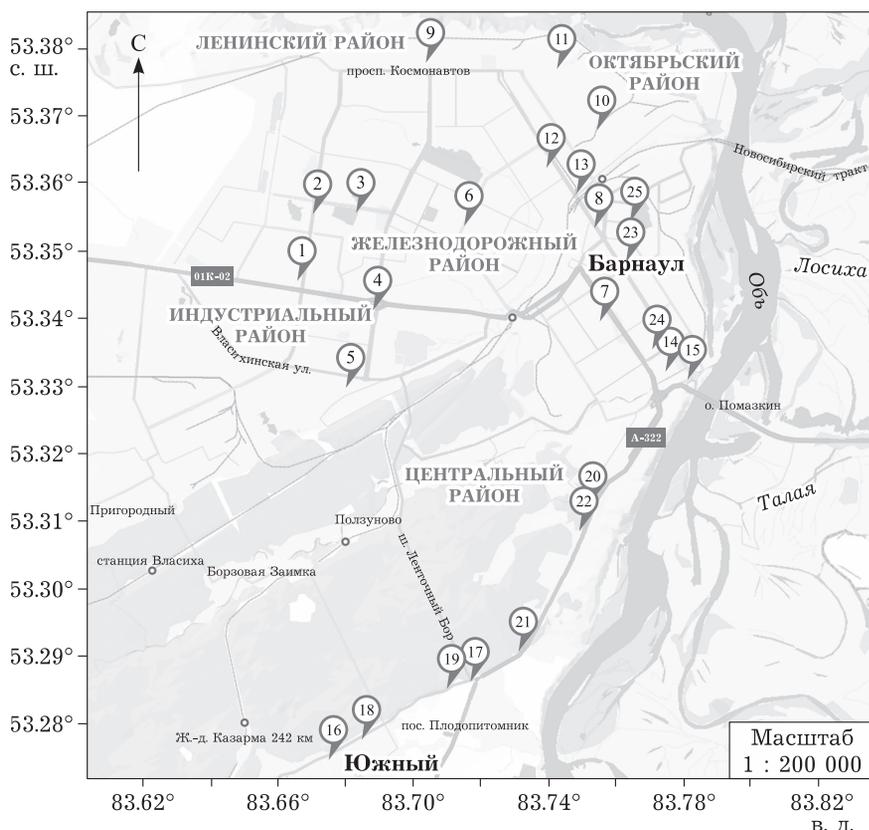


Рис. 1. Карта-схема отбора проб снежных кернов на исследуемой территории г. Барнаула (2019 г.).

ТАБЛИЦА 1

Координаты точек отбора проб и характеристики снежного покрова

Номер пробы	Дата отбора	Средняя высота, см	Плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Координаты точки отбора, °		Объем фильтрата, дм <sup>3</sup>
				с. ш.	в. д.	
Городская территория						
1	11.03.19	38	0.4937	53.34	83.67	0.9
2	11.03.19	52	0.4729	53.36	83.67	1.2
4	12.03.19	47	0.4814	53.34	83.69	1.1
5	12.03.19	44	0.4615	53.32	83.68	1.1
7	12.03.19	36	0.5866	53.34	83.76	1.1
9	12.03.19	54	0.5074	53.38	83.71	1.4
10	13.03.19	39	0.4278	53.36	83.77	0.8
11	13.03.19	43	0.3765	53.38	83.74	0.8
12	13.03.19	36	0.3773	53.36	83.75	0.7
13	13.03.19	49	0.4194	53.36	83.76	1.1
16	14.03.19	41	0.4286	53.25	83.88	0.9
18	15.03.19	50	0.4214	53.25	83.68	1.1
23	18.03.19	47	0.4338	53.34	83.77	1.1
Лесная территория						
3	11.03.19	54	0.4157	53.35	83.69	1.1
6	12.03.19	30	0.3717	53.35	83.72	0.6
8	12.03.19	46	0.4817	53.35	83.76	1.2
14	13.03.19	47	0.3763	53.32	83.79	0.9
15	14.03.19	50	0.4008	53.32	83.79	1.0
17	14.03.19	47	0.4399	53.26	83.72	1.0
19	15.03.19	47	0.4240	53.26	83.70	1.0
20	15.03.19	48	0.4331	53.30	83.76	1.1
21	15.03.19	40	0.3600	53.27	83.74	0.7
22	18.03.19	47	0.4301	53.29	83.76	1.0
24	18.03.19	30	0.4114	53.33	83.79	0.6
25	18.03.19	40	0.4323	53.35	83.77	0.9

Примечание. Площадь подстилающей поверхности в каждой точке  $6.9 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>.

вблизи дорог и автозаправочных станций (всего 13 точек отбора (65 кернов)), в парках и на лесной территории (всего 12 точек отбора (60 кернов)) для сравнения и анализа загрязнений. Таким образом, отобрано 125 кернов: 65 кернов на городской территории и 60 кернов в парках и на лесной территории. Место отбора пробы помечалось с помощью GPS-приемника и маркировалось. Отобранные в каждой точке керны снега помещали в пластиковые контейнеры, перемещивали и доставляли в лабораторию, где определяли массу образца снега на технических весах. Средняя глубина снежного покрова составила в 2019 г. 44 см при средней плотности 0.6 г/см<sup>3</sup>.

Карта-схема отбора проб снежных кернов на всей территории г. Барнаула представлена на рис. 1. Для выявления точечных источников загрязнения снега места отбора проб на городской территории отмечены точками 2, 4, 5, 7,

9–12, 18, 23, в парках и на лесной территории города – точками 3, 6, 8, 14, 15, 17, 19–22, 24, 25, вблизи автозаправочных станций – точками 1, 13, 16.

В фильтрах снеговой воды определено содержание цинка, кадмия, меди и свинца методом ИВА.

Первичные данные снегосъемки 2019 г. представлены в табл. 1 и 2.

#### *Химический анализ образцов снеговой воды методом инверсионной вольтамперометрии с помощью анализатора TA-Lab*

При анализе воды содержание цинка и меди зачастую намного больше содержания свинца и кадмия, поэтому сначала анализировали элементы с меньшим содержанием (Cd, Pb), а затем – с большим (Cu, Zn).

ТАБЛИЦА 2

Интегральные показатели снежного покрова

Номер пробы	Мутность, г/дм <sup>3</sup>	[C%], %	Масса ВВ, г	УОВ, г/дм <sup>3</sup>
1	2.22	1.0	2.30	0.011
2	0.08	6.0	0.08	0.003
3	0.09	10	0.09	0.001
4	0.02	20	0.02	0.002
5	0.02	21	0.02	0.002
6	0.05	13	0.05	0.003
7	0.08	9.0	0.08	0.004
8	0.05	9.0	0.05	0.002
9	0.20	2.0	0.20	0.002
10	0.04	10	0.04	0.002
11	0.05	8.0	0.05	0.002
12	0.07	8.0	0.07	0.003
13	0.13	4.0	0.13	0.003
14	0.05	12	0.05	0.002
15	0.03	13	0.03	0.002
16	0.02	13	0.02	0.001
17	0.02	13	0.02	0.001
18	0.01	27	0.01	0.001
19	0.01	30	0.01	0.001
20	0.03	6.0	0.03	0.001
21	0.02	4.0	0.02	0.001
22	0.01	8.0	0.01	0.001
23	0.03	10	0.03	0.001
24	0.02	5.0	0.02	0.001
25	0.09	6.0	0.09	0.003

Примечание. [C%] – содержание массовой доли органического углерода; ВВ – взвешенное вещество; УОВ – “условное” органическое вещество.

В качестве рабочего электрода применяли амальгамные электроды на серебряной подложке. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод (ХСЭ), который также применяли в качестве вспомогательного.

Типичные определения Cd и Pb методом стандартных добавок представлены на рис. 2. Рабочие растворы аттестованных смесей готовили в день выполнения измерений методом последовательного разбавления. Определение цинка и меди проводили в тех же режимах, что и для кадмия и свинца. После каждого аналитического образца кварцевые стаканчики и электроды тщательно промывали бидистиллированной водой.

Вольтамперограммы (см. рис. 2) для амальгамного рабочего электрода на серебряной подложке иллюстрируют правильность приготовления добавок. Для каждого аналитического образца фильтрата выполняли регистрацию пяти воспроизводимых вольтамперограмм пробы без добавок и с добавками. Определение проводили аналогично для меди, цинка, свинца и кадмия.

Таким образом методом ИВА проанализировано 25 образцов фильтратов снеговой воды. Результаты определения ионных форм Zn, Cd, Pb, Cu в этих фильтратах представлены в табл. 3. Содержание водорастворимых (в/р) форм тяжелых металлов (см. табл. 3) в различных пробах не превышало предельно допустимых концентраций (ПДК<sub>в/р</sub>).

#### МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ И РАСЧЕТОВ

Мутность снеговой воды определяли гравиметрическим методом, который основан на взвешивании осадка, просушенного до постоянной массы вместе с фильтром при 105 °С. Фильтры перед фильтрованием также доводили до постоянной массы. Осадок получали после пропускания через фильтр определенного объема воды [9]. Суспендированные частицы при фильтровании под давлением в атмосфере

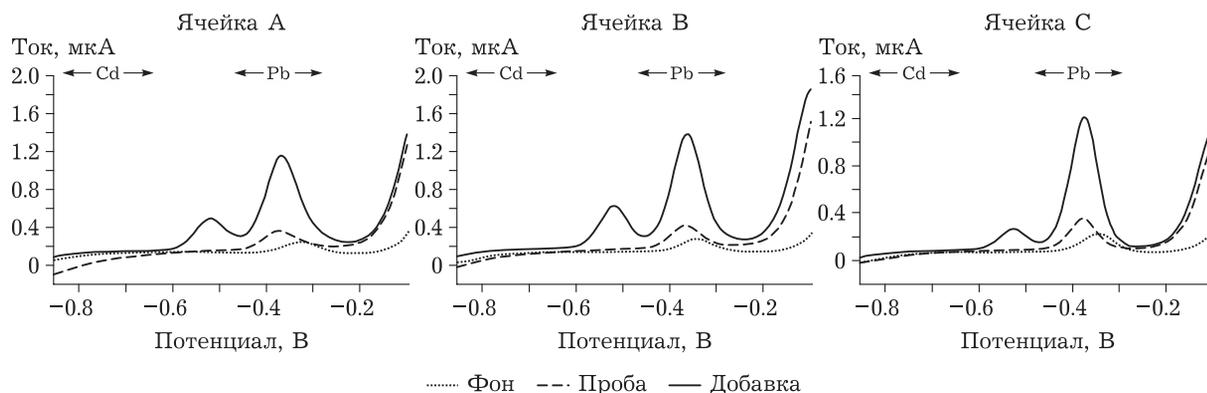


Рис. 2. Вольтамперограмма определения Cd и Pb методом добавок: ячейка А – добавка 3, 4, 5; ячейка В – добавка 2, 3, 5; ячейка С – добавка 2, 4, 5.

ТАБЛИЦА 3

Концентрации тяжелых металлов  
в фильтрате снеговой воды, мкг/дм<sup>3</sup>

Номер пробы	Cd	Zn	Pb	Cu
Городская территория				
1	<0.0002	0.21±0.05	1.6±0.5	15.0±4.0
2	<0.0002	0.75±0.19	3.0±1.0	14.0±3.0
4	<0.0002	0.34±0.08	3.0±1.0	5.0±2.0
5	<0.0002	0.71±0.18	1.4±0.5	13.0±3.0
7	0.007±0.002	0.32±0.08	2.2±0.7	24.0±6.0
9	<0.0002	0.37±0.09	11.0±3.0	14.0±3.0
10	<0.0002	0.76±0.19	1.3±0.4	14.0±4.0
11	0.0017±0.0003	1.0±0.3	0.4±0.1	21.0±5.0
12	<0.0002	1.2±0.3	1.6±0.5	17.0±4.0
13	<0.0002	0.11±0.03	1.2±0.4	20.0±5.0
16	0.009±0.002	0.66±0.16	2.1±0.6	8.6±3.4
18	<0.0002	0.70±0.17	11.0±3.0	17.0±4.0
23	<0.0002	0.52±0.13	3.0±1.0	9.1±3.7
Лесная территория				
3	<0.0002	0.73±0.18	3.0±1.0	30.0±10.0
6	0.0018±0.0004	0.50±0.13	3.0±1.0	41.0±6.0
8	<0.0002	0.57±0.14	1.3±0.4	12.0±3.0
14	0.0026±0.0006	0.86±0.22	0.5±0.2	13.0±3.0
15	<0.0002	0.55±0.14	1.2±0.4	7.6±3.0
17	0.004±0.001	0.65±0.16	2.3±0.8	8.8±3.5
19	<0.0002	0.81±0.20	15.0±4.0	19.0±5.0
20	<0.0002	0.59±0.15	1.0±0.3	16.0±4.0
21	<0.0002	0.52±0.13	1.6±0.5	9.3±3.7
22	0.0066±0.0016	0.34±0.09	2.1±0.7	9.2±3.7
24	<0.0002	0.67±0.17	1.9±0.6	7.6±3.0
25	0.030±0.007	0.89±0.22	1.8±0.6	9.7±3.9
C <sub>ср</sub> <sup>a</sup>	0.010±0.002	0.57±0.22	3.0±0.5	15.0±3.0
ПДК <sub>в/р</sub> <sup>б</sup>	0.5	10	100	1.0
Фон [8]	<0.4	1–20	<10	<5

<sup>a</sup> Средняя концентрация водорастворимых форм в фильтратах снеговой воды, мкг/дм<sup>3</sup>.

<sup>б</sup> Предельно допустимая концентрация водорастворимых форм в водах водных объектов рыбохозяйственного назначения, мкг/дм<sup>3</sup>.

аргона частично внедрялись в фильтр, масса внедренных частиц также учитывалась в величине мутности.

Для идентификации источников загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами (Zn, Cd, Pb, Cu) в окрестностях г. Барнаула использовали метод построения изоконцентрат в среде Surfer-8.0. Изоконцентраты распределены на исследуемой территории представлены на рис. 3–6.

### Расчет химической нагрузки

Химический сток рассчитан из полученных нами экспериментальных данных. Исследован фильтрат снеговой воды, определена массовая доля органического углерода и вычислена химическая нагрузка от разных по коэффициенту стока территорий. Площадь городской территории определена с помощью аналитического метода. Для координатной “привязки” проб снежных кернов использовали GPS-навигатор (см. табл. 1). По результатам ИВА (см. табл. 3) рассчитана химическая нагрузка по водорастворимым тяжелым металлам за время снегового паводка.

Расчеты химического стока и химической нагрузки выполнены по следующим формулам [1, 10]:

$$y = \alpha\beta \langle C_i V_i / S_i \rangle \quad (1)$$

где  $y$  – модуль стока подвижных форм тяжелых металлов, кг/км<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент местного стока;  $\beta$  – коэффициент пересчета размерностей величин;  $V_i$  – объем снеговой воды для  $i$ -й точки отбора, дм<sup>3</sup>;  $S_i$  – площадь поверхности для  $i$ -й точки отбора, км<sup>2</sup>.

$$L = \alpha\beta \sum \langle C_{i,j} V_i / S_i \rangle S_j \quad (2)$$

где  $L$  – суммарная химическая нагрузка на русловую сеть во время паводка, кг;  $\sum$  – сумма по всем точкам отбора  $i$  (от 1 до  $n$ ) и по всем типам  $j$ -го природного комплекса (лесная и городская территории).

Результаты расчета химической нагрузки по металлам на р. Обь в снеговой паводок 2019 г. представлены в табл. 4.

Ранее в расчете химической нагрузки применяли более сложную модель средних концентраций металлов, растворимых в снеговой воде и сорбированных на частицах снега [10]. Главным образом, рассматривали поверхностный сток. В качестве “фоновых” концентраций металлов использовали результаты анализа водных вытяжек почвы (имитационная часть модели стока [3]). В настоящее время гидрологические и гидрохимические режимные наблюдения за участком верхнего течения р. Обь в области влияния г. Барнаула не проводятся, и полуэмпирическое моделирование по химико-аналитическим исследованиям представляется наиболее выполнимой задачей.

### Определение массовой доли органического углерода

Содержание органического углерода в точных навесках твердых частиц снежной массы определяли методом “сжигания” по В. И. Тюри-

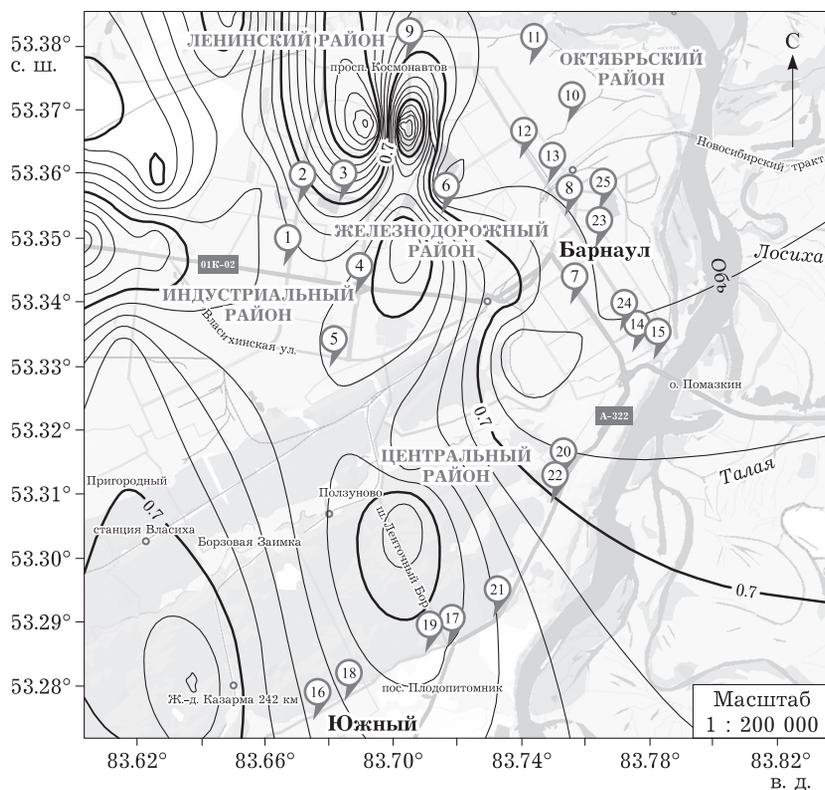


Рис. 3. Изоконцентраты распределения цинка (в  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) в снежном покрове г. Барнаула по результатам снегосъемки 2019 г.

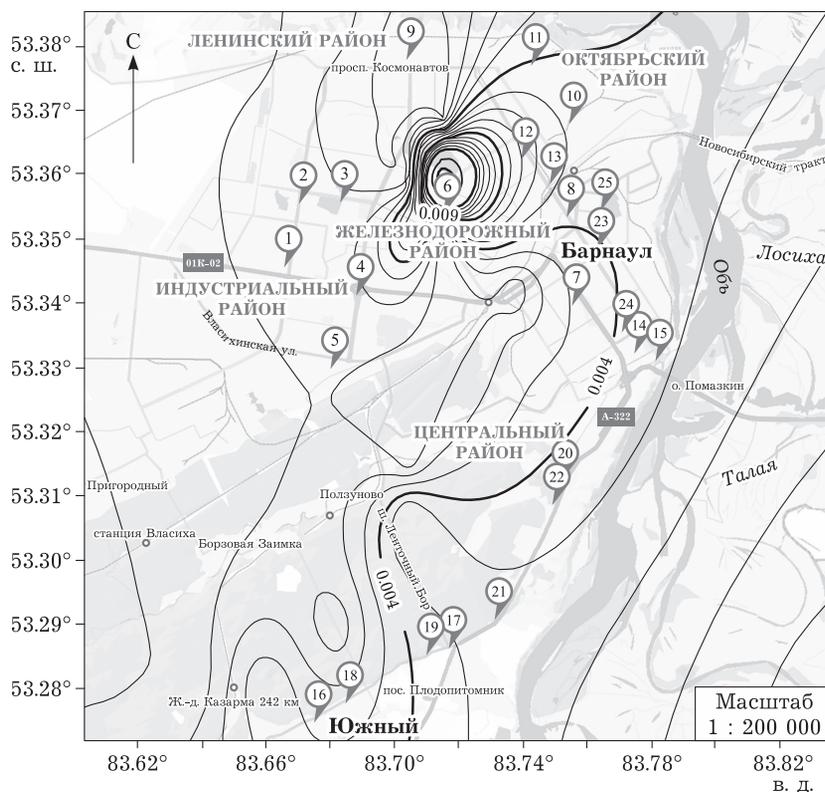


Рис. 4. Изоконцентраты распределения кадмия (в  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) в снежном покрове г. Барнаула по результатам снегосъемки 2019 г.

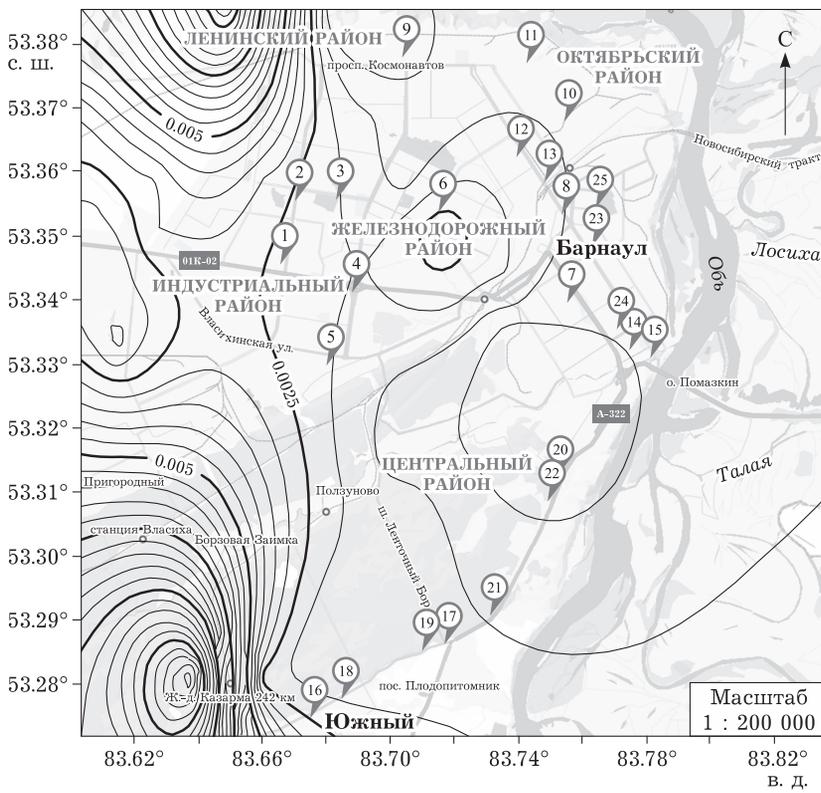


Рис. 5. Изоконцентры распределения свинца (в мг/дм<sup>3</sup>) в снежном покрове г. Барнаула по результатам снегосъемки 2019 г.

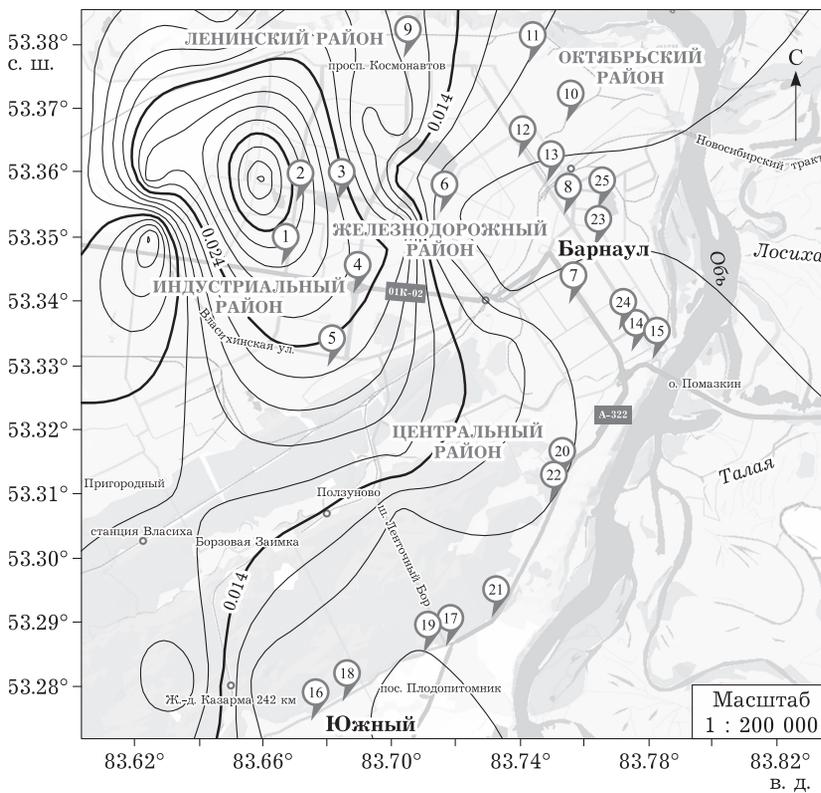


Рис. 6. Изоконцентры распределения меди (в мг/дм<sup>3</sup>) в снежном покрове г. Барнаула по результатам снегосъемки 2019 г.

ТАБЛИЦА 4

Расчетные объемы химической нагрузки, т

Показатель	Cu(II)	Pb(II)	Zn(II)	Cd(II)
Лесная территория 110 км <sup>2</sup> , $\alpha = 0.22$ [1]				
Химическая нагрузка	6.8	1.3	22.4	22.4
Городская территория 72 км <sup>2</sup> , $\alpha = 0.65$ [1]				
Химическая нагрузка	13.2	9.7	37.6	40.6
Суммарная нагрузка на русловую сеть	20.0	11.0	60.0	63.0

Примечания. 1. Продолжительность снегового паводка 15 сут. 2.  $\alpha$  – коэффициент местного стока.

ну [4, 10, 11] титриметрически, рассчитывали по формуле:

$$[C\%] = (V_{\text{хол}} - V_{\text{раб}}) \cdot C \cdot 0.003 \cdot 100/g \quad (3)$$

где  $C\%$  – массовая доля органического углерода, %;  $V_{\text{хол}}$  и  $V_{\text{раб}}$  – объемы соли Мора на “холостое” определение и после сжигания соответственно, см<sup>3</sup>;  $C$  – количество моль-экв. соли Мора в 1 дм<sup>3</sup>;  $g$  – точная навеска взвеси (твердых частиц снега), г.

Результаты представлены в табл. 2.

#### Расчет “условного” органического вещества

Расчет УОВ проводили по результатам титриметрического анализа (см. табл. 2). Основанием для выбора модели УОВ послужили ранее выполненные определения фенолов и нефтепродуктов в снежном покрове [5] с преобладающей долей нефтепродуктов и фенолов, сорбированных на твердой компоненте снега.

Для определения концентрации УОВ (г/дм<sup>3</sup>) в твердых частицах снега использовали следующую формулу [11]:

$$\text{УОВ} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot [C\%] \cdot T \quad (4)$$

где  $C\%$  – массовая доля органического углерода в твердых частицах снега, %;  $T$  – мутность снеговой воды, г/дм<sup>3</sup>.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценить загрязнения за зимний сезон позволяет отбор проб снежного покрова в виде кернов. Одна проба по всей толще снежного покрова содержит представительные данные о загрязнении в период от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы. Снежный покров позволяет решить проблему количественного определения суммарных параметров загрязнения (сухих и влажных выпадений) [12, 13], если снегосъемка выполнена на мо-

мент максимального накопления загрязнений и максимального снегозапаса [2, 10, 12].

Ранее нами исследован снежный покров на содержание металлов [14] методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Опубликованы величины химической нагрузки на русловую сеть р. Обь (твердый сток сорбированных форм тяжелых металлов) [5]. Далее концентрации УОВ усредняли по городу (13 точек отбора, см. табл. 1) и лесной территории (12 точек отбора, см. табл. 1) и вычисляли химическую нагрузку (см. табл. 4) по аналогии с расчетами для металлов по формуле (2). Рассчитаны твердый и жидкий стоки.

В рамках концептуальной модели “накопление – смыв” на основе интегральных характеристик снежного покрова рассчитан твердый сток снега УОВ в г. Барнауле:

– лесная территория:  $S = 110 \text{ км}^2$ ,  
 $L = 88.0 \pm 0.5 \text{ т}$ ;

– городская территория:  $S = 72 \text{ км}^2$ ,  
 $L = 496.0 \pm 0.5 \text{ т}$ .

Именно дифференциация исследуемой территории по природным комплексам на лес и город, а также компонентам стока (твердый и жидкий) позволяет четко определить преобладание городских территорий в формировании химической нагрузки на русловую сеть в области влияния города. В соответствии с представленными на рис. 3–6 изоконцентрациями установлены места с повышенным содержанием цинка, кадмия, меди и свинца в снежном покрове по данным, полученным в 2019 г. Максимальное содержание цинка определено в точках 11, 12, минимальное – в точках 1, 13. Максимальное содержание кадмия определено в точке 22, в других точках оно также не превышало ПДК.

Если сравнивать результаты определения тяжелых металлов в талой снеговой воде, полученные в 2019 г., с усредненными результатами исследований, выполненных в 2003 г., представленными в [10], то следует отметить значительные отличия. Тяжелых металлов в фильтраатах снеговой воды в 2019 г. содержится значительно меньше, чем в 2003 г. Содержание органического углерода в 2019 г. составило максимально – 30 %, минимально – 1.0 %, а в 2003 году максимально – 2.9 %, минимально – 0.7 %. Повидимому, меньшим стал вклад топочных аэрозолей частного сектора города с переходом от угольного отопления на природный газ.

Согласно результатам анализа снежных кернов 2019 г. установлено значимое увеличение средних концентраций меди в снеговой воде

( $15.0 \pm 3.0$  мкг Cu/дм<sup>3</sup>) по сравнению с данными 2003 г. ( $12.4 \pm 2.0$  мкг Cu/дм<sup>3</sup>). В качестве позитивного результата химического анализа фильтратов в 2019 г. отмечено существенно меньшие концентрации водорастворимого кадмия в сравнении с 2003 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом ИВА определены средние концентрации водорастворимых форм цинка, меди, свинца и кадмия в фильтратах снеговой воды, мкг/дм<sup>3</sup>: Cu ( $15.0 \pm 3.0$ ), Zn ( $0.57 \pm 0.22$ ), Pb ( $3.0 \pm 0.5$ ) и Cd ( $0.010 \pm 0.002$ ).

Погрешности связаны с неточностью определения площади стока с природного комплекса.

Несмотря на погрешности используемой топосновы, результаты модельного расчета химической нагрузки на русловую сеть свидетельствуют о вторичных процессах поступления подвижных форм тяжелых металлов в почвогрунты и донные отложения русловой сети. Вторичные процессы трансформации тяжелых металлов зависят от температуры поровых вод донных осадков и “деятельности” гидробионтов на границе активного обмена энергией и веществом в экосистемах верхнего течения р. Обь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бабкина И. В. Природоохранный сток малых рек Средней Сибири как основа разработки нормативов предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты // Материалы Междунар. науч. конф. “Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия”, Томск, 03–07 сентября 2000. 602 с.
- 2 Доклад о состоянии и об охране окружающей среды городского округа – города Барнаула Алтайского края в 2013 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://барнаул.рф/upload/medialibrary/b68/doklad-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-g.barnaula-v-2013-godu.pdf> (дата обращения: 06.11.2020).
- 3 Темерев С. В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2006. 336 с.
- 4 Темерев С. В. Анализ воды и водных экосистем. Лабораторный практикум для студентов 4-го курса химического факультета. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2012. 21 с.
- 5 Хумонина О. В., Темерев С. В. Расчет химической нагрузки на русловую сеть в области влияния Барнаула от снегового стока фенолов / Материалы V Всерос. науч. конф. и школы для молодых ученых (с междунар. участием) “Системы обеспечения техносферной безопасности”. Таганрог, 5–6 октября 2018. С. 117–120.
- 6 МУ 31-03/04. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Проведение анализа с использованием программного обеспечения ТА-Lab. Томск, 2004. 40 с.
- 7 Индюшкин И. В., Белов В. М., Евстигнеев В. В. Система регистрации данных физико-химических лабораторных исследований воды открытых водоемов, питьевой и очищенной сточной воды. (СГЛ 2). Свидетельство об офици. регистрации программы для ЭВМ № 2004612457 от 04.11.04. М.: Фед. служба по интеллект. собств., патентам и товарным знакам. 2004.
- 8 Мур Д. В., Раммамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 288 с.
- 9 Орлова Т. Н., Ганжа В. В. Методы анализа и очистки природных и сточных вод: метод. указания. Ярославль: ЯрГУ, 2008. 67 с.
- 10 Индюшкин И. В., Темерев С. В. Оценка объемов снегового стока металлов в водоток в рамках модели “накопление – смыв” для урбанизированных территорий // Химия уст. разв. 2004. Т. 12, № 4. С. 525–539.
- 11 Михайлов С. А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2000. № 56. С. 1–130.
- 12 Индюшкин И. В. Информационное обеспечение химико-аналитического мониторинга реки Оби в области влияния города Барнаула: Дис. .... канд. хим. наук. Барнаул, 2005. 136 с.
- 13 Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под. ред. Л. К. Исаева. СПб.: Эколого-аналитический центр “Союз”, 1998. 896 с.
- 14 Хумонина О. В., Темерев С. В. Атомно-абсорбционное определение Zn и Cd в твердой компоненте снежного покрова // Сб. науч. ст. междунар. конф. “Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники”. Барнаул, 16–18 ноября 2018. С. 931–936.