

Снегорязевая пульпа как объект для получения геоэкологической информации об урбанизированной территории

Иванчукова Н. В.^{1,2}, Селезнев А. А.^{1,2}, Шевченко А. В.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, ivanchukova.natali@gmail.com

² Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, sandrian@rambler.ru

Аннотация. Проведено поисковое исследование, направленное на разработку метода оценки экологического состояния малых и средних по численности населения городов в холодный период года. В качестве геоэкологического индикатора используется снегорязевая пульпа (СПП). Исследование проводилось на территориях трех городов Свердловской области: Алапаевск, Качканар и Серов. Программа исследования включала полевые, лабораторные и аналитические работы. Оценивался суммарный показатель загрязнения СПП. В качестве условной фоновой концентрации использовались: минимальная концентрация элемента в снеге в городе, минимальная концентрация элемента в СПП в городе, ПДК вод водных объектов, концентрация элемента в снеге в точке пробоотбора. По результатам исследования получены различные оценки загрязнения городов. Наиболее оптимальными подходами к оценке могут быть те, которые учитывают локальные процессы миграции и накопления загрязнения природно-антропогенного характера. Такие условия обеспечиваются использованием при расчете суммарного показателя загрязнения в качестве условной фоновой концентрации снега на площадке опробования СПП и минимальной концентрации элементов в СПП в выборке в городе.

Ключевые слова: экологический мониторинг, урбанизированная среда, снег, снегорязевая пульпа, тяжелые металлы.

Snow-dirt sludge as an object for obtaining information on an urban environment

Ivanchukova N. V.^{1,2}, Seleznev A. A.^{1,2}, Shevchenko A. V.^{1,2}

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg, ivanchukova.natali@gmail.com

² Institute of Industrial Ecology UB RAS, Ekaterinburg, sandrian@rambler.ru

Abstract. An exploratory study was conducted to develop an approach for assessment the environmental state of small and medium-sized cities during the cold period of the year. Snow-dirt sludge (SDS) was used as a geoinicator. The research was carried out in three cities of the Sverdlovsk region: Alapayevsk, Kachkanar, and Serov. The research program included field, laboratory, and analytical stages. The total pollution index was assessed for SDS. The various types of the background reference concentrations were used in the current study: the minimal concentration of an element in snow in the city, the minimal concentration of an element in SDS in the city, the maximum permissible concentration of elements in water bodies, and the concentration of an element in snow at the SDS sampling site. According to results of the study, the different assessments of pollution of the towns were obtained. The most suitable methods for assessment of pollution degree were those which take into account local processes of migration and accumulation of pollution of natural and anthropogenic origin. Such conditions are ensured by using the concentration of snow at the SDS sampling site and the minimum concentration of elements in SDS in the sample in the city as the reference background concentration to calculate the total pollution index.

Keywords: environmental monitoring, urban area, snow, snow-dirt sludge, heavy metals.

Введение

В малых и средних по численности населения городах России проживает треть населения страны и сосредоточены основные производства. Однако, у жителей подобных городов нет полной и общедоступной информации об экологическом состоянии территории, на которой они живут, так как полноценный государственный мониторинг состояния окружающей среды не проводится

по различным причинам¹. Для решения данной проблемы и получения информации о состоянии окружающей среды можно использовать современные инновационные методы мониторинга с использованием депонирующих сред.

Мониторинг снежного покрова охватывает характеристики выпавших осадков с даты появления первого снега, может дать понимание о состоянии атмосферного воздуха. Метод является относительно дешевым и информативным для оценки загрязнения от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в зимний период. Снег обладает высокой сорбционной способностью и является носителем не только влажных, но и сухих выпадений, поэтому дает объективную оценку всех атмосферных загрязнений за зимний период. СГП также может быть подходящим объектом для мониторинга, так как представляет собой смесь выпавших осадков с материалом современных поверхностных депонированных наносов (дорожной и тротуарной пылью) (Seleznev et al., 2019, 2024). СГП накапливает в себе твердые вещества и атмосферные выпадения с момента образования снежного покрова.

Целью исследования была разработка и опробование метода мониторинга малых и средних по численности населения городов с использованием СГП в качестве индикатора экологического состояния среды. Основные задачи исследования:

- отбор проб снега и СГП в жилых зонах;
- определение физико-химических свойств и содержания элементов в водорастворимой фазе (Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Fe);
- расчет суммарного показателя загрязнения и выбор оптимального способа оценки загрязнения территории.

Характеристика исследуемых городов

Исследование проводилось в трех городах Свердловской области, два из которых (Алапаевск и Качканар) относятся к малым по численности населения, один город (Серов) среднему. Алапаевск и Качканар расположены на территории Среднего Урала, Серов – в южной части Северного Урала. Города различаются по своей специализации. В Алапаевске основные отрасли промышленности – машиностроение, сельское хозяйство, деревообработка. По индексу загрязнения почвы, Алапаевск относят к опасной категории (Касимов, Власов, 2018). В Качканаре располагается действующий горно-обогачительный комбинат «ЕВРАЗ КГОК». В Качканаре индекс загрязнения почв достигает 19 единиц, что соответствует допустимому уровню загрязнения (Росман, Королёва, 2016; Меньшикова и др., 2019). Для Серова основной отраслью является металлургия. Суммарный показатель загрязнения почв равен 10 единицам, что также соответствует допустимому уровню².

Программа исследования

Сеть опробования составлялась с учетом подходов, описанных в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 524 от 30 июля 2020 г. Отбор проб проводился в холодный период 2024 г. во время максимального снегонакопления. В каждом из исследуемых городов отбиралось 20 проб: по 10 проб снега и СГП на селитебных территориях с многоэтажной и малоэтажной жилой застройкой.

Отбор проб снега проводился пробоотборным устройством на всю глубину снежного покрова согласно методике, определенной Руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. При необходимости из отобранной пробы удалялись физические загрязнения (мусор, трава). Отбор проб СГП производился лопатой.

¹ ФГБУ «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Текст : электронный // URL: http://svgimet.ru/?page_id=181 (дата обращения: 10.10.2024).

² Анализ качества почвы на территории г. Серова и Серовского района по данным контроля за 2022 г. Текст : электронный // URL: <https://xn--112-hddo8cng.xn--p1ai/novosti/informatsiya-ot-rospotrebnadzora/analiz-kachestva-pochvy-na-territorii-g-serova-i-serovskogo-raiona-po-dannym-kontrolya-za-2022-god/> (дата обращения: 28.05.2024).

Проба снега с территории с многоэтажной застройкой отбиралась внутри квартала из ненарушенного снежного покрова на газоне. Проба СГП с территории многоэтажной застройки отбиралась внутри квартала с тротуаров и проездов. На территориях с малоэтажной застройкой пробы снега собирались с газонов, пробы СГП – с дороги.

Пробы хранились при минусовой температуре в закрытых контейнерах. Затем пробы оттаивали при комнатной температуре. После оттаивания замерялись: объем пробы, температура, рН и Eh. После пробы фильтровали через заранее промытые и высушенные бумажные фильтры «синяя лента» с размером пор 2 мкм.

Оценка степени загрязнения

Для оценки степени загрязнения территории был произведен расчет суммарного показателя загрязнения Z_c :

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n - 1),$$

где K_{C_i} – коэффициент концентрации химического элемента ($K_{C_i} = \frac{C_i}{C_{ус.фон i}}$, C_i – концентрация элемента в пробе, $C_{ус.фон i}$ – концентрация элемента в условном фоновом объекте), n – количество элементов. Показатель Z_c рассчитывался для каждой пробы СГП. В расчет брались элементы, содержание которых в пробе было выше содержания в условной фоновой пробе на 20 %. В табл. 1 показаны условные фоновые объекты, на которых происходило тестирование подхода к оценке степени загрязнения территорий городов. В качестве одной из фоновых концентраций использовались ПДК элементов для поверхностных вод согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Оценивалась доля проб в разных категориях загрязнения по Z_c . Полученные в разных подходах доли проб сравнивались между собой.

Таблица 1. Условная фоновая концентрация
Table 1. Reference background concentration Результаты и обсуждение

Номер объекта	Условная фоновая концентрация
1	Минимальная концентрация элемента в снеге в городе
2	ПДК вод
3	Концентрация элемента в снеге в точке пробоотбора
4	Минимальная концентрация элемента в СГП в городе

Результаты и обсуждение

Для проверки предложенного метода использован стандартный набор индикаторов загрязнения городской среды – тяжелых металлов, для которых установлены нормативы их содержания в окружающей среде. Эти загрязнители широко распространены в городских районах. После проведения анализов были получены следующие результаты.

Характеристика проб

Кислотность сред: из проб СГП 5 обладают нейтральной средой (16 %), 17 проб – слабощелочной (57 %), а 8 проб щелочной (27 %), по пробам снега также 17 проб слабощелочных (57 %), 8 проб – нейтральных (27 %) и 5 проб щелочных (16 %). По городам получены следующие распределения:

- Алапаевск – 5 проб снега с нейтральной средой (25 %), 10 слабощелочных проб (50 %) (по 5 проб на снег и СГП), и 5 щелочных проб СГП (25 %);
- Качканар – 8 проб с нейтральной средой (40 %) (5 проб СГП и 3 пробы снега), 11 слабощелочных проб (55 %) (4 пробы СГП и 7 проб снега), 1 щелочная проба СГП (5 %);
- Серов – нет проб с нейтральной средой, 13 слабощелочных проб (65 %) (8 проб СГП и 5 проб снега), 7 щелочных проб (35 %) (2 пробы СГП и 5 проб снега).

Если рассматривать все 60 проб в совокупности, то 56 % процентов от всех проб являются слабощелочными, по 22 % на нейтральные и щелочные пробы.

В результате фильтрования на фильтрах оставались взвешенные вещества, средняя масса которых для проб снега и СГП для каждого из городов представлена ниже:

- из снега в г. Алапаевске 0.09 г, с проб СГП 0.12 г;
- из снега в г. Качканаре 0.54 г, с проб СГП 0.50 г;
- из снега в г. Серове 0.20 г, с проб СГП 0.3 г.

Наибольшая масса взвешенных веществ в Качканаре может объясняться тем, что в городе находится действующий ГОК, что напрямую влияет на содержание пыли в пробах.

Концентрации металлов выше ПДК по СанПиН 1.2.3685-21 получены:

- в 27 пробах снега (90 %) и 29 пробах СГП (97 %) для Pb,
- в 26 пробах снега (87 %) и 29 пробах СГП (97 %) для Mn,
- в 16 пробах снега (54 %) и 28 пробах СГП (94 %) для Ni,
- в 26 пробах снега (87 %) и 28 пробах СГП (94 %) для Cu,
- в 27 пробах снега (90 %) и 28 пробах СГП (94 %) для Zn,
- в 4 (14 %) пробах снега и 23 пробах СГП (77 %) для Co,
- в 7 пробах снега (23 %) и 26 пробах СГП (87 %) для Fe.

Число проб с содержанием металлов выше ПДК в СГП значительно выше, чем в снеге. Это может быть обусловлено тем, что загрязнители в водорастворимой фазе остались на поверхности после теплого сезона. При этом концентрация загрязняющих веществ в СГП представляет собой сумму атмосферных выпадений и оставшихся загрязнителей после теплого периода.

Оценка Zc

В табл. 2–5 показаны распределения проб СГП, относящихся к разным категориям загрязнения по Z_c в зависимости от применения разных объектов условного фона.

Таблица 2. Распределение проб, относящихся к разным категориям загрязнения по Z_c (условный фон – ПДК)

Table 2. Distribution of samples belonging to different pollution categories by Z_c (reference background concentration – maximum permissible concentration)

Город	Условная фоновая концентрация	Число проб (%) в категории загрязнения по Z_c		
		Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	ПДК	100	0	0
Качканар		100	0	0
Серов		100	0	0

Таблица 3. Распределение проб, относящихся к разным категориям загрязнения по Z_c (условный фон – минимальная концентрация элемента в снеге в городе)

Table 3. Distribution of samples belonging to different pollution categories by Z_c (reference background concentration – minimum concentration of element in snow in the city)

Город	Условная фоновая концентрация	Категория		
		Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	Минимальная концентрация элемента в снеге в городе	90 %	10 %	0 %
Качканар		80 %	10 %	10 %
Серов		100 %	0 %	0 %

Для оценки уровня загрязнения окружающей среды критически важно тщательно выбирать фоновые значения концентраций. Неприемлемо использовать ПДК природных вод в качестве фоновых концентраций, поскольку они не имеют прямой связи с конкретной территорией, на которой осуществляется оценка. Фон должен отражать естественный уровень загрязнения в данной эко-

системе. Выбор фоновых значений является ключевым этапом в процессе экологического мониторинга, поскольку от него зависит точность и достоверность проведенных исследований. В данном исследовании помимо ПДК в качестве фона было рассмотрено еще три способа. Так как ПДК значительно выше фона, то способ оценки загрязнения территории с этим условным фоном позволяет получить допустимую категорию загрязнения для СГП в исследуемых городах. Использование в качестве условного фона минимальной концентрации загрязняющего вещества в образцах СГП для города дает возможность оценить уровень загрязнения городской зоны, отличающийся от предыдущего метода оценки, но при этом более близкий к «реальным» условиям.

Таблица 4. Распределение проб, относящихся к разным категориям загрязнения по Z_c (условный фон – минимальная концентрация элемента в СГП в городе)

Table 4. Distribution of samples belonging to different pollution categories by Z_c (reference background concentration – minimum concentration of element in SDS in the city)

Город	Показатель	Категория		
		Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	Минимальная концентрация элемента в СГП в городе	50 %	20 %	30 %
Качканар		50 %	40 %	10 %
Серов		20 %	70 %	10 %

Таблица 5. Распределение проб, относящихся к разным категориям загрязнения по Z_c (условный фон – концентрация элемента в снеге в точке пробоотбора)

Table 5. Distribution of samples belonging to different pollution categories by Z_c (reference background concentration – concentration of element in snow at the sampling site)

Город	Показатель	Категория		
		Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	Концентрация элемента в снеге в точке пробоотбора	80 %	20 %	0 %
Качканар		60 %	30 %	10 %
Серов		60 %	30 %	10 %

При использовании минимальной концентрации элемента в СГП в городе и концентрации элемента в снеге в точке пробоотбора в качестве фона для СГП значительная часть образцов относится к умеренно опасной и допустимой категориям. По-видимому, подходы учитывают локальное загрязнение и загрязнение от неточечных источников в городской среде.

Заключение

Результаты проведенного поискового исследования позволили оценить экологическое состояние городов с использованием четырех различных подходов. Наиболее эффективными подходами, отражающим локальные процессы миграции и накопления загрязняющих веществ природно-антропогенного происхождения на исследуемой территории, могут быть: подход, в котором снег на площадке отбора СГП используется в качестве условного фона для СГП, а также подход, в котором в качестве условной фоновой концентрации элемента используется минимальная концентрация элемента в СГП в городе. Для корректной оценки, основанной на данных о СГП, необходимо учитывать характеристики нетронутого снежного покрова. Исследование подтвердило, что СГП может рассматриваться как самостоятельный компонент окружающей среды, позволяющий оценивать экологическое состояние городской среды, геоиндикатор.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20036, <https://rscf.ru/project/24-17-20036/>, и при поддержке Правительства Свердловской области (проект № 24-17-20036).

Литература

1. Касимов Н. С., Власов Д. В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // Вестник Московского университета. 2018. Серия: География. № 3. С. 14–22.
2. Меньшикова Е. А., Блинов С. М., Караваева Т. И. Состояние окружающей среды в районе Качканарского ГОКа и направления достижения эколого-экономического баланса природопользования: сб. трудов конференции Сергеевские чтения. Пермь. Изд-во: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С. 76–80.
3. Россман Г. И., Королева Н. Л. Прогнозная оценка степени заболеваемости населения от экологического воздействия объектов минерально-сырьевого комплекса // Разведка и охрана недр. 2016. № 6. С. 51–59.
4. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G., Ilgasheva E., Baglaeva E. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment // Scientific Reports. 2019. V. 9 (1), 17241. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>.
5. Seleznev A., Shevchenko A., Malinovsky G., Ivanchukova N., Glukhov V. Assessment of the Total Amount of Surface Deposited Sediments in Small Towns // Urban Science. 2024. V. 8, No. 4. P. 178. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040178>.