

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,  
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Научная статья

УДК 502/504+550.4+550.8.05

EDN: CSSVLQ

DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-4-423-431

**Анализ пространственно-временной изменчивости  
параметров снежного покрова по системе профилей  
на урбанизированной территории****А.В. Ланько<sup>a✉</sup>, Г.И. Сарапулова<sup>b</sup>**<sup>a-с</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Резюме.** Цель данного исследования заключалась в анализе пространственно-временной изменчивости параметров снежного покрова на урбанизированной территории г. Иркутска и примыкающих районов по системе профилей, отражающих особенности микрорельефа местности. Полевые обследования проводились в соответствии с общепринятыми рекомендациями по проведению снегогеохимических съемок. Отбор проб снега производился на всю глубину залегания за исключением слоя снежного покрова толщиной 0,5–1 см от почвы. Точки отбора проб располагались на расстоянии не менее 25 м от дорог. В жилых массивах города пробы отбирались в местах, где снежный покров не нарушен, а посторонние наносы и свалки отсутствуют. Для проведения статистического анализа и построения моделей разрезов по профилям, а также получения схем распределения параметров снежного покрова использовалось программное обеспечение Global Mapper, Golden Software Surfer, Statistica. Получена 3D-модель рельефа по данным радарной топографической съемки, которая выявила сложнопеременный тип рельефа исследуемой территории. В нем присутствуют горы, плоские возвышенности с волнисто-равнинными пологими водоразделами, пади, ложбины и понижения. Перепад высот составляет до 230 м. С учетом профилей получены схемы распределения высоты снежного покрова, которые позволили выявить наиболее заснеженные участки территории. Проведен геохимический анализ фильтрата талой снежной воды за трехлетний период. В 2021 г. для содержаний вольфрама, натрия, брома, кальция, молибдена, серы, бария, магния, сурьмы, тантала, цезия, титана, хрома, кремния выявлена высокая корреляция с электропроводностью. Средний уровень корреляции с электропроводностью обнаружен для мышьяка, меди, свинца. В 2022 г. выявлена удовлетворительная корреляция между кальцием, магнием, мышьяком и электропроводностью. Полученные данные анализа свидетельствуют о разном уровне загрязнения территории в результате атмосферных выпадений в эти годы, что связано с производственной активностью промышленных объектов. Выявлены схемы распределения показателя pH снега. Показано, что зоны с pH < 6 приурочены в большей степени к Иркутскому алюминиевому заводу. Зоны с pH > 6 обусловлены влиянием энергетических установок на углеводородном топливе: бензине, керосине, мазуте, дизельном топливе, угле. Проведены полевые и лабораторные исследования снежного покрова с использованием геоинформационных технологий и физико-химических методов. Выявлены распространение и миграция загрязняющих веществ в различных пространственно-временных масштабах в зависимости от рельефа местности. Это открывает возможности для моделирования строения ландшафта с учетом метеорологических параметров, фенологических процессов и состояния снежного покрова для целей народного хозяйства, размещения и строительства объектов.

**Ключевые слова:** снежный покров, микрорельеф, химические элементы, электропроводность, талая вода, pH, геоинформационные технологии

**Для цитирования:** Ланько А.В., Сарапулова Г.И. Анализ пространственно-временной изменчивости параметров снежного покрова по системе профилей на урбанизированной территории // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 4. С. 423–431. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-4-423-431>. EDN: CSSVLQ.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY,  
GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

## Original article

Spatial and temporal variability analysis of snow cover  
parameters according to the urbanized area profile systemAnna V. Lanko<sup>a,✉</sup>, Galina I. Sarapulova<sup>b</sup><sup>a-c</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The purpose of the study is to analyze the spatial and temporal variability of snow cover parameters in the urbanized area of the city of Irkutsk and its adjacent areas according to the system of profiles reflecting the features of the area microrelief. Field surveys were conducted in accordance with standard recommendations for snow and geochemical surveys. Snow sampling was carried out at the entire snow depth, with the exception of the snow depth of 0.5-1 cm. Sampling points located at least 25 meters away from the roads. Snow sampling in the residential areas of the city was carried out in the places with undisturbed snow cover and free from extraneous snow banks and landfills. Global Mapper, Golden Software Surfer, Statistica software were used to carry out statistical analysis, build the models of profile sections and obtain the diagrams of snow cover parameter distribution. A 3D relief model was obtained on the basis of radar topographic survey data, which revealed a multiple formation relief of the studied area featuring mountains, high plains with undulating flat gently sloping watersheds, valleys, hollows and depressions. The height difference is up to 230 m. The diagrams of snow depth distribution built with regard to the profiles made it possible to identify the territories with the deepest snow cover. A geochemical analysis of the melt water filtrate was carried out over a three-year period. In 2021 a high correlation with electrical conductivity was found for the contents of tungsten, sodium, bromine, calcium, molybdenum, sulfur, barium, magnesium, antimony, tantalum, cesium, titanium, chromium, and silicon. The average correlation level with electrical conductivity was recorded for arsenic, copper, and lead. The analysis data obtained indicate a different contamination level of the area as a result of atmospheric precipitation in those years due to the activity of industrial facilities. The distribution patterns of the pH snow index have been revealed. It is shown that zones with pH<6 are mostly confined to the Irkutsk aluminum smelter. The zones with pH >6 are caused by the influence of the power plants using hydrocarbon fuels: gasoline, kerosene, fuel oil, diesel fuel, coal. The snow cover was subjected to field and laboratory studies using GIS technologies and physico-chemical methods. The distribution and migration of pollutants in various spatial and temporal aspects have been revealed taking into account the terrain relief. The conducted study opens up opportunities for modeling the landscape structure, taking into account meteorological parameters, phenological processes and snow cover state for the purposes of the national economy and the location of construction of various facilities.

**Keywords:** snow cover, microrelief, chemical elements, electrical conductivity, melt water, pH, GIS technologies

**For citation:** Lanko A.V., Sarapulova G.I. Spatial and temporal variability analysis of snow cover parameters according to the urbanized area profile system. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(4):423-431. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-4-423-431>. EDN: CSSVLQ.

## Введение

По мере увеличения темпов урбанизации качество жизни в крупнейших городах все больше зависит от сохранения компонентов природной среды [1]. Урбанизационные процессы, воздействуя на городскую среду, оказывают уникальное влияние на формирование снежного покрова [2]. Увеличение городской застройки и рост инфраструктуры влечет за собой изменение климатических параметров, таких как температура поверхности, влажность, ветер и другие факторы, формирующие высоту и геохимический состав снежного покрова, что в свою очередь приводит к изменениям его параметров. Эко-

лого-геохимический анализ снежного покрова создает возможность для исследования загрязнений природной среды в условиях урбанизации [3–6]. При этом понимание процессов, происходящих в снеге в различных условиях рельефа, также открывает возможности для моделирования процессов распределения загрязнения атмосферного воздуха на основе метеорологических параметров [7]. Параметризация снежного покрова весьма актуальна для построения моделей различного уровня с учетом локальных и региональных особенностей его распределения [8]. Региональный критерий заключается в отнесении промышленных регионов и урбанизированных



территорий к зонам с наибольшей подверженностью и невыясненным особенностям накопления снега в условиях конкретной местности и ландшафтов [9–12]. Это позволяет не только совершенствовать принципы геоинформационного обеспечения геоэкологического картографирования регионального уровня, но и разрабатывать систему глобального геоэкологического мониторинга природных геосистем.

Цель проведенного исследования заключалась в выявлении особенностей распределения снежного покрова и изменчивости его параметров на урбанизированной территории г. Иркутска и примыкающих районов по системе профилей, отражающих особенности микрорельефа местности.

К задачам исследования можно отнести следующее:

- построить цифровую модель рельефа местности по данным радарной топографической съемки для климатической и физико-географической характеристики района исследований;
- построить разрезы микрорельефа в соответствии с заданной системой профилей с использованием геоинформационных приложений, программное обеспечение (ПО) – Global Mapper и Golden Software Surfer;
- проанализировать факторы простран-

ственно-временной организации и динамику снежного покрова на урбанизированной территории.

### Материалы и методы исследования

Территорией исследования являлся Свердловский район г. Иркутска и прилегающие к нему районы. Исследования снежного покрова проводились с 2021 по 2023 гг. За это время было отобрано более 300 проб. Пробы отбирались в период максимального снегонакопления до наступления снеготаяния.

Методика отбора проб заключалась в отборе снежного покрова практически на всю глубину залегания за исключением слоя снежного покрова 0,5–1 см от земли, чтобы устранить случайное загрязнение проб частицами подстилающей почвы [13]. Снегогеохимические съемки проводились в соответствии с требованиями к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением<sup>1</sup>. Для исключения влияния механического загрязнения снега точки отбора проб располагались на расстоянии не менее 25 м от дорог (по возможности). В жилых массивах города пробы отбирались в местах, где снежный покров не нарушен и нет посторонних наносов и свалок. Для оценки пространственно-временной изменчивости параметров снежного покрова



**Рис. 1. Территория исследования г. Иркутска и прилегающих районов**  
1 – Ново-Иркутская теплоэлектростанция; 2 – Иркутский алюминиевый завод

**Fig. 1. Area under investigation of the city of Irkutsk and surrounding areas**

1 – Novo-Irkutsk cogeneration plant; 2 – Irkutsk aluminum smelter

<sup>1</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июля 2020 г. № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением».





было выбрано 50 точек, на которых стабильно отбирался снег за все три года (рис. 1). Геохимический анализ проводился на основании общепринятых методик.

На изучаемой территории основным загрязнителем является топливно-энергетический комплекс, включающий теплоэлектроцентраль, различные котельные и печное отопление на каменном угле. Существенную роль в загрязнении атмосферы в районе, особенно на городских территориях, играет автотранспорт [14–18]. Наряду с газами, содержащими окислы углерода и азота, в выбросах автотранспорта отмечается большое количество свинца в солевой фазе, а также некоторых других тяжелых металлов. К числу приоритетных загрязнителей, поступающих в городскую атмосферу с отработавшими газами автомобилей, относятся кадмий, свинец, цинк, медь, никель, хром, ртуть, мышьяк. Также следует отметить, что на прилегающих территориях крупным источником загрязнения атмосферы является Иркутский алюминиевый завод, в выбросах которого ранее зафиксирован широкий круг различных химических элементов и соединений. Наиболее опасными из них являются элементы первого класса опасности – фтор и бериллий.

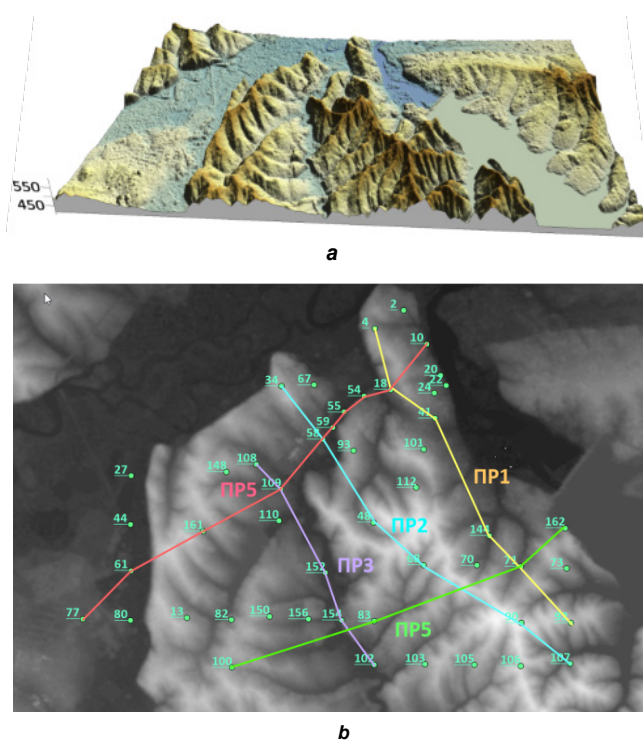
### Результаты исследования и их обсуждение

На перемещение и рассеивание вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, влияют не только ветровой режим и температура воздуха, но и в неменьшей степени рельеф местности [19]. Построенная 3D-модель рельефа в ПО Golden Software Surfer по данным радарной топографической съемки, полученных с помощью ПО Global Mapper, показала, что рельеф в пределах исследуемой территории сложнопеременный. В нем присутствуют горы, плоские возвышенности с волнисто-равнинными пологими водоразделами, пади, ложбины и понижения. Перепад высот составляет до 230 м (рис. 2, а).

С учетом таких факторов, как роза ветров и расположение основных источников загрязнения (теплоэлектроцентраль и Иркутский алюминиевый завод), была определена система профилей (рис. 2, б), отражающая особенности микрорельефа местности. От этих особенностей также зависели направление и длина каждого профиля. Профиль 1, профиль 2 и профиль 3 проходят в направлении

господствующих северо-западных ветров таким образом, что профиль 2 располагается вдоль береговой линии р. Ангары по вершинам гряды. Профиль 1 расположен справа от профиля 2 и приурочен к слабовыпуклому наклоненному склону гряды с дренирующими ложбинами, для которого характерна плотная застройка малоэтажными и высокоэтажными зданиями. Профиль 3 проходит слева от профиля 2, вдоль оси ложбины с эпизодическими застройками. Профиль 4 и профиль 5 построены вкрест простираения русла р. Ангары. Анализ таких параметров, как высота снежного покрова, водородный показатель pH и электропроводность фильтрата снеговой воды по каждому профилю, сопоставлялся с результатами изменения этих параметров на всей площади.

В ходе проведенного анализа было выявлено, что электропроводность в пробах фильтрата талой воды 2021 г. имеет высокий коэффициент корреляции со следующими химическими элементами: вольфрам, натрий, бром, кальций, молибден, сера, барий,



**Рис. 2. Результаты моделирования местности:**

а – 3D-модель рельефа, построенная по данным съемки Shuttle Radar Topography Mission;

б – система профилей

**Fig. 2. Area modeling results:**

а – 3D relief model built based on Shuttle Radar Topography Mission survey data;

б – profile system



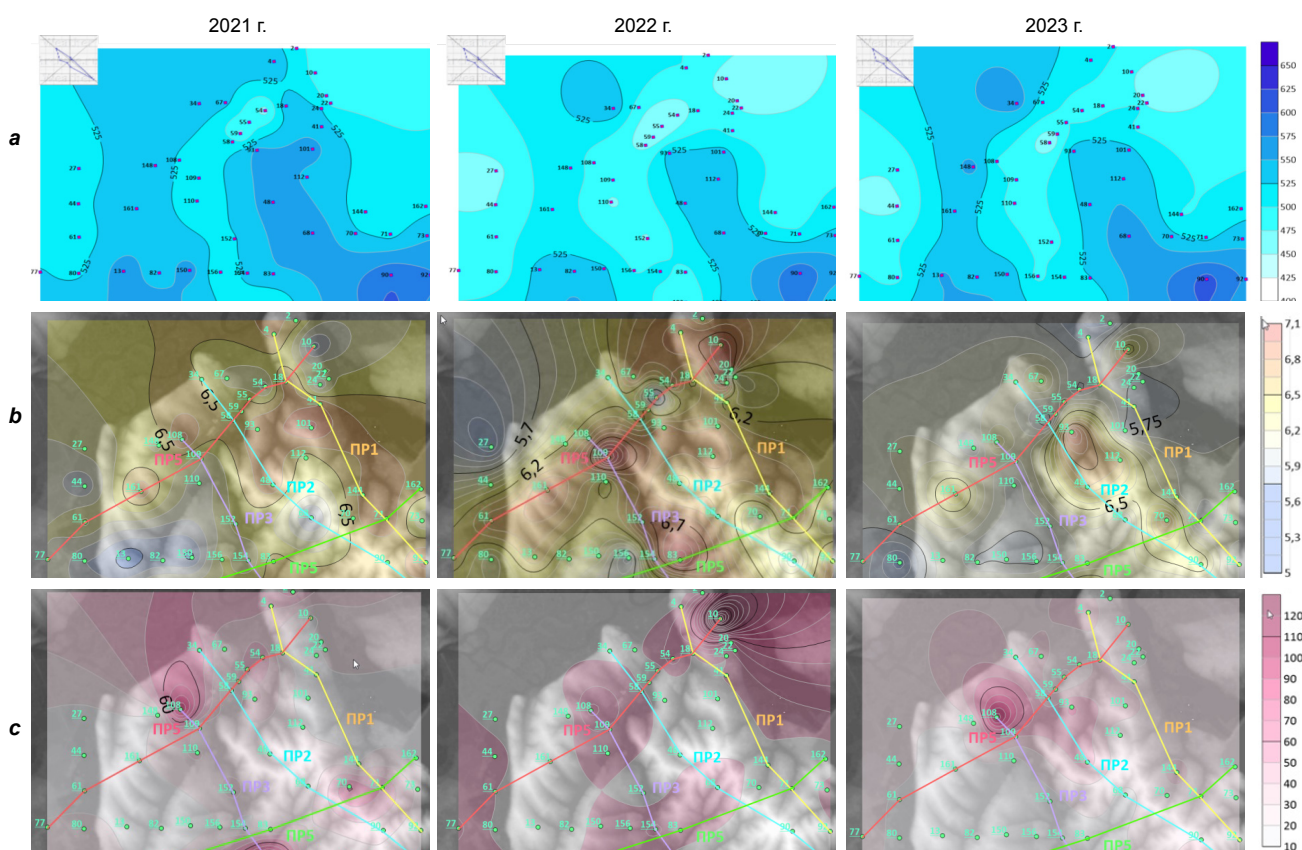
магний, сурьма, тантал, цезий, титан, хром, кремний. Средний уровень корреляционной связи выявлен у мышьяка, меди, свинца. Из этого можно сделать вывод, что изменение величины электропроводности в фильтрате снеговой воды может опосредованно показать изменение содержания химических элементов.

На построенной схеме распределения высоты снежного покрова (рис. 3, а) можно заметить, что наиболее заснеженный участок расположен в юго-восточной части исследуемой территории. На диаграммах концентрации (рис. 4) эти точки обозначаются как выбросы, так как не вписываются в общую закономерность: с увеличением абсолютной высоты рельефа высота снежного покрова уменьшается. Но это вполне закономерно, учитывая, что по розе ветров преобладающими направлениями ветра в Иркутске является северо-западный (24 %), юго-восточный (15 %) и западный (15 %), а сами точки расположены на окруженных лесом опушках.

Анализ распределения снежного покрова по выделенным профилям (см. рис. 4) показал, что снег в большей степени накапливается в пониженной части рельефа. На профиле 2 при сравнении распределения высоты снежного покрова по склонам видно, что на более пологом и вытянутом склоне складывались более благоприятные условия для снегонакопления, чем на противоположном.

На схеме распределения показателя pH (см. рис. 3) можно отметить, что зоны с  $\text{pH} < 6$  (относящиеся к кислотной среде) приурочены в большей степени к возможному источнику влияния – Иркутскому алюминиевому заводу. Зоны с  $\text{pH} > 6$ , что по литературным данным считается защелачиванием атмосферных осадков, можно отнести к источникам выбросов вредных веществ в атмосферу при работе энергетических установок, работающих на углеводородном топливе: бензине, керосине, мазуте, дизельном топливе, угле.

В 2022 г. химический анализ фильтрата талой воды проводился на девяти элементах:



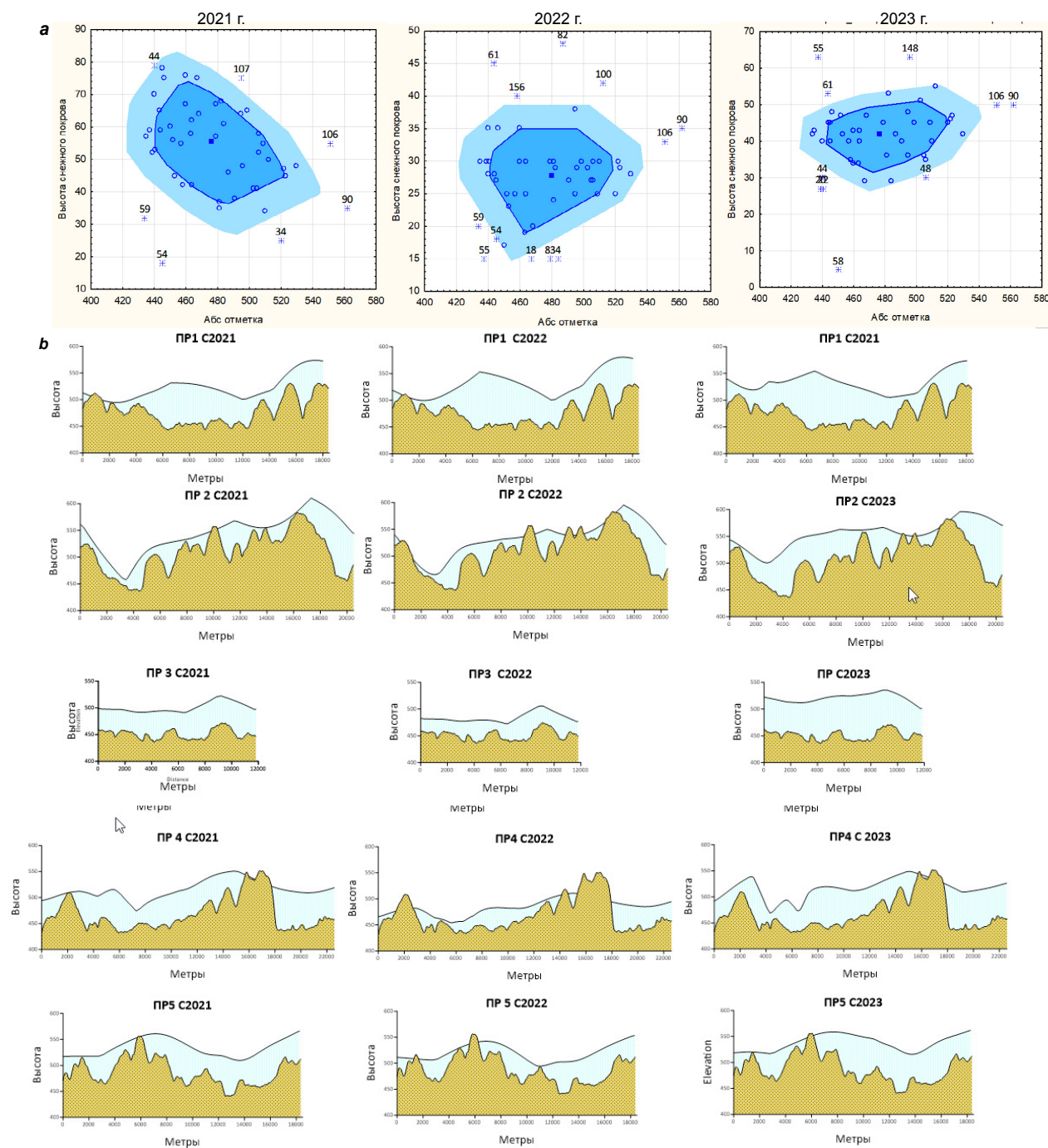
**Рис. 3. Схемы распределения параметров снежного покрова:**

а – высота снежного покрова с учетом абсолютной высоты рельефа; б – pH фильтрата снеговой воды; с – электропроводность фильтрата снеговой воды

**Fig. 3. Diagrams of snow cover parameter distribution:**

а – snow depth taking into account the absolute height of relief; б – pH of melt water filtrate; с – electrical conductivity of melt water filtrate





**Рис. 4. Диаграммы концентрации снежного покрова (а) и разрезы по профилям (б)**

**Fig. 4. Snow concentration diagrams (a) and profile sections (b)**

кальций, магний, натрий, кремний, цинк, калий, медь, мышьяк, свинец.

Выявлены удовлетворительные корреляции между электропроводностью и кальцием, магнием и мышьяком, что ниже, чем в 2021 г. Также корреляционный анализ показал сильную взаимосвязь между кальцием – магнием и калием – медью. Это может объясняться химическим составом атмосферных выпадений от промышленных объектов.

Так как количество осадков в 2022 г. было

меньше и отмечается более низкая скорость ветров, то это также отмечается на разрезах по проложенным профилям (см. рис. 4). Наблюдается тенденция к большему накоплению снежного покрова в пониженных частях рельефа. При этом, согласно схеме распределения значений такого показателя, как электропроводность, выявлено, что увеличение значения по всей анализируемой площади говорит о насыщении снега солями и, возможно, металлами. Распределение pH существенно



изменилось по сравнению с 2021 г. Зоны с  $pH < 6$  сместились в южную сторону. При этом зоны с  $pH > 6$  стали более локализованными.

В 2023 г. на схеме распределения  $pH$  можно отметить, что зоны с  $pH < 6$  сконцентрированы в юго-западной части исследуемой территории с обеих сторон гряды, простирающейся с севера на юго-запад (см. рис. 3). Еще одна зона расположена вдоль береговой линии р. Ангары. Зоны с  $pH > 6$  из ложбины сместились на вершину гряды в северо-восточном направлении. Аномальное значение электропроводности выявлено в северо-западной части исследуемой территории в начале профиля 3 и приурочено к зоне с наибольшим накоплением снежного покрова (см. рис. 4).

В 2023 г. наблюдалось самое большее количество осадков за все время наблюдений. Также отмечается большая средняя скорость ветров, что и отразилось на схеме распределения снежного покрова и на диаграмме концентрации. Следует отметить наиболее равномерное распределение снежного покрова независимо от абсолютной высоты рельефа. Тем не менее, общие тенденции снегонакопления в сравнении с прошлыми годами сохранились (см. рис. 3, 4).

Полученные результаты и выявленный характер пространственно-временной изменчивости снежного покрова получен впервые для указанной территории и имеет не только научное значение, но и практическую значимость

[19, 20]. Ввиду значительной пористости и, как следствие, низкой теплопроводности снежный покров определяет температурный режим, сроки и глубину промерзания почв и грунтов, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации промышленных объектов. От толщины снега зависит количество и интенсивность поступления воды в водосборы во время снеготаяния и, следовательно, наполняемость водохранилищ, увлажненность почв и состояние грунтовых вод. Понимание процессов, происходящих в снежном покрове при различных условиях рельефа, открывает возможности для моделирования его строения на основе метеорологических параметров.

### Заключение

Таким образом, проведенные полевые и лабораторные исследования, а также использование геоинформационных технологий способствуют пониманию процессов, происходящих в снежном покрове при различных погодных условиях в зависимости от рельефа местности. Это открывает возможности для моделирования его строения с учетом метеорологических параметров. Полученные результаты позволяют также обнаружить закономерности в распространении и миграции загрязняющих веществ, изменение состояния и функционирования природных систем в различных пространственно-временных масштабах.

### Список источников

1. Василевич М.И. Воздействие эмиссии целлюлозно-бумажного предприятия на окружающую среду // Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 112–124. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-1-112-124>. EDN: AXTKLZ.
2. Онищук Н.А., Нецветаева О.Г., Моложникова Е.В. Межгодовая динамика химического состава снежного покрова в Прибайкалье // Метеорология и гидрология. 2023. № 4. С. 33–43.
3. Мананков Н.В., Кара-Сал И.Д. Эколого-геохимическое состояние снежного покрова города Кызыла (республика Тыва) // Вестник Тувинского государственного университета. Выпуск 3. Технические и физико-математические науки. 2013. Т. 1. № 1. С. 122–129. EDN: ROMVOB.
4. Жданок А.И., Тасоол Л.Х., Чуликова С.А., Янчат Н.Н. Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыл // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 6. С. 507–517. EDN: TDUTJJ.
5. Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Эколого-геохимическая оценка снежного покрова Якутска // Лед и Снег. 2021. Т. 61. № 3. С. 420–430. <https://doi.org/10.31857/S2076673421030098>. EDN: QSIVYI.
6. Булдакова Е.В., Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Принципы геоинформационного обеспечения геоэкологического картографирования регионального уровня // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 4. С. 380–384. EDN: SJSXMT.
7. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Лед и Снег. 2010. № 1. С. 58–72. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-3-63-70>.
8. Китаев Л.М. Пространственно-временная изменчивость высоты снежного покрова в северном полушарии // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 28–34.
9. Комаров А.Ю. Влияние растительности и микрорельефа на стратиграфию снежного покрова в Подмоскowie // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 6. С. 87–98.
10. Комаров А.Ю. Строение снежного покрова на северо-востоке Московской области // Лед и Снег. 2021. Т. 61. № 3. С. 391–403. <https://doi.org/10.31857/S2076673421030096>. EDN: MQHNXL.



11. Китаев Л.М., Кислов А.В. Региональные различия снегонакопления – современные и будущие изменения (на примере Северной Европы и севера Западной Сибири) // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. № 2. С. 98–103. EDN: JTGMXZ.
12. Ситдикова А.А., Святлова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 589.
13. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
14. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 90–99. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1\(90-99\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(90-99)). EDN: YIXIEN.
15. Новикова С.А. Загрязнение атмосферы крупных городов Иркутской области выбросами автотранспортных средств // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2015. Т. 11. С. 64–82. EDN: TJBBTZ.
16. Ахтиманкина А.В. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 21. С. 15–27. EDN: ZFPJUF.
17. Гареев А.М., Галеева Э.М., Теплова Д.С. Пространственная и временная изменчивость загрязнения окружающей среды в условиях влияния городских агломераций (на примере Уфимского промышленного узла) // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2018. Т. 28. № 3. С. 41–51.
18. Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 12. С. 1443–1449. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449>. EDN: BPWYLC.
19. Рогова В.П., Скворцов В.А., Федорова Н.В., Чурсин Д.А. Кристаллические фазы аэрозолей в природотехнических системах Прибайкалья // Известия ИГУ. Серия: Науки о Земле. 2009. Т. 2. № 2. С. 167–180. EDN: MSZMNT.
20. Козин В.В., Кузнецова Э.А. Физико-географические факторы пространственно-временной изменчивости снежного покрова нефтегазопромыслового региона: монография. Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2015. 151 с.

### References

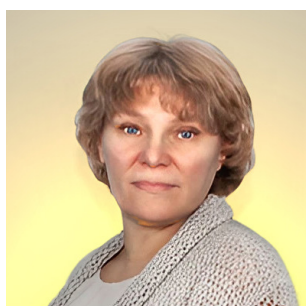
1. Vasilevich M.I. Environmental effects of pulp and paper mill emissions. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2023;1:112-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-1-112-124>. EDN: AXTKLZ.
2. Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova E.V. Interannual dynamics of snow cover chemical composition in the Baikal region. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2023;4:33-43. (In Russ.).
3. Manankov A., Kara-Sal I. The ecological and geochemical condition of the snow cover in Kyzyl (republic of Tuva). *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Vypusk 3. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki*. 2013;1(1):122-129. (In Russ.). EDN: ROMVOB.
4. Zhdanok A.I., Tasool L.Kh., Chupikova S.A., Yanchat N.N. Snow cover pollution in Kyzyl territory. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2014;6:507-517. (In Russ.). EDN: TDUTJJ.
5. Makarov V.N., Torgovkin N.V. Ecological and geochemical characteristics of the snow cover in the Yakutsk city (Central Siberia). *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2021;61(3):420-430. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2076673421030098>. EDN: QSIVYI.
6. Zaikanov V.G., Minakova T.B., Buldakova E.V. Principles of GIS support of geoecological mapping for a regional level. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2014;4:380-384. (In Russ.). EDN: SJSXMT.
7. Golubev V.N., Petrushina M.N., Frolov D.M. Development patterns of snow cover stratigraphy. *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2010;1(109):58-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-3-63-70>.
8. Kitaev L.M. Spatial and temporal variations of snow depth in the northern hemisphere. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2002;5:28-34. (In Russ.).
9. Komarov A.Yu. The influence of vegetation cover and microrelief on snow stratigraphy in the Moscow region. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya = Lomonosov Geography Journal*. 2021;6:87-98. (In Russ.).
10. Komarov A.Yu. Snow cover stratigraphy in the northeast of Moscow region. *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2021;61(3):391-403. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2076673421030096>. EDN: MQHNXL.
11. Kitaev L.M., Kislov A.V. Regional differences of snow accumulation – contemporary and future changes (on the example of Northern Europe and northern part of West Siberia). *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*. 2008;12(2):98-103. (In Russ.). EDN: JTGMXZ.
12. Sittikova A.A., Svyatova N.V., Tsareva I.V. Analysis of the impact of motor vehicle emissions in the large industrial city on the state of air pollution. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015;3:589. (In Russ.).
13. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. *Snow cover pollution monitoring*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1985, 181 p. (In Russ.).





14. Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N. Chemical composition of snow in the water area of lake Baikal and on the adjacent territory. *Geografiya i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*. 2017;1:90-99. (In Russ.). [https://doi.org/10.21782/GIPRO206-1619-2017-1\(90-99\)](https://doi.org/10.21782/GIPRO206-1619-2017-1(90-99)). EDN: YIXIEH.
15. Novikova S.A. Pollution of atmosphere by auto transport emissions in big cities of Irkutsk region. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle = Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth sciences*. 2015;11:64-82. (In Russ.). EDN: TJBBTZ.
16. Akhtimankina A.V. Atmospheric air pollution by industrial enterprise emissions in the Irkutsk region. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle = Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth sciences*. 2017;21:15-27. (In Russ.). EDN: ZFPJUF.
17. Gareev A.M., Galeeva E.M., Teplova D.S. Spatiotemporal variabilities of environmental pollution under the impact of urban agglomerations: a case study of the Ufa industrial hub. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan = The Herald of the ASRB*. 2018;28(3):41-51. (In Russ.).
18. Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F. Assessment of the level of pollution of the snow cover with chemical compounds and elements in the territory of the Shelekhov district in Eastern Siberia. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2022;101(12):1443-1449. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449>. EDN: BPWYLC.
19. Rogova V.P., Skvortsov V.A., Fedorova N.V., Chursin D.T. The solid aerosol particles are in the natural-technical systems of the CisBaikal. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle = Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth sciences*. 2009;2(2):167-180. (In Russ.). EDN: MSZMNT.
20. Kozin V.V., Kuznetsova E.A. *Physical and geographical factors of spatiotemporal variability of snow cover in the oil and gas producing region*. Nizhnevartovsk: Nizhnevartovsk State University; 2015, 151 p. (In Russ.).

#### Информация об авторах / Information about the authors



**Ланько Анна Викторовна**,  
руководитель департамента образовательных технологий,  
институт «Сибирская школа геонаук»,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
✉ lav@geo.istu.edu

**Anna V. Lanko**,  
Head of the Department of Educational Technology,  
Siberian School of Geosciences,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia,  
✉ lav@geo.istu.edu



**Сарапулова Галина Ибрагимовна**,  
профессор кафедры обогащения полезных ископаемых  
и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
sara131@mail.ru

**Galina I. Sarapulova**,  
Professor of the Department of Mineral Processing  
and Environmental Protection named after S.B. Leonov,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia,  
sara131@mail.ru

#### Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
The authors contributed equally to this article.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*  
*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

#### Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 19.09.2023; одобрена после рецензирования 27.10.2023; принята к публикации 23.11.2023.

The article was submitted 19.09.2023; approved after reviewing 27.10.2023; accepted for publication 23.11.2023.