

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

МИХАЛЕВ Михаил Викторович

**СНЕЖНЫЕ ПОЛИГОНЫ КАК ОБЪЕКТЫ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
КОМПОНЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология» (науки о Земле)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:

к.г.н. В.А. Лобкина

Южно-Сахалинск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБРАЩЕНИЕ СО СНЕГОМ АККУМУЛИРУЮЩЕМСЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	10
1.1. Последствия эксплуатации снежных полигонов в России.....	12
1.2. Складирование снега на территории Сахалинской области.....	18
1.3. Альтернативные способы обращения со снегом.	29
1.4. Воздействие снежных полигонов на растительные сообщества.	38
Выводы по главе 1.....	41
ГЛАВА 2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ о. САХАЛИН И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА	42
2.1. Условия отложения снега на о. Сахалин.	44
2.2. Ветровой режим о. Сахалин.	47
2.3. Атмосферные осадки и температура воздуха.....	49
2.4. Снежный покров.....	51
Выводы по главе 2.....	53
ГЛАВА 3. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И ОСОБЕННОСТИ СНЕГОТАЯНИЯ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ. ДИНАМИКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНЫХ ПОЛИГОНОВ.....	54
3.1. Методика исследования тепловых характеристик снега.....	56
3.2. Динамика снеготаяния на снежных полигонах.....	60
3.3. Измерение морфометрических характеристик снежных полигонов.	66
Выводы по главе 3.....	73
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СНЕЖНЫМИ ПОЛИГОНАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА СНЕГА И ТАЛОЙ ВОДЫ	74
4.1. Снежный покров как депонирующая загрязнение среда	76
4.2. Загрязнители в талой воде со снежных полигонов.....	86
Выводы по главе 4.....	95
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СНЕЖНЫМИ ПОЛИГОНАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОЧВО-ГРУНТОВ.....	96
Выводы по главе 5.....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
ЛИТЕРАТУРА.....	110
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На большей части территории России в зимний период формируется устойчивый снежный покров, который оказывает значительное влияние на экономическую деятельность. Анализ литературных источников показал, что проблема утилизации снега актуальна для многих стран Мира. Загрязнение окружающей среды при эксплуатации снежных полигонов зафиксированы в таких странах, как: Швеция, Финляндия, США, Канада и ряде других. В России проблема утилизации снега, собранного с селитебных территорий, остро стоит в Южно-Сахалинске, Омске, Петропавловск-Камчатском, Салехарде, Уфе, Самаре, Тюмени, Сургуте, Перми, Екатеринбурге, Кирове Уссурийске, , Барнауле. На территории этих городов эксплуатация снежных полигонов привела к активизации экзогенных геодинамических процессов (подтопление, суффозия, эрозия) в пределах территорий промышленных зон и жилой застройки, загрязнению водных объектов и почв, деградации растительных сообществ.

На настоящее время вывоз снега с территории населенных пунктов на снежные полигоны является основным способом обращения со снегом в России. Однако, в федеральном законодательстве отсутствуют нормативные акты, регулирующие отношения в сфере утилизации снежных масс с городских улиц и технические рекомендации к обустройству снежных полигонов. Понятие «снежный полигон» действующим законодательством России не предусмотрено, а сами «снежные полигоны» не рассматриваются как объекты негативного воздействия на окружающую среду.

Проводимые исследования снежных полигонов на о. Сахалин и анализ информации о международном и российском опыте их эксплуатации показывает, что территории их размещения испытывают существенное негативное воздействие на компоненты окружающей среды. Федеральный закон №7 «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 определяет негативное воздействие на окружающую среду как воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды. В работе установлено негативное воздействие полигонов на почву, поверхностные воды, определена смена растительных сообществ и то, что снежные полигоны источник теплового загрязнения.

Объект исследования – полигоны для складирования снега, собранного в пределах г. Южно-Сахалинска, и прилегающая к ним территория.

Предмет исследования – негативное воздействие, оказываемое снежными полигонами на компоненты окружающей среды.

Цель работы. Определить влияние снежных полигонов на поверхностные воды, почвы.

Задачи исследования.

1. Установить места размещения снежных полигонов на территории о. Сахалин, динамику их морфометрических характеристик с применением современных дистанционных методов зондирования;

2. Оценить возможность перелетывания снега, складированного на снежных полигонах в условиях южного Сахалина и определить скорость таяния;

3. Определить концентрации загрязняющих веществ в талых водах со снежных полигонов и оценить уровень загрязнения водных объектов и почв (почво-грунтов) находящихся в зоне воздействия снежных полигонов.

Степень разработанности. Работ, посвященных проблеме обращения со снежной массой, образующейся во время расчистки городской территории после снегопадов, как в российской, так и в зарубежной практике немного.

Основой исследований городского снега является классическая работа о снеге на урбанизированных территориях Т. Cook, В. Alprin [1976]. Есть серия

работ J. Campbell, A. Langevin [1995]. В Финляндии установлено загрязнение грунтов полициклическими ароматическими углеводородами при таянии снежных полигонов (Allen, 2016). В Швеции показано, что при таянии снежных полигонов происходит поступление в окружающую среду тяжелых металлов и микропластика (Vijayan, 2020). В Канаде на территориях прилегающих к снежным полигонам г. Оттава обнаружено увеличение содержания тяжелых металлов (Droste, Johnston, 1993), а в г. Эдмонтон определено, что общая расчетная углеводородная нагрузка от одного снежного полигона составляет около 5,1 т углеводородов (Stewart et al., 2013).

В нашей стране загрязнение снега в городской черте описаны в работах коллектива Национального исследовательского Томского политехнического университета [Таловская и др., 2017; Пасько и др., 2016], работах «Башкирский государственный аграрный университет» [Хайдарашина и др., 2017], исследованиях Института водных и экологических проблем СО РАН [Папина и др., 2018, Эйрих и др., 2016, Микушин и др., 2006], работах Института промышленной экологии УрО РАН [Баглаева и др., 2012], исследованиях Тихоокеанского института географии ДВО РАН [Кондратьев и др., 2017]. Загрязнение снега в городской черте г. Барнаула и влияние снежных отвалов на окружающую среду рассмотрено в работе [Носкова и др., 2015]. Результаты химического мониторинга снежного покрова г. Хабаровска изложены в работе [Новороцкая, 2018]. В исследовании [Тарасов и др., 2011] рассмотрено влияние снежных отвалов на состояние поверхностных водных объектов.

Существующие работы в большей степени посвящены химическому загрязнению территории, на которой расположены снежные полигоны, и в значительно меньшей степени изучению их морфометрических характеристик, а так же влиянию, оказываемому ими на активизацию инженерно-геологических процессов.

Научная новизна: Снежный полигон рассмотрен как природно-антропогенный объект, характеризующийся особыми нивально-гляциальными и физико-химическими условиями существования.

Полученные результаты химического анализа проб компонентов природной среды (снег, талая вода, грунт), позволили оценить степень негативного воздействия на них. Установлена динамика изменения концентраций поллютантов в талых водах со снежных полигонов.

Впервые выполнен расчет скорости таяния снежного полигона с применением данных тепловизионного зондирования его поверхности. По данным аэрофотосъемки построена динамическая модель полигона.

Личный вклад. Работа выполнена на основе 10-летних полевых наблюдений, выполненных на территории о. Сахалин. В период с 2018 по 2020 год автор проводил ежемесячные исследования морфометрических характеристик снежных полигонов с применением дистанционных методов зондирования. Осуществлял отбор проб снега, талых вод, грунтов для проведения аналитических работ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены геоэкологические и инженерно-геологические последствия, возникающие в местах складирования снега, вывозимого с территории городской застройки.

Полученные данные тепловизионной съемки позволяют построить тепловые поля снежных полигонов и оценить тепловое загрязнение окружающей среды.

Получены данные о концентрациях загрязнителей, поступающих в воду и почву от снежных полигонов. Определено направление и интенсивность миграции загрязняющих веществ от места размещения снежных полигонов.

Методология и методы исследования. Полевыми и камеральными методами получены сведения о снежных полигонах, функционирующих на территории о. Сахалин (местоположение, объем складированного снега, максимальная занимаемая площадь, плотность снего-ледовой массы, объекты в предполагаемой зоне воздействия и т.д.).

Проводился ежемесячный мониторинг снежных полигонов, расположенных в г. Южно-Сахалинск (областной центр Сахалинской области) и экспедиционные исследования полигонов в других районах острова.

Таблица 1. Реестр выполненных лабораторных испытаний с 2012 по 2020 гг.

Дата	Кол-во проб	Показатель
<i>снег</i>		
03.2012	3	Элементный анализ с использованием методов ИСП-АЭС и ИСП-МС: Al, Fe, Ca, Mg, Mn, K, Na, P, Si, Li, Be, Sc, V, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Ga, Zr, Rb, Sr, Y, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Tl, Pb, Th, U. Хроматографический анализ: F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ <i>Анализ проб проведен лабораторией аналитической химии ДВГИ ДВО РАН.</i>
01.2020	11	ПНД Ф 14.1:2:3.110-97: взвешенные вещества <i>Анализы проб выполнены ФГБУ ГЦАС «Сахалинский».</i>
03.2020	14	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99: Cl⁻, SO₄²⁻ ; ПНД Ф 14.1:2.167-00: Na⁺, Ca²⁺ , ПНД Ф 14.1:2:3.110-97: взвешенные вещества ; М-02-2406-13: Pb, Zn <i>Анализы проб выполнены ФГБУ ГЦАС «Сахалинский».</i>
<i>талая вода</i>		
07.2013	5	Методы анализа на основе ГОСТ 24902, ГОСТ 18309: NH₄⁺, Fe²⁺+Fe³⁺, F⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ <i>Анализ проб проведен сотрудниками СФ ДВГИ ДВО РАН с помощью полевой лаборатории для определений показателей качества воды «НКВ» (производитель ЗАО «Крисмас+»).</i>
07.2014	5	<i>(производитель ЗАО «Крисмас+»).</i>
06.2018	28	Элементный анализ с использованием методов ИСП-АЭС и ИСП-МС: Al, Fe, Ca, Mg, Mn, K, Na, P, Si, Li, Be, Sc, V, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Ga, Zr, Rb, Sr, Y, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Tl, Pb, Th, U. Хроматографический анализ: F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ <i>Анализ проб проведен лабораторией аналитической химии ДВГИ ДВО РАН.</i>
08.2018	26	
06.2019	14	Элементный анализ с использованием методов ИСП-АЭС и ИСП-МС: Al, Fe, Ca, Mg, Mn, K, Na, P, Si, Li, Be, Sc, V, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Ga, Zr, Rb, Sr, Y, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Tl, Pb, Th, U. Хроматографический анализ: F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ <i>Анализ проб проведен лабораторией аналитической химии ДВГИ ДВО РАН.</i>
08.2019	16	
05.2020	5	ГОСТ 31957: HCO₃⁻ . <i>Анализы проб выполнены ФГБУ ГЦАС «Сахалинский».</i>
<i>почво-грунт, грунт</i>		
05.2013	5	Элементный анализ методом РФА: V, Co, Cu, Ni, Zn, Ga, Ba, La, Ce, Nd, Sn, As, Nd, Pb, Th, U. Анализ на содержание породообразующих оксидов методом силикатного анализа: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, H₂O, ППП. <i>Анализ проб проведен в ЦКП ИЗК СО РАН.</i> Показатели состава и свойств грунтов: время размокания, гумус, пластичность, плотность минеральной части. <i>Анализы проб выполнены в лаборатории инженерной геологии ИЗК СО РАН.</i>
11.2017	17	ГОСТ 26423-85: pH ; ГОСТ 26425-85: Cl⁻ ; ГОСТ 26426-85: SO₄²⁻ ; ГОСТ 26950-86: Na⁺ ; ГОСТ 26487-85: Ca²⁺ ; М02-902-125-2005: Pb, Zn, Ni. <i>Анализы проб выполнены ФГБУ ГЦАС «Сахалинский».</i>
08.2018	20	Элементный анализ методом гравиметрии: H₂O⁻, ППП, SiO₂ ; ИСП-АЭС: Ti, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, K, Na, P ; ИСП-МС: Li, Be, Sc, V, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Pb, Th, Pb, U. <i>Анализ проб проведен лабораторией аналитической химии ДВГИ ДВО РАН.</i>

Данные об основных загрязнителях, поступающих в воду и почву от снежных полигонов, получены по результатам анализа проб. Реестр выполненных

лабораторных испытаний за период исследования снежных полигонов с 2012 по 2020 г., методы анализа и определяемые компоненты представлены в табл. 1.

Тепловизионные и аэрофотоснимки снежного полигона обрабатывались с применением соответствующего программного обеспечения.

Защищаемые положения:

1. Установлено, что «снежный полигон» это природно-антропогенный объект с особыми нивально-гляциальными и физико-химическими условиями существования потенциально оказывающий негативное воздействие на компоненты окружающей среды.

В процессе функционирования «снежных полигонов» возможно развитие негативных инженерно-геологических (затопление, эрозия, суффозия, морозное пучение и др.), геоэкологических (загрязнение компонентов окружающей среды) и микроклиматических (выхолаживание прилегающих территорий талыми водами с полигонов, понижение альбедо и увеличение температуры на поверхности полигона за счет вытаивания мусорного слоя) последствий.

2. Доказана возможность существования снежных полигонов способных перелетовывать в условиях муссонного климата южного Сахалина на абсолютных высотах до 50 абс.м. Произведен расчет скорости таяния снежных полигонов.

3. В течение теплого периода года снежные полигоны выделяют в окружающую среду загрязняющие вещества концентрации, которых в талых водах превышают фон и ПДК. Установлено накопление загрязняющих веществ в почве в концентрациях, превышающих фон и ОДК.

Степень достоверности результатов исследования. Выводы, сделанные в работе, основаны на результатах анализа 169 проб (Табл. 1). Статистическая обработка результатов испытаний выполнялась с оценкой достоверности получаемых зависимостей. Результаты исследований верифицировались по данным длительного полевого эксперимента.

Апробация работы. Основные положения и выводы, содержащиеся в диссертации, докладывались автором на 12 научных симпозиумах, конференциях, семинарах и совещаниях, из которых 3 – региональных, 2 – всероссийских и 7 –

международных. Материалы диссертации были представлены на следующих научных мероприятиях:

II Региональная конференция студентов, аспирантов, молодых ученых «Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и рационального природопользования Дальнего Востока и стран АТР» (Владивосток, 2005); Научно-практическая конференция «Стратегия развития взгляд в будущее» (Южно-Сахалинск, 2005); Международная научно-практическая конференция «Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации». (Екатеринбург, 2005); III Международная конференция «Лавины и смежные вопросы» (Кировск, 2006); XIV Гляциологический симпозиум «Гляциология от Международного геофизического года до международного Полярного года» (Иркутск, 2008); Международная научная конференция «Гляциология в начале XXI века» (Москва, 2009); Гляциологический симпозиум «Лёд и снег в климатической системе» (Казань, 2010); III Международный симпозиум «Физика, химия и механика снега» (Южно-Сахалинск, 2017); III Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы» (Южно-Сахалинск, 2019); The 35th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans (Mombetsu, Japan, 2020).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 15 работах, в том числе 5 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы, в том числе на иностранном языке, приложений. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста и включает 43 рисунка и 18 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.г.н. В.А. Лобкиной за поддержку и обсуждение работы на всех ее этапах работы, д.г.-м.н. И.А. Тарасенко, к.г.-м.н. Ю.В. Генсировскому за ценные советы и помощь в работе. Автор выражает признательность А.А. Музыченко и Л.Е. Музыченко за помощь при сборе и обработке полевых материалов.

ГЛАВА 1. ОБРАЩЕНИЕ СО СНЕГОМ АККУМУЛИРУЮЩЕМСЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Для многих зарубежных стран и субъектов России актуален вопрос расчистки урбанизированной территории от выпадающего снега и его последующего перераспределения (складирования). В большинстве случаев для складирования снежных масс определены специальные площадки – снежные полигоны (отвалы). Намного реже, для борьбы со снегом, на городских улицах используются стационарные снегоплавильные пункты и мобильные снегоплавильные установки.

В настоящее время обращение со снегом в России причислено к вопросам благоустройства, и отнесено на уровень органов местного самоуправления.

Однако, снег, собранный с территории городской застройки, содержит в себе загрязняющие вещества. В результате таяния снега на снежных полигонах прилегающая к ним территория испытывает значительную антропогенную нагрузку. Миграция и дальнейшая аккумуляция загрязняющих веществ в почве и воде оказывают негативное влияние на биогеоценозы расположенные в непосредственной близости от мест складирования снега. На территории полигонов из-за постоянного ввоза и уплотнения снега, в течение зимнего сезона, формируются антропогенные снежники, не характерные для городской среды.

Таяние снежных полигонов вызывает обводнение и заболачивание прилегающей территории, что ведет к серии негативных каскадных эффектов, таких как подтопление прилегающих зданий и сооружений, эрозию почв и др.

При этом в настоящее время федеральным законодательством не регламентированы отношения в сфере утилизации снежных масс с городских улиц и обустройства снежных полигонов. Само понятие «снежный полигон»

действующим законодательством России в настоящее время не предусмотрено. Организация вывоза снега и льда отнесена к благоустройству территории поселения и осуществляется органами местного самоуправления [ФЗ №131– ФЗ от 06.10.2003].

Обзор судебной практики показывает, что привлечение к ответственности лиц, размещающих снег от уборки улиц на площадках, не соответствующей требованиям СанПиН 2.1.7.1322– 03 правомерно [Дело № А41– 66844/2013]. При этом места размещения снежных полигонов должны быть согласованы с Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, так как согласно пунктам 4.11, 4.12 СанПиН 42– 128– 4690– 88 в зимний период участки размещения и устройства снежных «сухих» свалок необходимо согласовывать с районными санэпидстанциями, с учетом конкретных местных условий, исключая при этом возможность отрицательного воздействия на окружающую среду. Запрещается перемещение, переброска и складирование скола льда, загрязненного снега и т.д. на площади зеленых насаждений [Решение по делу № 2– 416/2011].

Последние изменения Федерального закона № 89– ФЗ и федерального законодательства в области классификации отходов свидетельствует о том, что отходы от зимней уборки улиц следует рассматривать как отход, но при этом сам снег в ФККО [Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242] отсутствует.

Таким образом, можно констатировать, что правовое регулирование вопроса размещения снега, собранного с территории городской застройки, в настоящее время, находится в стадии становления.

1.1. Последствия эксплуатации снежных полигонов в России.

Большая часть урбанизированной территории страны сталкивается с проблемами по размещению и последующей утилизации снега от зимней уборки улиц. За последние время наиболее остро данная проблема проявила себя в городах Омск, Салехард, Тюмень, Ижевск, Воронеж, Сургут, Екатеринбург, Уссурийск, Барнаул, Южно-Сахалинск, Томск, Киров, Казань, Самара, Пермь, Уфа, Петропавловск-Камчатский и др.

Например, весной 2016 г. в г. Уссурийск снежный полигон спровоцировал подтопление жилых домов сразу на нескольких улицах. Городские власти пытались отводить талые воды снежного полигона от жилого сектора с помощью тяжелой техники. Кроме того, на полигоне скопились десятки тонн мусора, попавшего в снег при расчистке городских улиц.



Рисунок 1.1: Снежный полигон на территории бывшего КПО ЗИМ в г. Самара, 2016 г. Фото с сайта <https://samara-ru.livejournal.com/10459001.html>.

Функционирующий в 2016 г. в г. Самара снежный полигон расположен в непосредственной близости от р. Волга, на территории бывшего цеха по работе с взрывчатыми веществами и гальванического цеха (Рис. 1.1). Данный полигон не только способствует загрязнению и подтоплению близлежащей территории, но и может спровоцировать загрязнение самой реки.

Снежный полигон в юго-западном районе г. Кирова, расположенный в непосредственной близости от жилых домов (100 м.) и гаражного кооператива, был закрыт в 2016 году после многочисленных жалоб жителей прилегающих территорий. На момент закрытия (февраль), по сообщениям граждан, высота снега на полигоне превышала 15 м.

В г. Томск снежный полигон был организован на территории золоотвала, в 300 м. от жилого микрорайона. Емкости золоотвала не были рассчитаны на прием дополнительного объема материала в виде снега. Прокурорская проверка выявила увеличение концентрации загрязняющих веществ в складированном снеге. Возможно подтопление талыми водами с полигона ипподрома и поселка, расположенного около него.

В п. Дровяное (Мурманская область) загрязненный снег складировается на побережье Кольского залива (Рис. 1.2) и в период весеннего снеготаяния загрязненные талые воды попадают в акваторию.



Рисунок 1.2: Снежный отвал в п. Дровяное, 2020 г. Фото с сайта <https://severpost.ru/read/89743/>.

В г. Архангельск снег, вывозят на неподготовленные площадки на Окружном шоссе и на ул. Усть-Двинская, где отсутствует надлежащая гидроизоляция дна площадок (Рис. 1.3).



Рисунок 1.3: Снежный полигон г. Архангельск, 2019 г. Фото с сайта <https://onf.ru/2019/12/18/aktivisty-onf-vyyavili-cto-poligony-dlya-vyvoza-snega-v-arhangelske-ne-sootvetstvuyut/>.

По результатам прокурорской проверки, проведенной в мае-июне 2017 года, установлены нарушения требований природоохранного законодательства на площадке складирования снежных масс в г. Ханты-Мансийске (Рис.1.4).



Рисунок 1.4: Снежный полигон г. Ханты-Мансийск, 2017 г. Фото с <https://fedpress.ru/article/2270678>.

В г. Казань ежегодно организуется около десятка снежных свалок, места дислокации которых не всегда отвечают экологическим требованиям [Тарасов и др., 2011]. Зафиксированы случаи размещения данных снежных отвалов в водоохранной зоне водных объектов. Установлено поступление загрязненных талых вод со снежных полигонов в водные объекты.

Единственным местом складирования снега вывозимого с городской территории г. Воронежа с 2015 г. является выработанная часть карьера, расположенного в районе пос. Придонской. Площадь снежного полигона составляет 2 000 м². При этом гидроизоляция полигона отсутствует и очистных сооружений для талых вод не предусмотрено, стоки фильтруются в приповерхностные водоносные горизонты [Прожорина, Крутова, 2019].

Основную часть снежных масс собранных с территории г. Ижевска вывозят на полигон по ул. Пойма. Площадь этого полигона составляет 6 га. На полигоне отсутствует системы экологической безопасности, ливневые системы и очистные сооружения талых вод [Дружакина, 2019].

Снежный полигон г. Холмск расположен в водоохранной зоне моря (Рис. 1.5), что в 2021 г. стало причиной возбуждения дела об административном правонарушении. Администрация г. Холмск привлечена к ответственности согласно ч. 1 статьи 8.45 КоАП РФ.



Рисунок 1.5: Снежный полигон г. Холмск (Сахалинская область), 2021 г. Фото с сайта <https://sakhalin.info/news/201647>.

В г. Южно-Сахалинске следствием отсутствия мер по снижению антропогенного воздействия от снежных полигонов стало загрязнение

окружающей среды. Зафиксированы превышение уровня ПДК в талой воде по пяти веществам 4-го класса опасности: NO^{2-} , Br^- , Al , Fe , Mn . ПДК по Al превышено в 12 раз; по Fe в 8 раз; по NO^{2-} и Br^- в 6 раз; по Mn в 5 раз. Установлено превышение содержания загрязняющих веществ в грунте основания полигона и по его периметру: например, во всех пробах отмечено превышение по Ni – до 1.8 раз, по As – до 4.8 раз. В некоторых пробах есть превышения по V (до 1.1 раз), Cu (до 1.2 раза), Zn (до 1.5 раза) [Лобкина и др., 2016].



Рисунок 1.6: Основные виды последствий эксплуатации снежных полигонов.

Искусственное создание многолетнемерзлых пород на участках, занятых снежными полигонами, приводит к развитию процессов заболачивания, и избыточного обводнения. На поверхности полигонов в летний и осенний период активно развивается солифлюкция, затрагивающая всю поверхность снежных полигонов и представляющая собой как пластично-вязкое, так и жидкое течение грунтов.

По периметру снежных полигонов в г. Южно-Сахалинске, в местах залегания легких суглинков, отмечено морозное пучение и формирование в летний период ям проседания. Фиксировались факты подтопления объектов городской инфраструктуры (2009 г.), расположенных на прилегающих к полигонам территориях, талыми водами. В 2020 г. технический комитет вывел из эксплуатации козловой кран, расположенный на граничащей со снежным полигоном «Северный» промышленной площадке, из-за деформации бетонного основания крана. Деформация произошла из-за изменения физико-механических характеристик грунта вызванного избыточным переувлажнением грунтов талыми водами с полигона. Козловой кран расположен в 100 м от полигона.

Таким образом, при эксплуатации снежных полигонов, наблюдаются негативные инженерно-геологические, геоэкологические и микроклиматические последствия (Рис 1.6).

1.2. Складирование снега на территории Сахалинской области.

На территории Сахалинской области функционирует 13 снежных полигонов (Рис. 1.7). Самые большие по объему складированного снега полигоны расположены на территории г. Южно-Сахалинска. Объем снега складированного на снежных полигонах Южно-Сахалинска достигал 3 000 тыс. м³.

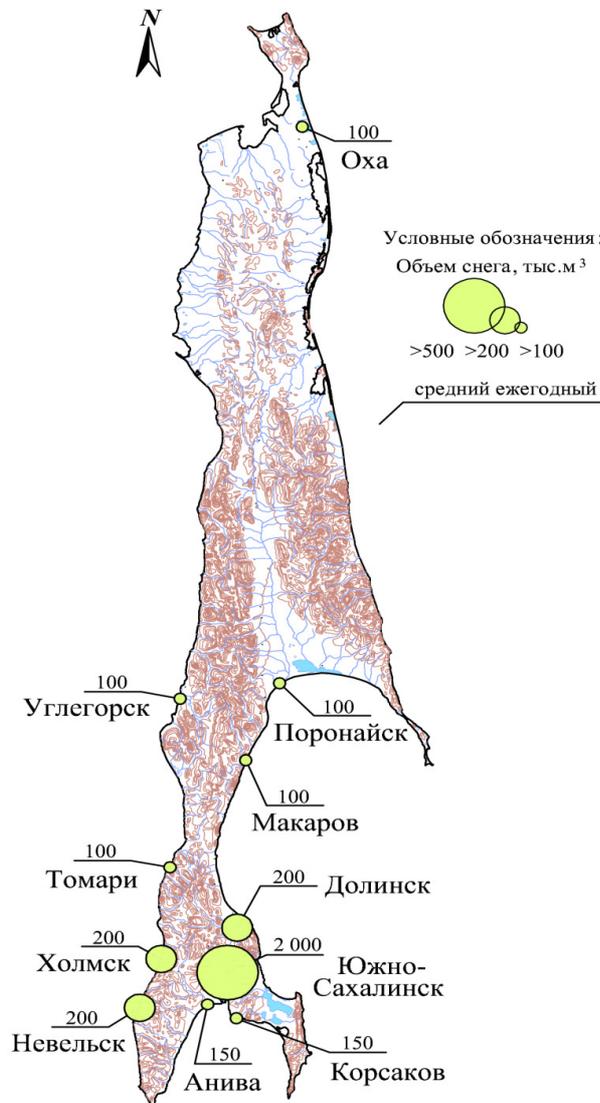


Рисунок 1.7: Снежные полигоны расположенные на территории о. Сахалин.

г. Южно-Сахалинск (МО ГО Южно-Сахалинский).

Наиболее крупными снежными полигонами о. Сахалин являются два полигона расположенных на территории г. Южно-Сахалинск. Это полигон «Северный» и «Южный» (Рис. 1.7). Абсолютная высота дневной поверхности полигона «Северный» составляет 45 м, площадь, которую занимал полигон в 2010 г. (на момент создания) равнялась 3,3 га, к 2020 г. площадь полигона сократилась до 2,8 га. Сокращение площади полигона связано с ограничениями на использование части участка, на котором ранее размещали снежные массы. Высота дневной поверхности полигона «Южный» – 20 абс.м, его площадь на момент создания в 2010 г. составляла 6 га, к 2020 г. она увеличилась до 42 га (Рис. 1.8).

Большое количество осадков, выпавшее на территорию г. Южно-Сахалинска зимой 2017-2018 гг., не могло не сказаться на объемах снега, вывозимого на снежные полигоны.

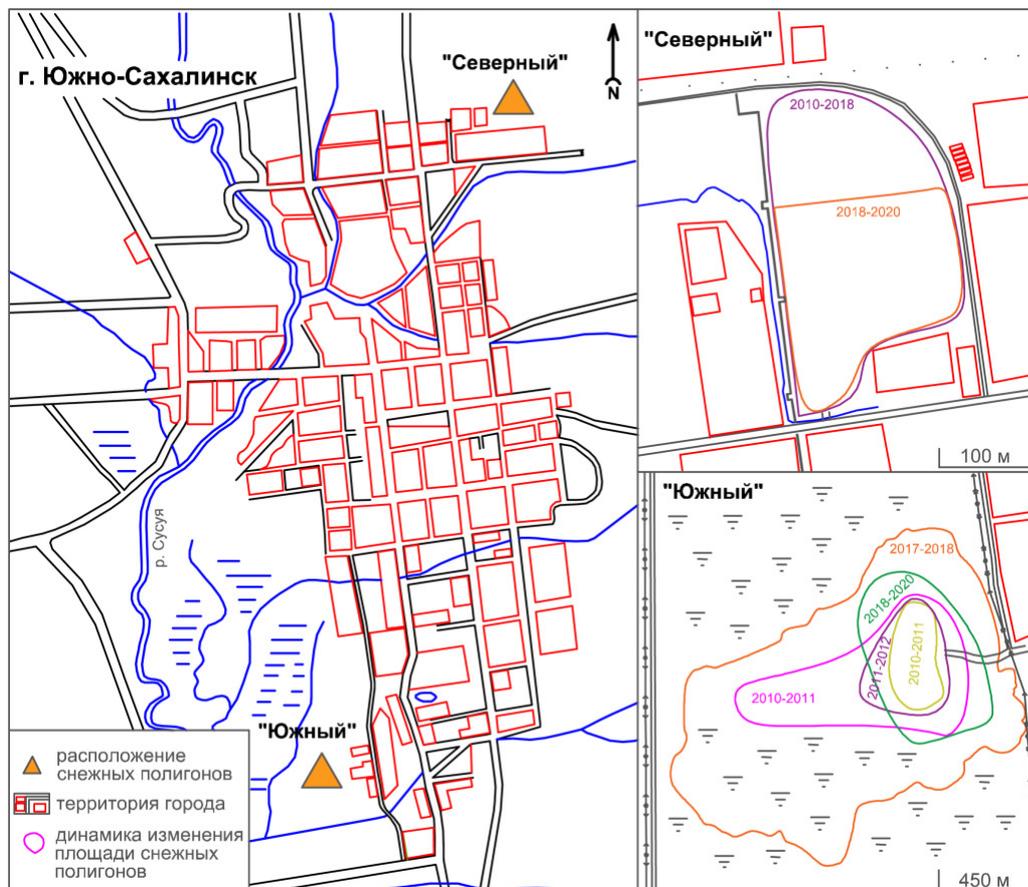


Рисунок 1.8: Размещение снежных полигонов на территории г. Южно-Сахалинск.

Вывоз снега на полигоны в южной части о. Сахалин в зимнем сезоне 2017–18 гг. начался в ноябре. К концу месяца на двух снежных полигонах, размещенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска, было складировано 13 тыс. м³ снего-песчанной массы.

При прохождении глубокого циклона в декабре 2017 г. значительное количество осадков выпало в центральных и южных районах острова. За 12 часов по гидрометеорологической станции «Южно-Сахалинск» (ГМС) выпало более половины месячной нормы осадков (32 мм.), всего за явление на территории Южно-Сахалинска выпало 48 мм осадков. Согласно данным мэрии г. Южно-Сахалинска для работ по ликвидации последствий прохождения глубокого циклона было привлечено более 200 единиц специальной техники. С территории города на специализированные площадки было вывезено около 40 тыс. м³ собранного снега. Максимальная частота заезда грузовиков, груженых снегом на полигон, составила – 6 машин/мин.

Активные работы по вывозу снега привели к тому, что 16 декабря департамент городского хозяйства г. Южно-Сахалинска остановил прием снега на полигоне «Северный», меньшем из двух полигонов, в связи с тем, что работающая на полигоне техника не успевала распределять и утрамбовывать снежные массы. В результате чего, по дороге на полигон была образованна пробка более чем из 50 грузовых автомобилей. Возобновление работ по приему снега на полигоне произошло только 21 декабря.

Следующий циклон затронувший 15 районов острова подошел 25 – 26 декабря и несмотря на то, что за явление в г. Южно-Сахалинске выпало 23 мм их наложение на предшествующее явление вновь привело к аварийному режиму городских коммунальных служб, которые были вынуждены значительно увеличить количество работающей техники. В период с 26.12 по 27.12 с селитебных территорий Южно-Сахалинска вывезено более 1500 грузовиков со снежной массой, объем вывезенного снега составляет – 30 тыс. м³.

В первой декаде января (09 – 10.01) циклон, прошедший над 8 южными районами о. Сахалин, принес 36 мм осадков (ГМС «Южно-Сахалинск»), что

составило более 65% январской нормы снега. Всего за данный месяц согласно данным гидрометеорологической станции г. Южно-Сахалинска выпало около 80 мм осадков.

По результатам дистанционного зондирования проведенного в данный период времени, было установлено, что на полигонах размещения масс снега размещено около 1350 тыс. м³ снега. На полигоне на «Южный» находится около 1 млн. м³, а на полигоне «Северный» – 350 тыс. м³. На полигоне «Южный» мощность отвалов снега составила – 15 м., а на полигоне «Северный» – 13 м. Средняя мощность складированного снега на обоих полигонах равнялась 5 м.

В феврале 2018 г. несмотря на то, что количество выпавших осадков было значительно меньше среднемесячной нормы (69%), на снежных полигонах наблюдалось увеличение объема складированных масс снега. Это объясняется продолжающимися в этом месяце работами по уборке снега с улиц города. К началу марта полигоны увеличились еще на треть.

В марте 2018 г. над территорией г. Южно-Сахалинска прошли 2 глубоких циклона. Согласно данным гидрометеорологической станции Южно-Сахалинск за явление, произошедшее 02.03 количество осадков составило – 30 мм.

Перед прохождением циклона 09.03 – 10.03 на полигонах г. Южно-Сахалинска был ограничен прием снега.

Согласно дистанционному зондированию в начале мая общий объем снеговой массы, расположенной на снежных полигонах г. Южно-Сахалинска, составлял около 3 млн. м³. Для сравнения средний объем ежегодно складированного на полигоны снега равен 2 млн. м³.

Мощность отложений снега на полигоне «Северный» – 30/15 м (макс./сред.), на «Южный» – 15/5 м соответственно. Динамика изменения суммарного объема снега, свезенного на снежные полигоны в сравнении с количеством выпавших осадков представлена на рис. 1.9.

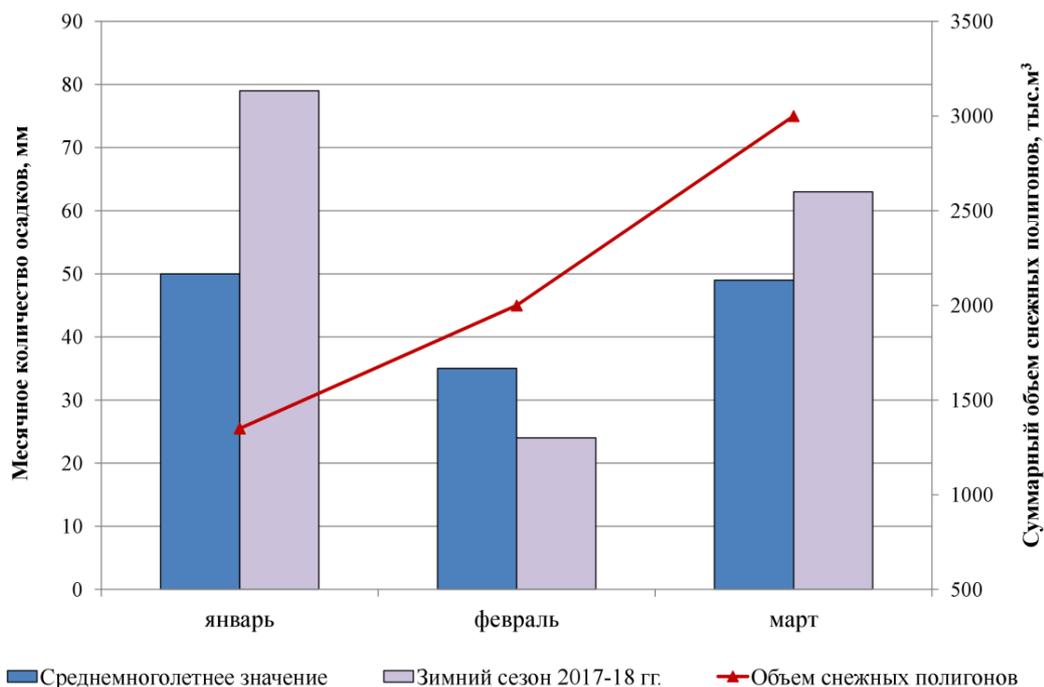


Рисунок 1.9: Динамика изменения суммарного объема снега свезенного на снежные полигоны в г. Южно-Сахалинск в зимнем сезоне 2017-18 гг.

В конце апреля 2018 г. снежные полигоны г. Южно-Сахалинска были закрыты. Зондирование полигонов и анализ скорости их стаивания показал, что в мае 2018 г. полигон «Северный» стоял на 20 % своего максимального объема, а полигон «Южный» на 40 %. На дату окончания функционирования снежных полигонов общий объем складированного там снега равнялся 2 млн. м³. Изменение внешнего вида снежных полигонов и накопленного снега показано на рис. 1.10.

Проводимые в течение года измерения показали, что произошло резкое увеличение площади, занимаемой снежными полигонами в г. Южно-Сахалинске. В зимнем сезоне 2017– 18 гг. общая площадь снежных полигонов г. Южно-Сахалинска равнялась 46 га., что в 5 раз больше, чем на момент их открытия. Увеличение размеров полигонов связано с тем, что полигон «Южный» не ограничен постройками.

После прохождения циклона в феврале 2021 года техника, вывозящая снег с территории города, стала вязнуть в снежной массе располагавшейся на снежных полигонах, так как положительные температуры воздуха привели к оттаиванию

верхнего, намороженного слоя снежных полигонов по которому и осуществлялось движение техники.



Рисунок 1.10: Изменение внешнего вида снежных полигонов и состояния накопленного на них снега.

Эксплуатация данных снежных полигонов привела к подмыву полотна автодороги талыми водами (2009), заболачиванию территории (2015 –

продолжается в настоящее время), деформации основания козлового крана (2020), расположенного в 100 м от полигона.

г. Корсаков.

Рост объема снега, вывезенного на снежный полигон отмечен и для г. Корсаков (Корсаковский р-он, юг о. Сахалин). Общий объем снега, вывезенного за зимний сезон 2017–18 гг. составил – 271,3 тыс. м³. Для сравнения зимой 2016–17 гг. на полигон было вывезено всего 11 тыс. м³. Размер территории занятой складированным снегом равняется 3 га.

Снежный полигон г. Корсаков располагается на востоке корсаковского полигона твердых бытовых отходов (Рис. 1.11). В апреле объем снега складированного на полигоне составил 118 тыс. м³, а занятая им территория сократилась до 2,4 га.



Рисунок 1.11: Ортофотоплан участков, занятых под складирование снега на территории полигона ТБО г. Корсаков, 24.04.2018 г.

г. Анива.

На территории Анивского района функционирует 3 снежных полигона, которые располагаются в с. Таранай, с. Ново-Троицкое в городе Аниве.

На работах по очистке г. Анивы от снежных масс обычно задействовано 15 единиц специализированной техники, однако в периоды прохождения циклонов их количество увеличивается до 90 – 100 единиц. На начало апреля на площадки для складирования снега с территории городской застройки г. Анива свезено около 1100 тыс. м³ снего-ледовой массы. Площадь снежного полигона г. Анива составил 1,5 га. [Лобкина, Музыченко, 2019]

Снежные массы, собранные на территории с. Рыбацкое, которое является пригородом г. Анивы, планировалось размещать на снежном полигоне г. Анива но, снег размещался на автодороге между с. Рыбацкое и г. Анива. Потом специализированная техника перемещала снежную массу на пустырь. По предварительной оценке на данный участок было вывезено порядка 5 – 6 тыс. м³ снега [Лобкина, Музыченко, 2019].

г. Невельск.

В городской черте Невельска было определено 2 участка для размещения собранного снега. Участки располагались на севере и юге города, при этом северный участок впервые был использован в зимнем сезоне 2017 – 2018 гг. из-за большого количества снега выпавшего на территории города в начале 2018 г. и переполненностью снежного полигона размещенного в южной части города.

г. Холмск.

В г. Холмск площадка для размещения снега, собранного с селитебной территории, находится на севере города. Ее размер на январь 2018 г. составлял 3,8 га. Объем складированной снего-ледовой массы составил 25 – 30 тыс.м³. Особенности городской застройки и рельефа города обусловили необходимость размещения снежных полигонов в водоохраной зоне моря, что привело к проверкам органов прокуратуры и Управления Росприроднадзора по Сахалинской области. Которые установили, что функционирующий в 2021 г. снежный полигон г. Холмска не оборудован необходимыми системами очистки талых вод, и загрязняет окружающую среду.

пгт. Ноглики

Снег, собранный с территории пгт. Ноглики по договоренности между администрацией поселка и ООО «РН-Сахалинморнефтегаз» вывозится на шламовые амбары Общества, где происходит их естественное таяние. Так как шламовые амбары оборудованы гидроизоляцией, обваловкой данный способ утилизации снежной массы является одним из примеров эффективного сотрудничества администрации муниципального образования и нефтяных компаний.

пгт. Южно-Курильск

В пгт. Южно-Курильск, расположенном на о. Кунашир, снег собранный на территории поселка складировается на прибрежной полосе моря. По мере таяния отвалов снега, находящиеся в снежных массах бытовые отходы попадают в море и на пляж. На морской террасе, куда сбрасывают снежные массы, в результате избыточного увлажнения в весенний период и активизации гравитационно-склоновых процессов наблюдается срыв ПРС и активизации эрозии (Рис. 1.12).



Рисунок 1.12: Морская терраса в пгт. Южно-Курильск где происходит складирование снежных масс.

с. Горнозаводск

В с. Горнозаводск отсутствуют площадки для размещения собранных снежных масс, однако в зимнем сезоне 2017– 2018 гг., часть снега собранного с территории села было складировано в устье р. Лопатинки. (Рис. 1.13).



Рисунок 1.13: Складирование снега в устьевой части р. Лопатинка с. Горнозаводск, 2018 г. Фото с сайта <https://sakhalin.info/news/148203>.

Еще одним видом площадок для складирования снега являются полигоны ТБО, куда также вывозиться снег. Законодательно размещение снега на площадях полигонов ТБО не регулируется, хотя в состав проекта полигона ТБО в соответствии с [СНиП 11-02-96] должна входить гидрогеологическая записка, в которой должны быть указаны гидрологические характеристики (объем поверхностного стока, средняя высота снежного покрова и др.) [Лобкина, Музыченко, 2019].

Во многих населенных пунктах Сахалинской области также используется складирование снежных масс на льду морей (г. Холмск, г. Невельск, г. Поронайск, пгт. Курильск, пгт. Южно-Курильск). Однако, размещение отвалов снега на ледовой поверхности водных объектов в России запрещено согласно ст. 65 Водного кодекса РФ.

Плюсом данного способа обращения со снежно-ледовой массой является экономия территории городской застройки. Данный способ избавления от собранного с урбанизированной территории снега используется в г. Санкт-Петербург. Снег, собранный с селитебных территорий там сбрасывается в каналы, где стаивает.

1.3. Альтернативные способы обращения со снегом.

Наравне с традиционным вывозом снега с урбанизированной территории на снежные полигоны существует ряд альтернативных способов обращения со снегом, применяемых на территории России и в мире.

Складирование снега на ледяную поверхность озер, рек и моря.

В некоторых странах Европы и в Японии практикуется складирование снега, собранного в городской черте и на автомагистралях, на ледяную поверхность озер и рек, на которых под действием естественных факторов снег постепенно стаивает; при этом, якобы не наблюдается повышение расхода и уровня воды. Считается, что негативного воздействия на окружающую среду не оказывается несмотря на то, что какой-либо очистке снег не подвергается. Надо отметить, что в станах Скандинавии (в Финляндии, Швеции, Дании) и Центральной Европы (в Германии, Австрии, Швейцарии) практически не используют соленую смесь для борьбы со снегом, поэтому этот снег не так опасен для экосистем водоемов, однако утверждение о том, что в вывозимом снеге отсутствует бытовой мусор, а так же привнесенный песчано-гравийный материал, представляется крайне сомнительным.

Например, в центре г. Саппоро (Япония, где также применяется способ складирования снега на поверхность рек), создаются временные пункты сбора снега, с которых его постепенно свозят и сбрасывают в реку. На рисунке 1.14 виден слой песка и гравия, который постепенно вытаивает из снега, и так же попадает в реку.



Рисунок 1.14: Площадка для временного хранения снега в г. Саппоро (Япония), 2015 г. Фото Подольского Е.А.

В России складирование снега на поверхность озер и рек незаконно и является нарушением водного законодательства [Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74–ФЗ] влекущее за собой штрафные санкции. Несмотря на это, в некоторых субъектах России есть примеры подобного обращения со снегом, однако, российский опыт негативен. Помимо того, что снег, свозимый с городских улиц, загрязнен бытовыми отходами и после стаивания снега на месте снежных полигонов остаются свалки с бытовыми отходами, складирование снега на озера приводит к их заболачиванию, смене растительных и животных сообществ, а при определенных условиях может спровоцировать затопление местности.

Так, в Тюменской области, в результате многолетнего вывоза снега с территории г. Тобольск были уничтожены озера, а в 2013 г. возникла вероятность подтопления находящегося по близости дачного кооператива.

В г. Тюмень на снежный полигон, расположенный у оз. Песьяное, со снегом вывозится бытовой мусор, который во время снеготаяния попадает в озеро. Для защиты водоема была сооружена насыпь из грунта протяженностью 1777 м,

однако на настоящий момент грунт почти смыт (по сообщениям жителей). Отмечается заболачивание территории.

Ситуация, сложившаяся в Тюменской области, характерна и для снежных полигонов, расположенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска. Участок, занимаемый полигоном в южной части города, расположен в пойме р. Сусуя максимальная ширина зоны затопления которой может составлять 4– 5 км. Максимальный уровень высоких вод достигает 8,0 м над меженным, таким образом, снежный полигон находится в зоне затопления, поэтому, согласно ч. 16, ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации от 03.06.2006 № 74– ФЗ, он должен быть оборудован сооружениями, обеспечивающими охрану водного объекта от загрязнения.

«Обогревающие» системы для ускорения процесса таяния снега.

Самым безопасным методом борьбы со снегом и гололедом, является, использование геотермальной энергии. В Исландии трубы с горячей термальной водой, использующейся для отопления теплиц и домов, прокладывают таким образом, чтобы захватывать пространство городских улиц, в результате чего снег на поверхности дорог и тротуаров тает.

Схожий способ борьбы применяется и в центре г. Саппоро (Япония), где установлены обогревающие дороги батареи. Такой способ борьбы со снегом в Японии распространен и в жилых кварталах.

В г. Ниигата, Синдзё (Япония) расположенных в зоне с более мягким климатом и меньшим перепадом среднесуточных температур практикуется плавление свежеснежавшего снега грунтовыми водами, которые по специальным трубам с небольшим напором подаются на асфальтовое покрытие, топят снег и стекают в ливневую канализацию. Однако, при таком способе плавления снега городские улицы в зимний период постоянно избыточно увлажнены, на них стоит слой воды. Также отмечено увеличение концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах, и изменение их уровня.

В г. Южно-Сахалинске (Сахалинская обл.) применяются электрические тепловые системы, которыми плавят снег перед магазинами и домом

Правительства, но это единичные случаи. Полностью решить проблему борьбы со снегом на территории большого города «обогревающими» системами невозможно.

Применение реагентов для стаивания снега.

В России классификация противогололедных материалов устанавливается в зависимости от его агрегатного состояния и компонентного состава (Рис. 1.15).

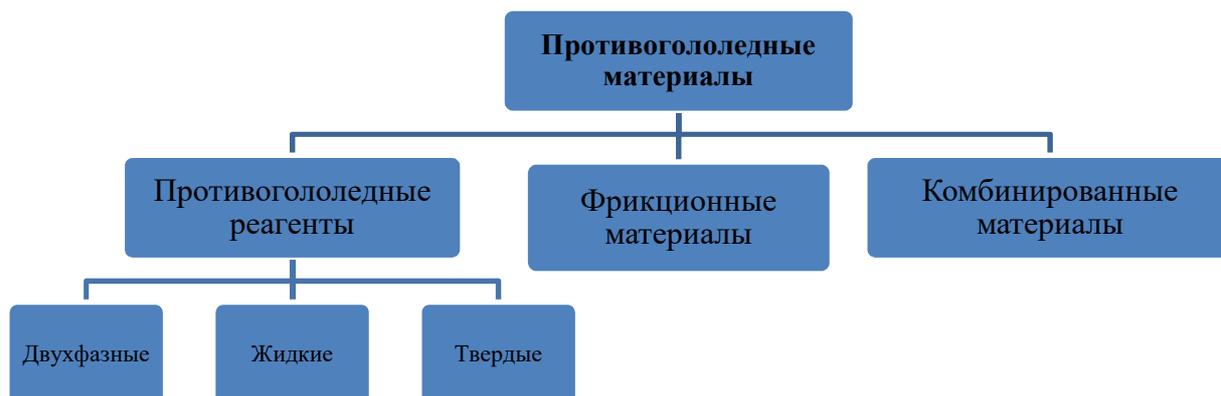


Рисунок 1.15: Классификация противогололедных материалов.

Наиболее распространенными видами противогололедных материалов применяемых в России являются техническая соль (NaCl) и ее смеси (Табл. 1.1).

Среди противогололедных материалов химического типа наиболее распространены: хлориды, ацетаты, карбамиды и нитраты кальция и магния.

Комбинированные противогололедные материалы дополнительно увеличивают шероховатость дорожного полотна. Большинство данных материалов это соли.

В странах Северной Америки (северные штаты США и Канада) для борьбы со снегом, так же, как и в России применяются снегоплавильные реагенты. Причем в отличие от России используется не хлорид натрия, а хлорид магния, более агрессивный к окружающей среде. Хлорид магния наносит больший ущерб автомобилям, обуви и городской среде. Однако, в отличие от России, после вступления реагента во взаимодействие со снегом и образования жидко-снежного слоя, этот слой оперативно убирают, не оставляя на улицах на длительный

период. В России время сбора образовавшегося жидко-снежного слоя затягивается, и он может быть перекрыт свежими осадками, а при понижении температуры происходит смерзание этой массы, порождающее образование ледяных корок на тротуарах и дорогах [Королев, Горняков, 2018]. Вступивший во взаимодействие с реагентами снег обычно свозят на полигоны.

Таблица 1.1. Основные противогололедные материалы применяемые в России.

Наименование ПГМ	Химический состав	Температура применения, до
Твердые ПГМ		
ХКНМ – хлористый кальций-натрий модифицированный	25 % CaCl ₂ , 75 % NaCl	-20°С
МРТВ - многокомпонентный реагент твердый с формиатом натрия	15 % CaCl ₂ , 5 % HCOONa, 80% NaCl	-18°С
Формиат калия	100% HCOOK	-40°С
МРКТВ	20 % CaCl ₂ , 5 % HCOONa, 75% NaCl	-20°С
Жидкие ПГМ		
Нитрат кальция	20-40% Ca(NO ₃) ₂ , 60-80% H ₂ O	-25°С
Ацетат калия	50% CH ₃ CH ₂ COOK, 50% H ₂ O	-40°С
Ацетат аммония	30%CH ₃ CH ₂ COONH ₄ 70% H ₂ O	-35°С
ХКНЖ - хлористый кальций-натрий жидкий	22 % CaCl ₂ , 7 % NaCl, 71% H ₂ O	-10°С
ХКН-КМ	4% CaCl ₂ , 17% NaCl, 1,5% MgCl ₂ , 77,5% H ₂ O	-10°С

Применение реагентов не решает проблему «снежных полигонов» и приводит к загрязнению городской среды, однако: сокращает площадь территорий занятых под полигоны; уменьшает объем воды, которая будет сбрасываться на рельеф при таянии снега; ведет к уменьшению количества рейсов машин задействованных в вывозе снега из города на снежные полигоны.

Использование снегоплавильных установок.

Еще одним способом обращения со снегом является использование снегоплавильных установок различного типа. Они делятся на два вида стационарные и мобильные. Оба вида имеют свои достоинства и недостатки.

Стационарные снегоплавильные заводы способны принимать снег с различных территорий и работать в любую погоду. Такие заводы более долговечны, на них возможно отделение бытового мусора от снега до плавки с помощью дробильных установок, так же такие установки подключены к системе городской канализации, а следовательно талая вода будет проходить через очистные сооружения. Песок, содержащийся в снегу, задерживается в специальных модулях завода, и существует возможность для его вторичного использования в пескосмеси.

Однако, помимо выделения территории под снегоплавильный завод и оборудования площадки для временного хранения снега, на данную территорию должна быть проведена сеть коммуникаций, включающая дороги, линию энергоснабжения, канализационные трубы, а также, если имеется возможность, газ для удешевления стоимости таяния снега. Строительство завода незначительно уменьшает затраты на транспортировку снега.

При строительстве снегоплавильного завода необходимо учитывать, что это предприятие, которое не выйдет на самоокупаемость и будет нуждаться в средствах из бюджета муниципалитета, который примет решение о строительстве такого объекта. Если рассмотреть вопрос о том, что такой объект позволит оперативно избавляться от снега, аккумулирующегося на городской территории, хочется заметить, что данный объект не может работать непрерывно, по техническому регламенту завод останавливается на очистку приемника от скопившегося бытового мусора, а также на очистку пескоулавливающих фильтров и отсеков. Остановка в работе этого объекта может спровоцировать остановку в расчистке города. Для примера, остановка приема снега на полигоне «Северный» в 2018 г., меньшем из двух снежных полигонов в г. Южно-Сахалинске, связанная с тем, что работающая на полигоне техника не успевала распределять и утрамбовывать снежные массы, привела к образованию пробки более чем из 50 грузовых автомобилей по дороге на полигон и переводу «потока снега» на полигон «Южный». Как регулировать вопрос с перенаправлением потока грузовиков со снегом в случае остановки снегоплавильного завода

остается открытым, самым простым решением представляется вывоз снега на снежные полигоны, т.е. строительство завода не означает полное закрытие снежных полигонов.

Первые мобильные снегоплавильные установки появились в Канаде еще в 70-х годах прошлого столетия. В настоящее время канадские снегоплавильные установки экспортируются в разные страны, в России они функционируют в г. Москва и г. Санкт-Петербург.

Мобильные снегоплавильные установки (Табл. 1.2) не требуют выделения отдельных территорий и могут быть размещены в различных районах города, в них предусмотрена система отчистки талой воды, что позволяет сбрасывать воду в систему ливневой канализации либо на расчищаемую территорию, с которой она должна испаряться. Использование мобильных устройств сокращает траты на транспортировку снега на полигоны и содержание таких площадок.

Отрицательной стороной является стоимость эксплуатации в связи с большим потреблением дизельного топлива. Расход горючего в час, в зависимости от производительности машины, изменяется от 300 до 700 литров (Табл. 1.1). Попадание в машину бытового мусора приводит к выводу ее из строя, либо к засорению фильтров, которые необходимо чистить/менять. Так же необходимо учитывать, что большинство машин рассчитаны на плавку свежеснежавшего снега и не справляются со снегом большой плотности и льдом.

Еще одним важным моментом применения мобильных снегоплавильных установок является обращение с талой водой, образующейся после таяния снега. Сброс талой воды на расчищаемую территорию возможен только для местности с небольшими значениями отрицательных температур и только в дневное время во избежание образования гололеда. Сброс воды в систему ливневой канализации возможен при тех же условиях.

Таблица 1.2. Основные характеристики мобильных снегоплавильных установок используемых в России.

Название (производитель)	Производительность при плотности снега 0,3 т/м ³ ; м ³ /ч	Расход горючего, л/ч	Расход горючего на м ³ снега, л	Скорость передвижения, км/ч
Snow Dragon – 1800 (США)	366	302– 454	1,2	105 (при незаправленной машине); 95 (с топливом); 80 (с топливом и водой)
TRECAN 20 – PD (Канада)	54	121 (при работе горелки), 13,1 (при работе двигателя)	-	45 (при незаправленной машине); 8 (с топливом); 3,2 (с топливом и водой)
TRECAN 60-PD-MX (Канада)	200	325 (при работе горелки), 23,5 (при работе двигателя)	-	45 (при незаправленной машине); 8 (с топливом); 3,2 (с топливом и водой)
Trecan -135 (Канада)	450	700 (при работе горелки), 38,4 (при работе двигателя)	1,8	45 (при незаправленной машине); 8 (с топливом); 3,2 (с топливом и водой)
«Горыныч» Д-200 (Россия)	200	600	3	70
СТМ-14 (Россия)	120	360	3	90
СТМ-16 (Россия)	250-400	560	-	-

В крупных городах России эксплуатируются снегоплавильные установки обоих типов. Наибольшее распространение получили установки российской, канадской и американской сборки (Табл. 1.1). Канадские и американские установки, в отличие от российских, имеют большую производительность при меньшем расходе горючего (США -1,2 л/м³; Канада – 1,8 л/м³; Россия - 3 л/м³), что приводит к уменьшению стоимости эксплуатации и компенсирует то, что стоимость российских установок в 2 раза меньше зарубежных аналогов. Однако, канадские и американские установки быстро выходят из строя из-за наличия бытового мусора в снегу и требуют дорогостоящего ремонта.

Опыт эксплуатации канадского «Trecan» и американского «Snow Dragon» в г. Санкт-Петербург показал их малую эффективность. Машины были закуплены для плавки снега в центре города, где нет возможности для его складирования.

Однако, частые поломки и не готовность городской канализации к приёму дополнительных объемов талой воды, привели к тому, что снег продолжали сбрасывать в речные каналы.

Активно снегоплавильные установки обоих типов используются в городах Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, решение о применении снегоплавильных установок для расчистки городских улиц приняты администрациями городов Ханты-Мансийск, Казань, Самара, Таштагол, Иркутск, Тюмень.

Проведем расчет времени, которое затратит одна снегоплавильная установка, чтобы растопить снег, который был вывезен на снежные полигоны в г. Южно-Сахалинске за зимний сезон 2017–18 гг.:

Объем вывезенного снега – 3 000 тыс. м³.

Средняя производительность снегоплавильной установки (м³/сут.) – 7 тыс. м³ (производительность указана по данным о работе подобных установок в гг. Москва и Санкт-Петербург размещенным в открытом доступе).

Время плавления снега по указанным данным – 429 сут. или 14 мес., без учета времени на перезаправку, слив талой воды и удаление накопленного мусора.

Естественно, чем больше снегоплавильных установок будет использоваться, тем быстрее произойдет утилизация снега, но стоимость закупки, обслуживания и заправки установок для г. Южно-Сахалинска с тем объемом снега, который ежегодно выпадает на территорию города и вывозиться на снежные полигоны, достаточно высокая.

Применение мобильных снегоплавильных установок оправданно, только для крупных городов, где затраты на транспортировку снега на снегоплавильные заводы и/или снежные полигоны будут превышать стоимость плавления снега этими установками.

1.4. Воздействие снежных полигонов на растительные сообщества.

Воздействие на фитоценозы, прилегающие к снежным полигонам территориям, заключается как в механическом повреждении (уничтожении) древесной растительности при складировании масс снега, так в изменении температурных условий и условий увлажнения.

При складировании снежных масс на полигоне «Южный» была уничтожена древесная растительность. Деревья были поломаны как складироваемым снегом, так и работающей на полигоне техникой (Рис 1.16).



Рисунок 1.16: Древесная растительность, уничтоженная при складировании снега на полигоне «Южный».

Согласно исследованиям [Раунер, 1972] более увлажненные природные комплексы обладают более высоким радиационным балансом из-за снижения отражательной способности и эффективного излучения, при этом там фиксируются более низкие температуры из-за затрат энергии на испарение.

Увеличение количества влаги в фации повышает затраты энергии на почвообразование, т.к. значительное количество энергии утилизируется биологическим круговоротом.

Наиболее распространенными почвообразовательными процессами в районе снежных полигонов являются торфонакопление и оглеение. В результате протекания данных процессов формируются торфяно-перегнойно-глеевые, лугово-глеевые и дерново-перегнойно-глеевые почвы. Данные типы почв отличаются друг от друга состоянием органического вещества и концентрацией железа [Литенко, 1992]. При этом следует отметить, что скорость гумификации органического вещества зависит в первую очередь от температуры почвы, которая определяется степенью увлажнения талыми водами полигонов и выхолаживанием грунтов складываемыми снежными массами. Степень увлажнения характеризуют количество органических остатков и концентрация закисного железа.

Увеличение степени увлажненности грунтов и их температурного режима на участках испытывающих влияние полигонов привело к смене растительных сообществ, при этом сами растения являются не только регуляторами степени увлажнения ландшафта, но и показывают количество влаги в грунтах.

На исследуемых территориях травянистая растительность сменилась в сторону более гидрофильных видов. На смену растениям произрастающим на средне- и умереногидроморфных фациях пришли растительные сообщества характерные для очень сильно- и сильногидроморфных фаций. Исчез дерен канадский, тимофеевка луговая, какалия камчатская. Получили широкое распространение камыш плоскостебельный, вейник незамечаемый, осока топяная.

Полигон «Южный».

Большая часть прилегающей к полигону территории до начала его функционирования относилась к средне гидроморфному типу фаций, где в летний период уровень грунтовых вод опускается ниже почвенного профиля, а влажность почвы составляла около 60 %. При этом перегнойный горизонт был слабо выражен. Преобладающим типом почв были лугово-глеевые.

За период эксплуатации снежных полигонов территория, к ним примыкающая, испытывала постоянное избыточное увлажнение и выхолаживание из-за таяния складированного снега. В результате сформировались фации, которые можно разделить на сильно гидроморфный тип и очень сильно гидроморфный.

Очень сильно гидроморфный тип фаций сформировался в северной и северо-западной части снежного полигона. Для него характерно избыточное увлажнение, уровень грунтовых вод постоянно находится на глубине 0 – 10 см, а влажность почвы составляет 100%, застойное увлажнение, а в период резкого стаивания снежного полигона (май-июнь) слабопроточное. Фация характеризуется крайне слабым разложением органического вещества. На данной территории произрастает камыш плоскостебельный, ряска малая.

В южной, юго-восточной и восточной части полигона распространение получил сильно гидроморфный тип фаций. Уровень влажности почвы здесь составляет около 80%. Увлажнение слабопроточное, за счет мелиоративных канав расположенных на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения. Грунтовые воды тут постоянно находятся в торфяном горизонте. Флора представлена вейником незамечаемым, осокой топяной.

Полигон «Северный».

Полигон ограничен объектами инфраструктуры, и талые воды с полигона сбрасываются по дренажной канаве только в западном направлении. В период активного стаивания полигона территория находящаяся к западу затапливается. Это привело к смене растительных сообществ. На смену ранее распространенным здесь какали копьевидной, дуднику медвежьему, лабазнику камчатскому пришли мятлик болотный и осока Миддендорфа.

Северная часть полигона характеризуется застойным водным режимом, здесь преобладают камыш плоскостебельный и ряска.

Выводы по главе 1

По результатам проведенного обзора способов обращения со снежной массой, аккумулирующейся на урбанизированных территориях, можно сделать следующие основные выводы:

– основным способом обращения является складирование снежной массы на специально отведенных площадках – снежных полигонах. Обустройство снежных полигонов в России законодательно не урегулировано и отнесено на усмотрение органов местного самоуправления;

– альтернативными способами обращения со снежными массами являются складирование снега на ледяную поверхность озер, рек и моря, использование систем для ускорения процесса таяния снега, применение реагентов и использование снегоплавильных установок. Данные способы в той или иной степени применяются на территории России и в Мире;

– опыт эксплуатации снежных полигонов в разных городах России показал основные негативные последствия для окружающей среды, которые выражаются в затоплении и заболачивании прилегающих территорий, подъеме уровня грунтовых вод, смене растительных сообществ, эрозии и суффозии, изменении температурного режима и химическом загрязнении территории.

Проблема эксплуатации снежных полигонов актуальна для о. Сахалин. На его территории функционирует 13 снежных полигонов, часть из которых расположена в водоохранных зонах водных объектов, и на полигонах размещения ТБО. Самые большие по объему складированного снега полигоны расположены на территории г. Южно-Сахалинска (областной центр).

ГЛАВА 2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ о. САХАЛИН И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Вытянутость о. Сахалин с севера на юг нетипично муссонный тип климата с вторжением глубоких циклонов в зимний период, продолжительность залегания постоянного снежного покрова обуславливают объемы снегонакопления на различных урбанизированных территориях.

Высокий уровень урбанизации населения Сахалинской области обуславливает необходимость организации мероприятий по расчистке и складированию снега, который накапливается в пределах городской застройки. Большая часть населения острова сосредоточена в населенных пунктах, расположенных вдоль морского побережья и в Сусунайской и Тымь-Поронайской низменностях. Такое размещение населения обусловило размещение гидрометеорологических пунктов наблюдений. Большая их часть находится в прибрежной полосе, или в днищах речных долин, хотя основная территория острова — это среднегорье.

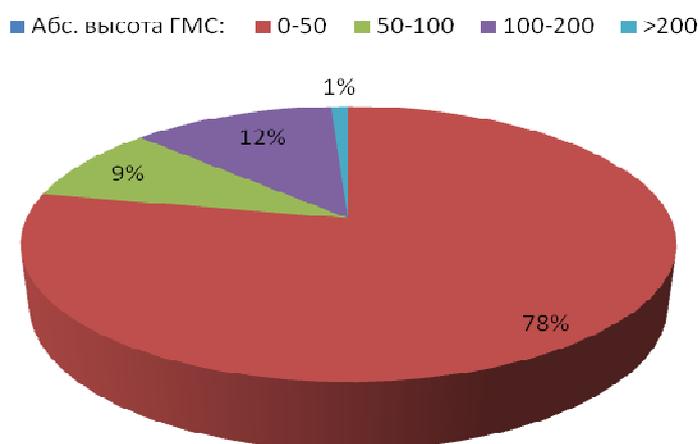


Рисунок 2.1: Диапазоны высот расположения гидрометеорологических станций и постов на о. Сахалин.

Более 70 % всех гидрометеорологических станций и постов, расположенных на территории о. Сахалин располагаются в высотной зоне до 50 м. (Рис. 2.1), и метеорологических данных для оценки снегонакопления на урбанизированных территориях достаточно.

В настоящее время активную исследовательскую работу по изучению снежного покрова о. Сахалин ведет лаборатория лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН.

В задачи лаборатории входит мониторинг динамики снегонакопления в разных высотных зонах. Особенности перераспределения снега в разных ландшафтах [Древило и др., 2000], изменения в стратиграфии снежной толщи в зависимости от условий залегания снежного покрова и исследование его химических и физических свойств снега.

2.1. Условия отложения снега на о. Сахалин.

Орографически основная часть о. Сахалин представлена пологоволнистыми равнинами и холмогорьями (73,8%) [Литенко, 1992].

Рельефу и геологическому строению о. Сахалин просвещенно значительное количество исследований [Кропоткин, 1965; Геология СССР, 1972; Гвоздецкий, 1978, Литенко, 1992, Рождественский, 1999, Гранник, 2008.].

Согласно [Александров, 1973] орография о. Сахалин делится на 2 района (Южный и Северный).

Южный орографический район

Данный район занимает центральную и южную часть о. Сахалин, преобладающая форма рельефа это Восточно-Сахалинские и Западно-Сахалинские горы.

Меридионально вытянутые Восточно-Сахалинские горы протянулись более чем на 250 км, от залива Терпения до р. Набиль. Максимальная высота Восточно-Сахалинских гор составляет 1609 м (г. Лопатина). Вдоль побережья протягивается Хойская цепь со средними высотами имеют 500–700 м.

Вдоль западного побережья о. Сахалин более чем на 600 км протянулись Западно-Сахалинские горы. Центральную область Западно-Сахалинских гор занимают Камышовый и Южно-Камышовый хребет.

Южнее протянулись Тонино-Анивский и Сусунайский хребет.

Южнее Сусунайского хребта располагается Корсаковское плато с абсолютными высотами до 150 м.

В районе широко представлены низменности: Тымь-Поронайская, Сусунайская и Муравьевская.

Северный орографический район

В данный район входит территория полуострова Шмидта и Северо-Сахалинская равнина. На самом севере о. Сахалин располагается п-ов Шмидта, его горную систему представляют хребет Восточный и хребет Западный, средняя высота данных хребтов около 500 м. Центр полуострова занимает Пиль-Диановская низменность.

Северо-Сахалинская равнина, расположенная южнее, пересекается густой речной сетью. Средние отметки высот составляют 100 м. Вдоль побережья Северо-Сахалинской равнины протянулись образованные морскими террасами равнины.

Климат

Исследователи [Земцова, 1968] выделяют на о. Сахалин три климатические области (южная, средняя, северная). Южная область протягивается от южной оконечности о. Сахалин до перешейка Поясок. Средняя область представлена Западно-Сахалинскими и Восточно-Сахалинскими горами. Северная область представлена Северо-Сахалинской низменностью и п-вом Шмидта.

В климатических областях в свою очередь выделяют 12 различных климатических района [Атлас..., 1967].

В зимний период различиями между севером и югом проявляются в основном в количестве осадков и температуре. Средняя январская температура воздуха в северной области отличается от южной области на 15⁰.

Средняя область выделяется благодаря специфическим условиям климата, который формируется под влиянием рельефа, благодаря чему климат здесь имеет наиболее континентальные черты.

Климатические характеристики побережий сильно отличаются друг от друга, что связано с общей циркуляцией воздушных масс, прибрежными течениями и местными ветрами.

Перечисленные выше особенности рельефа и географического положения о. Сахалин способствуют неравномерному распределению выпадающих на территории острова твердых осадков. Согласно данным [Генсиоровский, 2011]

величина выпадающих в зимний период времени осадков отличается в несколько раз и при этом подавляющее количество всех метеорологических постов на острове располагается в высотной зоне до 200 м.

2.2. Ветровой режим о. Сахалин.

Зимой над территорией о. Сахалин господствует зимний муссон, но довольно часто весной наблюдается вторжение глубоких тропических циклонов, которые несут с собой большое количество влаги преобладают ветра северо-западного и северного направления (Рис. 2.2) [Шарапов, 1988].

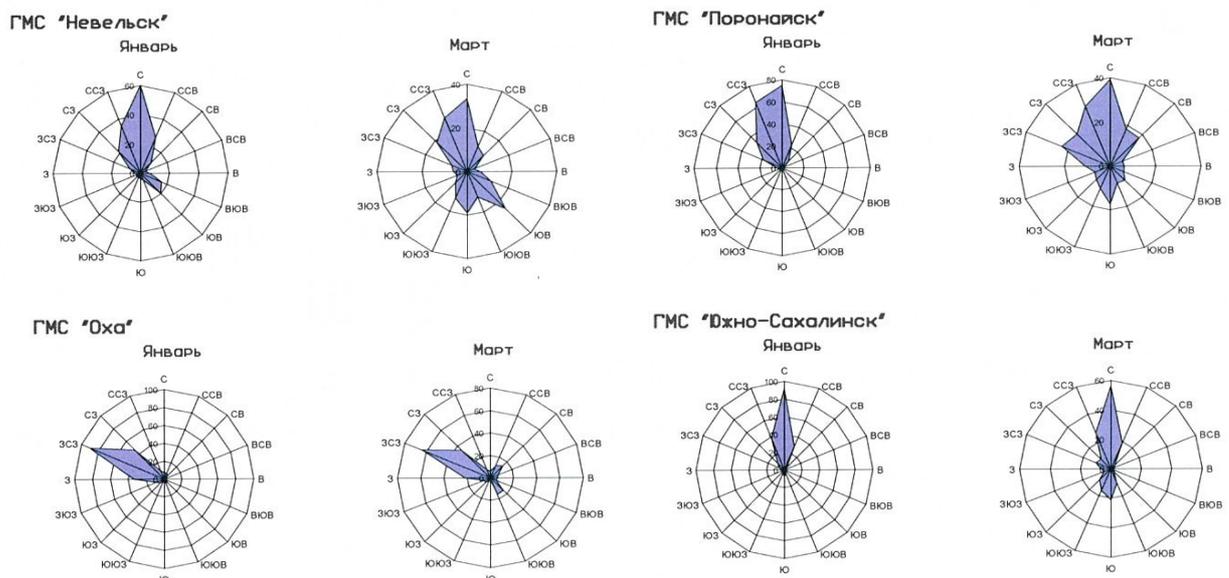


Рисунок 2.2: Основные направления ветра по ГМС «Оха», «Поронайск», «Южно-Сахалинск», «Невельск».

Меридионально вытянутые речные долины о. Сахалин способствуют тому, что там, в зимний период, преобладают северные долинные ветра. На побережьях преобладают ветра из центральных областей острова. На юге острова преобладают северные и северо-восточные ветра, что связано с траекториями прохождения циклонов.

Максимальная скорость ветра на о. Сахалин фиксируется в зимний период (начало декабря [Земцова, 1968]).

Наибольшая повторяемость сильные ветра имеют на северо-востоке и юге о. Сахалин (Табл. 2.2.1).

Таблица 2.1. Скорости ветра различной вероятности в населенных пунктах где размещены снежные полигоны [Шарапов, 1988].

Станция	Скорость ветра (м/с), возможная один раз за				
	год	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет
Оха	44	52	56	58	60
Поронайск	26	31	33	34	40
Холмск	36	44	46	48	50
Южно-Сахалинск	29	38	42	44	46
Невельск	32	39	42	43	45
Корсаков	30	35	38	40	41

Частому количеству метелей на о. Сахалин способствует нетипично муссонный климат с большим количеством глубоких циклонов вторгающихся в конце зимы – начале весны, это приводит к тому, что количество выпадающих твердых зимних осадков очень сильно отличается год от года, т.к. количество циклонов проходящих над островом в разные года сильно варьируется.

Таблица 2.2. Число дней с метелью по населенным пунктам где размещены снежные полигоны.

Станция	Месяц								Год
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	
Оха	2	13	14	10	8	7	6	0,7	61
Углегорск	0.9	9	16	14	12	8	3	0.3	63
Долинск	0.03	3	8	9	9	9	3	0.3	41
Холмск	0.3	7	18	19	14	10	1	0.06	69
Невельск	0.2	6	16	19	12	9	2	0.2	64
Южно-Сахалинск	0.03	2	6	8	8	6	2	0.2	32
Корсаков	-	3	8	8	7	6	1	0.4	33

Количество дней с метелями в разных населенных пунктах с расположенными там снежными полигонами области сильно отличается друг от друга (Табл. 2.2). Так в г. Холмск таких дней фиксируется – 69, а в Южно-Сахалинске – 32 [Справочник по климату, 1990].

2.3. Атмосферные осадки и температура воздуха.

Циклоны вторгающиеся на территорию о. Сахалин принося с собой большое количество осадков, их годовые суммы уменьшаются при движении циклонов с юга на север и меняются от 1000 мм. на юге, до 450 мм. на севере [Монастырский, 1971]. Годовые суммы осадков в горах могут достигать 2500 – 3000 мм.

Таблица 2.3. Месячные суммы твердых осадков за зимний период по населенным пунктам, где размещены снежные полигоны.

Станция	Месяцы						Сезон
	XI	XII	I	II	III	IV	
Оха	67	41	27	22	23	39	217
Поронайск	37	35	26	25	38	42	236
Углегорск	32	63	47	31	29	30	232
Макаров	26	45	23	30	63	44	221
Долинск	56	78	65	51	60	39	382
Холмск	60	72	54	37	39	28	300
Южно-Сахалинск	46	58	43	41	47	35	270
Невельск	72	82	66	48	43	29	340
Корсаков	47	48	36	28	38	30	226

Количество выпадающих твердых осадков также меняется с юга на север, так на юго-востоке острова (г. Долинск) за зимний период выпадает 382 мм., а на севере острова (г. Оха) – 217 мм. (Табл. 2.3). При этом суммы осадков в отдельные годы могут значительно колебаться [Генсиоровский, 2005].

По данным [Генсиоровский, 2011] снегообразующие суммы осадков колеблются от 220 до 380 мм. в южной части острова, в центре о. Сахалин от 160–270 мм., и от 170 до 200 мм на севере острова.

Количество дней с осадками на юге острова составляет от 15 до 24 дней, на севере острова от 9 до 17 [География лавин, 1992]. При этом максимум осадков за сутки в высотной зоне от 0 до 200 м. [Генсиоровский, Казаков, 2007], меняется от 50 – 70 мм на юге, до 30 – 50 мм на севере.

Таблица 2.4. Максимальное количество осадков от снега (более или равное 20 мм за 12 часов и менее) по населенным пунктам, где размещены снежные полигоны [Справочник по климату СССР, 1985].

Станция	Месяц							
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Оха	-	55.3	60.2	47.6	43.6	31.4	71.5	-
Поронайск	-	36.3	56.5	-	20.0	33.1	37.1	-
Макаров	-	34.2	34.8	22.4	-	62.8	46.0	38.6
Долинск	-	74.5	55.9	49.4	76.3	82.2	58.0	37.9
Южно-Сахалинск	-	27.7	31.9	32.3	50.2	38.2	29.3	36.5
Невельск	-	31.5	23.0	-	-	37.3	-	-
Корсаков	-	33.3	24.2	31.1	33.8	27.3	47.2	-

Согласно данным Сахалинского Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Табл. 2.4) максимальное количество снега (за явление) выпадает в марте – апреле, в момент прохода глубоких тропических циклонов [Справочник по климату СССР, 1985].

Длительность залегания устойчивого снежного покрова определяется, также и температурой воздуха.

На острове фиксируется уменьшение средней годовой температуры воздуха от +4⁰С на юге, до –2,5⁰С на севере.

В центральной части острова (Тымь-Поронайская низменность) формируется континентальный тип климата с резкой годовой амплитудой температур.

Активная деградация снежного покрова наблюдается начале апреля (юг о. Сахалин) или начале мая (север о. Сахалин), и наступает через 8 – 11 дней после перехода средней суточной температуры воздуха через 0⁰С.

2.4. Снежный покров.

Устойчивый снежный покров формируется на Сахалине в конце ноября на юге острова, и в конце октября на севере. Первый снег на острове выпадает на п-ве Шмидта и на вершинах Восточно-Сахалинских гор.

В Западно-Сахалинских, Восточно-Сахалинских горах, Сусунайском и Мицульском хребте устойчивый снежный покров формируется 30 – 40 дней раньше, чем в низменностях острова.

В долинах, на побережье о. Сахалин устойчивый снежный покров также формируется в разное время, так на юге это начало декабря, а на севере – середина октября.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова по данным [Лазарева, 1975] на юге составляет 153 дня, в центре острова увеличивается до 174 дней, а на севере равняется 185 дням.

Максимально быстро высота снежной толщи возрастает в период с начала декабря по конец января. Мощность снежной толщи из-за характера экспозиции склона, ландшафта, особенностей метелевого снегопереноса в данной местности, так наибольшая мощность снежной толщи фиксируется в горных областях и составляет от 2,5 м. до 4 м.

Наибольшая зафиксированная в Восточно-Сахалинских горах в 1981 г высота снега составила 3,95 м. [Казаков и др., 1999].

В горах о. Сахалин наблюдается неравномерное распределение снега, так на подветренной стороне горных систем формируются мощные отложения снега высотой до 8 м. В свою очередь на наветренной стороне высота снега

определяется, в первую очередь, преобладающим типом ландшафта и обычно не превышает 1 м.

В средней высотной зоне наибольшая высота снежного покрова составляет от 2,2 м. до 3,2 м.

Градиент вертикального прироста мощности снежной толщи за одно гидрометеорологическое событие на юге о. Сахалин равняется 0,35 м на 100 м высоты [Генсиоровский, 2007].

Мощность снежного покрова на равнинной части острова сильно варьируется. Так в Сусунайской и Муравьевской низменности средняя высота снега меняется от 0,8 м до 1,6 м., а наибольшая высота снежного покрова достигает 2,4 м.

На побережье наибольшая высота снежной толщи составляет от 1,55 м в восточной части острова, до 1,26 м. на западе острова.

Наибольшая мощность снежного покрова фиксируется на середину марта и определяющую роль в региональном распределении играет характер выпадения осадков и ландшафт местности.

Выводы по главе 2

Анализ метеорологического режима и условий формирования снежного покрова на о. Сахалин показал, что они благоприятны для снегоотложения на урбанизированных территориях, что связано с:

- местными физико-географическими условиями;
- активной циклонической деятельностью, которая вызывает обильное выпадение осадков.

Значительный объем выпадающих в зимний период осадков требует оперативной расчистки территории населенных пунктов о. Сахалин и вывоза снега, а сроки установления снежного покрова регулируют начало эксплуатации снежных полигонов.

Деграция снежного покрова на урбанизированных территориях наступает через 8 – 11 дней после перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C, для юга о. Сахалин это конец марта – начало апреля. К началу мая устойчивый снежный покров на юг о. Сахалин разрушается. В этот период работа на снежных полигонах прекращается, и он тает в естественных условиях.

ГЛАВА 3. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И ОСОБЕННОСТИ СНЕГОТАЯНИЯ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ. ДИНАМИКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНЫХ ПОЛИГОНОВ

Вопрос о распределении температуры в снежной толще и скорости ее таяния, является одним из наиболее актуальных вопросов современного снеговедения (и гидрологии). Температура в снежной толще распределяется неравномерно. Выделяются зоны температурных скачков, которые приурочены, обычно, к границам слоев с разной плотностью, и зоны с относительно стабильным температурным режимом [Войтковский и др., 1988]. Все это приводит к сложности прогнозирования начала периода водоотдачи.

Прогнозирование периодов массовой водоотдачи позволит максимально эффективно планировать и проводить мероприятия в период половодья, при этом интенсивность снеготаяния в зонах с разной степенью и типом антропогенной нагрузки значительно отличается от интенсивности таяния ненарушенного снежного покрова.

Характеристики снега на урбанизированной территории значительно отличаются от его характеристик за её пределами. Например, альbedo снежного покрова в городе ниже, чем за городом, и колеблется от 0,8 для свежего сухого снега до 0,4 для мокрого снега; в центральных частях городов альbedo опускается примерно до 0,2 [Bengtsson, Westerstrom, 1992].

Кроме того, на энергетический баланс снежного покрова в городе значительное влияние оказывают коммунальные сети, здания, транспорт. Антропогенное уплотнение снега в пределах городской черты способствует замедлению процесса снеготаяния.

На настоящее время существует довольно много исследований по моделированию снеготаяния, однако практически все из них не учитывают условия снеготаяния в городах и на снежных полигонах. Основные подходы, используемые для моделирования снеготаяния, это модели энергобаланса (ESCIMO; SnowMelt-R) [Strasser, Marke, 2010; Walter et al., 2005] и эмпирические модели (SRM, MIKE SHE) [Martinec et al., 2008; Graham, Klide, 2002] в которых температура воздуха используется для индексации потока энергии.

В расчетах снеготаяния эмпирические модели обычно используются для имитации снежного покрова в открытых и лесных районах. Эмпирическим методам требуется наименьшее количество входных данных. Однако, скорость снеготаяния для неоднородной городской среды нельзя адекватно определить с помощью эмпирических методик, поскольку этот тип моделей предполагает однородную снежную толщину. В городских условиях происходит регулярное перераспределение снежного покрова, обусловленное антропогенными факторами.

В свою очередь моделям энергобаланса требуют много входных данных для описания физических процессов каждого компонента энергетического баланса, но они считаются более точными, чем эмпирические модели [Walter et al., 2005]. Однако в городских условиях разность потоков поступающих энергий будет сильно варьироваться и зависеть от степени застройки территории, близости теплотрасс и автомобильных дорог.

Был проведен анализ динамики снеготаяния на различных высотных зонах г. Южно-Сахалинск, на участках с естественным и нарушенным залеганием снежного покрова, а также динамики протекания процесса снеготаяния на снежных полигонах города. Применение тепловизионной съемки гетерогенной поверхности снежных полигонов позволило провести моделирование процессов его таяния, а также рассмотреть вопрос сохранения снежных полигонов в отдельные теплые сезоны.

3.1. Методика исследования тепловых характеристик снега.

В связи с тем, что все проанализированные методики оценки скорости снеготаяния не учитывают особенностей городской среды или требуют большого массива исходных данных необходимо выявить отличительные условия снеготаяния в пределах городской черты и за ее пределами. Для этого были заложены контрольные площадки в г. Южно-Сахалинске в двух высотных зонах 20 и 100 м. Также проводилось наблюдение за снеготаянием на снежном полигоне, где происходит складирование снега свозимого с территории города.

При исследовании скорости снеготаяния снежного покрова особое внимание уделялось его теплофизическим свойствам. Однако, получение массива данных о температуре при полевых работах до сих пор представляет собой сложную задачу.

При проведении исследования авторы использовали и проанализировали различные способы получения корректного значения температуры снежной толщи.

1) Ртутные термометры – имеют высокую точность, но работа с ними занимает много времени, снятие результата должно происходить моментально, т.к. показания начинают резко меняться при смене среды. К тому же данные термометры очень хрупкие, что необходимо учитывать при их размещении в плотном снегу или между корок различного генезиса.

2) Электронные термометры – быстро выходят из строя и после сезона активных полевых работ начинают давать расхождения при отрицательных значениях температуры, введение поправок не меняет ситуацию, т.к. в зависимости от температуры воздуха величина искажения меняется.

3) Пирометры и тепловизоры – снимают показания со стенки шурфа, однако после вскрытия стенка шурфа быстро оплавляется и реальные данные сильно отличаются от показаний, снимаемых с вскрытой поверхности.

Для наблюдений за температурой в снежной толще, была использована термокоса, которая была установлена на одной из наблюдаемых площадок (Площадка А). Температурные датчики на термокосу расположены через каждые 2 см начиная от поверхности почвы.

Площадка А расположена на территории Сахалинского Ботанического сада (восточная граница города, абс. высота 65 м), наблюдения на площадке проводятся с 2002 г. Термокоса использовалась в зимних сезонах 2017 – 18, 2018 – 19 и 2019 – 20 гг.

После установки и включения термокосы производилась непрерывная запись показаний с датчиков на электронный носитель. Период наблюдений: со второй декады декабря по третью декаду апреля. Погрешность датчиков измерения температуры составляет не более $\pm 0,1$ °С. Данная система позволила точно определить время начала активного снеготаяния и слою активной водоотдачи.

На площадке А проводились стандартные наблюдения за характеристиками снежной толщи в шурфе. В состав наблюдений входит определение высоты снежного покрова по данным снегосъемки, и по постоянной рейке, описание стратификации снежного разреза, измерение температуры на границах снежных слоев, послойное измерение плотности, определение структуры и текстуры.

Площадка Б расположена в центральной части города (абс. высота 20 м), в районе гидрометеорологической станции (ГМС) «Южно-Сахалинск».

Площадки А и Б находятся в верхней и нижней высотных зонах г. Южно-Сахалинска. Перепад высот в пределах городской застройки приводит к неравномерному выпадению осадков и влияет на их перераспределение.

Площадка В расположена на снежном полигоне «Северный» в северной части г. Южно-Сахалинск (абс. высота 45 м), в районе ТЭЦ. На данной

территории полигон эксплуатируется с 2010 г. Средний объем снега, ежегодно складываемого на полигон, составляет примерно 500 тыс. м³. Складирование снега на полигонах начинается в ноябре и заканчивается в середине апреля. После окончания периода складирования снега работы на полигоне прекращаются, и снег тает в естественных условиях. Перед началом нового периода складирования на полигоне появляется техника, которая разбивает и перераспределяет оставшийся снег (конец октября – начало ноября).

В периоды 2010 – 2013, 2014 – 2016, 2017 – 20 гг. снежный полигон не стаивал полностью за теплый период года.

С июня по ноябрь 2018 и 2019 гг. проводилось ежемесячное тепловизионное наблюдение за поверхностью снежного полигона, по результатам которого строились тепловые поля. Получаемые значения характеризуют температуру на поверхности полигона, и позволяют определить области полигона, которые будут сильнее нагреваться и быстрее таять.

Период наблюдения связан с установлением положительных дневных температур воздуха, на фоне которых возможно проведение исследования тела снежного полигона, имеющего отрицательную температуру. Тепловизионная съемка производилась с одних точек, по мере таяния полигона точки съемки сдвигались в сторону полигона с сохранением расстояния до тела полигона и оси съемки.

Работ посвященных тепловизионной съемки ледников и снежного покрова достаточно много, но их большая часть посвящена анализу данных космических снимков [Lundquist et al., 2018] и аэрофотосъемки больших участков местности. При этом тепловизионная съемка снега имеет широкий спектр применения, так [Shea et al., 2012] применяют тепловизионную съемку для фиксации зон температурного скачка в снежной толще, что применимо для прогноза формирования лавиноопасных слоев в снежной толще. Тепловизионную съемку используют для индикации пресного и соленого льда для обеспечения безопасности судов и морских платформ [Rashid et al., 2015] и для мониторинга поверхности ледников [Aubry-Wake et al., 2015]. При этом в работах по

моделированию таяния ледников температура поверхности является наиболее важной переменной, и используется для валидации моделей таяния [Reid, Brock, 2010]. Использование температуры воздуха в моделях таяния ледников/снежников приводит к ошибкам из-за неоднородности распределения температуры по их поверхности [Fyffe et al., 2014].

Тепловизионное наблюдение проводилось тепловизором testo 871. Использовался диапазон измерения: -30°C ... $+100^{\circ}\text{C}$, температурная чувствительность – 90 мК. Визуализация разницы температур от $0,09^{\circ}\text{C}$.

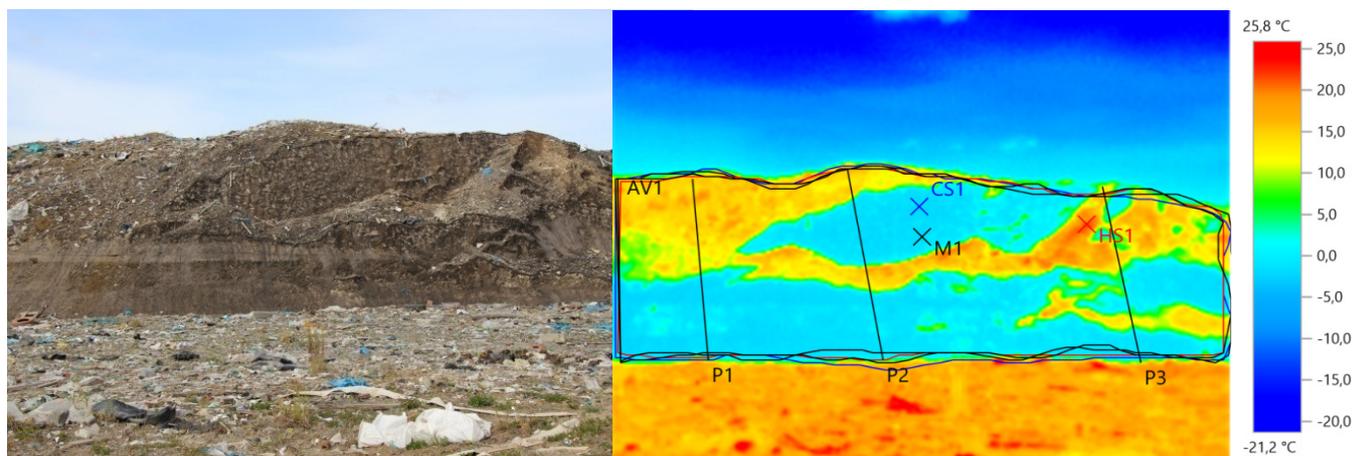


Рисунок 3.1: Распределение температуры по поверхности полигона «Северный», 06.07.2018

Полученные тепловые снимки обрабатывались, отмечались точки с максимальной (HS1), минимальной (CH1) температурой на теле полигона, рассчитывалась средняя температура тела полигона, строились температурные профили (P1 – 3). Пример обработки снимка показан на рисунке 3.1.

3.2. Динамика снеготаяния на снежных полигонах.

Анализ многолетних наблюдений за динамикой высоты снежной толщи на площадках А и Б на период максимальных снегозапасов показал, что ежегодно высота снега на площадке А в среднем на 15% выше, чем на площадке Б (Рис 3.2).

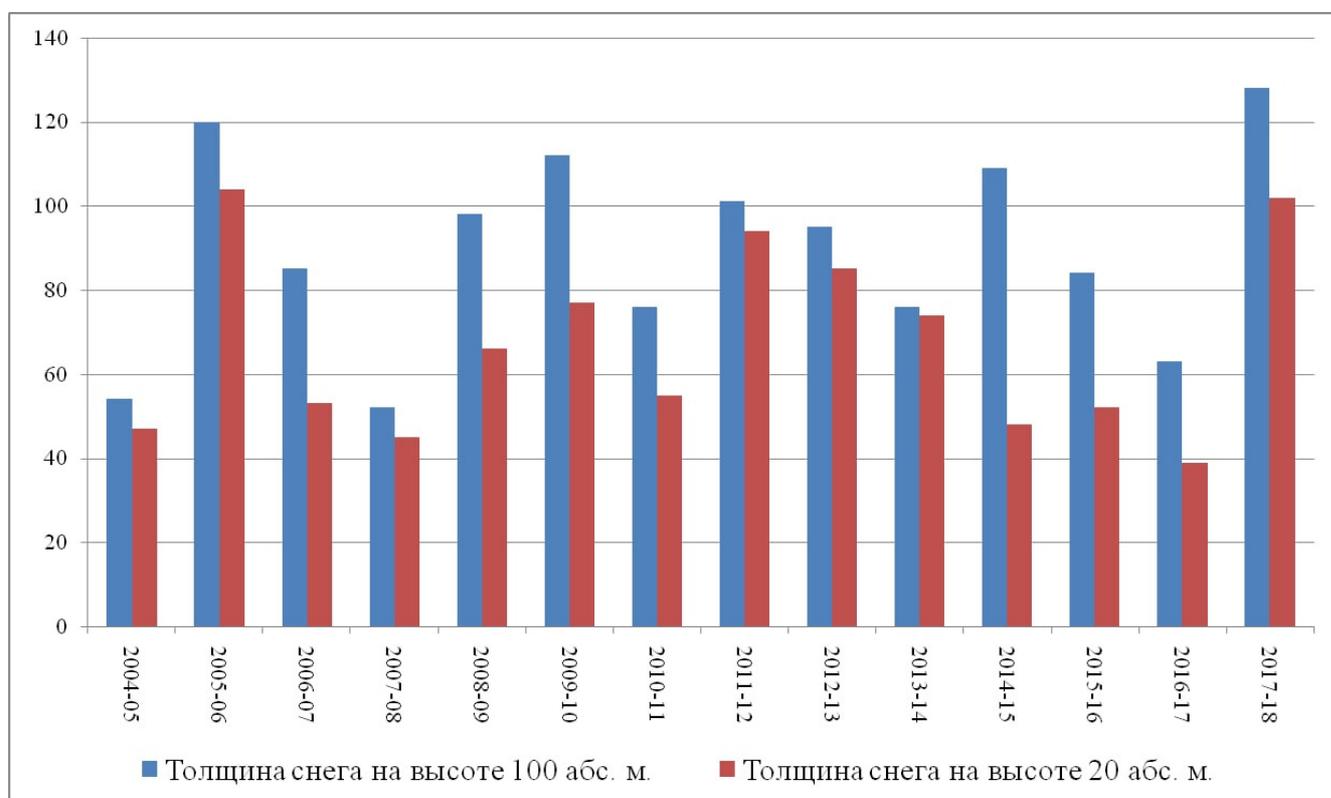


Рисунок 3.2: Динамика изменения высоты снежной толщи на площадках А и Б в разных высотных зонах города.

Наиболее интенсивно стаивание проходило на площадке с ненарушенным залеганием снежного покрова в пределах урбанизированной территории (Площадка Б). На площадке, расположенной вне городской застройки (Площадка А) интенсивность снеготаяния была ниже, а продолжительность залегания сплошного снежного покрова в среднем на 15 суток больше. Меньшая интенсивность снеготаяния объясняется меньшим альбедо, большим

снегозапасом и меньшим приходом коротковолновой радиации, отраженной от городской застройки.

Анализ данных полученных с термокосу (Площадка А) позволяет установить период начала активного снеготаяния по резким скачкам температуры в снежной толще. Данные скачки, по мнению авторов, объясняются просачиванием и последующим замерзанием талой воды в снеге (Рис 3.3). Данное просачивание характерно для периода максимальной водоотдачи снежного покрова. Затем на графике прослеживается суточные колебания температуры воздуха по всей снежной толще, что свидетельствует о разрушении снежного покрова. Данные скачки наблюдались в обоих зимних сезонах, в которых использовалась термокоса [Mikhalev, Lobkina, 2019].

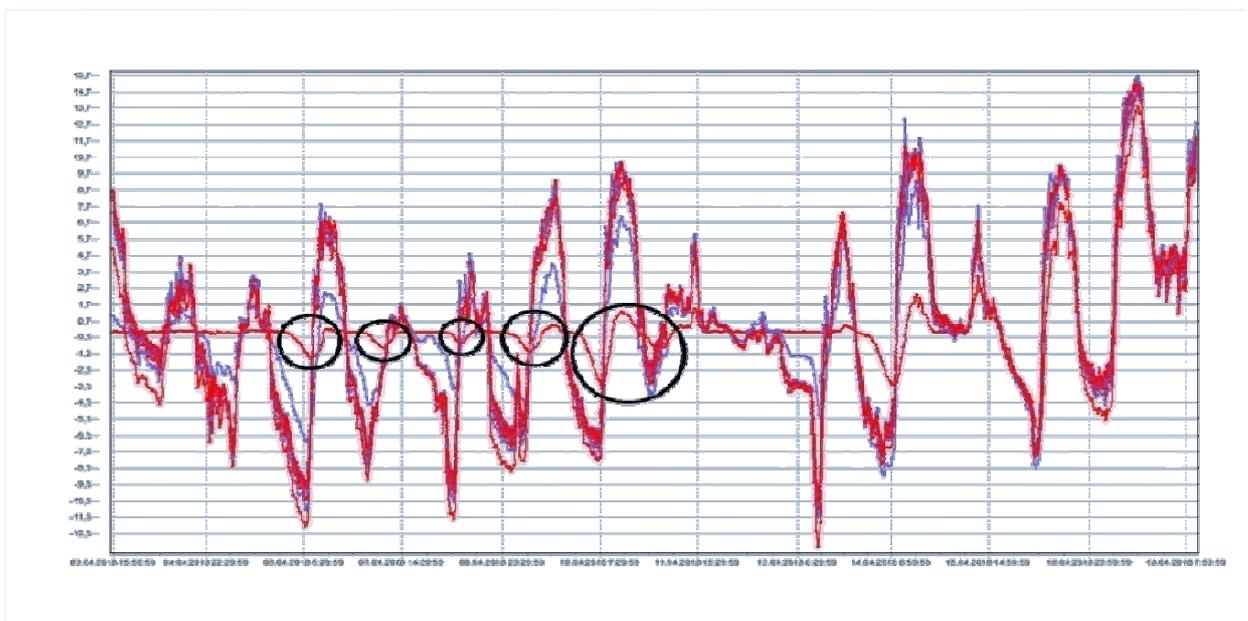


Рисунок 3.3: Изменение температуры внутри снежной толщи. Выделенные участки графика показывают начало процесса снеготаяния снежной толщи.

Процесс снеготаяния на снежном полигоне «Северный» (Площадка В) начинается в апреле, в тот же период на полигоне прекращаются работы по перераспределению и укатыванию снежной массы. Однако в начале мая, интенсивность снеготаяния на полигоне замедляется, не смотря на рост среднесуточной температуры воздуха (Рис. 3.4). Данное явление объясняется формированием на поверхности полигона слоя из песко-грунта и мусора, который вытаскивается из снега в течение первого периода, далее этот слой выполняет

функцию термоизолятора и сохраняет ледяное ядро полигона, одновременно наращивая свою мощность. Температурный датчик, установленный в теле снежного полигона, на глубине 0,5 м показывал стабильную температуру в течение всего периода измерения.

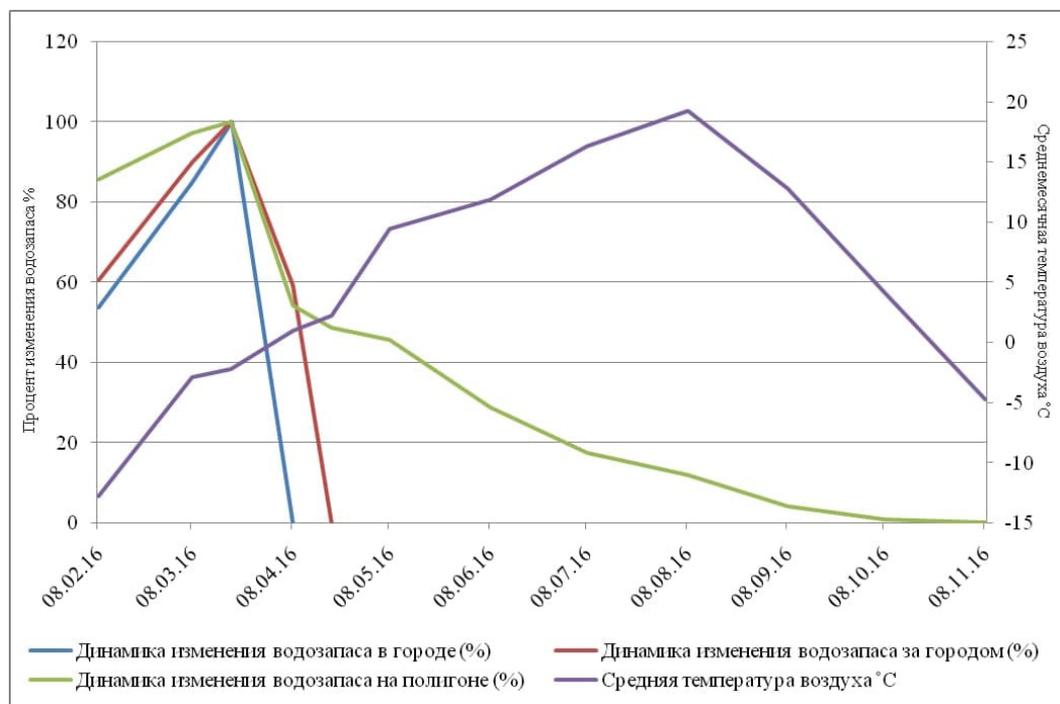


Рисунок 3.4: Динамика изменения величины водозапаса по площадкам наблюдения А, Б, В в сравнении со среднесуточной температурой воздуха.

Интенсивное снеготаяние снежного полигона «Северный» (Площадка В) продолжалось вплоть до потери им 55 % массы (конец мая – июнь), а далее снова замедлилось.

Сформированные в течение зимнего периода снежные полигоны сохраняют в себе запас воды, что приводит к увеличению периода снеготаяния и сглаживанию пика весеннего половодья. Оставшийся снег обуславливает выхолаживание окружающего ландшафта и подстилающих грунтов.

Результаты за 2018 г.

В июне среднее значение температуры на поверхности полигона составило +4,5°C, диапазон изменения минимальной температуры на поверхности полигона составил от -1,6°C до -5,6°C, диапазон изменения максимальной температуры на поверхности полигона составил от +15,5°C до +24,8°C.

В июле среднее значение составило $-2,7^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $-4,6^{\circ}\text{C}$ до $-14,9^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+3,5^{\circ}\text{C}$ до $+15,4^{\circ}\text{C}$.

В августе среднее значение составило $+6,0^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $-1,1^{\circ}\text{C}$ до $-5,8^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+21,6^{\circ}\text{C}$ до $+30,7^{\circ}\text{C}$.

В сентябре среднее значение составило $6,6^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $+1,3^{\circ}\text{C}$ до $-5,7^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+11,3^{\circ}\text{C}$ до $+28,4^{\circ}\text{C}$.

В октябре среднее значение составило $+2,0^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $-2,1^{\circ}\text{C}$ до $-7,4^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+8,5^{\circ}\text{C}$ до $+20,6^{\circ}\text{C}$.

В ноябре среднее значение составило $-2,5^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $-5,2^{\circ}\text{C}$ до $-11,4^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+3,2^{\circ}\text{C}$ до $+11,5^{\circ}\text{C}$.

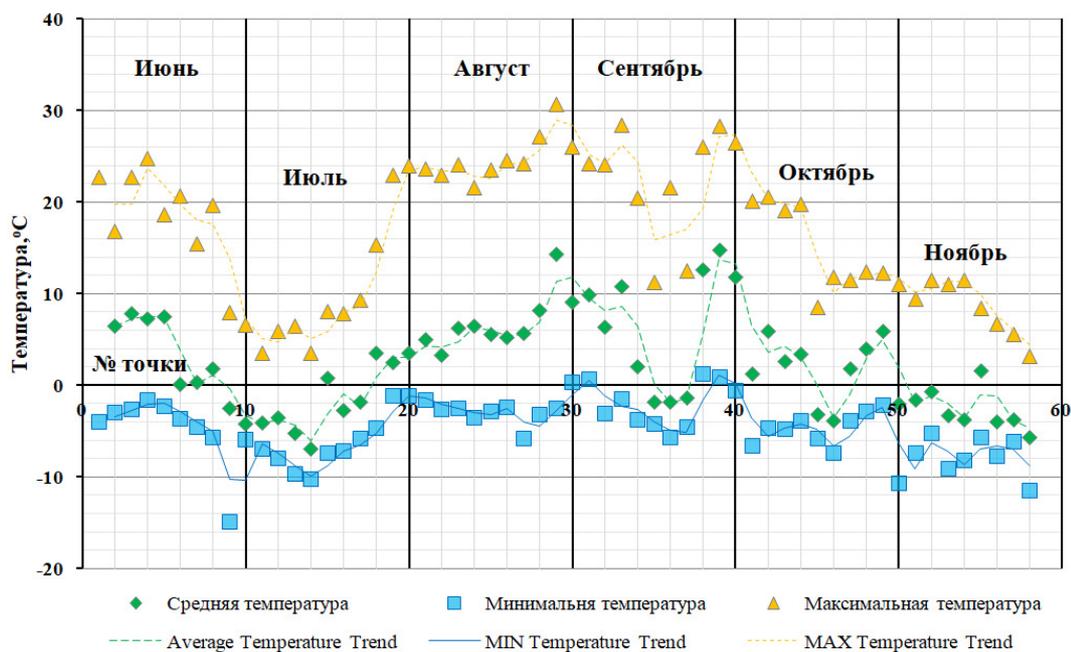


Рисунок 3.5: Тренды температуры поверхности снежного полигона «Северный» на наблюдаемых точках, 2018 г.

За 2018 г. зарегистрированное минимальное значение температуры на поверхности полигона составило $-14,9^{\circ}\text{C}$, при средней минимальной температуре

$-8,5^{\circ}\text{C}$. Среднее значение температуры поверхности полигона за сезон составило $+2,3^{\circ}\text{C}$ (Рис. 3.5).

Результаты за 2019 г.

В июне среднее значение температуры на поверхности полигона составило $+8,6^{\circ}\text{C}$, диапазон изменения минимальной температуры на поверхности полигона составил от $+1,1^{\circ}\text{C}$ до $-6,4^{\circ}\text{C}$, диапазон изменения максимальной температуры на поверхности полигона составил от $+12,8^{\circ}\text{C}$ до $+23,7^{\circ}\text{C}$.

В августе среднее значение составило $+8,5^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $0,0^{\circ}\text{C}$ до $-3,2^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+15,5^{\circ}\text{C}$ до $+23,4^{\circ}\text{C}$.

В сентябре среднее значение составило $+3,0^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $-0,8^{\circ}\text{C}$ до $-8,8^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+4,6^{\circ}\text{C}$ до $+15,9^{\circ}\text{C}$.

В октябре среднее значение составило $+6,7^{\circ}\text{C}$, диапазон min температуры составил от $+3,1^{\circ}\text{C}$ до $-1,3^{\circ}\text{C}$, диапазон max температуры составил от $+5,4^{\circ}\text{C}$ до $+15,6^{\circ}\text{C}$.

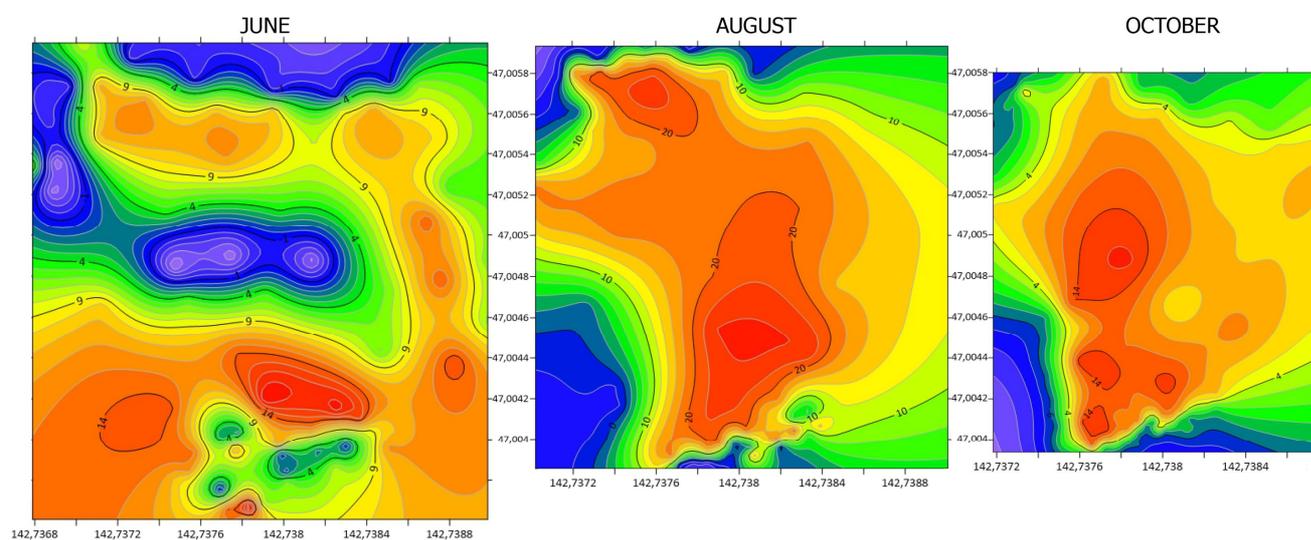


Рисунок 3.6: Температурные поля снежного полигона «Северный» за 2018 г.

За 2019 г. зарегистрированное минимальное значение температуры на поверхности полигона составило $-8,8^{\circ}\text{C}$, при средней минимальной температуре –

2,5°C. Среднее значение температуры поверхности полигона за сезон составило +3,6°C.

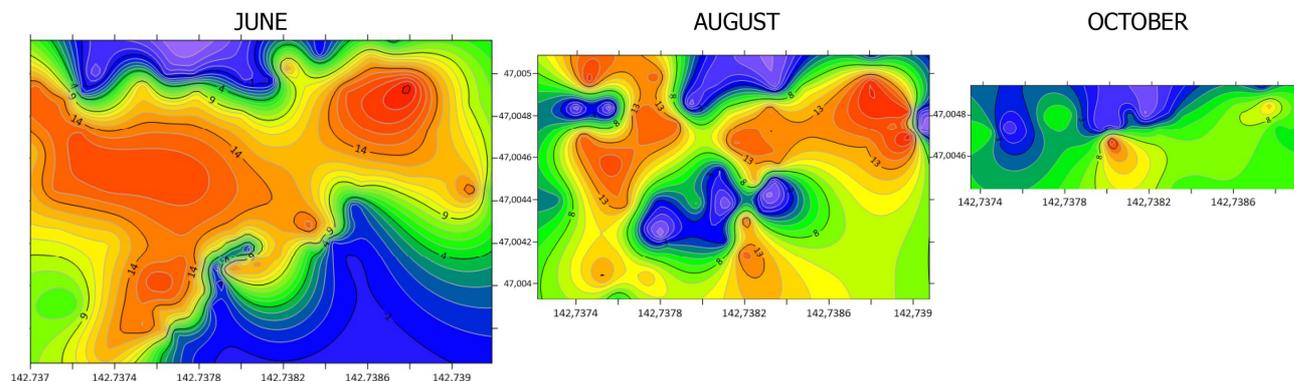


Рисунок 3.7: Температурные поля снежного полигона «Северный» за 2019 г.

Данные о температуре снежных полигонов были обработаны с помощью программного комплекса Golden Software Surfer 15. В результате получены картосхемы температурных полей поверхности снежных полигонов. На рисунках 3.6 – 3.7 приведены картосхемы полигона «Северный» за июнь, август, октябрь 2018, 2019 гг. которые показывают направление стаивания. Зоны резкого понижения температуры приурочены к местам, лишенным защитного теплоизолирующего мусорного слоя, и располагаются, в основном, на периферии снежного полигона. Данный факт свидетельствует о преобладании краевого таяния. Внутренние области полигона, где наблюдается высокие температуры поверхности, перекрыты мусорным слоем большой мощности.

3.3. Измерение морфометрических характеристик снежных полигонов.

Дистанционное зондирование тел снежных полигонов позволяет оперативно и безопасно получать сведения об изменении их морфометрических характеристик. Наиболее эффективно проводить измерения позволяет применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Данный тип устройств позволяет ускорить сбор и обработку физических характеристик объектов и перевести получаемую информацию в 2D- и 3D-модели [Гагарин, Волгушева, 2018; Ерофеев и др., 2018; Музыченко А.А., Лобкина В.А., 2019].

В науках о Земле с помощью БЛА определяют глубину снежного покрова [Harder et al., 2016], проводят мониторинг ледников [Bhardwaj et al., 2016], лесов [Otero et al., 2018], [Getzin et al., 2014], эрозии почв [D'Oleire-Oltmanns et al., 2012], картируют наводнения [Annis et al., 2020; Perks et al., 2016], отслеживают фумарольную и вулканическую активность [Sazawa et al., 2019; Emanuela et al., 2018], проводят измерения дюнно-пляжных систем [Pagán et al., 2019].

В работах [Harder et al., 2016; Tekeli et al., 2018; Fernandes et al., 2018; Lendzioch et al., 2019] проводится сравнение точности получения глубины снега с применением БЛА в сравнении с ручными замераами, как на открытом пространстве так и под пологом леса, а так же с помощью Lidar [Harder et al., 2020; Bash et al., 2020] и еще другими интегрированными с UAV радарами [Tan et al., 2020]. Полученные значения средней ошибки в этих работах являются приемлемыми для использования БЛА в этих целях. При применении БЛА в определении высоты снежного полигона средняя ошибка в высоте, в сравнении с проведенными нами ручными замераами, составила в зависимости от даты съемки

± 10 – 50 см. Специализированных исследований посвященных изучению снежных полигонов с помощью БЛА нет.

В диссертационном исследовании с помощью БЛА проводились наблюдения изменения морфометрических характеристик снежных полигонов на юге о. Сахалин. В дальнейшем производился расчет количества объема снега и скорости его стаивания.

Для фиксации динамики морфометрических характеристик снежных полигонов использовался БЛА DJI Phantom 4 и аппаратно-программный комплекс полетного задания и обработки данных.

Полетные задания планировались в программе Pix4Dcapture, позволяющая задать скорость полета и нужную высоту БЛА. Обработка аэрофотоснимков проводилась в Agisoft Photoscan.

Морфометрические характеристики определялись фотограмметрическим методом, т.е. фотографии отснятые БЛА накладывались с перекрытием. На основании полученных 3D-моделей отслеживалась динамика высоты, площади снежных полигонов и скорости изменения данных характеристик.

Ежемесячно с 2018 г. в г. Южно-Сахалинск проводился учет объемов снего-ледовой массы складированной на полигонах «Южный» и «Северный» с применением дистанционного зондирования.

Полигон «Северный». Полигон занимает площадь в 6 га. Период его полного облета составляет около 1 часа работы БЛА.

Снег складированный на полигоне в течение зимы 2016 – 2017 гг полностью стаял к октябрю 2017. По состоянию на 21.09.17 на полигоне оставались единичные участки со снегом высотой до 1,5 м. Складирование нового снега на полигон началось в середине ноября. За первые два месяца на полигоне было размещено 304,5 тыс.м³ снего-ледовой массы. Наибольшего размера полигон достиг в конце марта – 998,3 тыс.м³, а наибольшая высота снежных отвалов составила 37 м (Рис. 3.8). В пересчете на водный эквивалент, при средней замеренной плотности снего-ледовой массы 500 кг/м³ полученный объем

соответствует 499,2 тыс.м³ воды, что эквивалентно самому крупном водохранилищу г. Южно-Сахалинска на р. Рогатка – 550 тыс.м³.

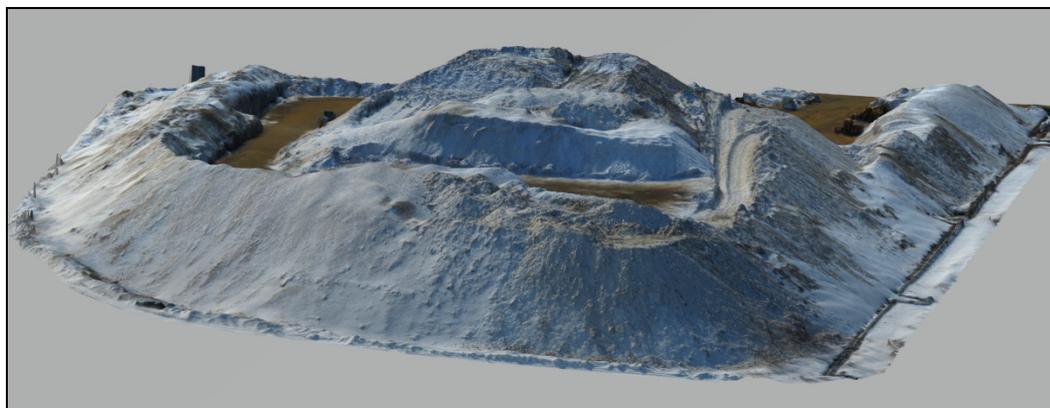


Рисунок 3.8: 3D-модель полигона «Северный», 22.03.2018 г.

В начале апреля работы по вывозу снега на полигон были завершены, снег на полигоне начал таять, из верхних слоев снега начал вытаивать песок и мусор. По данным облета совершенного после начала периода снеготаяния – 24.04.18 г. объем полигона за прошедший месяц уменьшился на 25 % (≈ 250 тыс.м³) (Рис. 3.7). За следующие три месяца (май – июль) полигон потерял еще 50 % от своего максимального объема.

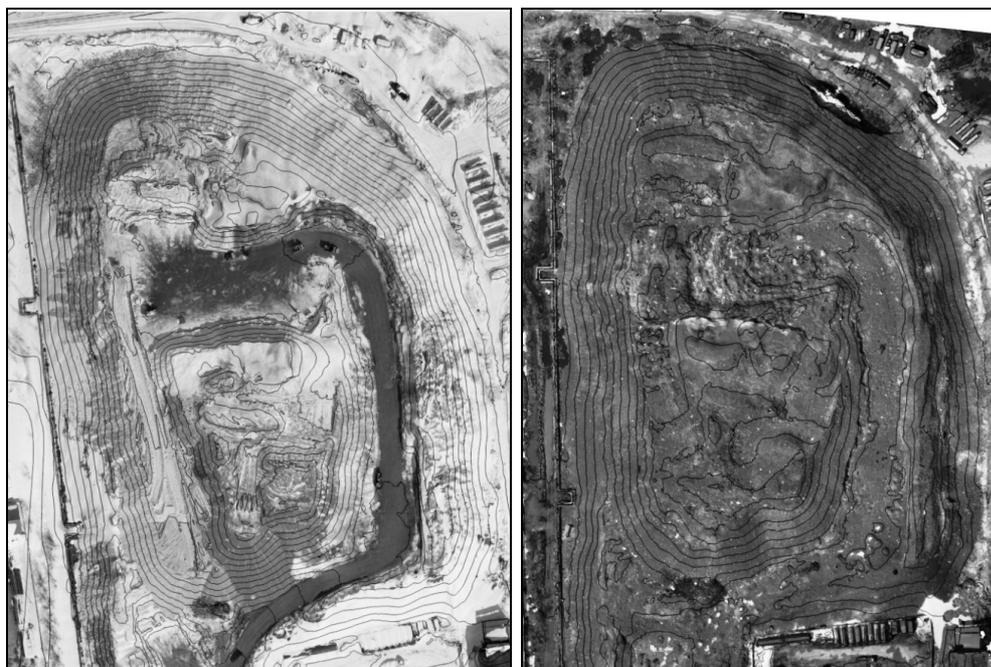


Рисунок 3.9: Ортофотоплан полигона «Северный» по состоянию на: а – 22.03.2018 г.; б – 24.04.2018 г. Горизонтали нанесены через 2,5 м

В августе процесс таяния существенно замедлился благодаря тому, что над ледяным ядром сформировался мощный мусорный слой, состоящий из вытаявшего из снега песка и бытового мусора. Мусорный слой служит изолирующей оболочкой.

Общее значение потерянного объема за зимний сезон 2017 – 18 гг. составило 898,3 тыс.м³. По состоянию на 23.10.18 объем не стаявшего снега составил 100 тыс.м³, началось складирование нового снега.

Зимний сезон 2018 – 19 гг. отличался очень низким кол-вом выпавших осадков, всего 120 мм, 54 % от нормы. Произошло уменьшение площади, на которую складировался снег с 5 до 3 га. Максимальный объем полигона составил всего 227, тыс.м³ (10.04.19), что в 4 раза меньше чем в предыдущий сезон.

В течение теплого сезона происходило активное таяние снега. Минимального объема полигон достиг 23.10.19 – 7,1 тыс.м³. Однако, полигон не стаял полностью (Рис. 3.9).



Рисунок 3.10: Состояние снежного полигона «Северный» на конец периода снеготаяния, 23.10.2019 г.

Полигон «Южный». Вывоз снега на полигон начался в середине ноября 2017. К началу февраля на полигоне было складировано 1 000 тыс.м³ снега. Максимального объема полигон достиг к концу марта – 2 010,3 тыс.м³ (30.03.18). К этому времени произошло максимальное, за весь период наблюдения с 2010, увеличение площади занимаемой полигоном до 40 га. Для аэрофотосъемки

полигона требовалось 3 часа (2300 фото) работы квадрокоптера в воздухе. Средняя высота снега на полигоне составляла 5 м, максимальная 16 м (Рис. 3.11).

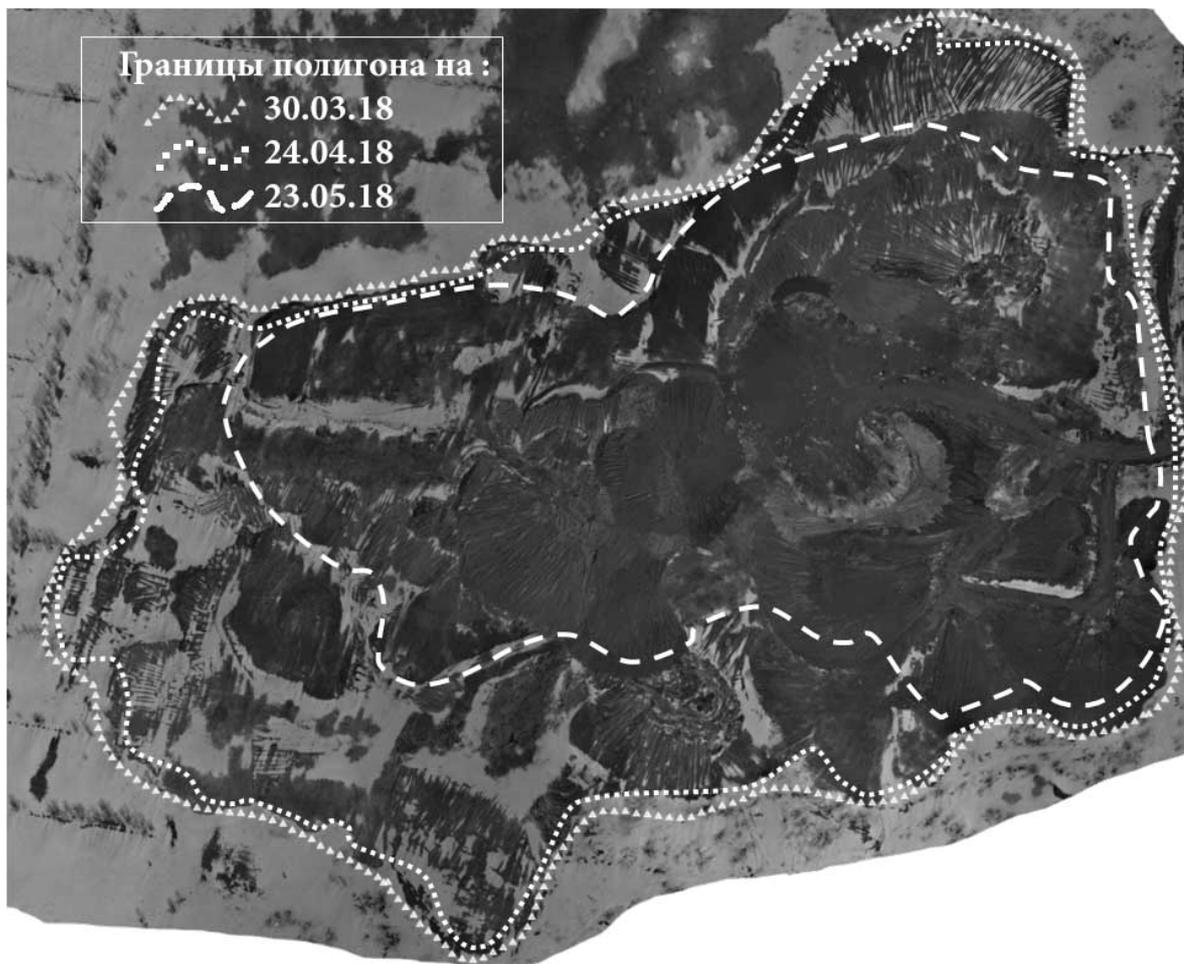


Рисунок 3.11: Ортофотоплан полигона «Южный» с указанием его границ на 30.03.2018 г., 24.04.2018 г., 23.05.2018 г.

Полигон на стоял в течение теплого периода года, к началу нового периода вывоза на полигоне оставалось ≈ 22 тыс.м³ снега.

В зимнем сезоне 2018 – 19 гг. максимального объема полигон достиг в апреле – 308,4 тыс. м³ (02.04.19). Не смотря на то, что объем вывезенного на полигон снега был в 6,5 раз меньше чем в предыдущем зимнем сезоне, полигон так же не стоял полностью. На самой северной границе полигона сохранился снег объемом 0,5 тыс.м³ (23.10.19).

Данные об изменении параметров снежных полигонов за 2018 и 2019 гг. приведены в табл. 3.1.

Анализ динамики изменения морфометрических характеристик снежных полигонов г. Южно-Сахалинска показал, что складирование снега собранного с территории городской застройки способствует формированию антропогенных снежников-перелетков.

Таблица 3.1. Параметры снежных полигонов за 2018 и 2019 гг.

	Дата облета	Объем, тыс.м ³	Площадь поверхности, га	Средняя высота, м	Максимальная высота, м
«Северный»	01/16/18	304.4	6.01	5	13
	03/22/18	998.3	8.63	12	37
	04/24/18	748.6	7.58	10	33
	08/07/18	247.1	3.92	6	22
	09/03/18	173.2	3.82	5	20
	09/28/18	120.0	2.4	5	19
	10/23/18	100.0	2.3	4	15
	12/07/18	111.2	5.2	2	6
	01/30/19	190.0	4.3	5	16
	03/05/19	201.0	3.5	6	18
	04/10/19	227.0	3.6	6	18
	06/07/19	125.0	3.3	4	12
	07/15/19	66.4	3.1	3	8
	08/10/19	35.3	3.0	2	6
	09/15/19	12.3	2.0	1	2
10/23/19	7.1	1.1	1	2	
«Южный»	02/02/18	1 000.0	40.21	4	15
	03/30/18	2 010.3	45.06	5	16
	04/24/18	1 310.0	43.54	4	14
	05/23/18	510.0	30.70	3	9
	08/06/18	99.8	3.9	3	7
	09/01/18	59.4	2.2	3	6
	10/02/18	32.9	2.1	3	6
	11/08/18	29.5	2.0	2	5
	11/26/18	22.1	1.7	2	4
	02/11/19	200.1	9.0	2	5
	04/02/19	308.4	10.3	3	5
	05/12/19	160.1	8.0	2	5
	06/07/19	88.7	6.0	2	4
	08/09/19	21.1	4.0	1	4
	09/15/19	2.9	2.5	1	4
10/23/19	0.5	0.06	1	4	

Рассчитать таяние снежных полигонов можно используя параметры для расчета таяния естественных лавинных или снеговых снежников. В наиболее простом приближении можно рассчитывать таяние исходя из температуры поверхности снежника, а для расчета использовать основную формулу Кренке-Ходакова:

$$A(мм)=1,33*(t_{ср.лет}+9,66)^{2,85}$$

Расчет был сделан по трем региональным формулам для определения удельного таяния снежников/ледников, базирующихся на эмпирических коэффициентах.

Использовались формулы для Средней Азии (ледник Абрамова), Камчатки и Северо-Востока России, которые являются региональными модификациями формулы Кренке-Ходакова. Для Сахалина региональные коэффициенты для формулы Кренке-Ходакова не выведены, т.к. природные снежники/ледники отсутствуют, а ряд наблюдений за снежными полигонами недостаточный.

За 2018 г. на снежном полигоне было складировано – 998,3 тыс.м³ снега или 450 тыс.т воды (в пересчете в водный эквивалент). По данным наблюдений за теплый период года было потеряно примерно 330 тыс.т воды. Расчетные значения удельного таяния показали хорошую корреляцию для 2018 г по региональным формулам для Средней Азии (ледник Абрамова) и Северо-Востока России – 332 и 344 тыс.т. соответственно. Расчет с использованием коэффициентов для Камчатки оказался значительно завышен – 639 тыс.т.а в 2019 г. – 227 тыс.м³ (75 тыс.т воды).

В 2019 г. складировано 227 тыс.м³ снега или 75 тыс.т в водном эквиваленте, потеряно 70,7 тыс.т. Проведенный расчет по всем формулам, дал значительное завышение, что связано с малым объемом антропогенного снежника, по всем формулам такой объем снега должен был растаять за теплый период, однако это не произошло, что вероятнее всего связано с защитными функциями мусорного слоя и его большой мощностью.

По авторской оценке расчетные величины таяния будут иметь значения близкие к фактическим только при массе снежного полигона, к началу периода таяния, более 250 тыс.т. Введение региональных поправок к расчетным формулам и авторской оценки требует продолжения наблюдений.

Выводы по главе 3

Доказана возможность формирования многолетних снежников-перелетков на территории снежных полигонов г. Южно-Сахалинска. Существование снежников в условиях южного Сахалина на 50 абс.м. можно отнести к уникальным явлениям, т.к. многолетних снежников природного происхождения на данной территории не наблюдается.

Впервые для снежных полигонов построены карты тепловых полей и проведен расчет удельного таяния, который показал хорошую корреляцию по региональным формулам для Средней Азии (ледник Абрамова) и Северо-Востока России. Расчет, выполненный по эмпирическим коэффициентам для Камчатки, оказался значительно завышен. По авторской оценке, расчетные величины таяния будут иметь значения близкие к фактическим значениям только при массе снежного полигона к началу периода таяния более 250 тыс.т.

С помощью современных методов дистанционного зондирования проводилось наблюдение изменения морфометрических характеристик снежных полигонов. В зимнем сезоне 2017 – 18 гг. зарегистрировано максимальное увеличение суммарной площади занимаемой снежными полигонами в г. Южно-Сахалинск, начиная с периода их эксплуатации в 2010 г. Увеличение площади вызвано экстремальным объемом складированного снега, который составил ≈ 3 млн.м³, при среднем объеме ≈ 2 млн.м³.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СНЕЖНЫМИ ПОЛИГОНАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА СНЕГА И ТАЛОЙ ВОДЫ

Исследование загрязнителей, аккумулирующихся в снежной толще, является актуальной проблемой в геоэкологических исследованиях. В период активного снеготаяния депонированные в снеге загрязняющие вещества попадают в почву, водные объекты, атмосферу, что может повлечь за собой загрязнение компонентов окружающей среды и оказать негативное влияние на здоровье населения.

Исследования химического состава снега используются при мониторинге загрязнения ландшафтов [Jaffe et al., 1995]. Наиболее актуальны такие исследования для урбанизированных территорий, где имеется большое количество источников выбросов (промышленные предприятия, автотранспорт и т.д.), а рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе затруднено из-за городской застройки [Валетдинов и др., 2005].

Работ, посвященных аккумуляции загрязняющих веществ в снеге на урбанизированной территории, достаточно много [Демиденко, Владимирова, 2014; Носкова и др., 2014; Лабузова и др., 2016; Савватеева и др., 2007], при этом данные исследования в качестве основного критерия загрязнения снежного покрова выносят концентрацию загрязняющих веществ аккумулированных в снеге, пробы отбираются со всей глубины снега, при этом не учитываются особенности перераспределения снега внутри урбанизированной территории, в том числе метелевым переносом, стратиграфия снежной толщи, а также вертикальные миграции загрязняющих веществ из подстилающей поверхности в снег. Вместе с тем в работах [Таловская и др., 2017; Саев и др., 1990; Баглаева и

др., 2012] оценка степени антропогенной нагрузки определяется в величине накопления загрязняющих веществ на единицу площади. Отбор и подготовка проб снега осуществляется на всю мощность снежного покрова, за исключением слоя 5 см над почвой, с учетом методических рекомендаций, приводимых в [Методические рекомендации... № 5174-90, 1990; РД 52.04.186-89, 1991; Василенко и др., 1985].

Однако, зачастую исследования загрязнения снежной толщи не учитывают процессы массопереноса и особенности ее стратиграфии. В проведенном исследовании учитывалась структура снежного покрова, продолжительность существования слоев снега, сформированных конкретным снегопадом, особенности массопереноса в снеге, в частности интенсивность возгонки водяного пара. Эти факторы в значительной мере определяют режим аккумуляции поллютантов и их миграцию внутри снежной толщи. Проводился сравнительный анализ величин депонированных загрязнителей с учетом, и без учета особенностей строения снежной толщи.

4.1. Снежный покров как депонирующая загрязнение среда

В течение зимних сезонов 2018 – 19 и 2019 – 20 гг. определялось пространственное распределения ряда загрязнителей, аккумулирующихся в снеге на территории городской застройки г. Южно-Сахалинск с учетом стратиграфии снежного покрова:

1) в зимнем сезоне 2018 – 19 гг. определялась величина пылевого загрязнения территории г. Южно-Сахалинск;

2) в зимнем сезоне 2019 – 20 гг. помимо пылевого загрязнения, также определено пространственное распределение: хлорид-иона (Cl^-), сульфат-иона (SO_4^{2-}), катионов кальция (Ca^{2+}) и натрия (Na^+), свинца (Pb), цинка (Zn).

Отбор образцов снега сопровождался комплексом снегомерных и стратиграфических работ, с целью установления мощности слоев снежной толщи, наблюдения за структурой снежного покрова, его плотностью и др., выполнялся на контрольном участке на территории Сахалинского Ботанического сада [Музыченко, Лобкина, 2018] ($46^\circ 56' 37.28''$ с.ш.; $142^\circ 45' 29.61''$ в.д, участок формирования снежного покрова не испытывает влияние городской застройки), к которому привязывались участки пробоотбора. Стратиграфические наблюдения позволили установить даты формирования слоев, определить их положение в снежной толще, плотность, структуру и текстуру.

Отбор проб проводился по схеме, которая представляет собой сеть с расстоянием между точками в направлении север – юг ≈ 2 км, в направлении запад – восток ≈ 1 км (Рис. 4.1).

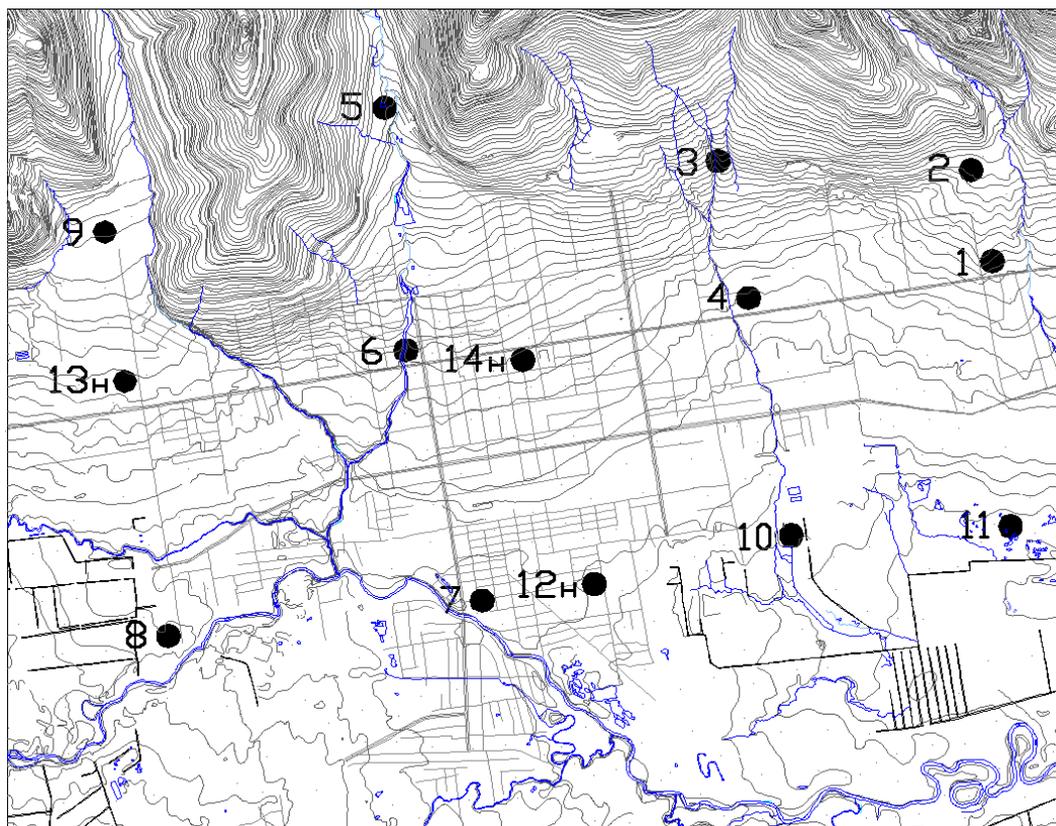


Рисунок 4.1: Схема расположения точек отбора проб.

Зимний сезон 2018 – 19 гг.

Для отбора проб на оценку пылевой нагрузки был выбран слой снега, сформированный снегопадом 15 – 16 января 2019 г. Отбор проб произведен 26 января 2019 г. Продолжительность залегания слоя на момент отбора проб составила 10 сут. Преобладающие направление ветров с даты формирования слоя до даты отбора СЗ (Рис. 4.2 А).

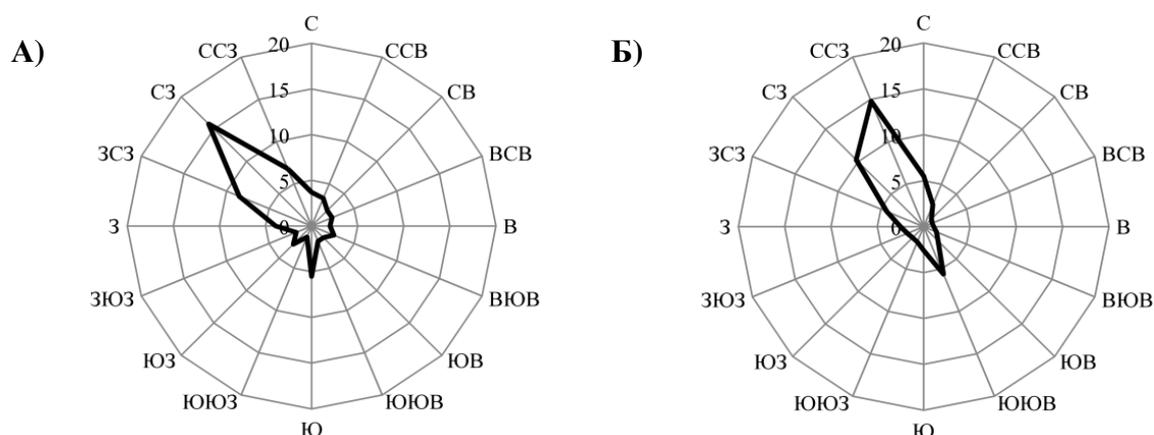


Рисунок 4.2: Розы ветров на даты залегания исследуемого слоя снежной толщи:
А) зимний сезон 2018 – 19 гг., Б) зимний сезон 2019 – 20 гг.

Одиннадцать точек наблюдения были заложены вдоль основных транспортных магистралей г. Южно-Сахалинск (ул. Горького, пр. Мира, ул. Железнодорожная, ул. Украинская, ул. Сахалинская, ул. Емельянова, ул. Больничная) (Рис. 4.1), так как согласно [Маврин и др., 2014; Рапуга В. Ф. и др. 2010; Киорратаки К. 2014] именно вдоль транспортных магистралей в снежном покрове наблюдаются наиболее высокие содержания загрязняющих веществ.

В точках отбора толщина выбранного слоя снежной толщи составила от 5 до 13 см, это связано с разным режимом снегоотложения и метелевым перераспределением снега внутри городской застройки. Составную пробу в каждой точке отбирали методом конверта.

Стаивание проб снега происходило при температуре +20°C в естественных условиях, в пластиковых ведрах. После полного стаивания снега, из талой воды были удалены крупные плавающие примеси. Талая вода в объеме 2 л. с каждой пробы была профильтрована. Исследование массового количества взвешенных веществ проводилось гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.261-10).

Зимний сезон 2019 – 20 гг.

В декабре 2019 г. в снежном покрове сформировались две корки. Нижняя корка сформирована дождем 17 декабря, а верхняя оттепелью 31 декабря. Между корками находится слой снега, сформированный прошедшими между этими событиями снегопадами. Сформированные корки прослеживались в течение всего зимнего сезона и являлись естественной преградой массопереноса из приземных слоев снежной толщи.

Пробы снега были отобраны из слоев снежной толщи сформированных в период с 31 декабря 2019 г. по 03 марта 2020 г. Отбор проб произведен на период максимальных снегозапасов 03 марта 2020 г, продолжительность залегания исследуемых слоев снежной толщи на момент отбора проб составила до 63 дней. Преобладающие направление ветров – ССЗ (Рис. 4.2 Б).

Сеть отбора проб была увеличена тремя дополнительными точками 12н, 13н, 14н (Рис. 4.1).

Помимо измерения содержания взвешенных веществ, выполненных гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.261 – 10). Определялись массовые концентрации хлорид-иона (Cl^-), сульфат-иона (SO_4^{2-}), катионов кальция (Ca^{2+}) и натрия (Na^+) с применением системы капиллярного электрофореза "Капель" (ПНД Ф 14.1:2:4.157-99; ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000). Массовое содержание свинца и цинка определялось атомно-абсорбционным методом (М-02-2406-13).

Анализы выполнены аккредитованной лабораторией ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Сахалинский».

Применяемые, в настоящее время, методики направлены на определение концентраций загрязняющих веществ в снежной толще, однако значения концентраций не отражают в полной мере особенности депонирования поллютантов в снеге. Так как из-за неравномерного выпадения твердых осадков и в результате метелевого переноса мощность сформированных слоев снежной толщи будет различна. Следовательно, за один и тот же период времени загрязняющие вещества будут аккумулироваться в разном объеме снега, а концентрация загрязняющих веществ в снеге зависит не только от скорости депонирования загрязняющих веществ, но и от скорости прироста снежной толщи внутри городской застройки. Таким образом, для определения фактического количества загрязняющих веществ аккумулированных в снежном покрове на определенной территории, и их пространственного распределения необходимо знать не только концентрацию поллютантов в снеге, но и величину водозапаса в каждой точке отбора проб.

Определив величину водозапаса, исследуемых слоев снежной толщи, мы определили массу загрязняющих веществ депонирующихся в снеге за одни сутки. Полученные результаты сравнили с распределением концентраций взвешенных веществ в снежном покрове (Табл. 4.1).

Таблица 4.1. Концентрация и масса депонированных в снежном покрове взвешенных веществ.

№ проб	Масса депонированных взвешенных веществ в снеге за сутки, мг		Доля количества взвешенных веществ от макс. уровня загрязнения по массе, %		Концентрация взвешенных веществ в снежном покрове, мг/дм ³		Доля количества взвешенных веществ от макс. уровня загрязнения по концентрации, %		Отклонение %-го содержания взвешенных веществ от макс. уровня загрязнения по разным методикам	
	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20
1	8.06	37.20	9.44	47.05	5.60	24.80	7.34	39.49	2.10	7.56
2	2.35	79.07	2.75	100.00	2.10	61.50	2.75	97.93	0.00	2.07
3	59.20	31.37	69.28	39.67	74.00	24.40	96.99	38.85	-27.71	0.82
4	44.29	56.52	51.83	71.48	34.60	62.80	45.35	100.00	6.48	-28.52
5	15.12	20.88	17.69	26.41	13.50	17.40	17.69	27.71	0.00	-1.30
6	27.50	31.92	32.18	40.37	19.10	19.60	25.03	31.21	7.15	9.16
7	24.99	18.89	29.25	23.89	14.20	11.60	18.61	18.47	10.63	5.42
8	28.08	17.64	32.86	22.31	13.50	8.40	17.69	13.38	15.17	8.93
9	18.93	31.08	22.15	39.31	9.10	14.80	11.93	23.57	10.22	15.74
10	85.46	13.80	100.00	17.45	76.30	9.20	100.00	14.65	0.00	2.80
11	58.24	12.00	68.15	15.18	52.00	10.00	68.15	15.92	0.00	-0.75
12н		13.44		17.00		9.80		15.61		1.39
13н		16.05		20.29		10.40		16.56		3.73
14н		24.48		30.96		16.80		26.75		4.21

С помощью программного комплекса Golden Software Surfer 15 построены картосхемы распределения концентраций взвешенных веществ в снежном покрове и распределение массы депонированных в снежном покрове взвешенных веществ (Рис. 4.3 – 4.6). Данные картосхемы позволяют оценить как концентрации взвешенных веществ в снежной толще, так и скорость их депонирования в разных районах города.

Анализ пылевой нагрузки зимнего сезона 2018 – 19 гг. показал, что в снежном покрове по ул. Больничная (пробы 1, 2) накопление взвешенных веществ в 15 раз меньше, чем по ул. Емельянова (пробы 3, 4). Высокий уровень пылевой нагрузки на ул. Железнодорожной (пробы 10, 11) связан с ведущейся в этот период реконструкцией улицы, сносом аварийного жилья и возведением новых домов вдоль неё. Средняя скорость депонирования взвешенных веществ в снежном покрове в зимнем сезоне 2018 – 19 гг. составила на м² – 33,84 мг/сут.

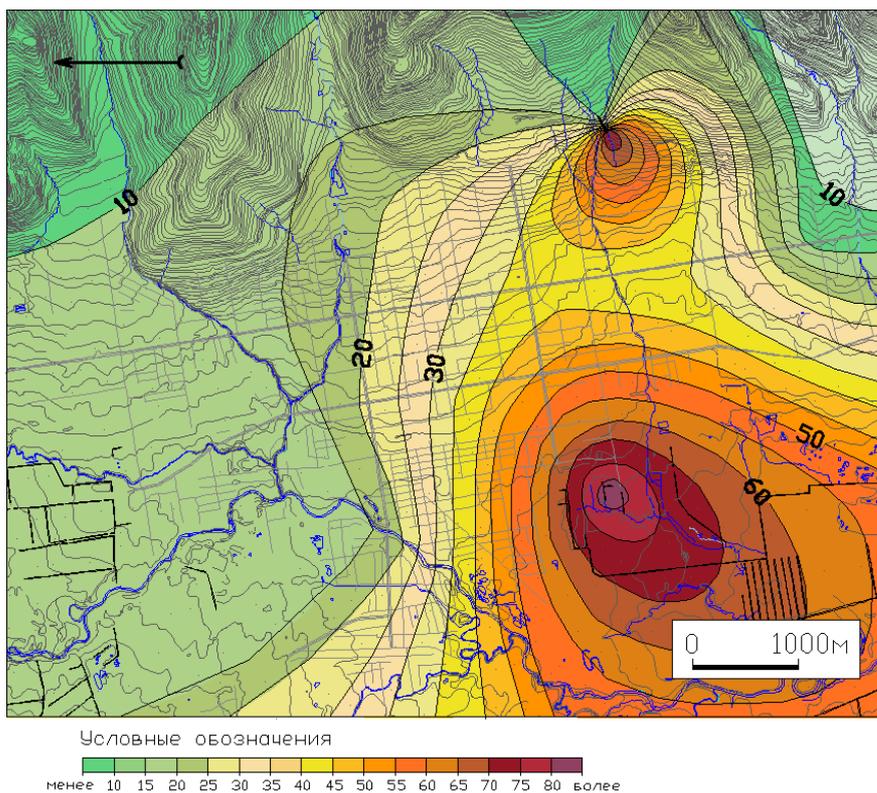


Рисунок 4.3: Картосхема распределения концентраций взвешенных веществ в исследуемом слое снежной толщи в зимнем сезоне 2018 – 19 гг., мг/дм³.

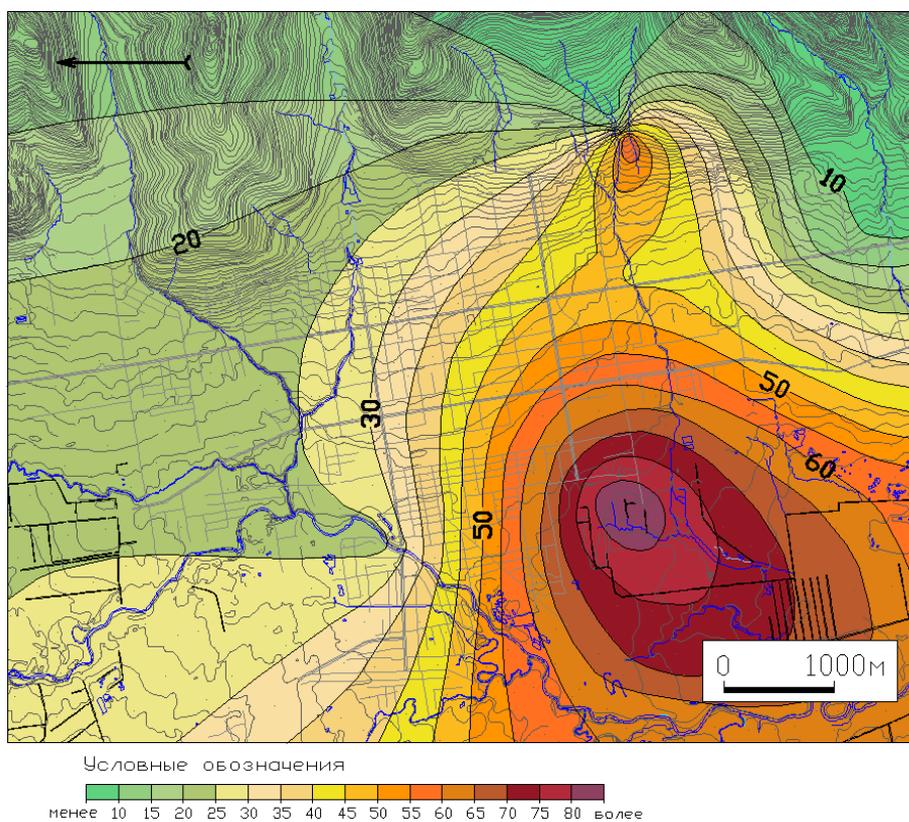


Рисунок 4.4: Картосхема распределения скоростей депонирования взвешенных веществ в исследуемом слое снежной толщи в зимнем сезоне 2018 – 19 гг., мг/м² за сутки.

В зимнем сезоне 2019 – 20 гг. высокий уровень пылевой нагрузки ул. Больничной связан со строительными работами на данной улице, строительство нового жилого микрорайона в районе точки отбора проб 2, сведение зеленых насаждений в этом районе увеличили скорость депонирования пылевых частиц в снеге с 2,35 мг/сут в зимнем сезоне 2018 – 19 гг. до 79,07 мг/сут в зимнем сезоне 2019 – 20 гг. Средняя скорость депонирования взвешенных веществ в снежном покрове в зимнем сезоне 2019 – 20 гг. составила $\text{м}^2 - 28,88$

Согласно [Сает и др.,1990] величина пылевой нагрузки на всей территории г. Южно-Сахалинск относится к низкой степени загрязнения от 0 до 250 мг/сут.

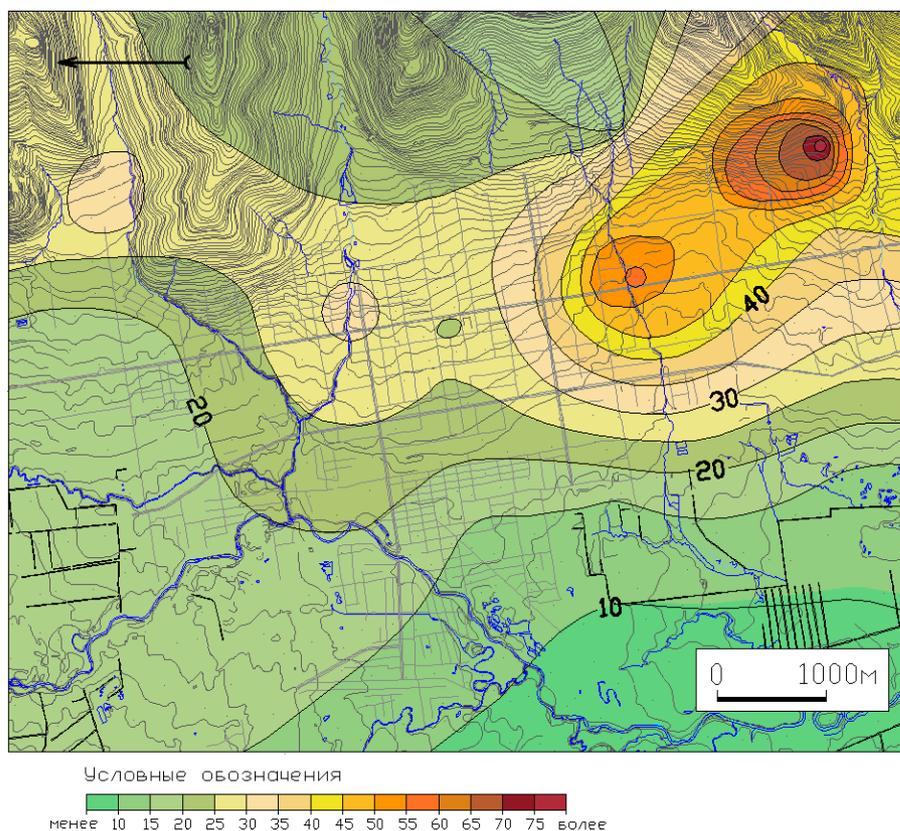


Рисунок 4.5: Картосхема распределения концентраций взвешенных веществ в исследуемых слоях снежной толщи в зимнем сезоне 2019 – 20 гг., мг/дм³.

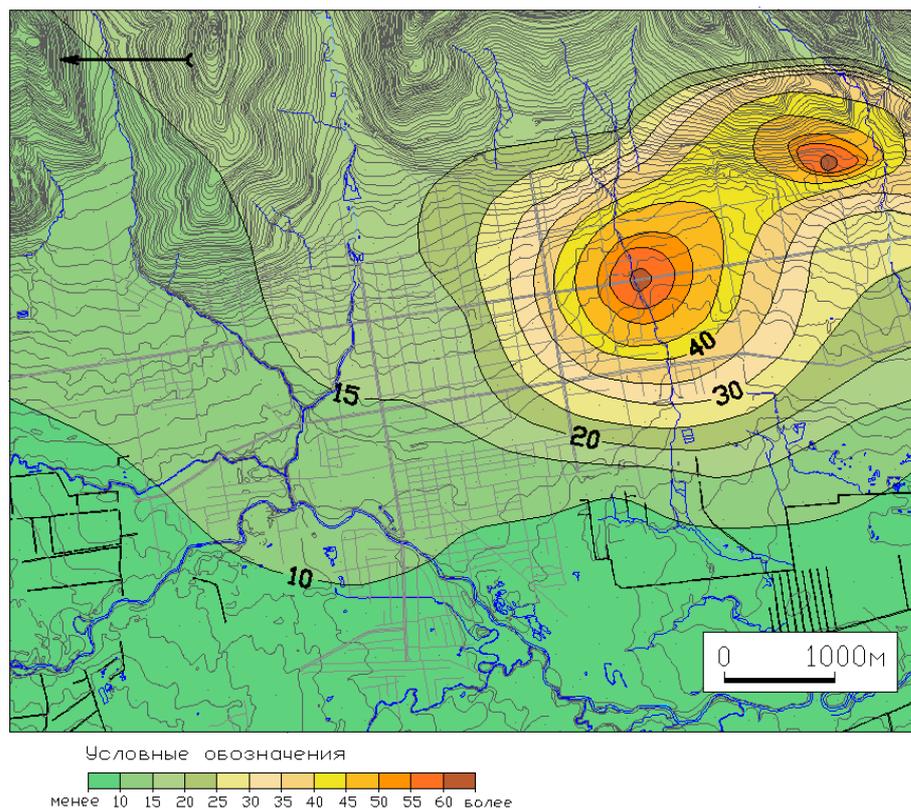


Рисунок 4.6: Картограмма распределения скоростей депонирования взвешенных веществ в исследуемых слоях снежной толщи в зимнем сезоне 2019 – 20 гг., мг/м² за сутки.

Концентрации сульфат-иона в пробах (Табл. 4.2) за зимний сезон 2019 – 20 гг. меняются от 1,9 мг/дм³ (точка 9) до 4,2 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 2,95 мг/дм³. Скорость аккумуляции сульфат-иона на м² меняется от 3 мг/сут (точка 5) до 5,49 мг/сут (точка 12н), средняя скорость аккумуляции – 4,24 мг/сут.

Основной источник сульфат-иона это выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных. Крупных промышленных предприятий в г. Южно-Сахалинск нет, существующая ТЭЦ переведена на газ, по этой причине, концентрации сульфат-иона депонированные в снежной толще незначительны и слабо меняются от района города.

Концентрации хлорид-иона (Табл. 4.2) меняются от 2,65 мг/дм³ (точка 9) до 34,30 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 13,04 мг/дм³. Скорость аккумуляции хлорид-иона на м² меняется от 5,57 мг/сут (точка 9) до 53,34 мг/сут (точка 8), средняя скорость аккумуляции – 18,46 мг/сут.

Таблица 4.2. Концентрация загрязняющих веществ в пробах, мг/дм³ и масса аккумулирующегося в снеге загрязнителя на 1 м² в мг/сут.

№	Хлорид-ион		Сульфат-ион		Кальций		Натрий		Цинк	
	C _в *	M _з **	C _в * ¹	M _з * ²	C _в * ¹	M _з * ²	C _в * ¹	M _з * ²	C _в * ¹	M _з * ²
1	16.50	24.75	3.10	4.65	2.10	3.15	15.00	22.50	0.0120	0.0180
2	10.00	12.86	2.40	3.09	1.78	2.29	11.00	14.14	0.0140	0.0180
3	18.70	24.04	2.80	3.60	3.00	3.86	17.00	21.86	0.0060	0.0077
4	34.30	30.87	4.20	3.78	4.00	3.60	28.00	25.20	0.0070	0.0063
5	7.10	8.52	2.50	3.00	1.03	1.24	6.00	7.20	0.0000	0.0000
6	10.90	17.75	2.80	4.56	1.65	2.69	9.00	14.66	0.0000	0.0000
7	11.10	18.08	3.10	5.05	1.37	2.23	8.00	13.03	0.0100	0.0163
8	25.40	53.34	2.50	5.25	1.49	3.13	17.00	35.70	0.0100	0.0210
9	2.65	5.57	1.90	3.99	0.82	1.72	2.50	5.25	0.0000	0.0000
10	5.90	8.85	2.90	4.35	1.38	2.07	5.00	7.50	0.0050	0.0075
11	14.90	17.88	3.60	4.32	2.20	2.64	11.00	13.20	0.0220	0.0264
12н	13.20	18.10	4.00	5.49	1.64	2.25	10.00	13.71	0.0160	0.0219
13н	5.40	8.33	2.70	4.17	2.10	3.24	4.00	6.17	0.0000	0.0000
14н	6.50	9.47	2.80	4.08	1.24	1.81	5.00	7.29	0.0170	0.0248

* C_в – концентрация загрязнителя, мг/дм³

** M_з – масса загрязнителя на м² в мг/сут

Хлориды обладают высокой миграционной способностью благодаря хорошей растворимости. Основным источником хлоридов в снежном покрове являются противогололедные реагенты. По этой причине максимальные концентрации наблюдаются вдоль крупных автодорог, и в районе ул. Больничной, где на момент проведения исследования в зимнем сезоне 2019 – 20 гг. велись крупные строительные работы с привлечением большого количества тяжелой техники.

Концентрация катионов кальция меняется от 0,82 мг/дм³ (точка 9) до 4 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 1,84 мг/дм³. Скорость аккумуляции кальция на м² меняется от 1,24 мг/сут (точка 5) до 3,86 мг/сут (точка 3), средняя скорость аккумуляции – 2,56 мг/сут.

Основным источником депонированного в снеге кальция, является хлорид кальция (CaCl₂) применяемый как противогололедный реагент.

Содержание катионов натрия меняется от 2,5 мг/дм³ (точка 9) до 28 мг/дм³ (точка 4), средняя концентрация в пробах – 10,61 мг/дм³. Скорость аккумуляции

натрия на м^2 меняется от 5,25 мг/сут (точка 9) до 35,7 мг/сут (точка 8), средняя скорость аккумуляции – 14,81 мг/сут. В поверхностных водах натрий мигрирует преимущественно в растворённом состоянии в виде иона. Главным источником натрия в снежном покрове является хлористый натрий (NaCl) это основной противогололедный реагент, применяемый в г. Южно-Сахалинск.

Высокие концентрации этих ионов определены и в пробах талой воды с городских снежных полигонов [Лобкина и др., 2019].

Максимальное содержание цинка в пробах (Табл. 4.2) по городу составило 0,022 мг/дм³ (точка 11), в точках 5, 6, 9, 13н содержание цинка в пробах оказалось ниже определяемого предела измерений. Максимальная скорость аккумуляции цинка на м^2 составила 0,026 мг/сут (точка 11).

Источниками цинка в пробах снега, скорее всего, являются старые промышленные предприятия и мелкие организации, занимающиеся кузовным ремонтом автотранспорта, которые расположены по ул. Железнодорожной.

Содержание свинца во всех пробах оказалось ниже определяемого предела измерений.

Данные исследования позволяют сделать вывод, что концентрация загрязняющих веществ поступающих в окружающую среду при таянии ненарушенного снега, аккумулирующийся на территории города Южно-Сахалинска, ниже чем концентрация загрязняющих веществ поступающих с талыми водами со снежных полигонов.

4.2. Загрязнители в талой воде со снежных полигонов.

Исследования снега складированного на снежных полигонах, а также талых вод образующихся при их таянии показывают значительные превышения величин ПДК_{рх} и ПДК_{к-б} в талых водах со снегоотвалов. Так, превышение величин ПДК_{рх} в талых водах со снежных полигонов установлено в г. Казань. В сточных водах со снежного полигона по ул. Абжалилова, были зафиксированы превышения по взвешенным веществам (более чем в 10 раз), железу общему (в 120 раз), марганцу (в 100 раз), меди (в 60 раз), цинку (в 19 раз), алюминию (в 270 раз), нефтепродуктам (в 250 раз), хлоридам (в 1,4 раза), показателю химического поглощения кислорода (ХПК) (в 11 раз). [Тарасов и др., 2011.]

В пробах снега со снежных полигонов, расположенных в г. Барнаул обнаружено, что концентрация хлоридов примерно в 3 раза выше, чем в «фоновом» снеге, а содержание органических веществ в пробах на снежных полигонах по сравнению с «фоновыми» значениями возрастает в десятки и тысячи раз. Их концентрации в талом снеге превышают нормируемые показатели для вод культурно-бытового водопользования (ПДК_{к-б}): летучие фенолы – в 7 раз, нефтепродукты – в 22 раза, бенз(а)пирен – в 250 раз. [Носкова Т.В. и др. 2015.]

В г. Южно-Сахалинск для определения содержания химических веществ в складированных снежных массах на полигоне «Южный» в 2012 г. были отобраны 2 пробы: проба № 1 была отобрана в момент складирования снежной массы, привезенной с территории города, проба № 2 была отобрана из бровки снежного отвала. Для сравнения был отобран снег с городской территории, находящийся в ненарушенном залегании (фоновая проба). В пробах был определен элементный

состав (Табл. 4.3) и содержание катионов и анионов методами атомно-эмиссионной спектрометрии и ионной хроматографии (Табл. 4.4).

Таблица 4.3. Содержание элементов в пробах снега и ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/л.

№ пробы	Al	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	Zn
Городская фоновая проба (фоновая проба)	0.01	0.01	0.27	0.01	0.25	0.17	<0.01	1.08	<0.01	0.01
Проба складированного снега (проба 1)	<0.01	<0.01	1.24	0.02	0.09	0.11	0.01	0.55	<0.01	0.01
Проба прессованного снега (проба 2)	0.49	0.04	20.07	0.82	1.93	1.51	0.05	101.0	0.07	0.01
ПДК	0.04	0.74	180	0.1	50	40	0.01	120	0.4	0.01

Методом атомно-эмиссионной спектрометрии в пробах было определено содержание элементов В, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Pb в значениях < 0,01 мг/л (анализ проб проведен лабораторией аналитической химии ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток).

Таблица 4.4. Содержание катионов и анионов в пробах снега и ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/л.

№ пробы	Содержание катионов, мг/л						Содержание анионов, мг/л			
	Li ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻
Городская фоновая проба (фоновая проба)	-	0.56	0.27	0.53	0.13	0.05	-	0.83	0.02	0.22
Проба складированного снега (проба 1)	-	1.17	0.48	0.81	0.83	0.19	0.02	2.27	0.51	1.78
Проба прессованного снега (проба 2)	0.003	91.7	-	1.7	23.8	1.1	0.14	143	0.3	8.63
ПДК	0.08	120	0.5	50	180	40	0.75	300	0.08	1.35

- не обнаружен.

Сравнив результаты содержания химических веществ в пробе снега, отобранной на момент складирования, с пробой лежалого снега, замечаем, что вследствие воздействия на снег внешних факторов (прессование, таяние) происходит увеличение концентрации загрязняющих веществ на единицу объема.

Для оценки загрязняющего влияния полигона на природную среду, результаты химического анализа проб снега были сопоставлены с ПДК для рыбохозяйственных водоемов [Нормативы..., 2011].

Превышение ПДК_{рх} обнаружено по пяти веществам 4-ого класса опасности – NO²⁻, Br⁻, Al, Fe, Mn (Табл. 4.2, 4.3). ПДК_{рх} по Al превышено в 12 раз; по Fe в 8 раз; по NO²⁻ и Br⁻ в 6 раз; по Mn в 5 раз. Концентрация Zn (3 класс опасности) по всем пробам равна ПДК_{рх} [Нормативы..., 2011].

В июле 2013 и 2014 гг. полевыми методами был проведен анализ талой воды, стекающей с полигонов «Северный» и «Южный» (Табл. 4.5). Отмечено превышения ПДК_{рх} по железу общему (за оба года) до 3 раз; по нитрит-аниону (за 2014 г.) и по сульфат-аниону (за 2014 г.), более чем в 2 раза.

Таблица 4.5. Содержание катионов и анионов в пробах талой воды и ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/л*.

Дата отбора Полигон	10.07.2013		24.07.2014		ПДК
	«Северный»	«Южный»	«Северный»	«Южный»	
NH ₄ ⁺ , мг/л	-	-	-	-	0.5
Fe ²⁺ +Fe ³⁺ , мг/л	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1
F ⁻ , мг/л	0.5	0.1	-	-	0.75
NO ₂ ⁻ , мг/л	0.02	0.02	0.02	0.1	0.08
NO ₃ ⁻ , мг/л	-	-	5	10	40
SO ₄ ²⁻ , мг/л	69.12	53.76	192	230.4	100

- не обнаружен.

*Анализ проб проведен сотрудниками СФ ДВГИ ДВО РАН с помощью полевой комплектной лаборатории для определений показателей качества воды «НКВ» (производитель ЗАО «Крисмас+») (методами анализа на основе ГОСТ 24902, ГОСТ 18309 и др.).

Полученные данные о концентрациях загрязняющих веществ дают основание говорить о снежном отвале как о производственном объекте, в результате деятельности которого образуются загрязняющие вещества в превышающих ПДК концентрациях.

В июне и августе 2018 г. были отобраны пробы талых вод стекающих с территории снежных полигонов (Приложение 1,2).

Химических анализ проб осуществлялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометрах iCAP 7600Duo (Thermo Scientific, США), Agilent 7700 (Agilent Techn., США) было измерено содержание химических элементов в талых водах, стекающих со снежных полигонов.



Рисунок 4.7: Схема расположения точек отбора проб талой воды, стекающей с полигона «Северный».

Измерение содержания концентрации загрязняющих веществ оценивалась по мере удаления от снежных полигонов.

В точках отбора проб определялись и гидрологические характеристик водоотводящей канавы. Скорость течения в точках отбора 1, 2, 3, 4, 5 составила 0,375, 0,334, 0,102, 0,154, 0,211 м/с соответственно. Расход воды составил 0,064 м³/сек или 64 л/сек (без учета коэффициента шероховатости). Объем стока за сутки составил 5530 м³.

Дно в точках отбора 1 и 2 каменистое. В точке отбора 3, где скорость течения резко замедлилось, дна сильно заилено. Мощность ила составляет до 30 см.

Для определения динамики гидрологических характеристик в водоотводящей канаве был заложен гидрологический створ с фотолушкой фиксирующей динамику подъема уровня воды.

Анализ основных макрокомпонентов показал, что в талых водах снежных полигонов соотношение основных анионов и катионов, которые характерны для природных вод ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ и $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}$ (Рис. 4.8) [Никаноров, 2001] – нарушены.

Установлено что доля ионов Cl^- значительно превышает долю SO_4^{2-} , а наибольшая доля среди всех катионов приходится на ионы Na^+ .

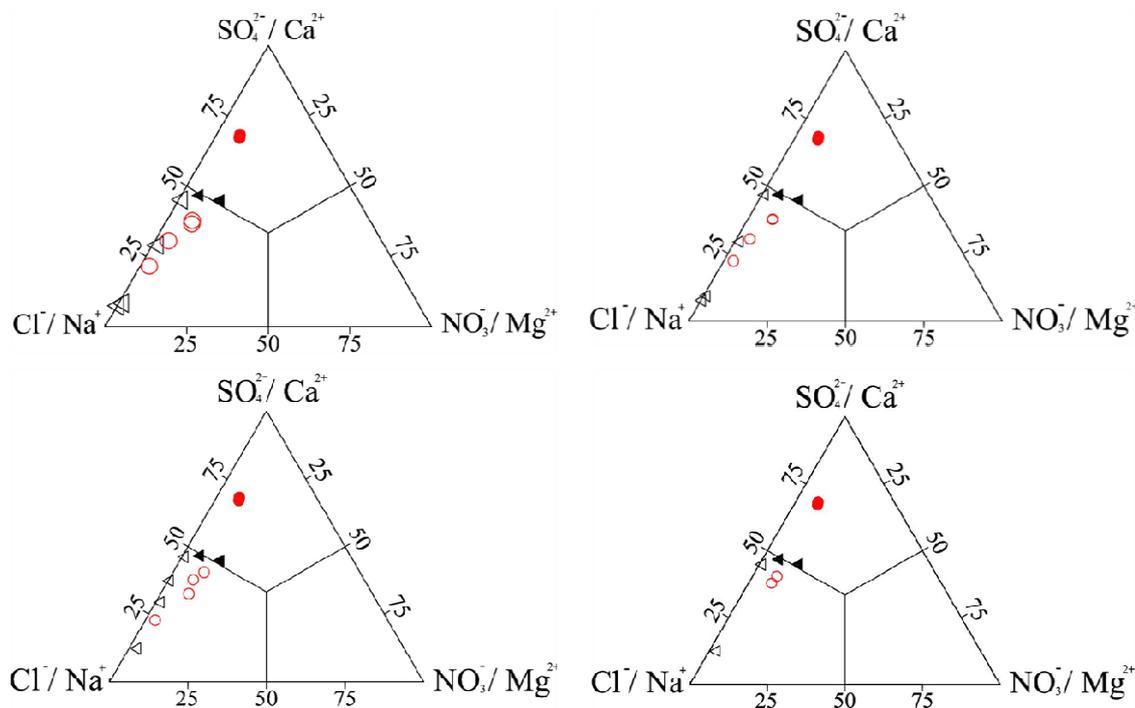


Рисунок 4.8: Соотношение содержания основных катионов и анионов в пробах талых вод снежного полигона «Северный».

Данное распределение основных ионов говорит о значительном влиянии применяемых в городской черте противогололедных реагентов.

Концентрации гидрокарбонатов в точках отбора проб (Рис. 4.9) значительно превышают фоновые показатели и значительно повышают щелочность талых вод.

Анализ микрокомпонентов на основе отбора проб, произведенного 05.06.2018 г. на полигоне «Северный», показал превышение содержания загрязняющих веществ над фоновыми показателями: В в 270 раз, V в 317 раз, As в 133 раза, U в 202 раза.

В пробах отобранных 30.08.2018 г. превышение содержания загрязняющих веществ над фоновыми показателями составило: В в 35 раз, V в 3 раза, As в 6 раз, U в 19 раз. Т.е. основное поступление вышеуказанных загрязняющих веществ в окружающую среду наблюдалось в начале периода активного стаивания снежного полигона.

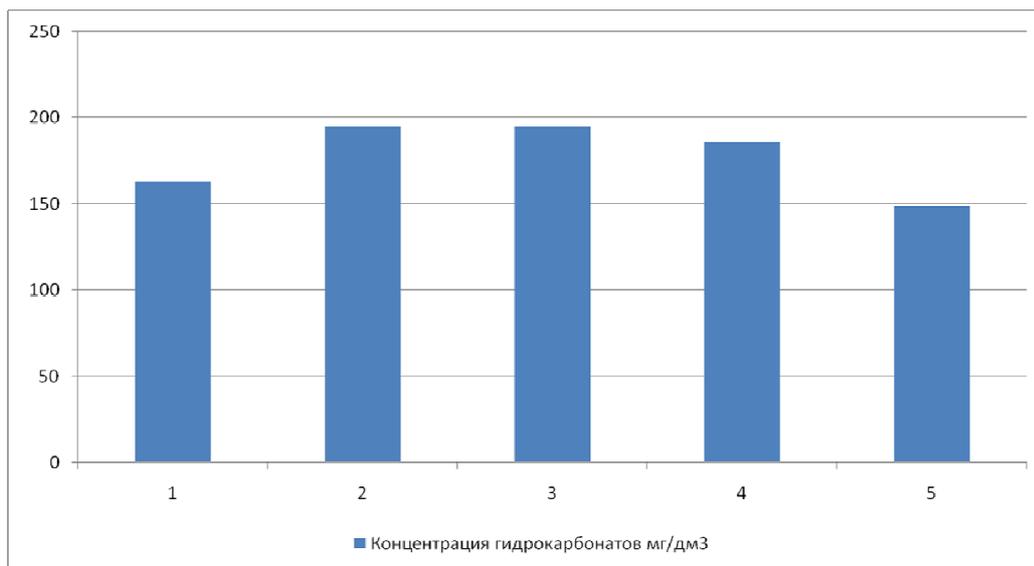


Рисунок 4.9: Содержание гидрокарбонатов в пробах талых вод снежного полигона «Северный».

Вместе с тем превышение содержания загрязняющих веществ над фоном в пробах от 05.06.2018 г. по Fe и Mn составило 3 и 1,12 раза соответственно, в то время как данное превышение в пробах от 30.08.2018 г. составило уже 13 и 21 раз. Таким образом, более активно Fe и Mn поступали в окружающую среду с талыми водами к концу летнего периода.

Анализ разницы в концентрациях загрязняющих веществ в талой воде в августе от значений июня на полигоне «Северный» (Табл. 4.6) показал, что по большинству загрязняющих веществ произошло снижение концентрации в талых водах. Аналогичная динамика установлена и для снежных полигонов южной Канады [Droste R. L., 1993]. Однако, концентрации некоторых загрязняющих веществ значительно увеличились. В частности, концентрация Fe возросла в 17 раз в месте стаивания снежного полигона.

Также отмечается значительное увеличение концентрации загрязняющих веществ в точке отбора 3. Здесь происходит резкое снижение скорости течения водоотводящей канавы и осаждение взвешенных частиц. Мощный иловый слой обеспечивает вторичное загрязнение вод.

Таблица 4.6. Разница в концентрациях загрязняющих веществ в талой воде в августе от значений июня на полигоне «Северный».

Элемент	Разница концентраций по точкам отбора проб					
	1	2	3	4	5	фон
7 Li	уменьшилась в 9,3 раз	уменьшилась в 6,8 раз	уменьшилась в 4,4 раз	уменьшилась в 4,2 раз	уменьшилась в 8,5 раз	увеличилась в 1,2 раз
9 Be	уменьшилась в 3,0 раз	уменьшилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 2,0 раз	увеличилась в 1,2 раз
11 B	уменьшилась в 10,1 раз	уменьшилась в 7,5 раз	уменьшилась в 2,8 раз	уменьшилась в 2,5 раз	уменьшилась в 13,7 раз	увеличилась в 1,5 раз
27 Al	увеличилась в 1,0 раз	увеличилась в 1,1 раз	уменьшилась в 2,4 раз	уменьшилась в 3,4 раз	увеличилась в 4,5 раз	увеличилась в 1,0 раз
45 Sc	уменьшилась в 2,1 раз	уменьшилась в 1,9 раз	уменьшилась в 1,5 раз	уменьшилась в 1,8 раз	увеличилась в 1,0 раз	уменьшилась в 1,1 раз
51 V	уменьшилась в 124,8 раз	уменьшилась в 86,7 раз	уменьшилась в 152,8 раз	уменьшилась в 135,6 раз	уменьшилась в 63,8 раз	уменьшилась в 1,2 раз
52 Cr	уменьшилась в 2,3 раз	уменьшилась в 2,4 раз	уменьшилась в 2,8 раз	уменьшилась в 2,8 раз	уменьшилась в 1,7 раз	увеличилась в 2,1 раз
55 Mn	уменьшилась в 1,1 раз	уменьшилась в 1,3 раз	увеличилась в 21,1 раз	увеличилась в 38,0 раз	увеличилась в 76,6 раз	увеличилась в 1,2 раз
56 Fe	увеличилась в 5,3 раз	увеличилась в 7,3 раз	увеличилась в 16,6 раз	увеличилась в 17,8 раз	увеличилась в 7,2 раз	увеличилась в 2,6 раз
59 Co	уменьшилась в 7,3 раз	уменьшилась в 4,9 раз	уменьшилась в 2,5 раз	уменьшилась в 2,1 раз	уменьшилась в 2,3 раз	увеличилась в 1,2 раз
66 Zn	увеличилась в 1,3 раз	увеличилась в 2,8 раз	уменьшилась в 1,0 раз	увеличилась в 1,4 раз	увеличилась в 4,9 раз	увеличилась в 1,0 раз
71 Ga	уменьшилась в 16,9 раз	уменьшилась в 9,9 раз	уменьшилась в 21,2 раз	уменьшилась в 14,6 раз	уменьшилась в 4,3 раз	увеличилась в 1,1 раз
75 As	уменьшилась в 23,9 раз	уменьшилась в 17,9 раз	уменьшилась в 19,9 раз	уменьшилась в 22,8 раз	уменьшилась в 23,0 раз	увеличилась в 1,1 раз
78 Se	уменьшилась в 51,1 раз	уменьшилась в 29,8 раз	уменьшилась в 19,8 раз	уменьшилась в 35,7 раз	уменьшилась в 113,4 раз	уменьшилась в 1,2 раз
85 Rb	уменьшилась в 1,9 раз	уменьшилась в 1,6 раз	уменьшилась в 2,1 раз	уменьшилась в 2,0 раз	уменьшилась в 2,3 раз	увеличилась в 1,1 раз
89 Y	уменьшилась в 2,2 раз	уменьшилась в 1,2 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,2 раз	увеличилась в 1,8 раз	уменьшилась в 1,1 раз
107 Ag	уменьшилась в 4,2 раз	уменьшилась в 2,5 раз	уменьшилась в 1,4 раз	уменьшилась в 2,1 раз	уменьшилась в 1,0 раз	уменьшилась в 3,6 раз
111 Cd	уменьшилась в 4,5 раз	уменьшилась в 3,5 раз	уменьшилась в 4,7 раз	уменьшилась в 2,3 раз	уменьшилась в 4,2 раз	увеличилась в 1,6 раз
133 Cs	уменьшилась в 2,7 раз	уменьшилась в 1,7 раз	уменьшилась в 6,7 раз	уменьшилась в 6,4 раз	уменьшилась в 1,6 раз	уменьшилась в 1,0 раз
137 Ba	уменьшилась в 1,7 раз	уменьшилась в 1,3 раз	уменьшилась в 1,0 раз	увеличилась в 1,1 раз	уменьшилась в 1,2 раз	увеличилась в 1,3 раз
139 La	увеличилась в 1,3 раз	увеличилась в 3,1 раз	увеличилась в 2,3 раз	увеличилась в 2,7 раз	увеличилась в 12,2 раз	уменьшилась в 1,4 раз
140 Ce	увеличилась в 1,2 раз	увеличилась в 4,6 раз	увеличилась в 2,7 раз	увеличилась в 3,3 раз	увеличилась в 18,3 раз	уменьшилась в 2,0 раз
141 Pr	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 2,7 раз	увеличилась в 1,6 раз	увеличилась в 2,0 раз	увеличилась в 7,8 раз	уменьшилась в 1,5 раз
147 Sm	уменьшилась в 2,0 раз	уменьшилась в 1,3 раз	уменьшилась в 1,3 раз	уменьшилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,9 раз	уменьшилась в 1,0 раз
151 Eu	уменьшилась в 2,4 раз	уменьшилась в 1,5 раз	уменьшилась в 1,2 раз	уменьшилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,1 раз	уменьшилась в 1,0 раз

Продолжение таблицы 4.6.

	1	2	3	4	5	фон
157 Gd	уменьшилась в 2,5 раз	уменьшилась в 1,5 раз	уменьшилась в 1,3 раз	уменьшилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,4 раз	уменьшилась в 1,2 раз
159 Tb	уменьшилась в 2,2 раз	уменьшилась в 1,6 раз	уменьшилась в 1,2 раз	уменьшилась в 1,0 раз	увеличилась в 1,4 раз	уменьшилась в 1,1 раз
163 Dy	уменьшилась в 2,3 раз	уменьшилась в 1,5 раз	уменьшилась в 1,2 раз	уменьшилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,3 раз	уменьшилась в 1,1 раз
165 Ho	уменьшилась в 2,3 раз	уменьшилась в 1,6 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,3 раз	увеличилась в 1,2 раз	увеличилась в 1,0 раз
166 Er	уменьшилась в 2,5 раз	уменьшилась в 1,7 раз	увеличилась в 1,4 раз	увеличилась в 1,5 раз	уменьшилась в 1,2 раз	уменьшилась в 1,1 раз
169 Tm	уменьшилась в 2,6 раз	уменьшилась в 2,1 раз	увеличилась в 1,4 раз	увеличилась в 1,5 раз	уменьшилась в 2,0 раз	увеличилась в 1,0 раз
172 Yb	уменьшилась в 3,3 раз	уменьшилась в 2,5 раз	увеличилась в 1,3 раз	увеличилась в 1,3 раз	уменьшилась в 3,2 раз	увеличилась в 1,1 раз
175 Lu	уменьшилась в 3,8 раз	уменьшилась в 3,0 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 1,3 раз	уменьшилась в 5,2 раз	увеличилась в 1,1 раз
178 Hf	увеличилась в 2,0 раз	увеличилась в 1,1 раз	увеличилась в 12,0 раз	увеличилась в 2,2 раз	увеличилась в 5,4 раз	увеличилась в 1,0 раз
205 Tl	уменьшилась в 8,2 раз	уменьшилась в 3,3 раз	уменьшилась в 4,0 раз	уменьшилась в 2,0 раз	уменьшилась в 2,2 раз	увеличилась в 2,1 раз
208 Pb	увеличилась в 3,1 раз	увеличилась в 2,4 раз	увеличилась в 7,4 раз	увеличилась в 8,2 раз	увеличилась в 6,4 раз	увеличилась в 6,3 раз
232 Th	увеличилась в 1,7 раз	увеличилась в 6,5 раз	увеличилась в 1,4 раз	увеличилась в 2,4 раз	увеличилась в 5,0 раз	увеличилась в 1,3 раз
238 U	уменьшилась в 12,6 раз	уменьшилась в 10,2 раз	уменьшилась в 6,5 раз	уменьшилась в 5,7 раз	уменьшилась в 5,6 раз	увеличилась в 1,4 раз

* уменьшилась увеличилась

Фоновые показатели по большинству загрязняющих веществ увеличились в связи с тем, что основное питание рек к августу дождевое и значительное количество химических элементов вымывается из грунта.

Анализ проб талой воды со снежных полигонов проведенные в 2018,2019 гг. показал, что основными загрязнителями, поступающими в окружающую среду от полигонов, являются составляющие противогололедных реагентов, а именно ионы Na^+ и Cl^- .

Средняя концентрация в талых водах с полигона «Северный» ионов Cl^- в мае 2018 г. составила 172 мг/л, что в 49 раз превысило фоновые показатели, к концу периода снеготаяния концентрация Cl^- составила 52 мг/л, превышая фон в 15 раз. Аналогичная ситуация с динамикой концентрации ионов Na^+ . В мае концентрация Na^+ составила 140 мг/л, превышая фон в 47 раз, к концу августа

концентрация Na^+ составила 41 мг/л превышая фон в 11 раз. Соотношение ионов Na^+ и Cl^- по мере стаивания полигона серьезно не изменилось.

Противоположная картина наблюдалась на полигоне «Южный» из-за большой площади размещения полигон стаивал более интенсивно, в мае концентрации ионов Cl^- и Na^+ составили 52 и 34 мг/л, а в августе 82 и 49 мг/л соответственно.

Таблица 4.7. Средние концентрации тяжелых металлов в талых водах снежных полигонов и ПДК.

Элемент	Средняя концентрация, мг/л				ПДК
	2018		2019		
	Полигон «Северный»	Полигон «Южный»	Полигон «Северный»	Полигон «Южный»	
Cr	1,03	0,36	1,11	0,80	0,50
Mn	46,28	70,30	239,16	299,96	0,10
Fe	106,34	263,47	34,82	127,66	0,30
Co	0,25	0,32	0,22	0,37	0,10
Ni	1,22	1,12	3,48	2,28	0,10
Cu	2,53	1,48	4,16	3,08	1,00
Zn	1,57	2,72	3,36	2,33	1,00
Pb	0,25	0,24	0,14	0,25	0,03

В 2019 году из-за малых объемов полигонов концентрация Cl^- и Na^+ в течение периода стаивания полигона значительно не изменялись и составили 66/69 мг/л и 43/43 мг/л соответственно.

В пробах талых вод установлено содержание тяжелых металлов в концентрациях превышающих ПДК (Табл. 4.7).

Наибольшие превышения обнаружены по Fe и Mn. Увеличение концентраций некоторых металлов в 2019 г по сравнению с 2018 объясняется меньшим объемом стока.

Выводы по главе 4

Показано, что максимальная величина взвешенных веществ в снежном покрове на территории г. Южно-Сахалинска относится к низкой степени загрязнения (от 0 до 250 мг/сут.), а концентрации загрязняющих веществ в ненарушенном снежном покрове не превышают ПДК.

Однако в талых водах со снежных полигонов г. Южно-Сахалинска, обнаружены превышения ПДК_{рх} по ряду загрязняющих веществ. Источником поступления снега на полигонах является снежный покров, сформированный снегопадами, прошедшими над урбанизированной территорией, и вывозимый коммунальными службами в процессе ее расчистки; дополнительно снег, размещаемый на полигонах, снегоплавильными реагентами не обрабатывается. Это позволяет сделать вывод о том, что в процессе складирования снега на полигонах происходит увеличение концентрации загрязняющих веществ в единице объема.

Разные загрязняющие вещества выносятся талыми водами с полигонов в различное время. На концентрацию химических элементов в талых водах влияет продолжительность стаивания, удаленность точки отбора проб от снежного полигона.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СНЕЖНЫМИ ПОЛИГОНАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОЧВО-ГРУНТОВ

Снежные массы, складированные на снежных полигонах, при своем таянии оказывают значительное влияние на компоненты окружающей среды. В частности, загрязняющие вещества, депонированные в снежных полигонах, поступают в почву и грунты.

Для оценки изменения химического состава грунтов основания полигонов проведены отборы проб.

На первом этапе в 2013 г. были отобраны четыре пробы грунтов полигона «Южный» для определения параметров гранулометрического состава, показателей физического состояния грунтов, а так же для определения химического и микроэлементного состава. Две пробы были отобраны в одном шурфе из верхнего почвенно-растительного слоя (0 – 10 см) и из последующего слоя (10 – 30 см), одна объединенная проба, состоящая из сухого остатка, сформировавшегося после стаивания снега на полигоне, с основания снежного полигона и фоновая проба вне пределов складирования снега. Аналитические работы выполнены в ЦКП ИЗК СО РАН «Геодинамика и геохронология», г. Иркутск [Лобкина и др., 2016]. На полигоне в «Северный» отбор проб не производился.

Также определен гранулометрический состав проб, показатели физического состояния грунтов, их химический и микроэлементный состав.

При обработке данных о параметрах микроструктуры и химическом (породообразующем) составе отложений полигона использовалась программа кластерного анализа Q – типа. Группирование образцов грунтов по их

микроструктуре (Рис. 5.1) показал, что показатели свойств грунта характерны для всей площади полигона и представляют естественные грунты для данной территории.

Кластер Q

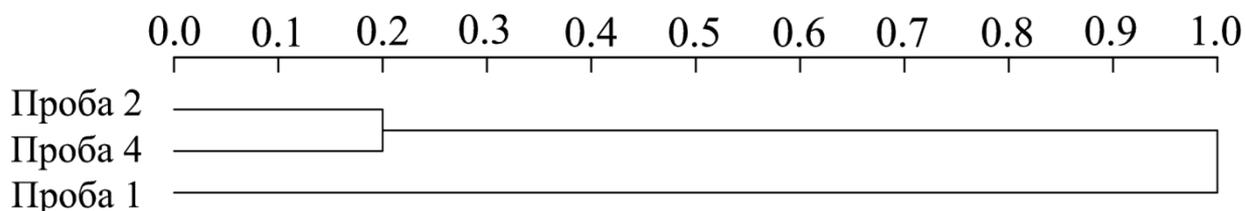


Рисунок 5.1: Группирование грунтов по параметрам микроструктуры.

Полученные данные по микроэлементному составу сравнивались с ОДК/ПДК для почв. По Ni и As обнаружено превышение по всем пробам (Ni – до 2,4 раз; As – до 4,8 раз). Установлено превышение по V, Cu, Zn. Превышений по Pb не отмечено (Рис. 5.2). Норма ОДК взята по самому жесткому варианту для наименее устойчивых почв (ГН 2.1.7.2511–09, 2009; СанПиН 42–128–4433–87, 2011).

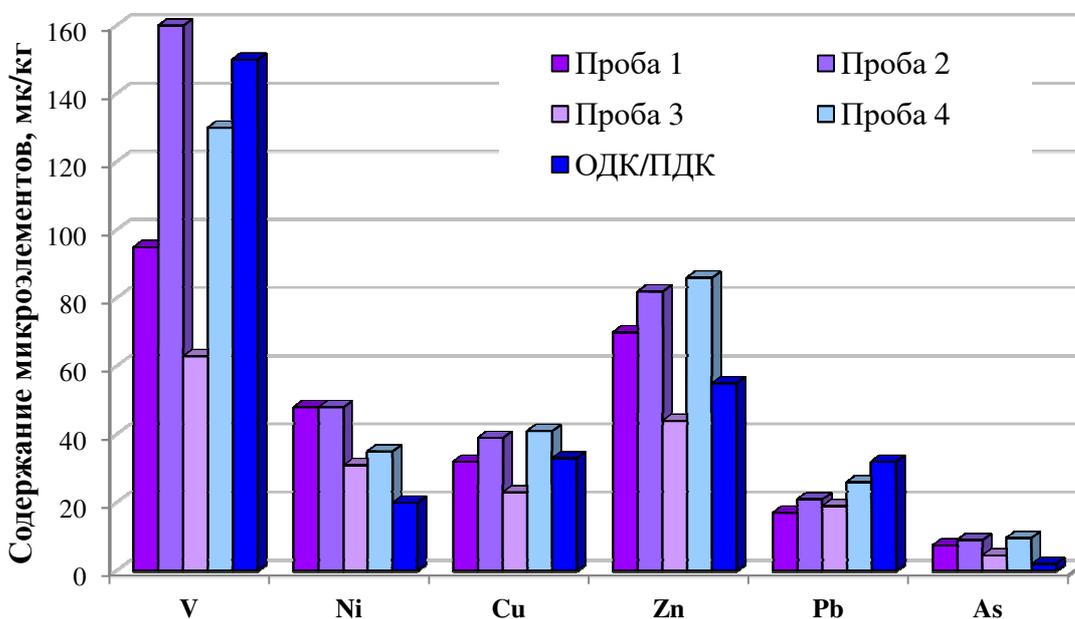


Рисунок 5.2: Сравнение содержаний микроэлементов в грунтах полигона с ПДК/ОДК. Анализы выполнены в ЦКП ИЗК СО РАН (методом рентгенофлуоресцентного анализа).

В 2016 г. произведен отбор семнадцать образцов грунта для определения концентрации загрязняющих веществ. На полигоне «Северный» – 5 проб, на

полигоне «Южный» отобрано – 11 проб, а также фоновая проба. 15 проб, включая фоновую, отобраны с верхнего почвенного горизонта, под растительным слоем, на глубине 5 – 15 см, 2 объединенные пробы с основания снежных полигонов. Отбор проб выполнен по [ГОСТ Р 53123-2008, 2017]. Лабораторные испытания проведены ФГБУ ГЦАС «Сахалинский», г. Южно-Сахалинск.

На полигоне «Северный» пробы отбирались вдоль канавы, отводящей воду с полигона. Отобрать пробы по периметру нет возможности, т.к. полигон ограничен объектами инфраструктуры. Канавы, вдоль которой отбирались пробы, была нарезана в 2013 г. чтобы уменьшить заболачивание территории. Основной объем талой воды собирается в северной части полигона и стекает по отводящей канаве, что дает основания считать, что это основной путь миграции загрязняющих веществ с поверхностным стоком. Так же была отобрана объединенная проба грунта (проба 1) с основания полигона.

Пробы на полигоне «Южный» отбирались по его периметру (пробы с 1 по 10), на равных расстояниях между точками, проба 11 объединенная проба грунта с поверхности основания полигона.

Результаты анализов показали (Рис. 5.3), что:

1. Концентрация Cl^- на полигоне «Северный» выше фоновой концентрации по всем пробам, максимально до 3 раз; на полигоне «Южный» выше в 6 пробах из 11, максимально до 1,8 раз;

2. Концентрация SO_4^{2-} на полигоне «Северный» выше фона в 4 из 5 проб, до 5,5 раз; на полигоне «Южный» в 5 из 11 проб до 1,5 раз;

3. Концентрация Na^+ на полигоне «Северный» выше фоновой концентрации по всем пробам, максимально до 11 раз; на полигоне «Южный» выше в 10 пробах из 11, максимально до 5,6 раз;

4. Концентрация Ca^{2+} на полигоне «Северный» выше фона в 4 из 5 проб, до 3,6 раз; на полигоне «Южный» в 10 из 11 проб до 3,6 раз.

Сравнение проб грунта с поверхности основания полигонов «Северный» и «Южный» показывает, что концентрация Cl^- на обоих полигонах одинакова; концентрация Ca^{2+} выше на полигоне 1 на 27 %; концентрация SO_4^{2-} и Na^+ на

полигоне «Южном» выше, чем на полигоне «Северном» на 21 и 46%; соответственно. Концентрация элементов на обоих полигонах выше фоновых показателей по всем пробам.

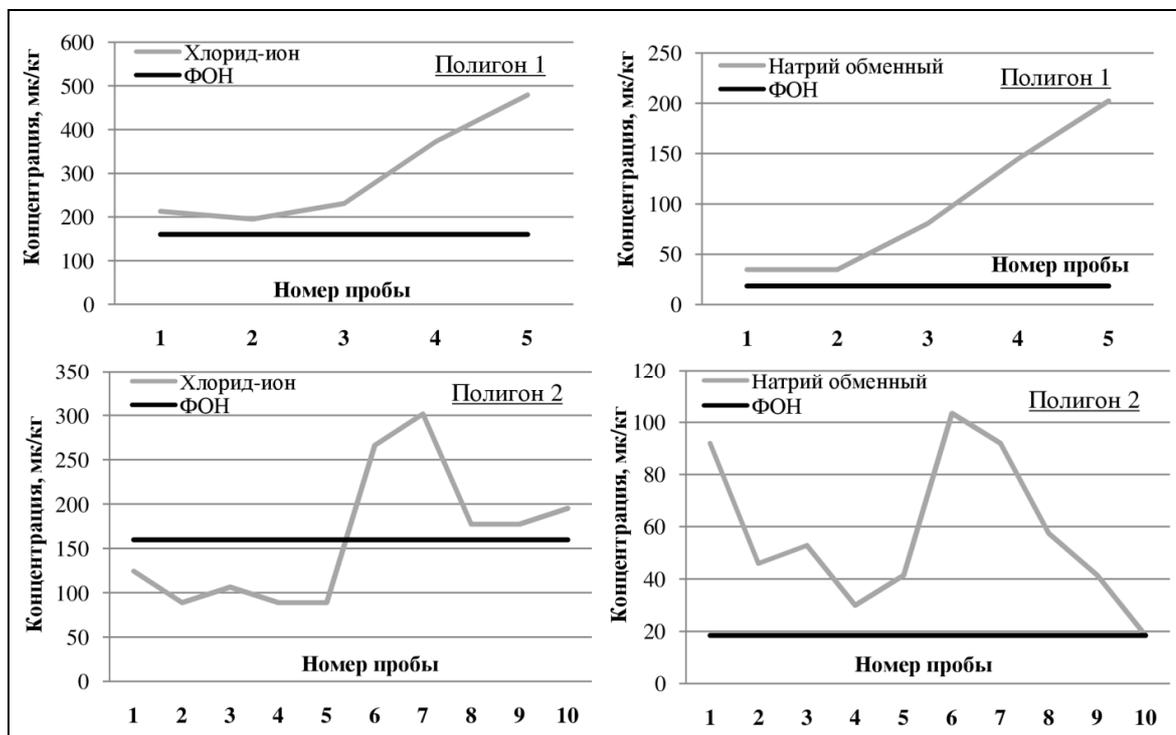


Рисунок 5.3: Концентрации веществ, обнаруженные в грунтах снежных полигонов, 2016 г.

Так же, был проведен анализ трех проб на тяжелые металлы (Pb, Zn, Ni). Две пробы были отобраны с поверхности площадки складирования снега и одна фоновая проба, за пределами городской застройки (Табл. 5.1).

Таблица 5.1. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в пробах в сравнении с фоном и ОДК [ГН 2.1.7.2511–09, 2009], 2016 г.

	Полигон «Северный»	Полигон «Южный»	Фон	ОДК
Pb	19.8	26.4	21.6	32
Zn	84	96	36	55
Ni	30.4	27	9.6	20

Сравнив полученный результат с фоном и ОДК [ГН 2.1.7.2511–09, 2009] получаем превышение ОДК и фона по Zn и Ni на обоих полигонах, и превышение фонового значения по Pb на полигоне «Южный» (Табл. 5.1).

Показатель уровня кислотности (рН) водной вытяжки по отобраным пробам на полигоне 1 изменяется от 5,77 до 7,26; на полигоне 2 от 5,88 до 8,16. Фоновый рН равняется 5,25. В объединенной пробе с поверхности основания полигона «Северный» значение рН составляет 6,53, в пробе с полигона «Южный» – 8,12.

Отбор проб и анализ грунтов с поверхности снежных полигонов, выполненный в 2018 г. показал превышение ОДК по Ni (до 3,5 раз), Cu (до 4 раз), Zn (до 5,2 раз) во всех пробах. Превышение по Pb (до 1,8 раз) обнаружено в двух пробах на обоих полигонах отобранных в июне, по As (до 1,7 раз) в одной пробе на полигоне «Северный» за август и в обеих пробах на полигоне «Южный» (табл. 1). Норма ОДК взята по [ГН 2.1.7.2511–09, 2018; СанПиН 42–128–4433–87, 2018]. Превышение ОДК по V не отмечено, однако во всех пробах содержание V выше фона. Наблюдается (Табл. 5.2) уменьшение концентраций Ni, Cu, Zn, Pb в августе по сравнению с июнем, что объясняется миграцией элементов в более глубокие почвенные горизонты с талыми и дождевыми водами.

Таблица 5.2. Содержание микроэлементов (мг/кг) в пробах с поверхности снежных полигонов, 2018 г.

Значение	Ni	Cu	Zn	Pb	As	V
Июнь, 2018						
Полигон «Северный»	51,99	131,6	283,4	57,95	1,9	134,04
Полигон «Южный»	62,63	86,07	251,0	33,43	2,11	132,18
Август, 2018						
Полигон «Северный»	42,45	58,41	179,0	24,24	3,42	100,24
Полигон «Южный»	69,02	61,72	183,1	29,11	3,02	140,48
<i>Фон</i>	24,91	48,71	52,72	15,17	1,7	85,93
<i>ОДК</i>	20	33	55	32	2,0	150

Основной характеристикой геохимической антропогенной нагрузки, оказываемой на территорию, является ее интенсивность, которая определяется степенью накопления элемента-загрязнителя по сравнению с фоновым значением. Показателем уровня аномальности содержания элементов является коэффициент

концентрации (KK) [Ревич и др., 1982; Сает и др., 1990], который рассчитывается как отношение содержания элемента в среде (C) к его фоновому содержанию (C_{ϕ}) [МУ 2.1.7.730-99, 2018]:

$$KK = C/C_{\phi},$$

Поскольку антропогенные аномалии чаще всего имеют полиэлементный состав [Филимонова и др., 2015; Просекин, Филимонова, 2017], для них рассчитывается суммарный показатель загрязнения (Z_c), характеризующий эффект воздействия группы элементов [СанПиН 4266-87, 2018]:

$$Z_c = \sum KK - (n - 1),$$

где n – число учитываемых элементов с $KK > 1$.

Проведён расчет Z_c по 4 элементам загрязнителям, анализируемым по второму этапу работ, для всех проб, кроме проб, отобранных с основания полигона и фоновой пробы. В табл. 5.3 представлены полученные показатели (в порядке убывания). Получившийся ряд характеризует аномальность содержания химических элементов, т.е. чем выше значение Z_c , тем больше загрязнение в точке отбора пробы. Этот показатель позволяет судить о направлении миграции элементов. По полигону «Северный» получено подтверждение выдвинутого предположения, что основным направлением миграции загрязнителей является маршрут вдоль отводящей канавы.

Таблица 5.3. Значение суммарного показателя загрязнения (Z_c) для снежных полигонов «Северный» и «Южный».

Полигон «Северный»									
№ пробы	14		15		16				13
Z_c	20.0		14.8		12.4				2.1
Полигон «Южный»									
№ пробы	6	7	1	8	10	2	3	9	5
Z_c	8.9	7.6	5.3	4.9	4.2	3.7	3.3	2.8	2.7

Согласно полученным данным, показатель загрязнения (Z_c) уменьшается от тела полигона к кювету автодороги, куда сбрасывается талая вода. Максимальные значения Z_c рассчитаны для пробы 14 ($Z_c = 20,0$), место отбора которой

расположено в начале канавы, в пробе 16, в 160 м от полигона, $Z_c = 12,4$ (Рис. 5.4). Проследить изменение показателя загрязнения далее не представляется возможным из-за автодороги и застройки территории, расположенной за ней.

На полигоне «Южный» основным путем миграции загрязняющих веществ является направление на точки 6 и 7 (Рис. 5.5), совпадающее с общим наклоном местности. Максимальное значение показателя загрязнения (Z_c) зафиксировано в пробе 6 ($Z_c = 8,9$).



Рисунок 5.4: Схема мест отбора проб на полигоне «Северный», 2016 г.

Для пробы 4 нельзя было рассчитать Z_c , т.к. превышение фоновых характеристик было обнаружено только по Na^+ , в пробе 5 зафиксировано минимальное значение для полигона «Северный» ($Z_c = 2,7$). Возможной причиной полученных для пробы 4 и 5 результатов является близость места отбора проб к безымянному ручью, воды которого могут вымывать часть загрязнения из почвы.

Результаты анализа грунтов подтверждают вывод о том, что снежные полигоны представляют собой опасные для городской среды объекты, в результате функционирования которых накапливаются загрязняющие вещества.



Рисунок 5.5: Схема мест отбора проб на полигоне «Южный», 2016 г.

Для оценки величины вреда причиненного почвам в результате загрязнения тяжелыми металлами был произведен расчет размера вреда. Обнаружено загрязнение почвы по следующим элементам (концентрация на дневной поверхности полигона/фоновая концентрация), мк/кг: Zn (полигон «Северный») – 84/36, Zn (полигон «Южный») – 96/36, Ni (полигон «Северный») – 30,4/9,6, Ni (полигон «Южный») – 27/9,6.

Размер вреда причиняемого почвам был определен согласно методике исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (утв. Приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238) предназначенной для исчисления в стоимостной форме размера вреда, нанесенного почвам, по формуле:

$$УЩ_{\text{загр}} = СХВ * S * K_r * K_{\text{исх}} * T_x$$

где:

$УЩ_{\text{загр}}$ – размер вреда (руб.);

CXB – степень химического загрязнения;

S – площадь загрязненного участка (m^2);

K_r – показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв;

$K_{исх}$ – показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок;

T_x – такса для исчисления размера вреда.

Степень химического загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i -го химического вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв.

Соотношение (C) фактического содержания i -го химического вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв рассчитывалось по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n X_i / X_n$$

где:

X_i – фактическое содержание i -го химического вещества в почве (мг/кг);

X_n – норматив качества окружающей среды для почв (мг/кг).

Так как на территории Сахалинской области, на настоящий момент, отсутствуют утвержденные нормативы окружающей среды для почв в качестве значения X_n применяется значение концентрации этого химического вещества на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от источника антропогенного воздействия.

$$C_{\text{полигон «Северный»}} = (84/36) + (30,4/9,6) = 5,5$$

$$C_{\text{полигон «Южный»}} = (96/36) + (27/9,6) = 5,5$$

При значении (C) менее 5 CXB принимается равным 1,5; при значении (C) в интервале от 5 до 10 CXB принимается равным 2,0; при значении (C) в интервале от более 10 до 20 CXB принимается равным 3,0; при значении (C) в интервале от более 20 до 30 CXB принимается равным 4,0; при значении (C) в интервале от

более 30 до 50 CXB принимается равным 5,0; при значении (С) более 50 CXB принимается равным 6,0.

$$CXB = 2.$$

Максимальная площадь зоны воздействия снежного полигона Северный составила 80 тыс. м²., полигона Южный – 500 тыс. м² Именно на данной площади происходит миграция загрязняющих веществ из тела полигона в почву.

Показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв (K_r) рассчитывается в соответствии с фактической глубиной химического загрязнения или порчи почв.

При глубине химического загрязнения или порчи почв до 20 см (K_r) принимается равным 1; до 50 см (K_r) принимается равным 1,3; до 100 см (K_r) принимается равным 1,5; до 150 см (K_r) принимается равным 1,7; более 150 см. (K_r) принимается равным 2,0.

Пробы были отобраны с глубины 20 см, $K_r = 1$.

Показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения ($K_{исх}$) определяется исходя из категории земель и целевого назначения.

Для земель особо охраняемых территорий ($K_{исх}$) равен 2; для мохово-лишайниковых оленьих и лугово-разнотравных горных пастбищ в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,9; для водоохраных зон в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,8; для сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения ($K_{исх}$) равен 1,6; для облесенных территорий в составе земель всех категорий ($K_{исх}$) равен 1,5; для земель населенных пунктов (за исключением земельных участков, отнесенным к территориальным зонам производственного, специального назначения, инженерных и транспортных инфраструктур, военных объектов) ($K_{исх}$) равен 1,3; для остальных категорий и видов целевого назначения ($K_{исх}$) равен 1,0.

Полигоны расположены на неиспользуемых землях населенных пунктов – $K_{исх} = 1,3$.

Территория занятая полигоном относится к зоне хвойно-широколиственных лесов $T_x = 400$ руб./м².

Таким образом, сумма ущерба составляет:

Для полигона «Северный»: $УЩ_{загр}=2*80000*1*1,3*400=83,2$ млн. руб.

Для полигона «Южный»: $УЩ_{загр}=2*500000*1*1,3*400=520$ млн. руб.

Таким образом, суммарная сумма ущерба причиненного почвам, как объекту охраны окружающей среды, тяжелыми металлами составила 603,2 млн. руб. При этом сумма строительства снегоплавильной установки для нужд г. Южно-Сахалинска оценивается в 600 млн. руб.

Проблему снежных полигонов нельзя рассматривать как сезонную. Наблюдения показывают, что столь мощное природно-антропогенное образование (высота снежных отвалов превышает 25 м.) может не стоять в течение теплого периода, следовательно, сброс загрязняющих веществ происходит не только в период максимального снеготаяния (конец марта – апрель), но и в процессе постепенного таяния в течение всего периода существования данного объекта. Искусственное создание многолетнемерзлых пород, на участках занятых снежными полигонами, приводит к развитию процессов заболачивания, и избыточного обводнения. Растворенные в воде реагенты, от зимней уборки улиц, проникают в грунты и почву, приводя к её засолению.

Выводы по главе 5

Показано, что в результате таяния снега на снежных полигонах происходит просачивание талых вод в почвогрунты. В результате фильтрации неочищенных талых вод с полигонов через почвенные горизонты в них происходит накопление загрязняющих веществ в концентрациях выше фона и ОДК.

Максимальные величины превышения ОДК за все периоды наблюдения составили Ni (до 3,5), As (до 4,8), V (до 1,1), Cu (до 4,0), Zn (до 5,2), Pb (до 1,8).

Обнаружено превышение фоновых концентрации по Cl⁻ (до 3 раз), SO₄²⁻ (до 5,5 раз), Na⁺ (до 11 раз), Ca²⁺ (до 3,6 раз). Высокие концентрации этих анионов и катионов вызваны использованием в пределах городской застройки снегоплавильных реагентов.

Выполненный расчет суммарного показателя загрязнения позволяет судить о направлении миграции элементов. На полигоне «Северный» основным направлением миграции загрязнителей является маршрут вдоль отводящей канавы. На полигоне «Южный» – западное направление, совпадающее с общим наклоном местности.

Расчетная сумма ущерба, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, при эксплуатации снежных полигонов в г. Южно-Сахалинск тяжелыми металлами (Zn, Ni) составила 603,2 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования установлено, что:

1. На территории о. Сахалин функционирует 13 снежных полигонов. Наиболее крупные полигоны расположены в г. Южно-Сахалинске. Дистанционными методами определены морфометрические характеристики снежных полигонов г. Южно-Сахалинска и объем складированной снежно-ледовой массы. Максимальный суммарный объем за период наблюдений с 2010 по 2020 гг. зарегистрирован в марте 2018 г. и составил 3 008,6 тыс. м³, при среднем значении 2 000 тыс. м³.

2. Доказано существование антропогенного снежника-перелетка в абсолютных высотах до 50 абс.м в условиях южного Сахалина. В периоды 2010–2013, 2014–2016, 2017–20 гг. снежные полигоны, расположенные на территории г. Южно-Сахалинск, не стаивали полностью за теплый период года.

Построены картосхемы тепловых полей и определена ведущая роль мусорного слоя в сохранении ледяного ядра снежных полигонов.

3. Установлены концентрации загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от снежных полигонов. Показано загрязнение компонентов окружающей среды талыми водами в величинах, превышающих фоновые показатели ПДК_{рх} и ОДК для почв.

Средняя концентрация ионов Cl^- в талых водах с полигонов составила 112 мг/л, что в 32 раза превысило фоновые показатели. Средняя концентрация Na^+ составила 90,5 мг/л, что превысило фон в 29 раз.

Установлены значительные превышения ПДК_{рх} по тяжелым металлам в талых водах снежных полигонов, наибольшие превышения обнаружены по Fe, Mn, Zn, Cu.

Установлено кумулятивное загрязнение почво-грунтов от снежных полигонов. Максимальные величины превышения ОДК обнаружены по Ni, As, V, Cu, Zn, Pb. Обнаружено превышение фоновых концентрации по Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} . Высокие концентрации этих анионов и катионов вызваны использованием в пределах городской застройки снегоплавильных реагентов.

Выполненный расчет суммарного показателя загрязнения позволяет судить о направлении миграции элементов. На полигоне «Северный» основным направлением миграции загрязнителей является маршрут вдоль отводящей канавы. На полигоне «Южный» – западное направление, совпадающее с общим наклоном местности.

Результаты анализа грунтов подтверждают вывод о том, что снежные полигоны представляют собой опасные для городской среды и населения объекты, в результате функционирования которых накапливаются загрязняющие вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров С.М. Остров Сахалин / С.М. Александров. – М.: Наука, – 1973. – 183 с.
2. Атлас Сахалинской области. – М.: ГУГК, – 1967. – 135 с.
3. Баглаева Е.М. Пространственная структура техногенного загрязнения снегового покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов / Баглаева Е. М., А. П. Сергеев, А. Н. Медведев // Геоэкология. инженерная геология. гидрогеология. геокриология, – 2012, –№ 4, – С. 326–335
4. Брюхань Ф.Ф. Эколого-геохимическое состояние территории золотосеребряного месторождения «Клен» (Чукотский автономный округ)/ Брюхань Ф.Ф., Лебедев В.В. // Криосфера Земли, – 2012, –т. XVI, № 4, – С. 10–20
5. Валетдинов А.Р. Экологические проблемы снеговых свалок / Валетдинов А.Р., Валетдинов Р.К., Горшкова А.Т., Иванов Н.В., Мугинова О.Е., Тарасов О.Ю., Шагидуллин Р.Р., Шлычков А.П.,Фридланд С.В. // г. Казань. Безопасность жизнедеятельности. –2005. –№.7. – С. 53– 56.
6. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова. / Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Ф. // Л.: Гидрометеиздат, – 1985. – 185 с.
7. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/
8. Войтковский К.Ф. Новые данные о коэффициенте диффузии водяного пара в снеге / Войтковский К.Ф., Голубев В.Н., Сазонов А.В., Сократов С.А. // М., МГИ, – 1988. – вып. 63. – С. 76-81.
9. Гагарин Л.А. Количественная оценка смещения оползня на участке федеральной автодороги А-360 «Лена» в южной Якутии / Гагарин Л.А., Волгушева Н.Э. // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, – 2018. – С. 48–51.

10. Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР (азиатская часть) / Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. – М.: Мысль, – 1978. – 512 с.
11. Генсиоровский Ю.В. Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере о. Сахалин): Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, – 2011. – 18 с.
12. Генсиоровский Ю.В. Периодичность метелевых зим на о. Сахалин и проблемы снегозаносимости урбанизированных территорий / Генсиоровский Ю.В. // Геориск. – М.: ПНИИС, 2010. – № 4. – С. 32–36.
13. Генсиоровский Ю.В. Ландшафтно-индикационные свойства снежного покрова и расчет максимальных снегозапасов / Генсиоровский Ю.В. // Труды Международной конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов». – Иркутск: ИГ СО РАН, – 2005. – С. 66–68.
14. Генсиоровский Ю.В. Расчет максимальных снегозапасов на основе ландшафтно-индикационных свойств снежного покрова / Генсиоровский Ю.В. // Материалы гляциологических исследований. – М.: ИГ РАН, – 2007. – Вып. 102. – С. 76–79.
15. Генсиоровский Ю.В. Применение методики построения карт ландшафтно-стратиграфических комплексов снежного покрова для малоизученных территорий на ранних стадиях проектирования для оценки снегозаносимости территории (на примере о. Сахалин) / Генсиоровский Ю.В., Древило М.С. // Труды III Международной конференции «Лавины и смежные вопросы» – Кировск: ООО «Апатит-Медиа», – 2007. – С. 128–135.
16. Генсиоровский Ю.В. Недоучет осадков в низкогорье о. Сахалина как причина занижения расчетных параметров сооружений при проектировании и строительстве / Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. // Геориск. – М.: ПНИИС, – 2007. – № 1. – С. 58–60.
17. Генсиоровский Ю.В. Влияние снежных лавин на формирование стока рек Центрального Сахалина / Генсиоровский Ю.В., Кононова Д.А., Иванова О.В.

// Материалы гляциологических исследований. – М.: ИГ РАН, – 2007. – Вып. 102. – С. 177–179.

18. География лавин / под ред. Мягкова С.М., Канаева Л.А. – М.: МГУ, – 1992. – 332 с.

19. География Сахалинской области / под ред. Литенко Н.Л. – Южно-Сахалинск: изд-во «Транспорт», – 1992. – 160 с.

20. Геология СССР, том 33. Остров Сахалин. – М.: Недра, – 1972.– 403 с.

21. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/217651/ (дата обращения: 17.04.18).

22. ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5: 2005). Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200074384> (дата обращения: 09.10.17).

23. Гранник В.М. Геология и геодинамика южной части Охотоморского региона в мезозое и кайнозое // Владивосток. Дальнаука, – 2008. – 297 с

24. Гречачевский И.В. Особенности формирования и распределения максимальных запасов воды в снежном покрове на Сахалине / Гречачевский И.В. // Снег и лавины Сахалина. – Л.: Гидрометеиздат, – 1975. – С. 25–30.

25. Демиденко Г. А. Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова левобережья г. Красноярска / Демиденко Г. А., Владимирова Д. С. // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С. 120–124.

26. Древило М.С. Мониторинг снежного покрова о. Сахалин / Древило М.С., Жируев С.П., Окопный В.И., Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. // Материалы гляциологических исследований. – М.: ИГ РАН, 2000. – Вып.89. – С. 89–94.

27. Дружакина О.П. Экологические аспекты утилизации снежных масс с городских территорий/ Дружакина О.П. // Управление техносферой. – 2019. – Т.2. Вып. 1. – С. 91–105.

28. Ерофеев А.А. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА / Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф. // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, – 2018. – С. 68–73.
29. Земцова А.И. Климат Сахалина. – Л.: Гидрометеиздат, – 1968. – 198 с.
30. Казаков Н.А. Лавинный режим Восточно-Сахалинских гор / Казаков Н.А., Окопный В.И., Жируев С.П., Генсиоровский Ю.В., Аникин В.А.// Материалы гляциологических исследований. – М.: ИГ РАН, 1999. – Вып. 87. – С. 211–215.
31. Климат Южно-Сахалинска. Л.: Гидрометеиздат, – 1982. – 256 с.
32. Кондратьев И.И. О химическом составе атмосферных осадков и снежного покрова в Приморском крае / Кондратьев И.И., Муха Д.Э., Болдескул А.Г., Юрченко С.Г., Луценко Т.Н.// Метеорология и гидрология. – 2017. – № 1-2. – С. 91– 100.
33. Королев В.А. Оценка влияния противогололедных реагентов на городские территории при инженерно-экологических изысканиях / Королев В.А., Горняков А.К. //Инженерные изыскания. – 2018. – Том XII, № 1-2. – С. 66– 78.
34. Кропоткин П.Н., Шахварстова К.А. Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса. М.: Наука, – 1965. – 358 с.
35. Лабузова О. М. Снежный покров городской территории как источник техногенного загрязнения поверхностных вод в период снеготаяния / Лабузова О. М., Носкова Т. В., Лысенко М. С., Овчаренко Е. А., Папина Т. С. // Принципы экологии. – 2016. – № 4. – С. 33–41. DOI: 10.15393/j1.art.2016.5203
36. Лазарева Д.Ф. Климатическая характеристика снегопереноса на Сахалине / Лазарева Д.Ф. // Снег и лавины Сахалина. – Л.: Гидрометеиздат, – 1975. – С. 13–24.
37. Литенко Н. Л. Типы фаций, гидроморфная структура и функционирование ландшафтов Сахалина / Литенко Н. Л.//Вопросы географии и

геоморфологии Советского Дальнего Востока. – Владивосток: ДВУ, – 1992. – С. 17– 26.

38. Лобкина В.А. Снеговые нагрузки и районирование территории острова Сахалин по весу снегового покрова: Автореф. дисс. канд. географических наук. – Хабаровск, – 2013. – 23 с.

39. Лобкина В.А. Ущерб от снеговых нагрузок в Российской Федерации. Причины и последствия / Лобкина В.А. // Геориск. – М.: ПНИИС, – 2012б. – № 1. – С. 50–53.

40. Лобкина В.А. Распределение снеговых нагрузок на территории Сахалинской области / Лобкина В.А. // Материалы молодежного научного симпозиума «Современные научные исследования на Дальнем Востоке». – Южно-Сахалинск: изд-во ИРОСО, – 2012в. – С. 64–67.

41. Лобкина В.А. Проблемы размещения снежных полигонов на урбанизированных территориях (на примере г. Южно-Сахалинска) / Лобкина В.А., Генсиоровский Ю.В. // Вестник ДВО РАН. – Владивосток: изд-во "Дальнаука" ДВО РАН, – 2012. – № 3. – С. 97–102.

42. Лобкина В.А. Геоэкологические проблемы участков занятых снежными полигонами в городах (на примере г. Южно-Сахалинск). / Лобкина В.А., Генсиоровский Ю.В., Ухова Н.Н. // Геоэкология. – 2016. – № 6. – С. 510– 520

43. Лобкина В.А. Методика расчета снегопереноса для малоизученных территорий (о. Сахалин) / Лобкина В.А., Казакова Е.Н., Генсиоровский Ю.В. // Лед и Снег. – М.: Наука, – 2012. – Вып. 3 (119). – С. 58–61.

44. Лобкина В.А. Оценка опыта эксплуатации снежных полигонов в России, альтернативные способы борьбы со снегом / Лобкина В.А., Михалев М.В. // Экология и промышленность России – 2019. – Т. 23. № 1. – С. 60–65.

45. Лобкина В.А. Куда увозят снег? / Лобкина В.А., Музыченко А.А // Природа – 2019. – №3. – С. 39–46

46. Лобкина В.А. Динамика геохимического состояния грунтов в районах размещения снежных полигонов (г. Южно-Сахалинск) / Лобкина В.А.,

Музыченко А.А., Михалев М.В. // Криосфера Земли. – 2019. – Т. 23. № 4. – С. 60–67.

47. Маврин Г. В. Влияние интенсивности автотранспорта на загрязненность снежного покрова / Маврин Г. В., Падемирова Р. М., Мансурова А. И. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 11. – С. 51–54.

48. Мельников О.А., Захарова М.А. Кайнозойские осадочные и вулканогенно-осадочные формации Сахалина. – М.: Наука, – 1977. – 240 с.

49. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (утв. приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2072837/> (дата обращения 15.12.2020).

50. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. 5174-90. – М.: ИМГРЭ, – 1990.

51. Микушин В.В. Оценка аэрозольного загрязнения атмосферы заселенных пунктов Алтайского Края и Республики Алтай по данным мониторинга снежного покрова / Микушин В.В. и др. // Экология урбанизированных территорий. – 2006. – № 2. – С. 87–93.

52. Михалев М.В. Зависимость скорости метаморфизма снежной толщи от степени гидроморфности фации (на примере юга о. Сахалин) / Михалев М.В., Лобкина В.А. // Материалы гляциологических исследований – 2008. – № 105. – С. 125–127.

53. Монастырский И.Ф. Распределение снежного покрова в горных районах Сахалина / Монастырский И.Ф. // Лавины Сахалина и Курильских островов. – Л.: Гидрометеоиздат, –1971. – С. 140–144.

54. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 17.04.18).

55. Музыченко А.А. Оценка снежности зим на юге острова Сахалин по данным контрольной площадки наблюдения / Музыченко А.А., Лобкина В.А. //

Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2018. – № 6 (202). – С. 115–122.

56. Музыченко А.А. Изучение параметров снежных полигонов с помощью беспилотного летательного аппарата / Музыченко А.А., Лобкина В.А. // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2019. – № 1 (203). – С. 108–113.

57. Научно-прикладной справочник по климату СССР (Сахалинская область). –Л.: Гидрометеиздат, – 1990. – 350 с.

58. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб., Гидрометеиздат, – 2001. – 444 с.

59. Новороцкая А. Г. О результатах химического мониторинга снежного покрова Хабаровска / Новороцкая А. Г. // Успехи современного естествознания – 2018. – № 12-2. – С. 374–379.

60. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" от 18.01.2010 № 20. М., Юрайт-Издат, – 2011. – 66 с

61. Носкова Т. В. Исследование качества снежного покрова г. Барнаула / Носкова Т. В., Эйрих А. Н., Дрюпина Е. Ю., Серых Т. Г., Овчаренко Е. А., Папина Т. С. // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 208–212.

62. Носкова Т. В. Оценка влияния городских снегоотвалов на загрязнение малых рек и прилегающих территорий / Носкова Т. В., Эйрих С. С., Овчаренко Е. А., Усков Т. Н., Папина Т. С. // Известия АО РГО. – 2015. – № 2. – С. 10–15.

63. Папина Т. С. Микроэлементный и изотопный состав снежного покрова Катунского природного биосферного заповедника (Республика Алтай) / Папина Т.С. Эйрих А.Н., Малыгина Н.С., Эйрих С.С., Останин О.В., Яшина Т.В. // Лед и Снег. – 2018. – Т. 58. № 1. – С. 41–55

64. Пасько О.А. Применение спутниковых методов исследований для оценки состояния территорий снежных отвалов. / Пасько О.А., О.С. Токарева, Н.С. Ушакова, Е.С. Макарецова, Е.А. Гапонов. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. № 4. – С. 20–28

65. Прожорина Т.И. Исследование влияния снегосвалки на почвенный покров прилегающей территории (на примере города Воронежа) / Прожорина Т.И., О.В. Крутова // Вестник ВГУ, серия: география. геоэкология, – 2019, – № 2 – С. 77–81
66. Постановление Арбитражного суда Московского округа от 27.11.2014 № Ф05-12592/2014, дело № А41-66844/2013
67. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242 (с изменениями от 02 ноября 2018 года № 451). Федеральный классификационный каталог отходов.
68. Применение данных аэрофотосъемки с БПЛА DJI Phantom 4 для высокодетального ландшафтного картирования болотных геосистем (на примере болота Аргулад, о-в Большой Шантар) // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, – 2018. – С. 89–93.
69. Просекин С.Н. Физико-химическая модель как способ геоэкологического прогноза и контроля состояния окружающей среды/ Просекин С.Н., Филимонова Л.М. //Успехи современной науки и образования. – 2017, – № 2, – С. 200– 208.
70. Рапута В. Ф. Экспериментальное исследование и численный анализ процессов распространения загрязнения снегового покрова в окрестностях крупной автомагистрали / Рапута В. Ф., Коковкин В. В., Морозов С. В. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – Т. 18. № 1. – С. 63–70.
71. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. – Л., Гидрометеиздат, – 1972
72. Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С. и др. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, – 1982, –112 с.
73. Решение Советско-Гаванского городского суда Хабаровского края от 28.04.2011, дело № 2-416/2011
74. Рождественский В.С. Структурные взаимоотношения неогеновых и четвертичных образований, активные разломы и сейсмичность на южном

Сахалине / Рождественский В.С., Сопрыгин С.М. // Тихоокеанская геология, – 1999. –Т. 18, № 6. – С. 59–79.

75. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186 - 89. М.: Гидрометеиздат, 1989.

76. Савватеева О.А. Оценка загрязнения территории городского поселения от источников антропогенного воздействия на основе химического анализа снежного покрова на примере Дубны / Савватеева О.А., Алексеева Л.И., Каманина И.З., С Каплина.П. // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 5.

77. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, – 1990, – 335 с.

78. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1322-03 "Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления" [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/4179201/> (дата обращения 16.12.2017).

79. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 42–128–4433–87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. URL: http://snipov.net/database/c_4294943489_doc_4293852447.html (дата обращения: 10.04.18).

80. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. URL: http://snipov.net/database/c_4294956131_doc_4293852444.html (дата обращения: 09.04.18).

81. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 42-128-4690-88. "Санитарные правила содержания территорий населенных мест" [Электронный ресурс]. URL: <http://legalacts.ru/doc/sanpin-42-128-4690-88-sanitarnye-pravila-soderzhanija-territorii-naselennykh/> (дата обращения 16.12.2017)

82. СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001042> (дата обращения 15.05.2018).
83. Справочник по климату СССР. Особо опасные метеорологические явления. Вып. 34/под ред. Лазаревой Д.Ф. – Южно-Сахалинск, – 1985. – 288 с.
84. Таловская А. В. Мониторинг пылевого загрязнения городских агломераций Западной Сибири по данным изучения снежного покрова / Таловская А. В., Е. Г. Языков, Н. А. Осипова и др. // Современные проблемы географии и геологии. Т. 1: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Томск, 16-19 октября – 2017 – Т. 1. – С. 540– 544
85. Тарасов О.Ю. Городские снежные свалки как источник загрязнения поверхностных вод / Тарасов О. Ю., Шагидуллин Р. Р., Юранец-Лужаева Р. Ч., Крапивина Н. Ю.// Георесурсы. – 2011. – № 2. – С. 31–33.
86. Тентюков М.П. Особенности формирования загрязнения снежного покрова: морозное конденсирование техногенных эмиссий (на примере районов нефтедобычи в Большеземельской тундре) / Тентюков М.П. //Криосфера Земли. – 2007, – т. XI, № 4, – С. 31– 41.
87. Федеральный закон "Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации" от 06.10.2003 N 131-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571 (дата обращения 20.12.2017).
88. Филимонова Л.М. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова / Филимонова Л.М., Паршин А.В., Бычинский В.А. //Метеорология и гидрология. – 2015, – №10, – С. 75– 84.
89. Хайдарашина Э.Т. Городские снежные свалки г. Уфы как источник загрязнения поверхностных вод. / Хайдарашина Э.Т., А.А. Куантаева, Ч.В. Биктимирова. // Уральский экологический вестник. – 2017 – №1. – С. 10– 14.

90. Шарапов С.Н. Особенности защиты железнодорожных путей от снежных заносов в районах с сильными метелями (на примере Сахалинского отделения Дальневосточной железной дороги): Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Алма-Ата, – 1988. – 32 с.
91. Эйрих А.Н. Микроэлементный состав снежного покрова на территории Алтая / Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Папина Т.С. // Аналитика Сибири и Дальнего Востока. Материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием. – 2016.– С. 101
92. Allen J. A. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in snow dump site sediments. // Lahti University of Applied Sciences, – 2016
93. Annis A. UAV-DEMs for Small-Scale Flood Hazard Mapping. / Annis A., Nardi F., and 5 others // Water, – 2020, – №12(6), – P. 1717. doi:10.3390/w12061717
94. Aubry-Wake C. Measuring glacier surface temperatures with ground based thermal infrared imaging. / Aubry-Wake, C., M. Baraer and 6 others // J. Geoph. Res. Letters. – 2015 – №42 (20). – P. 1– 9. doi: 10.1002/2015GL065321.
95. Bash E. A. Evaluation of SfM for surface characterization of a snow-covered glacier through comparison with aerial lidar. / Bash E. A., Moorman B. J., Menounos B., Gunther A. // Journal of Unmanned Vehicle Systems, – 2020. – V. 8(2), – P. 119–139. doi:10.1139/juvs-2019-0006
96. Bhardwaj A. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. / Bhardwaj A., Sam L. and 2 others // Remote Sensing of Environment – 2016. – №175, – P. 196–204. doi:10.1016/j.rse.2015.12.029
97. Bengtsson L. Urban snowmelt and runoff in northern Sweden / Bengtsson L., Westerstrom G. // Hydrological Sciences J. des Sciences Hydrologiques. – 1997. – №37
98. Campbell J. F. Operations management for urban snow removal and disposal. / Campbell J. F., Langevin A. // Transportation Research Part A: Policy and Practice – 1995 – №29 (5), – P. 359 – 370
99. Campbell J. F. The snow disposal assignment problem. / Campbell J. F., Langevin A. // Journal of the Operational Research Society, – 1995. – P. 919–929

100. Cook T.M., Alprin B. S. Snow and Ice Removal in an Urban Environment. *Management Science* – 1976 – 23(3) –P. 227– 234
101. D' Oleire-Oltmanns S. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. / D' Oleire-Oltmanns S., Marzloff I. and 2 others // *Remote Sensing*, – 2012, – №4(11), – P. 3390–3416. doi:10.3390/rs4113390
102. Droste R. L. Urban snow dump quality and pollutant reduction in snowmelt by sedimentation / R. L. Droste., J. C. Johnston // *Canadian Journal of Civil Engineering*, – 1993, – P. 9 – 21. <https://doi.org/10.1139/193-002>
103. Emanuela D. B. UAVs for volcano monitoring – A new approach applied on an active lava flow on Mt. Etna during the 27 February–02 March 2017 eruption. / Emanuela D. B., Massimo C., Alfio M. // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2018. doi:10.1016/j.jvolgeores. – 2018. – V. 12.001
104. Fernandes R. Monitoring snow depth change across a range of landscapes with ephemeral snowpacks using structure from motion applied to lightweight unmanned aerial vehicle videos. / Fernandes R., Prevost C., and 6 others // *The Cryosphere*, – 2018. – V. 12, – P. 3535–3550. <https://doi.org/10.5194/tc-12-3535-2018>
105. Fyffe C.L. A distributed energy-balance melt model of an alpine debris-covered glacier. / Fyffe C.L., T.D. Reid and 5 others // *J. Glaciol.* – 2014 – V.60. P. 587–602. doi:10.3189/2014JoG13J148.
106. Gensiorovsky Y.V. Geotechnical and ecological aspects of locaing snow fields on the urbanized territory (Yuzhno-Sakhalinsk) / Gensiorovsky Y.V, Ukhova N.N., Lobkina V.A. // *International Snow Science Workshop 2013, Grenoble, France, October 7– 11, – 2013, – P. 1181– 1184.*
107. Getzin S. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. / Getzin S., Nuske R., Wiegand K. // *Remote Sensing* – 2014, – № 6(8), – P. 6988–7004. doi:10.3390/rs6086988
108. Graham D., Klide L. 2002 DHI. MIKE SHE, An Integrated Hydrological Modeling System; Danish Hydraulic Institute (Denmark)

109. Harris C.A. The estrogenic activity of phthalate esters in vitro. / Harris C.A., Henttu P., Parker M.G., Sumpter J.P. // *Environ. Health Perspect. Guideline No. BRPG01-01 Snow Disposal Guidance – 1997.* – V. 105. – P. 802– 807.
110. Harder P. Improving sub-canopy snow depth mapping with unmanned aerial vehicles: lidar versus structure-from-motion techniques. / Harder P., J. W. Pomeroy, W. Helgason // *The Cryosphere*, – 2020. – 14, – P. 1919–1935. <https://doi.org/10.5194/tc-14-1919-2020>
111. Harder P. Accuracy of snow depth estimation in mountain and prairie environments by an unmanned aerial vehicle. / Harder P., M.Schirmer, J. Pomeroy, W. Helgason // *The Cryosphere* – 2016. – 10(6), – P.2559–2571. <https://doi.org/10.5194/tc-10-2559-2016>
112. Jaffe D. Deposition of sulfate and heavy metals on the Kola Peninsula. / Jaffe D., Cerundolo B. and 3 others // *The Science of the Total Environment*. –1995. – № 160/161. – P. 127– 134.
113. Kuoppamaki K. Urban snow indicates pollution originating from road traffic / Kuoppamaki K., Setala H., Rantalainen A.-L., Kotze D. J. // *Environmental Pollution*. – 2014. – V. 195. – P. 56–63.
114. Lenzioch T. Estimating Snow Depth and Leaf Area Index Based on UAV Digital Photogrammetry. / Lenzioch T., Langhammer J., Jenicek M. // *Sensors*, –2019. – V. 19(5), – P. 1027. doi:10.3390/s19051027
115. Lundquist J. Separating snow and forest temperatures with thermal infrared remote sensing./ Lundquist J., C. Chickadel and 5 others // *J. Remote Sensing of Env.* – 2018 – №209. – P. 764– 779. doi: 10.1016/j.rse.2018.03.001.
116. Martinec J, Rango A, Roberts R Updated Edition for Windows, WinSRM 2008 Version 1.11, USDA Jornada Experimental Range, New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, U.S.A
117. Mikhalev M. Temperature conditions of snow mass and snow melting features in urban environments / Mikhalev M., Lobkina V. // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 324, – 2019, – 012035

118. Otero V. Managing mangrove forests from the sky: Forest inventory using field data and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in the Matang Mangrove Forest Reserve, peninsular Malaysia. / Otero V., Van De Kerchove R. and 5 others // *Forest Ecology and Management*, – 2018, – № 411, – P. 35–45. doi:10.1016/j.foreco.2017.12.049
119. Pagán J. I. Monitoring the dune-beach system of Guardamar del Segura (Spain) using UAV, SfM and GIS techniques. / Pagán J. I., Bañón L. and 3 others // *Science of The Total Environment*. 2019. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.186
120. Perks M. T. Technical Note: Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). / Perks M. T., Russell A. J., Large A. R. G. // *Hydrology and Earth System Sciences*, – 2016, – № 20(10), – P. 4005–4015. doi:10.5194/hess-20-4005-2016
121. Podolskiy E. Evaluating ablation and environmental impact of anthropogenic snow patches / Podolskiy E A, Lobkina V A, Gensiorovsky Y V Thibert E // *Cold Regions Science and Technology (Yuzhno-Sakhalinsk)*. – 2015 – V. 114. – P. 44–60.
122. Rashid T. Infrared Thermal Signature Evaluation of a Pure and Saline Ice for Marine Operations in Cold Climate. / Rashid T., H. Khawaja and 2 others // *Publishing International Frequency Sensors Association* – 2015 (<https://munin.uit.no/handle/10037/8864>)
123. Reid T.D. An energy-balance model for debris-covered glaciers including heat conduction through the debris layer. / Reid, T.D., B.W. Brock // *J. Glaciol.*, – 2010 – V.56 (199). – P. 903– 916. doi:10.3189/002214310794457218.
124. Sazawa K., Assessing the spatial dispersion of products of the fumarolic activity using remotely sensed snow color in an alpine environment. / Sazawa, K., Kawamura, K. and 3 others // *Remote Sensing of Environment*, – 2019, – №233, 111351. doi:10.1016/j.rse.2019.111351
125. Shea C. Use of a thermal imager for snow pit temperatures. / Shea C., B. Jamieson, K. Birkeland // *J. The Cryosphere*. – 2012 – V. 6. – P 287-299. doi: 10.5194/tc-6-287-2012.

126. Snow disposal guidelines for the province of Alberta. Air & Water Approvals Division Alberta Environmental Protection February 1994 [Электронный ресурс]. – URL: <http://environment.gov.ab.ca/info/library/5871.pdf>.
127. Stewart M. Quantification of hydrocarbon contaminants in meltwater and sediment in a city snow pile. / Stewart M., Holden A., Haveroen M. E., Ulrich A. C. // *J. of Environmental Engineering*, – 2013. – V. 139(2), – P. 295–301.
128. Strasser U., Marke T. ESCIMO. spread – a spreadsheet-based point snow surface energy balance model to calculate hourly snow water equivalent and melt rates for historical and changing climate conditions, *Geosci. Model Dev.*, 3. – 2010. – P. 643–652
129. Tan A. E. Radar Measurements of Snow Depth Over Sea Ice on an Unmanned Aerial Vehicle. / Tan A. E., McCulloch J., Rack W., Platt I., I. Woodhead // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, – 2020. doi: 10.1109/TGRS.2020.3006182.
130. Tekeli A. Image acquisition effects on Unmanned Air Vehicle snow depth retrievals. / Tekeli A., S. Dönmez // *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. – 2018. – V. 380, P. 81– 85, <https://doi.org/10.5194/piahs-380-81-2018>
131. Vijayan A. Quality of snow deposited in urban areas: Storage, load assessment and release of selected pollutants with snowmelt. // *Licentiate thesis / Luleå University of Technology* – 2020, ISSN 1402– 1757
132. Walter M. T. Process-based snowmelt modeling: Does it require more input data than temperature-index modeling. / Walter M T, Brooks E S and 4 others // *J. of Hydrology* –2005 – V. 300, – P. 65–75.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Концентрации загрязняющих веществ в талых водах
полигона «Северный» в пробах 05.06.2018 (мг/дм³).

Элемент	Концентрация по точкам отбора					
	1	2	3	4	5	фон
7 Li	11.15154	8.801648	8.852246	8.417745	8.52673	0.634836
9 Be	0.006974	0.003699	0.002789	0.00324	0.001983	0.002251
11 B	3301.73	2653.199	2672.017	2558.857	2626.387	10.23368
27 Al	25.07928	19.93853	19.70608	26.34659	18.95279	7.470057
45 Sc	0.0592	0.050243	0.044017	0.049605	0.043798	0.023211
51 V	53.88286	41.82847	41.80323	40.46859	42.02921	0.138811
52 Cr	1.703873	1.406003	1.373945	1.370369	1.366444	0.151584
55 Mn	3.305162	3.548553	3.471211	3.552186	3.024631	3.023817
56 Fe	28.07214	17.41587	16.79618	16.76789	16.03533	5.551949
59 Co	0.495656	0.357604	0.354429	0.342406	0.356352	0.017456
60 Ni	1.507028	1.405135	1.212347	1.218008	1.179878	0.190002
63 Cu	3.145589	3.711448	3.065064	2.933276	2.93042	0.575073
66 Zn	1.296852	0.919584	1.251764	0.893477	0.7687	0.672563
71 Ga	0.404405	0.325185	0.322819	0.323425	0.305099	0.00676
75 As	28.4343	21.70425	21.68042	21.01784	20.38226	0.170429
78 Se	6.564268	5.212267	5.098107	4.810132	5.047398	0.056354
85 Rb	2.51319	2.308689	2.318161	2.22746	2.321124	0.18074
88 Sr	431.6205	368.1954	369.8858	354.1274	363.8532	70.45015
89 Y	0.099486	0.053683	0.048115	0.045571	0.046277	0.062919
90 Zr	0.059658	0.16269	0.060929	0.077583	0.289583	0.028338
107 Ag	0.018837	0.010931	0.008039	0.011008	0.007697	0.020139
111 Cd	0.03943	0.038809	0.034954	0.035464	0.038692	0.003635
133 Cs	0.050578	0.033743	0.034897	0.034143	0.033249	0.001489
137 Ba	39.4604	33.85417	34.13901	32.08414	32.4633	3.251803
139 La	0.037573	0.014591	0.010942	0.009656	0.009233	0.065747
140 Ce	0.085145	0.023305	0.019407	0.016586	0.014559	0.07435
141 Pr	0.011245	0.004539	0.004021	0.003474	0.003789	0.015306
146 Nd	0.061883	0.029229	0.027997	0.029035	0.028658	0.057711
147 Sm	0.022655	0.014681	0.01383	0.013756	0.013956	0.010813
151 Eu	0.010839	0.007615	0.007147	0.006883	0.007166	0.002828
157 Gd	0.03022	0.018721	0.018682	0.017618	0.018643	0.012943
159 Tb	0.003993	0.002789	0.002603	0.002424	0.002654	0.001725
163 Dy	0.021559	0.015271	0.015167	0.013561	0.014198	0.009386
165 Ho	0.004774	0.0031	0.002929	0.002643	0.002873	0.001893
166 Er	0.01629	0.01206	0.011201	0.011418	0.010553	0.005162
169 Tm	0.003272	0.002752	0.002537	0.002428	0.002435	0.000645
172 Yb	0.031658	0.026114	0.024812	0.025014	0.024704	0.003192
175 Lu	0.006878	0.005696	0.005721	0.005314	0.005474	0.000461
178 Hf	0.001391	0.002706	0.001284	0.000773	0.003306	0.000997
205 Tl	0.019592	0.012684	0.010215	0.009407	0.007328	0.00176
208 Pb	0.080278	0.100111	0.079072	0.077465	0.065431	0.045841
232 Th	0.007333	0.002181	0.00173	0.001855	0.008561	0.003
238 U	0.462053	0.398437	0.405706	0.385577	0.370821	0.002003

Приложение 2.

Концентрации загрязняющих веществ в талых водах
полигона «Северный» в пробах 30.08.2018 (мг/дм³).

Элемент	Концентрация по точкам отбора					
	1	2	3	4	5	фон
7 Li	1.162549	1.297434	1.989378	2.026765	0.997496	0.731885
9 Be	0.003424	0.003279	0.002998	0.003579	0.004002	0.002651
11 B	320.0359	355.6074	967.5302	1012.689	191.9274	14.95336
27 Al	24.87928	22.68929	8.294467	7.758715	86.138	7.794347
45 Sc	0.028343	0.026925	0.029891	0.026939	0.04454	0.021139
51 V	0.453146	0.482337	0.273554	0.298457	0.658865	0.117895
52 Cr	0.448089	0.594615	0.491631	0.486347	0.804182	0.319075
55 Mn	3.075984	2.809603	73.3206	135.0874	231.5674	3.513074
56 Fe	136.4244	126.6287	278.4643	299.1739	115.4585	14.37335
59 Co	0.067167	0.072307	0.141334	0.166984	0.151833	0.020873
60 Ni	1.025268	1.357028	1.418708	1.11743	1.069219	0.22747
63 Cu	1.55271	2.517877	1.742569	1.104881	2.859113	0.963209
66 Zn	1.914601	2.568896	1.240646	1.287296	3.773126	0.673246
71 Ga	0.025225	0.032875	0.015253	0.022209	0.070856	0.007468
75 As	1.173621	1.214039	1.087075	0.919946	0.884918	0.190771
78 Se	0.136641	0.174901	0.257435	0.134775	0.044511	0.045185
85 Rb	1.316374	1.446713	1.12856	1.108298	0.990056	0.193395
88 Sr	155.1309	171.5362	279.9131	301.2122	114.3581	88.46882
89 Y	0.047857	0.045729	0.052325	0.055543	0.08491	0.059285
90 Zr	0.104971	0.132515	0.782071	0.064205	0.774219	0.031988
107 Ag	0.005031	0.004374	0.005556	0.005265	0.00764	0.005582
111 Cd	0.007052	0.011047	0.007368	0.015143	0.009274	0.005646
133 Cs	0.019727	0.019792	0.005195	0.005335	0.020913	0.001478
137 Ba	23.66635	26.06165	33.42368	36.15874	27.33166	4.311088
139 La	0.044999	0.04463	0.024999	0.025606	0.113018	0.045521
140 Ce	0.091918	0.107106	0.052044	0.055041	0.265957	0.037115
141 Pr	0.011673	0.012184	0.006568	0.006799	0.029474	0.010514
146 Nd	0.049862	0.051237	0.032796	0.033236	0.120369	0.0476
147 Sm	0.011063	0.011345	0.011011	0.012256	0.026238	0.010328
151 Eu	0.004764	0.005197	0.005993	0.006212	0.008146	0.002739
157 Gd	0.012469	0.012641	0.014754	0.015664	0.025354	0.010882
159 Tb	0.001773	0.001733	0.00215	0.002319	0.003822	0.001588
163 Dy	0.009059	0.010168	0.012595	0.012712	0.018848	0.008656
165 Ho	0.001973	0.001972	0.003361	0.003312	0.003444	0.001943
166 Er	0.006419	0.007146	0.015299	0.017145	0.008971	0.004812
169 Tm	0.001245	0.001297	0.003427	0.00372	0.001237	0.000647
172 Yb	0.009448	0.010382	0.031723	0.033417	0.0077	0.003384
175 Lu	0.001718	0.001876	0.006312	0.006962	0.001048	0.000494
178 Hf	0.002506	0.002878	0.015365	0.001673	0.01786	0.001008
205 Tl	0.003081	0.003835	0.002575	0.004812	0.003378	0.003738
208 Pb	0.20201	0.235508	0.585909	0.631688	0.418916	0.290628
232 Th	0.016626	0.014186	0.002474	0.004427	0.042573	0.003907
238 U	0.036551	0.039047	0.062863	0.067988	0.065738	0.002727

Приложение 3.

Концентрации загрязняющих веществ в талых водах

полигона «Южный» в пробах 05.06.2018 (мг/дм³).

Элемент	Концентрация по точкам отбора																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7 Li	0,753	0,760	0,738	0,751	0,733	0,710	0,650	0,649	0,454	0,536	0,731	0,611	0,388	0,497	0,357	0,835	0,490	0,446	0,391	0,593
9 Be	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,009	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,003	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003
11 B	62,44	57,763	55,053	55,989	52,888	45,887	39,041	39,725	25,118	37,095	64,412	44,542	7,160	19,712	12,262	27,874	32,191	28,309	31,133	43,067
27 Al	14,13	29,938	11,034	10,103	16,747	13,971	10,890	22,606	172,61	21,966	9,184	36,446	127,25	19,096	25,141	43,775	40,648	13,677	18,733	7,314
45 Sc	0,035	0,047	0,039	0,037	0,037	0,032	0,036	0,031	0,111	0,028	0,044	0,036	0,041	0,030	0,023	0,040	0,028	0,022	0,026	0,019
51 V	0,206	0,202	0,171	0,181	0,189	0,175	0,189	0,197	2,051	0,242	0,159	0,355	0,480	0,280	0,336	0,297	0,456	0,154	0,229	0,110
52 Cr	0,252	0,191	0,187	0,181	0,200	0,182	0,182	0,164	0,942	0,303	0,169	0,279	0,304	0,248	0,331	0,375	0,376	0,185	0,201	0,158
55 Mn	55,30	49,811	39,863	76,742	68,741	49,436	3,645	45,676	18,085	263,98	371,69	389,35	1,846	3,189	3,102	1,910	1,503	1,831	0,958	0,293
56 Fe	194,1	158,06	150,38	169,80	172,36	124,36	107,28	106,16	280,08	40,084	70,252	43,092	79,848	155,58	47,925	145,90	49,871	29,995	30,812	32,666
59 Co	0,134	0,145	0,146	0,145	0,147	0,111	0,089	0,092	0,241	0,174	0,257	0,302	0,043	0,057	0,054	0,098	0,059	0,042	0,030	0,052
60 Ni	1,802	1,204	1,367	1,266	1,353	1,084	0,907	0,788	2,311	0,799	1,205	2,924	1,639	0,962	1,380	1,922	1,496	1,238	0,797	1,075
63 Cu	2,758	2,712	1,976	1,974	2,290	1,998	1,914	1,595	10,126	2,003	2,033	8,830	2,204	3,006	2,679	4,428	3,485	2,489	2,115	1,688
66 Zn	4,081	5,940	3,086	2,430	3,202	2,460	1,780	1,728	7,277	2,726	4,143	14,099	2,907	1,781	2,550	2,266	1,923	1,868	1,703	1,311
71 Ga	0,018	0,041	0,013	0,016	0,020	0,017	0,015	0,017	0,137	0,038	0,024	0,034	0,108	0,022	0,027	0,027	0,035	0,015	0,026	0,014
75 As	0,757	0,728	0,691	0,718	0,647	0,596	0,560	0,531	0,992	0,340	0,494	0,708	0,207	0,655	0,409	1,358	0,516	0,359	0,390	0,627
78 Se	0,072	0,056	0,055	0,061	0,069	0,077	0,088	0,044	0,112	0,060	0,029	0,031	0,008	0,077	0,066	0,147	0,121	0,033	0,041	0,087
85 Rb	1,627	1,741	1,709	1,728	1,596	1,315	1,081	1,120	0,633	2,192	2,012	1,000	0,466	0,654	0,647	1,334	1,050	0,662	0,740	1,078
88 Sr	158,2	167,67	163,95	168,11	159,58	144,98	129,4	134,16	29,885	141,75	215,38	87,279	18,647	70,687	47,173	131,75	87,613	82,843	81,093	130,87
89 Y	0,062	0,058	0,054	0,059	0,066	0,058	0,050	0,055	0,580	0,037	0,063	0,027	0,016	0,067	0,051	0,114	0,098	0,028	0,038	0,022
90 Zr	0,076	0,101	0,073	0,172	0,123	0,115	0,040	0,047	0,416	0,055	0,069	0,067	0,326	0,079	0,045	0,103	0,097	0,056	0,070	0,041
107 Ag	0,010	0,007	0,009	0,011	0,014	0,010	0,018	0,014	0,024	0,007	0,008	0,008	0,008	0,010	0,013	0,010	0,009	0,007	0,007	0,006
111 Cd	0,012	0,009	0,012	0,012	0,012	0,009	0,005	0,008	0,041	0,015	0,013	0,016	0,009	0,008	0,007	0,005	0,007	0,005	0,004	0,004
133 Cs	0,011	0,023	0,012	0,012	0,012	0,009	0,007	0,007	0,025	0,024	0,017	0,015	0,028	0,007	0,012	0,009	0,010	0,006	0,007	0,006
137 Ba	28,71	28,624	28,569	29,185	28,298	24,088	19,317	20,283	9,678	18,057	30,008	23,729	7,069	16,428	12,546	26,410	28,019	20,857	21,299	25,482
139 La	0,030	0,023	0,024	0,025	0,039	0,031	0,025	0,032	0,435	0,026	0,020	0,023	0,024	0,064	0,045	0,067	0,098	0,021	0,032	0,010
140 Ce	0,057	0,045	0,044	0,050	0,073	0,054	0,044	0,054	1,061	0,059	0,033	0,049	0,600	0,107	0,090	0,105	0,092	0,032	0,064	0,018
141 Pr	0,008	0,006	0,006	0,007	0,010	0,008	0,006	0,008	0,131	0,007	0,005	0,006	0,006	0,017	0,013	0,018	0,023	0,005	0,008	0,002
146 Nd	0,034	0,024	0,025	0,026	0,042	0,032	0,026	0,033	0,561	0,027	0,020	0,024	0,021	0,072	0,053	0,080	0,093	0,021	0,033	0,010
147 Sm	0,009	0,006	0,006	0,007	0,009	0,007	0,006	0,008	0,135	0,006	0,006	0,005	0,005	0,016	0,011	0,019	0,019	0,005	0,007	0,003

Продолжение Приложения 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
151 Eu	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,003	0,004	0,036	0,003	0,004	0,004	0,001	0,005	0,004	0,007	0,007	0,003	0,003	0,003
157 Gd	0,009	0,007	0,007	0,008	0,011	0,008	0,007	0,008	0,143	0,007	0,006	0,006	0,008	0,017	0,012	0,021	0,021	0,006	0,008	0,004
159 Tb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,020	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,005	0,003	0,001	0,001	0,001
163 Dy	0,011	0,009	0,009	0,010	0,011	0,010	0,007	0,009	0,107	0,006	0,010	0,005	0,003	0,013	0,010	0,018	0,016	0,005	0,006	0,004
165 Ho	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,021	0,002	0,004	0,001	0,001	0,003	0,002	0,004	0,003	0,001	0,001	0,001
166 Er	0,015	0,014	0,014	0,015	0,016	0,013	0,010	0,011	0,056	0,005	0,022	0,003	0,002	0,007	0,006	0,011	0,009	0,003	0,004	0,003
169 Tm	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,007	0,001	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001
172 Yb	0,019	0,020	0,020	0,021	0,019	0,015	0,013	0,014	0,041	0,006	0,033	0,002	0,002	0,005	0,004	0,011	0,007	0,003	0,004	0,003
175 Lu	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,001	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
178 Hf	0,001	0,002	0,001	0,004	0,002	0,003	0,001	0,001	0,012	0,002	0,001	0,002	0,007	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,003	0,002
205 Tl	0,008	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,008	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,007	0,004	0,004	0,004
208 Pb	0,183	0,121	0,120	0,124	0,166	0,112	0,127	0,141	1,028	0,161	0,213	0,121	0,128	0,261	0,156	0,156	0,121	0,084	0,076	0,047
232 Th	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005	0,004	0,004	0,058	0,004	0,003	0,006	0,063	0,012	0,009	0,013	0,007	0,003	0,013	0,003
238 U	0,043	0,041	0,041	0,045	0,048	0,038	0,028	0,029	0,085	0,046	0,047	0,062	0,009	0,020	0,009	0,068	0,029	0,034	0,019	0,039

Приложение 4.

Концентрации загрязняющих веществ в талых водах
полигона «Южный» в пробах 30.08.2018 (мг/дм³).

Элемент	Концентрация по точкам отбора																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7 Li	1,127	0,366	0,334	0,419	0,340	0,348	0,383	0,539	0,375	0,327	1,791	1,309	0,950	1,310	1,058	1,014	0,964	0,765
9 Be	0,005	0,006	0,007	0,007	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002
11 B	55,00	30,132	31,049	23,280	74,758	28,556	28,381	63,285	35,182	28,329	39,649	76,654	83,067	86,301	92,996	88,480	83,718	57,986
27 Al	15,90	62,821	67,951	93,115	52,944	35,120	37,593	27,798	67,722	123,375	6,881	2,927	4,517	3,502	6,130	4,277	4,299	6,186
45 Sc	0,027	0,031	0,038	0,041	0,042	0,028	0,031	0,035	0,042	0,051	0,036	0,041	0,052	0,039	0,053	0,045	0,051	0,040
51 V	0,186	0,387	0,709	0,468	0,385	0,220	0,241	0,774	0,574	1,524	0,074	0,059	0,101	0,071	0,117	0,104	0,131	0,153
52 Cr	0,619	0,914	0,698	0,828	0,665	0,591	0,688	0,738	0,651	1,045	0,723	0,573	0,611	0,362	0,395	0,549	0,528	0,423
55 Mn	510,4	77,365	307,376	286,785	19,714	212,50	426,51	583,45	2,904	5,415	1072,5	3653,1	34,881	5,114	126,53	159,41	225,621	92,638
56 Fe	143,0	102,091	89,995	177,923	123,968	305,76	243,74	531,19	203,13	149,66	303,71	209,84	448,16	295,35	475,50	462,03	473,08	365,22
59 Co	0,403	0,142	0,349	0,474	0,105	0,140	0,397	0,613	0,085	0,093	0,644	1,899	0,219	0,502	0,257	0,248	0,260	0,153
60 Ni	1,801	0,822	1,048	1,269	1,619	0,896	0,816	15,280	0,868	0,570	2,182	1,281	0,673	1,276	0,754	0,681	0,699	0,672
63 Cu	2,455	2,547	3,626	3,511	3,047	1,648	1,552	3,056	2,217	1,956	2,425	0,412	0,446	0,700	0,545	0,460	0,472	1,025
66 Zn	4,749	2,137	3,231	5,691	2,608	5,622	3,874	589,95	4,278	3,149	8,489	3,000	1,055	1,523	1,065	1,112	1,378	1,261
71 Ga	0,062	0,076	0,101	0,063	0,045	0,024	0,035	0,040	0,066	0,111	0,008	0,027	0,006	0,009	0,008	0,011	0,009	0,012
75 As	0,860	0,386	0,392	0,327	0,556	0,377	0,399	1,313	0,548	0,528	1,337	1,391	0,919	0,995	0,998	0,962	0,908	0,745
78 Se	0,066	0,084	0,060	0,047	0,084	0,028	0,061	0,096	0,036	0,042	0,057	0,137	0,070	0,056	0,050	0,085	0,075	0,036
85 Rb	0,927	0,586	0,734	0,514	1,334	0,528	0,642	0,748	0,606	0,515	3,634	3,174	2,934	2,549	3,266	3,196	3,049	1,959
88 Sr	236,2	76,598	80,364	53,496	156,02	70,208	85,364	107,80	92,507	56,227	354,11	415,61	241,28	280,72	268,50	256,97	243,41	184,429
89 Y	0,031	0,058	0,106	0,092	0,089	0,042	0,067	0,091	0,093	0,106	0,022	0,027	0,064	0,019	0,072	0,064	0,067	0,069
90 Zr	0,045	0,908	0,169	0,756	0,192	0,794	0,165	0,108	0,874	0,800	0,125	0,045	0,717	0,148	0,898	0,046	0,766	0,774
107 Ag	0,119	0,034	0,137	0,022	0,019	0,018	0,017	0,017	0,017	0,013	0,015	0,009	0,008	0,006	0,010	0,008	0,009	0,007
111 Cd	0,101	0,031	0,042	0,029	0,015	0,014	0,014	0,026	0,013	0,008	0,018	0,010	0,006	0,009	0,012	0,010	0,004	0,011
133 Cs	0,011	0,011	0,011	0,015	0,014	0,010	0,013	0,007	0,017	0,019	0,048	0,039	0,020	0,012	0,023	0,022	0,023	0,014
137 Ba	44,83	15,627	24,616	16,897	30,749	18,217	21,470	34,339	16,775	14,847	93,234	100,01	37,858	37,627	39,990	37,041	34,671	22,878
139 La	0,034	0,082	0,113	0,113	0,092	0,044	0,062	0,093	0,104	0,136	0,010	0,010	0,014	0,007	0,015	0,014	0,015	0,030
140 Ce	0,061	0,185	0,256	0,278	0,181	0,107	0,131	0,175	0,204	0,323	0,017	0,020	0,028	0,015	0,030	0,030	0,033	0,049

Продолжение Приложения 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
141 Pr	0,006	0,020	0,029	0,029	0,022	0,011	0,016	0,023	0,027	0,034	0,002	0,003	0,004	0,002	0,005	0,004	0,005	0,007
146 Nd	0,025	0,077	0,121	0,117	0,088	0,045	0,068	0,097	0,106	0,136	0,010	0,012	0,018	0,010	0,020	0,020	0,019	0,032
147 Sm	0,006	0,016	0,024	0,024	0,019	0,010	0,014	0,020	0,022	0,028	0,004	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,005	0,007
151 Eu	0,006	0,006	0,008	0,007	0,008	0,004	0,005	0,008	0,007	0,008	0,010	0,011	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004
157 Gd	0,007	0,017	0,025	0,026	0,019	0,010	0,016	0,021	0,022	0,029	0,004	0,005	0,006	0,004	0,007	0,006	0,006	0,009
159 Tb	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
163 Dy	0,005	0,012	0,019	0,019	0,015	0,007	0,013	0,017	0,017	0,021	0,004	0,004	0,011	0,003	0,010	0,011	0,011	0,011
165 Ho	0,001	0,002	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,001	0,001	0,005	0,002	0,006	0,006	0,006	0,005
166 Er	0,003	0,007	0,010	0,010	0,008	0,004	0,007	0,009	0,009	0,011	0,003	0,003	0,036	0,016	0,039	0,036	0,035	0,025
169 Tm	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,007	0,004	0,008	0,008	0,007	0,005
172 Yb	0,004	0,005	0,007	0,007	0,007	0,003	0,006	0,007	0,006	0,008	0,003	0,004	0,058	0,037	0,065	0,061	0,058	0,037
175 Lu	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,009	0,006	0,010	0,010	0,009	0,006
178 Hf	0,002	0,018	0,006	0,019	0,005	0,016	0,003	0,003	0,021	0,020	0,002	0,002	0,015	0,004	0,018	0,001	0,017	0,018
205 Tl	0,052	0,024	0,042	0,013	0,016	0,008	0,010	0,007	0,009	0,007	0,004	0,006	0,003	0,005	0,003	0,005	0,003	0,005
208 Pb	0,502	0,267	0,290	0,479	0,218	0,300	0,268	0,796	0,321	0,369	1,142	0,103	0,259	0,137	0,170	0,305	0,284	0,288
232 Th	0,004	0,022	0,029	0,029	0,021	0,015	0,014	0,015	0,021	0,043	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,004
238 U	0,166	0,074	0,059	0,016	0,143	0,016	0,028	0,043	0,035	0,021	0,007	0,017	0,014	0,056	0,016	0,015	0,016	0,011