**УДК 502.175: 502.62: 502.63 doi:**

**Азот-содержащие вещества в снеге районов падения ступеней ракеты-носителя «Протон» в 2009 – 2019 гг.**

**© 2020 г.**

\*

**Nitrogen-containing substances in the falling regions of the Proton launch vehicle in 2009 – 2019**

\*

*Received May \_\_\_, 2020 / Revised \_\_\_\_ \_\_\_, 20\_\_ / Accepted \_\_\_\_ \_\_\_, 20\_\_*

**Keywords: *nitrogen cycle, geochemical assessment, ground water pollution***

# **Summary**

To assess the input of rocket propellants into snow resulted from launches of Proton launch vehicle (LV) from the Baikonur Cosmodrome in 2009 – 2019, we summarized data on 1477 snow samples collected in the areas of LV falling stages in the Central Kazakhstan, SE Western Siberia and NE Altai. At 18 falling sites, considerable snow pollution from LVs was found only at no more than 10 m from the fragments in the uninhabited territories of the falling regions at Central Kazakhstan, where the rocket propellants spill from the fragments of the first stage of the LV Proton. There, the concentration (in g/L) of unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) reached 2.5, nitrosodimethylamine (NDMA) 0.24, NO3– 236, NH4+ 0.67 and NO2– 0.48, as well as tetramethyltetrazene (TMT) - 5.5 mg / L and formaldehyde 6.0 mg / L. The pH of the snow ranged from 0.9 resulted from N2O4 spillage to 10.3 caused by UDMH contamination. Background value of pH was 5.2–7.7 (10 and 90% percentile). In the unpolluted territories at Central Kazakhstan, nitrogen-containing compounds in snow are represented (median → 90% percentile in mg / L) by NO3– (1.6 → 13.8, n = 104), NH4+ (0.3 → 1.8, n = 42) and to a lesser extent NO2– (0.0015 → 0.04, n = 104), UDMH and UDMA do not occur. The chemical composition of the snow in the LV Proton second stage falling regions reflects the background levels of nitrogen-containing compounds of natural origin and the absence of rocket propellants. In the Ketsko-Tym plain and NE Altai, the background content (mean and standard deviation) of nitrogen-containing substances decreased from NO3– (0.36 ± 0.28 and 0.47 ± 0.59 mg / l) to NO2– (0.048 ± 0.016 and 0.027 ± 0.073) and NH4+ (<0.05 and 0.20 ± 0.27).

*Поступила \_\_\_\_ апреля 2020 г. / После доработки \_\_\_\_ \_\_\_2020 г. / Принята к печати \_\_\_\_ \_\_\_ 2020 г.*

**Ключевые слова: *цикл азота, фоновый геохимический мониторинг, загрязнение поверхностных вод***

Для оценки поступления компонентов ракетного топлива и продуктов их трансформации в ландшафты в результате пусков с космодрома Байконур в 2009 – 2019 гг. обобщены данные по 1477 пробам снега, собранным в районах падения ступеней ракеты-носителя (РН) «Протон» в Центральном Казахстане, юго-востоке Западной Сибири и Северо-Восточном Алтае. На 18 обследованных местах падения (МП) достоверное загрязнение снега от ракетно-космической техники установлено только на расстоянии не более 10 м от фрагментов ступени в безлюдных территориях районов падения Центрального Казахстана, куда проливаются компоненты ракетного топлива из фрагментов первой ступени РН «Протон». Концентрация несимметричного диметилгидразина (НДМГ) достигала 2.5 г/л, нитрозодиметиламина (НДМА) – 0.24 г/л, NO3– – 236 г/л, NH4+ – 0.67 г/л, NO2– – 0.48 г/л, тетраметилтетразена (ТМТ) – 5.5 мг/л, формальдегида – 6.0 мг/л. Величина рН снега варьировала от 0.9 ед. от загрязнения N2O4 до 10.3 ед. от загрязнения НДМГ при фоновых значениях 5.2–7.7 (10 и 90% персентили). На незагрязненных территориях Центрального Казахстана азотосодержащие соединения в снеге представлены (медиана→90% персентиль в мг/л): NO3– (1.6→13.8, n=104), NH4+ (0.3→1.8, n=42) и в меньшей степени NO2– (0.0015→0.04, n=104), НДМГ и НДМА не встречаются. Химический состав снега районов падения второй ступени отражает фоновые уровни азотсодержащих соединений природного происхождения и отсутствие компонентов ракетного топлива. На Кетско-Тымской равнине и Северо-Восточном Алтае фоновое содержание (среднее и стандартное отклонение) азотсодержащих веществ уменьшалось от NO3– (0.36±0.28 и 0.47±0.59 мг/л) к NO2– (0.048±0.016 и 0.027±0.073) и NH4+ (<0.05 и 0.20±0.27).

# **Введение**

От содержания азота как одного из основных лимитирующих факторов для развития растений зависит интенсивность деструкции органических веществ, и, следовательно, направление протекания углеродного цикла. Наиболее изученными источниками антропогенного поступления азотсодержащих соединений в окружающую среду являются пожары, автотранспорт, системы отопления частного сектора, предприятия топливно-энергетического комплекса, интенсивное сельское хозяйство и утилизация отходов. Влияние же ракетно-космической деятельности на загрязнение окружающей среды до сих пор остается слабо изученным, что приводит к росту социальной напряженности среди населения [1, 2], проживающего вблизи районов падения (РП) отработавших ступеней ракет-носителей (РН) – специально отведенных территорий, где в рамках работ до и после каждого пуска ракет-носителей осуществляются мероприятия по обеспечению безопасности людей, эвакуации фрагментов отработавших ступеней, ведомственному экологическому мониторингу и охране окружающей природной среды [2]. В отличие от большинства стран мира, где отработавшие ступени РН падают преимущественно в мировой океан, РП космодромов России и Китая расположены на суше [3,4,5]. С космодрома Байконур запущено более 400 тяжелых ракет-носителей «Протон» различных модификаций, азотсодержащие компоненты ракетного топлива (КРТ) которых несимметричный диметилгидразин ((СН3)2NNH2, горючее) и азотный тетраоксид (N2O4,окислитель). Отработавшие первые ступени РН приземляются в Республике Казахстан, вторые – в Западной Сибири или Северо-Восточном Алтае.

НДМГ относится к классу предельных гидразинов и обладает высокой реакционной способностью, хорошо смешивается с водой, активно участвует в биологических процессах, быстро окисляется в окружающей среде [6,7, 8, 5,9] с образованием около 300 соединений, среди которых наиболее известны нитрозодиметиламин (НДМА), тетраметилтетразен (ТМТ), формальдегид, 1-метил-1,2,4-триазол, диметилформамид, бис-диметилгидразон глиоксаля, метилглиоксаля и пропандиаля, а также диметилгидразид муравьиной кислоты [10, 11]. Из них только НДМА наравне с НДМГ относится к веществам 1 класса токсичности [12,13]. Некоторые авторы считают, что НДМГ и его производные в умеренных дозах не токсичны для растений и могут использоваться как источники азота [14].

Азотный тетраоксид также, как и НДМГ, реакционноспособен, летуч и растворим в воде, однако его содержание в компонентах экосистем не нормируется вследствие быстрого распада на NOx, для которых применяются отдельные нормативы содержания в окружающей среде [2].

Количество поступающих компонентов ракетного топлива в почву во многом определяется климатическими условиями: чем ниже температура, тем меньше испарение, скорость биотической и абиотической трансформации. Таким образом, максимальное количество компонентов ракетного топлива (КРТ) может поступить в почву именно в зимний период, например, при естественном отсутствии или искусственном разрушении снежного покрова [4, 5, 15].

Цель исследований – оценить уровни содержания азот-содержащих веществ в снеге Центрального Казахстана, Северо-Восточного Алтая и юго-востока Западной Сибири в 2009 – 2019 гг., а также охарактеризовать степень загрязнения снега в районах падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане.

# **Районы исследования**

***РП первой ступени РН «Протон»*** общей площадью 3,4 тыс. км2 расположены в полупустынных ландшафтах Центрального Казахстана с резко континентальным климатом. Из них в зимнее время в 2009 – 2019 гг. использовали четыре общей площадью 2837 км2.

Согласно классификации [16], все четыре РП первой ступени характеризуются холодным аридным климатом (индекс “BWk”) с преобладанием восточных ветров. Сомкнутый снежный покров мощностью более 5 см лежит с третьей декады декабря до первой декады марта. Распределение снега обусловлено условиями рельефа: на равнинах мощность снежной толщи не превышает 30 см, в понижениях достигая 40–50 см. Установление и сход снежного покрова совпадают с датами перехода температур атмосферного воздуха через 0°C: в среднем 7 ноября и 23 марта с отклонением в 10–12 дней. Среднесуточная температура атмосферного воздуха с начала января по вторую половину февраля опускается до –20°С. На всем протяжении зимы возможны оттепели, вероятность которых возрастает в ряду: февраль (0.4%) < январь (0.8%) < декабрь (2.2%) < ноябрь-март (4.0 – 4.6) [5].

На местах падения первой ступени РН «Протон» рядом с разрывами топливных баков в результате проливов компонентов ракетного топлива на площади до 42 м2 [5] снег приобретает темно-желтую или буроватую окраску до глубины не более 5 см (Рис. 2).

Среди ***РП второй ступени РН «Протон»,*** расположенных в равнинной и горной местностях [2,4,5], в зимнее время 2009 – 2019 гг. использовали два района падения общей площадью 8.5 тыс. км2.

Равнинный РП площадью 6.3 тыс. км2, использовавшийся зимой однократно за рассматриваемый период, расположен в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, в пределах Кетско-Тымской равнины и характеризуется снежным гумидным климатом с теплым летом с индексом Bfc [16]. Среднемесячная температура января составляет –22°С. Среднее годовое количество осадков – 480‑520 мм и только 20% выпадает в холодное время года с ноября по март. Снежный покров появляется в конце первой – начале второй декады октября и становится устойчивым с третьей декады октября – начала ноября. Его основные запасы формируются в ноябре-декабре. К концу зимы высота снежного покрова в среднем составляет 30‑40 см с максимумом до 120‑140 см. Снег начинает таять в первой декаде апреля и полностью исчезает в начале мая. Средняя скорость ветра на данной территории – 2 м/с. Ветровой режим зимы характеризуется преобладанием юго-западных и южных ветров, значительным количеством штилей, особенно в январе [17].

Наиболее часто использовавшийся РП площадью 2.8 тыс. км2 расположен в труднодоступных горах Северо-Восточного Алтая с климатом по [16] от снежного гумидного с теплым летом в низкогорьях (до 1000 м) до полярно-тундрового в высокогорьях (более 1500 м). Постоянный снежный покров (мощностью до 30 см на открытых участках и 80 см – в мезопонижениях рельефа) в низкогорьях появляется в октябре, в высокогорьях – в сентябре. В третьей декаде апреля – начале мая снег окончательно стаивает. В низкогорьях среднемесячная зимняя температура воздуха опускается до –21°С, в среднегорьях – до –29°С, в высокогорьях – ниже –30°С [5].

За всю историю наблюдений в районах падения второй ступени ракет-носителей «Протон» не обнаружено следов химического загрязнения компонентами ракетного топлива [2, 4,5, 18], что подтверждается существующими моделями, описывающими рассеяние НДМГ в верхних слоях атмосферы [1,19, 20,21] и позволяет рассматривать труднодоступные районы падения второй ступени в качестве фоновых территорий [22,23].

# **Методы исследований**

В РП первой ступени в Центральном Казахстане снежный покров опробован на 18 местах падения ступеней в 2009–2019 гг. (Рис. 1), где на разном удалении от фрагментов ступени отобрана суммарно 761 проба с глубины 0 – 20 см. Основное количество точек опробования (84%) расположено на местах падения (МП) фрагментов ступеней в непосредственной близости от источников потенциального химического воздействия: бак окислителя (17%), бак горючего (15%) и двигательные установки (30%), а также на удалении 1–3 м и 5–10 м от них (6 и 11% соответственно). Для оценки возможного аэрогенного загрязнения компонентами ракетного топлива 9% проб отбирали на удалении 100, 200, 300, 400 м от МП ступени по направлению ветра. Для характеристики химического состава снега на фоновых участках 7% проб отбирали на расстоянии 500 и 700 м от МП ступени с подветренной стороны.

В РП второй ступени РН «Протон» снег опробовали с глубины 0–5 см. Для контроля поступления загрязнителей пробы отбирали за 1–2 дня до и через 1–2 дня после каждого пуска РН «Протон». В РП на юго-востоке Западной Сибири отобрано 6 проб в декабре 2010 г. (позднее данный РП в зимнее время не использовался).

В 2010–2019 гг. в Северо-Восточном Алтае снег (суммарно 710 проб) опробовали на высотах 440–2330 м над у.м. на мониторинговых точках, расположенных по всей территории РП и на сопредельной территории (20–40 км за пределами РП).

Образцы снега таяли в лаборатории при температуре 20–22°С. Талую воду фильтровали через фильтр «синяя лента». В фильтрате определяли содержание НДМГ, НДМА, NO3–, NO2– и NH4+, величину рН, а также в районах падения первой ступени РН «Протон» – ТМТ (в 2009 – 2011 гг.) и формальдегид (в 2008 – 2010 гг.). Кроме того, в РП на юго-востоке Западной Сибири дополнительно проанализировано содержание SO42–, Cl–, СО32– НСО3–, Mg2+ и Са2+ в 6 пробах.

В связи с отсутствием различий по анализируемым показателям между пробами, отобранными до и после пуска (отсутствие значимого влияния ракетно-космической деятельности), а также минимальными отличиями состава снега в районе падения второй ступени РН «Протон» и на сопредельных территориях за счет влияния печного отопления на сопредельной территории [5, 18] в настоящей работе все данные по снегу из Северо-Восточного Алтая мы рассматривали в составе одной выборки для обоснования регионального уровня содержания азот-содержащих соединений.

В районах падения первой ступени выделяли «загрязненные» и «чистые» пробы с использованием критерия 3-х сигм по аналогии с [5,24]. Для этого из начального массива фоновых и субфоновых проб (n=126) были отбракованы все выбросы: пробы, в которых в следовых количествах обнаружены НДМГ, НДМА или ТМТ, содержание NO2–, NO3– и NH4+ превышало 0.2, 25 и 3.6 мг/л, а величина рН выходила за рамки 4.5 – 8.0. Далее для расчета фоновых уровней выборка была расширена на счет «чистых» проб, удовлетворяющих выше указанным критериям, отобранным на удалении не более 20 м от фрагментов ступени. Таким образом, снег фоновых территорий Центрального Казахстана (по многолетнему массиву данных за 2009 – 2019 гг.) характеризуется отсутствием НДМГ и НДМА, содержит менее 0.090 мг/л NO2–, менее 18 мг/л NO3– и 3.6 мг/л NH4 и имеет рН в пределах 4.1 – 9.1. Значимость различий выборочных средних посчитана с помощью теста Манна-Уитни.

# [**Результаты**](https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3374-9#Sec3) **исследования**

## ***Химический состав снега районов падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане.***

На расстоянии до 10 м от фрагментов ступени загрязнение снега диагностировано в абсолютном большинстве отобранных проб (92%) при преимущественном отсутствии (72%) такового на фоновых и субфоновых территориях (Рис. 3).

За 2009–2019 гг. выявлено 7 проб снега (под баками горючего и двигательными установками на пусках 14.02.2012, 29.12.2014 и 15.02.2014) с крайне высокой концентрацией НДМГ (1.0–2.5 г/л). Максимальные концентрации НДМА (50 – 240 мг/л, всего 4 пробы) также обнаруживали под баками горючего и двигательными установками единично на пусках 29.12.2014, 15.02.2014, 11.02.2009 и 12.02.2010. Экстремально высокое содержание NH4+ (60 – 670 мг/л, 7 проб) выявлено исключительно под баками горючего на пусках 15.02.2014, 21.12.2018, 29.12.2014, 15.02.2014, 30.01.2016. Высокие концентрации NO2– (100–484 мг/л, 8 проб) приурочены к бакам горючего и баку окислителя (пуски 27.12.2013, 15.02.2014, 03.02.2015, 30.01.2016, 24.12.2019), что отражает его формирование при трансформации НДМГ и АТ. Крайне высокое содержание NO3– (10–236 г/л, 18 проб) встречено под двигательными установками и баком окислителя 14.02.2012, 27.12.2013, 15.02.2014, 29.12.2014, 20.03.2015 и 30.01.2016. ТМТ в концентрации 1.2–5.5 мг/л обнаружен в 6 пробах под двигательными установками на пусках 13.12.2011 и 14.02.2012. Формальдегид в концентрации 2–6 мг/л обнаружен в 12 пробах под баками горючего и двигательными установками на пусках 11.02 и 29.12 2009 г.

На фоновых и субфоновых территориях было отбраковано 35 проб из 126. В них максимальные значения показателей загрязнения снега компонентами ракетного топлива достигали (в мг/л): НДМГ – 1.5, НДМА – 0.053, ТМТ – 0.058, формальдегид – 0.62, NO2– – 0.038, NO3– – 9.0, NH4+ – 29 при экстремальных значениях величины рН 3.4 и 9,6.

Статистически достоверные отличия между содержанием НДМГ, НДМА, NO3–, NO2– и NH4+ в снеге «чистых» и «загрязненных» проб обнаружены для большинства зим (Таблица 1).

Значимость отличий для рН, формальдегида и ТМТ не столь существенна. Для величины рН это связано с наличием как подкисления, так и подщелачивания, что в общей выборке загрязненных проб не способствует существенному отклонению наблюдаемого среднего в импактных зонах относительно среднего для массива «чистых» проб, но определяет существенно большую вариабельность в каждой из рассматриваемых пар «загрязненные пробы – чистые пробы». Для формальдегида и ТМТ отсутствие значимых различий обусловлено редким обнаружением обоих веществ. В связи с этим формальдегид и ТМТ были исключены из мониторинговых показателей [2].

## ***Химический состав снега районов падения второй ступени РН «Протон» в Западной Сибири и на Алтае.***

В районе падения на юго-востоке Западной Сибири НДМГ и НДМА в пробах снега не обнаружены. Среднее содержание (со стандартным отклонением) NO3– и NO2–, а также значение величины рН составляло 0.36±0.28 и 0.048±0.016 мг/л и 4.9±0.2 соответственно (Таблица 2). Среди катионов резко преобладал Mg2+ (1.2±0.1 мг/л). В значимых количествах Ca2+ и NH4+ не обнаружены. Анионы образовывали ряд: HCO3– (11.7±1.3 мг/л)> Cl– (2.9±1.0)> SO42– (2.2±0.3).

В горном районе падения второй ступени РН «Протон» и на сопредельных территориях НДМГ и НДМА в 710 пробах снега не обнаружены. Среднее содержание (со стандартным отклонением) NO3–, NO2– и NH4+ составило 0.47±0.59, 0.027±0.073 и 0.20±0.27 мг/л соответственно. Величина рН была 6.1±0.6.

# **Обсуждение**

В снеге фоновых территорий РП первой и второй ступеней РН «Протон» содержание NO3–, NO2– и NH4+, а также величина рН соответствуют региональным фоновым значениям, а в ряде случаев ниже значений, приводимых в литературе (Таблица 3). Отсутствие НДМГ и НДМА в снеге РП второй ступени РН «Протон» и на сопредельных территориях обусловлено разрушением ступени РН на большой высоте, испарением и рассеиванием образующихся капель топлива в атмосфере. Эти данные подтверждают модельные расчеты, обосновывающие невозможность загрязнения экосистем РП второй ступени РН «Протон» [1,19,20,21].

Однако в районах падения первой ступени РН «Протон» единично выявляются пробы с очень высоким содержанием азотсодержащих веществ. При этом стоит отметить, что НДМГ и НДМА – наиболее опасные для экосистем и человека продукты трансформации компонентов ракетного топлива – после снеготаяния не обнаруживаются в почвах мест падения [4] в отличие от севера Европейской территории России [11, 25], что связано с их неустойчивостью и разрушением при положительной температуре воздуха [5].

## ***Загрязнение снега в районах падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане***

В зоне техногенного воздействия (на расстоянии до 10 м от фрагментов первой ступени) в пределах районов падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане превышения пороговых по [5] значений NO3– установлены в 85% проб, а NH4+ – в 54% проб. Отклонения величины рН от фоновых значений установлены в 62% случаев (подкисление в 24% случаев, подщелачивание – 38%). В половине проб в значимых количествах обнаруживали НДМГ и НДМА (53 и 52% соответственно), ФА – в абсолютном большинстве проб (87%), а ТМТ – эпизодически (6%).

В районах падений первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане за весь период наблюдения (с 2009 по 2019 гг.) обнаружено 50 условно не загрязненных проб в непосредственной близи (до 20 м) от фрагментов первой ступени, что подтверждает локальность и неоднородность химического загрязнения в результате падения первой ступени РН «Протон» [2, 5,11,15].

Вдали от упавших фрагментов ступени загрязнение снега NО3– обусловлено иными антропогенными факторами [26, 27, 28, 29], не связанными с ракетно-космической деятельностью, например, трансграничным переносом [30,31,32,33, 34]. **Повышенное содержание** NО3– в снеге так же может быть связано с потенциальным аэрогенным переносом из ближайшего к РП городу Жезказган, для которого характерна высокая степень загрязнения атмосферы, в том числе NOх [35].

В приповерхностном слое снега NO3– может являться источником для формирования NO2–в результате фотохимических реакций [36, 37, 38, 39]. Однако обычно значимые количества NO2– обнаруживают на территориях с повышенной техногенной нагрузкой.

Присутствие NH4+ в снеге фоновых территорий также может быть связано с фотохимическими реакциями в атмосфере [40]. Техногенное поступление в экосистемы NH4+ чаще всего обусловлено животноводством и использованием сельскохозяйственных удобрений [41,42].

## ***Азотсодержащие вещества в снеге Северо-Восточного Алтая***

Уровни значений рН и содержания NO3– и NO2– в Северо-Восточном Алтае соответствуют региональному фону республики Алтай [43], как и установленные нами концентрации NH4+ [40, 44, 43, 45,46]. На сопредельных территориях содержание NH4+ находится на верхней границе регионального фонового диапазона регистрируемых значений. Основное влияние на химический состав атмосферных выпадений в Северо-Восточном Алтае оказывают выбросы котельных, печное отопление частного сектора и автотранспорт [47]. Более высокие значения NO3– в снежном покрове сопредельных к РП территорий по отношению к NH4+ в первую очередь определяются действием отопительных систем в холодный период года [18].

## ***Межгодовые и межрегиональные особенности химического состава и рН снега в Центральном Казахстане и Северо-Восточном Алтае***

Для снега Центрального Казахстана и Северо-Восточного Алтая не выявлено достоверных трендов динамики рассматриваемых показателей (Рис. 4), что, вероятно, отражает естественную флуктуацию содержания NO3–, NO2– и NH4+, а также величины рН [40,43, 44,45,46, 48].

По всему имеющемуся массиву данных 2009 – 2019 гг. выявлено повышенное содержание NO3*–*, NO2*–* и NH4+ и величины рН в снеге Центрального Казахстана относительно Северо-Восточного Алтая (p-value<0.001 для всех показателей). При этом в отдельные годы по всем показателям встречаются несущественные различия как по азотсодержащими соединениям в снеге, так и по величине рН.

# [**Заключение**](https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3374-9#Sec7)

В Центральном Казахстане на местах падения первой ступени РН «Протон» формируются участки химического загрязнения снега азотсодержащими компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации.

В районах падения второй ступени РН «Протон», расположенных на Кетско-Тымской равнине и в Северо-Восточном Алтае, не выявлено фактов загрязнения снега компонентами ракетного топлива и продуктами их трансформации. Содержание NO3*–*, NO2*–*, NH4+ и величина рН соответствуют природному фону или в ряде случаев существенно ниже его вследствие удаленности РП от локальных источников загрязнения N–содержащими соединениями.

Для фоновых территорий Центрального-Казахстана, Кетско-Тымской равнины и Северо-Восточного Алтая рассчитаны характерные значения (среднее и стандартное отклонение): для NO3*–* – 2.3±3.4, 0.36±0.28 и 0.47±0.59 мг/л соответственно, NO2*–*– 0.015±0.019, 0.048±0.016 и 0.027±0.074 мг/л, NH4+ – 0.75±0.98, <0.05 и 0.20±0.23 мг/л и величины рН – 6.6±0.9, 4.9±0.2 и 6.1±0.6.

[**Благодарности**](https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3374-9#Sec7). Авторы благодарны А.В. Пузанову за организацию полевых работ в Северо-Восточном Алтае.

**Acknowledgments.** The authors are grateful to Professor A. Puzanov for organizing field work in the NE Altai.

# **Cписок** [**литературы**](https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3374-9#Sec7)

1. *Мороков Ю.Н.* Моделирование падения в атмосфере остатков ракетного топлива. Вычислительные технологии. 2008. Т. 12. № 2. С. 52-59.
2. *Касимов Н.С., Кондратьев А.Д., Королева Т.В., Кречетов П.П., Неронов В.В., Попик М.В., Смоленков А.Д., Фадеев А.С., Черницова О.В., Шпигун О.А.* Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. М.: Рестарт, 2011. 472 с.
3. Fedorov L.A. Liquid missile propellants in the former Soviet Union // Environmental Pollution. 1999. V. 105. P. 157–161.
4. *Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenkov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., Kondratyev A.D., Kasimov N.S.* The environmental impact of space transport // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2018. V. 58. P. 54–69. doi 10.1016/j.trd.2017.10.013
5. *Sharapova A.V., Semenkov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D.* Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome // Science of the Total Environment. 2020. V.709. P. 136072. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136072
6. *Kenessov B., Alimzhanova M., Sailaukhanuly Y., Baimatova N., Abilev M., Batyrbekova S., Carlsen L.,* *Tulegenov A., Nauryzbayev M.* Transformation products of 1,1-dimethylhydrazine and their distribution in soils of fall places of rocket carriers in Central Kazakhstan // Sci. Total Environ. 2012. V. 427–428. P.78–85. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.04.017
7. *Kosyakov D.S., Ul’yanovskii N.V., Bogolitsyn K.G., Shpigun O.A.* Simultaneous determination of 1,1-dimethylhydrazine and products of its oxidative transformations by liquid chromatography–tandem mass spectrometry // Int. J. Environ. Anal. Chem. 2014. V. 94. №12. P. 1254–1263. doi: 10.1080/03067319.2014.940342.
8. *Rodin I.A., Smirnov R.S., Smolenkov A.D., Krechetov P.P., Shpigun O.A.* Transformation of unsymmetrical dimethylhydrazine in soils // Eurasian Soil Sci. 2012. V. 45. №4. P. 386 – 391. doi:10.1134/S1064229312040096
9. *Zhubatov Z.K., Kenessov B., Bakaikina N. V., Bimaganbetova A.O., Akynbayev N., Bakhytkyzy I.* Fast Determination of 1-Methyl-1H-1,2,4-triazole in Soils Contaminated by Rocket Fuel Using Solvent Extraction, Isotope Dilution and GC–MS // Chromatographia. 2016. V. 79. № 7–8. P. 491–499 [doi:10.1007/s10337-016-3054-8](https://doi.org/10.1007/s10337-016-3054-8)
10. *Kosyakov D.S., Ul’yanovskii N. V., Pikovskoi I.I., Kenessov B., Bakaikina N. V., Zhubatov Z., Lebedev A.T.* Effects of oxidant and catalyst on the transformation products of rocket fuel 1,1-dimethylhydrazine in water and soil // Chemosphere. 2019.V.228.P.335–344.doi:10.1016/j.chemosphere.2019.04.141
11. *Ul'yanovskii N.V., Lakhmanov D.E., Pikovskoi I. I., Falev D.I., Popov M.S., Kozhevnikov A.Yu., Kosyakov D.S.* Migration and transformation of 1,1-dimethylhydrazine in peat bog soil of rocket stage fall site in Russian North // Science of The Total Environment. 2020. V. 726. P. 138483. [doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138483](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138483)
12. *Смоленков А.Д., Попутникова Т.О., Смирнов Р.С., Родин И.А., Шпигун О.А.* Сравнительная оценка токсичности несимметричного диметилгидразина и продуктов его трансформации методами биотестирования // Теоретическая и прикладная экология. 2013. №2. С. 85 – 90.
13. *Ушакова В.Г., Шпигун О.Н., Старыгин О.И.* Особенности химических превращений НДМГ и его поведение в объектах окружащей среды // Ползуновский вестник. 2004. №4. С. 177-184.
14. *Ермаков Е.И., Панова Г.Г., Петрова З.М., Остапенко Н.С., Бойцова Л.В.* Влияние несимметричного диметилгидразина на состояние почвенно-растительной системы // Материалы научно-практической конференции РНЦ «Прикладная химия». С.-Пб.: изд-во РНЦ «Прикладная химия», 1996. С. 15 – 19.
15. *Королева Т. В., Кречетов П. П., Семенков И. Н., Шарапова А. В., Кондратьев А. Д.* Трансформация химического состава снега в местах падения первой ступени ракет-носителей “Протон” в Центральном Казахстане // Метеорология и гидрология. 2016. №8. С.90–99.
16. *Kottek M, Griesler J., Beck C., Rudolf B., Rubel F.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. 2006. V. 15. № 3. P. 259–263
17. Экологический паспорт района падения отделяющихся частей ракет-носителей №372 и сопредельных территорий. М: изд-во МГУ, 2013. 60 с.
18. *Королева Т. В., Шарапова А. В., Кречетов П. П.* Химический состав снега на территориях, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности (республика Алтай) // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 5. С. 432–437.
19. *Долотов А.Е., Кузнецов Г.В., Немова Т.Н.* Моделирование процесса испарения несимметричного диметилгидразина в атмосфере Земли // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 4. С. 23 – 25.
20. *Шереметьева У.М.* Моделирование процессов распространения токсичных компонентов топлива при эксплуатации жидкостных ракет. Дисс. … канд. физ.-мат.наук Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2006. 149 с.
21. *Bulba E., Nemova T., Dyatchina A.* The Temperature of the Dimethylhydrazine Drops Moving in the Atmosphere after Depressurization of the Fuel Tank Rockets // MATEC Web of Conferences. 2016. V. 72. P. 1 – 4. doi:10.1051/matecconf/20167201020
22. *Королева Т. В., Черницова О. В., Шарапова А. В., Кречетов П. П., Пузанов А. В., Горбачев И. В.* Почвенно-геохимическая характеристика горно-тундровых ландшафтов районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Сибирский экологический журнал. 2014. № 2. С. 183–191.
23. *Королева Т. В., Шарапова А. В., Кадетов Н. Г., Черницова О. В.* Эколого-геохимические исследования на территориях, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности (северо-западный Алтай) // География и природные ресурсы. 2015. №1. С. 71–79.
24. *Mrvić, V., Kostić-Kravljanac, L., Čakmak, D., Sikirić, B., Brebanović, B., Perović, V., Nikoloski, M.* Pedogeochemical mapping and background limit of trace elements in soils of Branicevo Province (Serbia). J. Geochemical Explor. 2011. V. 109 № 1 – 3. P. 18–25. doi:10.1016/j.gexplo.2010.09.005.
25. *Ul'yanovskii N.V., Lakhmanov D.E., Pikovskoi I. I., Falev D.I., Popov M.S., Kozhevnikov A.Yu., Kosyakov D.S.* Data on the spatial distribution of 1,1-dimethylhydrazine and its transformation products in peat bog soil of rocket stage fall site in Russian North // Data in Brief. 2020. V.30. P. 105614. doi:10.1016/j.dib.2020.105614
26. *Aber J., McDowell W., Nadelhoffer K., Magill A., Berntson G., Kamakea M., McNulty S., Currie W., Rustad L., Fernandez I.* Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems // Bioscience. 1998. V. 48. № 11. P. 921 – 934. doi:10.2307/1313296
27. *Driscoll C., Whitall D., Aber J., Boyer E., Castro M., Cronan C., Goodale C., Groffman P., Hopkinson C., Lambert K., Lawrence G., Ollinger S.* Nitrogen pollution: Sources and consequences in the U.S. Northeast. Environment. 2003. V. 45. №7. P. 8 – 22. doi:10.1080/00139150309604553
28. *Selman M., Greenhalgh S.* Eutrophication: Sources and drivers of nutrient pollution // Renewable Resources Journal. 2010. V. 26. №4. P.19-26.
29. *Suddick E.C., Whitney P., Townsend A.R., Davidson E.A.* The role of nitrogen in climate change and the impacts of nitrogen-climate interactions in the United States: Foreword to thematic issue // Biogeochemistry. 2013. V. 114. P. 1–10. doi:10.1007/s10533-012-9795-z
30. *Онучин А.А., Буренина Т.А., Зубарева О.Н., Трефилова О.В., Данилова И.В.* Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района // Сибирский экологический журнал. 2014. Т.6. С. 1025 – 1037.
31. *Dinu M., Moiseenko T., Baranov D.* Snowpack as indicators of atmospheric pollution: the example of the Valday Upland // Atmosphere. 2020. V. 462. №11. doi:10.3390/atmos11050462
32. *Polesello S., Comi M., Guzzella L., Marinoni A., Pecci M., Roscioli C., Smiraglia C., Tartari G., Teti P., Valsecchi S., Vuillermoz E.* 28 Chemical composition of fresh snow in the Himalaya and Karakoram // Dev. Earth Surf. Process. 2007. V. 10. P. 251–262. doi:10.1016/S0928-2025(06)10028-0
33. *Schettler G., Shabunin A., Kemnitz H., Knoeller K., Imashev S., Rybin A.* Seasonal and diurnal variations in dust characteristics on the northern slopes of the Tien Shan – Grain-size, mineralogy, chemical signatures and isotope composition of attached nitrate // J. Asian Earth Sci. 2014. V. 88. P. 257–276. doi:10.1016/j.jseaes.2014.03.019
34. *Wake C.P., Mayewski P.A., Spencer M.J.* A review of central Asian glaciochemical data // Ann. Glaciol. 1990. V.14. P. 301 – 306. doi:10.3189/S026030550000879X
35. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. 2017. Вып. 9. №215. 188 с.
36. *Honrath R.E., Guo S., Peterson M.C., Dziobak M.P., Dibb J.E., Arsenault M.A.* Photochemical production of gas phase NOx from ice crystal NO3– // J. Geophys. Res. Atmos. 2000. V. 105. №D19. P. 24183–24190. doi:10.1029/2000JD900361
37. *Jacobi H.W., Kleffmann J., Villena G., Wiesen P., King M., France J., Anastasio C., Staebler R.* Role of nitrite in the photochemical formation of radicals in the snow // Environ. Sci. Technol. 2014. V. 48. №1. P. 165–172. doi:10.1021/es404002c
38. *Van Dam B., Helmig D., Toro C., Doskey P., Kramer L., Murray K., Ganzeveld L., Seok B.* Dynamics of ozone and nitrogen oxides at Summit, Greenland: I. Multi-year observations in the snowpack // Atmos. Environ. 2015. V. 123. Part A. P. 268–284. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.09.060
39. *Warneck P., Wurzinger C.* Product quantum yields for the 305-nm photodecomposition of NO3- in aqueous solution // J. Phys. Chem. 1988. V. 92. № 22. P. 6278–6283. doi: 10.1021/j100333a02
40. *Жинжакова Л.З., Газаев М.А., Атабиева Ф.А.* Исследование химического состава снежного покрова на территории Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2009. № 1 (27). С. 125–130.
41. *Filippa G., Freppaz M., Williams M.W., Zanini E.* Major element chemistry in inner alpine snowpacks (Aosta Valley Region, NW Italy) // Cold regions science and technology. 2010. V. 64. №2. P 158–166. doi: 10.1016/j.coldregions.2010.07.005
42. *Nriagu J.O., Lawson G., Wong H.K.T., Cheam V.* Dissolved trace metals in lakes Superior, Erie, and Ontario // Environ. Sci. Technol. 1996. V.30. P 178–187. doi: 10.1021/es950221i
43. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2014 год. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2015. 199 с.
44. *Свистов П.Ф, Талаш А.С., Семенец Е.С.* О пространственно-временных изменениях кислотности атмосферных осадков // Климат и Природа. – 2016. – № 2 (19). – С. 14–26.
45. *Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т.* Феномен кислотности и химического состава атмосферных осадков в Центральной Арктике // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 3. Ч. 2. С. 255.
46. *Уварова В.И.* Харатеристика качества повверхностных и грунтовых вод на территории природного парка «Кондинские озера» // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2009. №9. С. 203 – 212.
47. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году. М.: Министерство природных ресурсов и экологии, 2015. 473 с.
48. *Саая Ч.Э., Ондар Х.Ю., Ондар У.В.* Изучение химического состава снежного покрова некоторых участков Убсу-Нурской котловины // Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая. Материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященная Году гостеприимства в Республике Тыва. Тувинский государственный университет. Кызыл: Тувинский государственный университет, 2016. С. 191 – 192.
49. *Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С.* Загрязнение снега на акватории оз. Байкал и прилегающей территории // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 340 – 353.
50. *Блинов С.М., Меньшикова Е.А., Батурин Е.Н., Ушакова Е.С., Золотарев Л.Р.* О составе снега на территории Верхнекамского солевого месторождения // Лед и снег. 2015. №1 (129). С. 121 – 128. doi: 10.15356/IS.2015.01.10
51. *Дмитриев О.Ю., Пузанов А.В., Самброс В.В., Балыкин С.Н., Горбачев И.В., Алексеев И.А., Шестеркин В.П., Савеленок А.Н.* Экологическая оценка состояния окружающей природной среды в районах падения ОЧ РН, планируемых к запуску с космодрома «Восточный» // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России: мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск: БГПУ, 2013. С. 192–201.
52. *Козлов А.В., Миронова Ю.И., Воронцова А.А.* *Акафьева Д.В., Береснев А.А., Быков А.С., Давыдов В.А., Зыков Я.В., Калиничева З.С., Орехова А.А.* Экологическая оценка катионно-анионного состава и кислотности снежного покрова с территории автомагистралей Нижнего Новгорода // Успехи современного естествознания. 2018. № 6. С. 78–83.
53. *Корецкий В.Е.* Снег в большом городе // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. Т. 1 №25. С. 4–11.
54. *Крутских Н.В., Бородулина Г.С., Казнина Н.М., Батова Ю.В., Рязанцев П.А., Ахметова Г.В., Новиков С.Г., Кравченко И.Ю.* Геоэкологические основы организации мониторинга Северных урбанизированных территории (на примере г. Петрозаводска) // Труды Карельского научного центра РАН. № 12. 2016. С. 52–67. doi: 10.17076/eco361
55. *Лобкина В.А., Генсиоровский Ю.В., Ухова Н.Н.* Геоэкологические проблемы участков, занятых снежными полигонами в городах (на примере г. Южно-Сахалинска) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 6. С. 510 – 520.
56. *Мешков Н.А.* Методические основы оценки влияния последствий ракетно-космической деятельности на здоровье населения, проживающего вблизи райнов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2009. Т. 10. С. 57-80.
57. *Московченко Д.В., Бабушкин А.Г.* Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 71–81
58. *Пристова Т.А., Василевич М.И.* Особенности химического состава снежного покрова в лесных экосистемах средней тайги республики Коми // Геохимия. 2011. № 2. С. 212 – 219.
59. *Прожорина Т.И., Якунина Н.И.* Оценка техногенного воздействия на городскую среду по загрязненности снежного покрова // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Волгоград: изд-во Волгоградского гос. ун-та, 2014. С. 373–376.
60. *Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М., Сергеева А.Г., Бородина Н.А.* Многомерный статистический анализ содержаний элементов в снеговом покрове г. Благовещенска // Региональная экология. 2018. Т. 2. №52. С. 15 – 28. doi:10.30694/1026-5600-2018-2-15-28
61. *Сабылина А.В., Ефремова Т.А.* Химический состав льда и подледной воды Онежского озера (на примере Петрозаводской губы) // Лед и снег. 2018. Т. 58. №3. С. 417 – 428. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-417-428
62. *Семенец Е.С. Свистов П.Ф., Талаш А.С.* Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья // Известия Томского политехнического ун.-та. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 3. С. 27 – 36.
63. *Степанов Е.Г., Салимова Ф.А., Фасиков Р.М.*, *Шафиков М.А.,Парахин А.А, Мулдашева Н.А.* Влияние промышленных предприятий города Салавата на загрязнение снега, почвы и продуктов растениеводства // Фундаментальные исследования. 2004. № 5. С. 51–54.
64. *Трубицина О.П.* Анализ геоэкологического состояния атмосферного воздуха и осадков Севера Русской равнины по данным мониторинга // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2008. №3. С. 35-42.
65. *Ушакова Е.*С., Щукова И.В. Химический состав снежного покрова г. Перми // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. №17. С. 232 – 235.
66. *Шестеркин В.П., Афанасьева М.И.* Солевой состав снежного покрова Хабаровска и его окрестностей // Современные проблемы регионального развития. Материалы VII Всероссийской научнойконференции. Биробиджан: Изд-во ин.-та комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения РАН, 2018. С. 132 – 134. doi: 10.31433/978-5-904121-22-8-2018-132-134
67. *Яхнин Э.Я., Томилин А.М., Томилина О.В., Попов Б.А.* Мониторинг загрязнения снежного покрова в зоне влияния аккумуляторного завода АО «Балтэлктро» (Кировский район Санкт-Петербурга) в 1993 – 2010 гг. // Региональная экология. 2011. №1 – 3. С. 53 – 60.
68. *Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A. Kudryavtsev A., Tomilova E.* Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. V. 192. doi:10.1007/s10661-020-8179-4

# **References**

1. *Morokov Yu.N.* Modeling the fall in the atmosphere of rocket fuel residues. *Vychislitel'nye tekhnologii.* Computing technology. 2008, 12 (2): 52-59. [In Russian]
2. *Kasimov N.S., Kondrat'ev A.D., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Neronov V.V., Popik M.V., Smolenkov A.D., Fadeev A.S., Chernicova O.V., Shpigun O.A.* *Ekologicheskij monitoring raketno-kosmicheskoj deyatel'nosti* (Environmental monitoring of rocket and space activities). Moscow: Restart, 2011: 472 p.
3. Fedorov L.A. Liquid missile propellants in the former Soviet Union. Environmental Pollution. 1999, 105: 157–161.
4. *Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenkov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., Kondratyev A.D., Kasimov N.S.* The environmental impact of space transport. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2018, 58: 54–69. doi 10.1016/j.trd.2017.10.013
5. *Sharapova A.V., Semenkov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A., Smolenkov A.D.* Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome. Science of the Total Environment. 2020, 709: 136072
6. *Kenessov B., Alimzhanova M., Sailaukhanuly Y., Baimatova N., Abilev M., Batyrbekova S., Carlsen L.,* *Tulegenov A., Nauryzbayev M.* Transformation products of 1,1-dimethylhydrazine and their distribution in soils of fall places of rocket carriers in Central Kazakhstan. Sci. Total Environ. 2012, 427–428:78–85. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.04.017
7. *Kosyakov D.S., Ul’yanovskii N.V., Bogolitsyn K.G., Shpigun O.A.* Simultaneous determination of 1,1-dimethylhydrazine and products of its oxidative transformations by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Int. J. Environ. Anal. Chem. 2014, 94 (12): 1254–1263. doi: 10.1080/03067319.2014.940342.
8. *Rodin I.A., Smirnov R.S., Smolenkov A.D., Krechetov P.P., Shpigun O.A.* Transformation of unsymmetrical dimethylhydrazine in soils. Eurasian Soil Sci. 2012, 45(4: 386 – 391. doi:10.1134/S1064229312040096
9. *Zhubatov Z.K., Kenessov B., Bakaikina N,, Bimaganbetova A.O., Akynbayev N., Bakhytkyzy I.* Fast Determination of 1-Methyl-1H-1,2,4-triazole in Soils Contaminated by Rocket Fuel Using Solvent Extraction, Isotope Dilution and GC–MS . Chromatographia. 2016, 79(7–8): 491–499 [doi:10.1007/s10337-016-3054-8](https://doi.org/10.1007/s10337-016-3054-8)
10. *Kosyakov D.S., Ul’yanovskii N,, Pikovskoi I.I., Kenessov B., Bakaikina N,, Zhubatov Z., Lebedev A.T.* Effects of oxidant and catalyst on the transformation products of rocket fuel 1,1-dimethylhydrazine in water and soil. Chemosphere. 2019, 228: 335–344. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.04.141
11. *Ul'yanovskii N.V., Lakhmanov D.E., Pikovskoi I. I., Falev D.I., Popov M.S., Kozhevnikov A.Yu., Kosyakov D.S.* Migration and transformation of 1,1-dimethylhydrazine in peat bog soil of rocket stage fall site in Russian North. Science of The Total Environment. 2020, 726: 138483. [doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138483](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138483)
12. *Smolenkov A.D., Poputnikova T.O., Smirnov R.S., Rodin I.A., Shpigun O.A.*Comparative assessment of toxicity of unsymmetrical dimethyl hydrazine and its decomposition products by bioassay methods. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. Theoretical and Applied Ecology. 2013, 2: 85 – 90.
13. *Ushakova V.G., Shpigun O.N., Starygin O.I.* Features of chemical transformations of UDMH and its behavior in environmental objects. *Polzunovskij vestnik*. Polzunovsky Bulletin. 2004 (4): 177-184. [In Russian].
14. *Ermakov E.I., Panova G.G., Petrova Z.M., Ostapenko N.S., Bojcova L.V.* The effect of asymmetric dimethylhydrazine on the state of the soil-plant system. *Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii RNC «Prikladnaya himiya»* (Proc. of the scientific-practical conference of the RSC “Applied Chemistry”). Sank-Peterburg, RNC Prikladnaya himiya, 1996: 15 – 19. [In Russian].
15. *Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenkov I.N., Sharapova A.V., Kondrat’ev A.D.* Transformation of Chemical Composition of Snow in the Impact Areas of the First Stage of the Expandable Launch System Proton in Central Kazakhstan. Russian Meteorology and Hydrology. 2016. 41 (8): 585-591. doi:10.3103/S1068373916080094
16. *Kottek M, Griesler J., Beck C., Rudolf B., Rubel F.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift. 2006, 15 (3): 259–263
17. *Ekologicheskij pasport rajona padeniya otdelyayushchihsya chastej raket-nositelej №372 i sopredel'nyh territorij* (Ecological passport of the region of the fall of the separating parts of launch vehicles No. 372 and adjacent territories), Moscow: Moscow State University, 2013: 60 p.
18. *Koroleva T.V., Sharapova A.V., Krechetov P.P.* A chemical composition of snow on areas exposed to space-rocket activity (Altai republic). Gigiena i sanitariia. 2017, 96 (5): 432–437.
19. *Dolotov A.E., Kuznecov G.V., Nemova T.N.* Modeling the process of evaporation of asymmetric dimethylhydrazine in the Earth’s atmosphere. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. News of Tomsk Polytechnic University. 2008, 313 (4): 23 – 25. [In Russian].
20. *Sheremet'eva U.M.* Modeling of the distribution of toxic fuel components during the operation of liquid rockets. Dissirtation. Tomsk: National Research Tomsk State University, 2006: 149 p. [In Russian].
21. *Bulba E., Nemova T., Dyatchina A.* The Temperature of the Dimethylhydrazine Drops Moving in the Atmosphere after Depressurization of the Fuel Tank Rockets. MATEC Web of Conferences. 2016, 72: 1–4. doi:10.1051/matecconf/20167201020
22. *Koroleva T.V., Chernitsova O.V., Sharapova A.V., Krechetov P.P., Puzanov A.V., Gorbachev I.V..* Soil and Geochemical Characteristics of Mountain and Tundra Landscapes in Impact Zones Used for Landing Separated Parts of Launch Vehicles. Contemporary Problems of Ecology. 20147 (2): 151-157. doi: 10.1134/S1995425514020085
23. *Koroleva T.V., Sharapova A.V., Kadetov N.G., Chernitsova O.V.* Ecologo-geochemical investigations on territories experiencing the effects from rocket and space activity (Northwestern Altai). Geography and Natural Resources. 2015 36(1): 54–61. doi: 10.1134/S1875372815010084
24. *Mrvić, V., Kostić-Kravljanac, L., Čakmak, D., Sikirić, B., Brebanović, B., Perović, V., Nikoloski, M.* Pedogeochemical mapping and background limit of trace elements in soils of Branicevo Province (Serbia). J. Geochemical Explor. 2011, 109 (1 – 3): 18–25. doi:10.1016/j.gexplo.2010.09.005.
25. *Ul'yanovskii N.V., Lakhmanov D.E., Pikovskoi I. I., Falev D.I., Popov M.S., Kozhevnikov A.Yu., Kosyakov D.S.* Data on the spatial distribution of 1,1-dimethylhydrazine and its transformation products in peat bog soil of rocket stage fall site in Russian North. Data in Brief. 2020,30: 105614. doi:10.1016/j.dib.2020.105614
26. *Aber J., McDowell W., Nadelhoffer K., Magill A., Berntson G., Kamakea M., McNulty S., Currie W., Rustad L., Fernandez I.* Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems. Bioscience. 1998, 48 (11): 921 – 934. doi:10.2307/1313296
27. *Driscoll C., Whitall D., Aber J., Boyer E., Castro M., Cronan C., Goodale C., Groffman P., Hopkinson C., Lambert K., Lawrence G., Ollinger S.* Nitrogen pollution: Sources and consequences in the U.S. Northeast. Environment. 2003, 45 (7): 8 – 22. doi:10.1080/00139150309604553
28. *Selman M., Greenhalgh S.* Eutrophication: Sources and drivers of nutrient pollution. Renewable Resources Journal. 2010, 26(4): 19-26.
29. *Suddick E.C., Whitney P., Townsend A.R., Davidson E.A.* The role of nitrogen in climate change and the impacts of nitrogen-climate interactions in the United States: Foreword to thematic issue. Biogeochemistry. 2013, 114: 1–10. doi:10.1007/s10533-012-9795-z
30. *Onuchin A.A., Burenina T.A., Zubareva O.N., Trefilova O.V., Danilova I.V.* Pollution of snow cover in the impact zone of enterprises in Norilsk Industrial Area. Contemporary Problems of Ecology. 2014. 7(6): 714-722. doi: 10.1134/S1995425514060080
31. *Dinu M., Moiseenko T., Baranov D.* Snowpack as indicators of atmospheric pollution: the example of the Valday Upland. Atmosphere. 2020, 462 (11). doi:10.3390/atmos11050462
32. *Polesello S., Comi M., Guzzella L., Marinoni A., Pecci M., Roscioli C., Smiraglia C., Tartari G., Teti P., Valsecchi S., Vuillermoz E.* 28 Chemical composition of fresh snow in the Himalaya and Karakoram. Dev. Earth Surf. Process. 2007, 10: 251–262. doi:10.1016/S0928-2025(06)10028-0
33. *Schettler G., Shabunin A., Kemnitz H., Knoeller K., Imashev S., Rybin A.* Seasonal and diurnal variations in dust characteristics on the northern slopes of the Tien Shan – Grain-size, mineralogy, chemical signatures and isotope composition of attached nitrate. J. Asian Earth Sci. 2014, 88: 257–276. doi:10.1016/j.jseaes.2014.03.019
34. *Wake C.P., Mayewski P.A., Spencer M.J.* A review of central Asian glaciochemical data. Ann. Glaciol. 1990, 14: 301 – 306. doi:10.3189/S026030550000879X
35. *Informacionnyj byulleten' o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan* (The newsletter on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan). 2017, 9 (215): 188 p. [In Russian].
36. *Honrath R.E., Guo S., Peterson M.C., Dziobak M.P., Dibb J.E., Arsenault M.A.* Photochemical production of gas phase NOx from ice crystal NO3–. J. Geophys. Res. Atmos. 2000, 105 (D19): 24183–24190. doi:10.1029/2000JD900361
37. *Jacobi H.W., Kleffmann J., Villena G., Wiesen P., King M., France J., Anastasio C., Staebler R.* Role of nitrite in the photochemical formation of radicals in the snow. Environ. Sci. Technol. 2014, 48 (1): 165–172. doi:10.1021/es404002c
38. *Van Dam B., Helmig D., Toro C., Doskey P., Kramer L., Murray K., Ganzeveld L., Seok B.* Dynamics of ozone and nitrogen oxides at Summit, Greenland: I. Multi-year observations in the snowpack. Atmos. Environ. 2015, 123 (Part A): 268–284. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.09.060
39. *Warneck P., Wurzinger C.* Product quantum yields for the 305-nm photodecomposition of NO3- in aqueous solution. J. Phys. Chem. 1988, 92 (22): 6278–6283. doi: 10.1021/j100333a02
40. *Zhinzhakova L.Z., Gazaev M.A., Atabieva F.A.* Study of the chemical composition of the snow cover on the territory of the Kabardino-Balkarian State High Mountain Nature Reserve. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN*. News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS. 2009, 1 (27): 125–130. [In Russian].
41. *Filippa G., Freppaz M., Williams M.W., Zanini E.* Major element chemistry in inner alpine snowpacks (Aosta Valley Region, NW Italy). Cold regions science and technology. 2010, 64(2. P 158–166. doi: 10.1016/j.coldregions.2010.07.005
42. *Nriagu J.O., Lawson G., Wong H.K.T., Cheam V.* Dissolved trace metals in lakes Superior, Erie, and Ontario. Environ. Sci. Technol. 1996, 30: 178–187. doi: 10.1021/es950221i
43. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2014 god (Review of the state and environmental pollution in the Russian Federation for 2014). Moscow: Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet), 2015: 199 p. [In Russian].
44. *Свистов П.Ф, Талаш А.С., Семенец Е.С.* О пространственно-временных изменениях кислотности атмосферных осадков. Климат и Природа. – 2016, 2 (19): 14–26.
45. *Svistov P.F., Pershina N.A., Pavlova M.T.* The phenomenon of acidity and chemical composition of precipitation in the Central Arctic. *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. International Journal of Experimental Education. 2015, 3 (2): 255.
46. *Uvarova V.I.* Quality characteristics of surface and groundwater in the Kondinsky Lakes Natural Park. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. Bulletin of ecology, forestry and landscape science. 2009, 9: 203 – 212. [In Russian].
47. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2014 godu. (State report “On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2014). Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology, 2015: 473 p. [In Russian].
48. *Saaya CH.E., Ondar H.YU., Ondar U.V.* Study of the chemical composition of the snow cover of some sections of the Ubsu-Nur basin. *Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov, posvyashchennaya Godu gostepriimstva v Respublike Tyva* (Proc. of the IV international scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students, dedicated to the Year of Hospitality in the Republic of Tuva). Kyzyl: Tuvan State University, 2016: 191 – 192. [In Russian].
49. *Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Yanchuk M.S.* Snow pollution in Lake Baikal water area in nearby land areas. Water Resources. 2017. 44(3): 471-484. doi: 10.1134/S0097807817030046
50. *Blinov S.M., Menshikova E.A., Baturin E.N., Ushakova E.S., Zolotarev L.R.* On a snow cover composition in the vicinity of the Verkhnekamsky Salt Deposit. Ice and Snow. 2015;55(1):121-128. [In Russian] doi:10.15356/2076-6734-2015-1-121-128
51. *Dmitriev O.YU., Puzanov A.V., Sambros V.V., Balykin S.N., Gorbachev I.V., Alekseev I.A., SHesterkin V.P., Savelenok A.N.* Ecological assessment of the state of the environment in the areas of the fall of the OH RN, planned for launch from the Vostochny spaceport. Materially II Vserossijskoi nauchno-prakticheskoj konferentsii (Proc. Of the II All-Russian scientific-practical conf). Blagoveshchensk: BGPU, 2013: 192–201. [In Russian].
52. *Kozlov A.V., Mironova YU.I., Voroncova A.A., Akaf'eva D.V., Beresnev A.A., Bykov A.S., Davydov V.A., Zykov YA.V., Kalinicheva Z.S., Orekhova A.A.* Ecological assessment of the cationic anionic composition and acidity of the snow cover from the territory of the Nizhny Novgorod highways. Успехи современного естествознания. 2018, 6: 78–83.
53. *Koreckij V.E.* Snow in the big city. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. Water purification. Water treatment. Water supply. 2010, 1 (25): 4–11. [In Russian]
54. *Krutskih N.V., Borodulina G.S., Kaznina N.M., Batova Yu.V., Ryazancev P.A., Ahmetova G.V., Novikov S.G., Kravchenko I.Yu.* Geoecological basis for the organization of monitoring of the Northern urban areas (for example, Petrozavodsk). Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the RAS. 2016, 12: 52–67. [In Russian]. doi: 10.17076/eco361
55. *Lobkina V.A., Gensiorovskij Yu.V., Uhova N.N.* Geoecological problems of snow-disposal areas in cities (by the example of Yuzhno-Sakhalinsk). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya.* Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2016 (6): 510 – 520. [In Russian].
56. *Meshkov N.A.* Methodological basis for assessing the impact of the effects of rocket and space activities on the health of the population living near the fall regions of the separating parts of launch vehicles. Medline.ru. Rossijskij biomedicinskij zhurnal. Medline.ru. Russian Biomedical Journal. 2009, 10: 57-80. [In Russian]
57. *Moskovchenko, D.V, Babushkin, A. G.* Peculiarities of formation of chemical composition of snow waters (on example of Khanty-Mansi autonomous district). Earth’s Cryosphere, 2012, 16 (1), 71–81. [In Russian]
58. *Pristova T.A., Vasilevich M.I.* Chemical composition of snow cover in middle-taiga forest ecosystems in the Komi Republic. Geochemistry International. 2011. 49 (2): 199-206.
59. *Prozhorina T.I., YAkunina N.I.* Assessment of anthropogenic impact on the urban environment by pollution of the snow cover. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference). Volgograd: Volgograd State University, 2014: 373–376. [In Russian]
60. *Radomskaya V.I., Yusupov D.V., Pavlova L.M., Sergeeva A.G., Borodina N.A.* Multivariate statistical analysis of element contents in the snow cover of Blagoveshchensk. *Regional'naya ekologiya*. Regional ecology. 2018, 2 (52): 15 – 28. [In Russian]. doi:10.30694/1026-5600-2018-2-15-28
61. *Sabylina A.V., Efremova T.A.* The chemical composition of ice and water under ice of Lake Onega (the case of Petrozavodsk Bay). *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2018. 58 (3): 417–428. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-3-417-428.
62. *Semenec E.S. Svistov P.F., Talash A.S.* The chemical composition of precipitation in the Russian Arctic. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering. 2017, 328 (3): 27 – 36. [In Russian]
63. *Stepanov E.G., Salimova F.A., Fasikov R.M., SHafikov M.A.,Parahin A.A, Muldasheva N.A.* The influence of industrial enterprises of the city of Salavat on the pollution of snow, soil and crop products. *Fundamental'nye issledovaniya*. Basic researchs. 2004 5: 51–54. [In Russian].
64. *Trubicina O.P.* Analysis of the geoecological state of atmospheric air and precipitation in the North of the Russian Plain according to monitoring data. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki.* Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences. 2008 3: 35-42. [In Russian]
65. *Ushakova E.S., Shchukova I.V.* The chemical composition of the snow cover of Perm. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. Geology and Minerals of the Western Urals. 2017, 17: 232 – 235. [In Russian]
66. *Shesterkin V.P., Afanas'eva M.I.* The salt composition of the snow cover of Khabarovsk and its environs. Modern problems of regional development. Materialy VII Vserossijskoj nauchnoj konferencii (Proc. of the VII All-Russian Scientific Conference). Birobidzhan: Institute or Complex Analysis of Regional Problems of the Far Eastern Branch of the RAS, 2018: 132 – 134. [In Russian]. doi: 10.31433/978-5-904121-22-8-2018-132-134
67. *Yahnin E.YA., Tomilin A.M., Tomilina O.V., Popov B.A.* Monitoring of snow cover pollution in the influence zone of Baltelktro JSC battery battery (Kirovsky district of St. Petersburg) in 1993 – 2010. *Regional'naya ekologiya*. Regional ecology. 2011, 1 – 3: 53 – 60. [In Russian]
68. *Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A. Kudryavtsev A., Tomilova E.* Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions. Environmental Monitoring and Assessment. 2020, 192. doi: 10.1007/s10661-020-8179-4

**Рис. 1.** Места проведения работ, приуроченные к районам падения первой (1) и второй (2) ступеней РН «Протон» (а), эксплуатируемым в 2009 – 2019 гг: б – первой ступени в Центральном Казахстане с местами падения отработавших ступеней ракет-носителей (6), в – второй ступени в Северо-Восточном Алтае с мониторинговыми точками (7). 3 – космодром Байконур. Границы 4 – государственные, 5 – административные

**Fig. 1**. Study area at the falling regions of the first (1) and second (2) stages of the Proton launch vehicle (a), operated in 2009 – 2019: b – the first stage in Central Kazakhstan with the falling sites of launch vehicle stages (6), в – the second stage in the NE Altai with monitoring points (7). 3 – Baikonur Cosmodrome. Borders: 4 – state, 5 – administerative

**Рис. 2.** Изменение окраски снега в результате пролива компонентов ракетного топлива из фрагмента первой ступени РН «Протон» 29.12.2014

**Fig. 2**. Snow discoloration resulted from spillage of rocket fuel components from a fragment of the Proton LV first stage 12.29.2014

**Рис. 3**. Загрязнение проб снега в районах падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане:

1 – незагрязненный снег вблизи фрагментов ступени, 2 – незагрязненный снег на (суб)фоновых территориях, 3 – загрязненный снег на (суб)фоновых территориях, 4 – загрязненный снег вблизи фрагментов.

**Fig. 3**. Pollution of snow in the falling regions at the LV Proton first stage in Central Kazakhstan:

1 – uncontaminated snow near the fragments, 2 – uncontaminated snow in the background territories, 3 – contaminated snow in the background territories, 4 – contaminated snow near the fragments.

**Рис. 4**. Межгодовая динамика содержания азотсодержащих соединений и рН снега фоновых территорий (среднее и ошибка среднего): 1 – Центральный Казахстан, 2 – Северо-Восточный Алтай. Значимость отличий среднего: \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.

**Fig. 4**. Dynamics of the content of nitrogen-containing compounds and pH of the snow in the background area (average and average error): 1 – Central Kazakhstan, 2 – NE Altai. The significance of differences: \* P <0.05, \*\* P <0.01, \*\*\* P <0.001.

**Таблица 1.** Состав снега и величина рН в районах падения первой ступени РН «Протон» в Центральном Казахстане

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Зима | Участок | M | Me | max | Cv | n | N | M | Me | max | Cv | n | N |
| НДМГ |  |  |  |  |  |  | НДМА |  |  |  |  |
| 2008–2009 | 1 | 28 | 0.016 | 302 | 331 | 6 | 11 | 15 | 0.018 | 132 | 263 | 7 | 11 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 2009–2010 | 1 | 6.1 | 0.18 | 216 | 413 | 71 | 92 | 2.5 | 0.13 | 62 | 322 | 62 | 92 |
| 2 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| 2011–2012 | 1 | 73 | 0 | 2540 | 555 | 28 | 128 | 0.5 | 0 | 29 | 691 | 8 | 87 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 2013–2014 | 1 | 74 | 0.03 | 2426 | 454 | 64 | 106 | 2.4 | 0.06 | 148 | 608 | 70 | 106 |
| 2 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| 2014–2015 | 1 | 31 | 0.095 | 1072 | 438 | 102 | 156 | 4.1 | 0.13 | 240 | 491 | 86 | 156 |
| 2 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| 2015–2016 | 1 | 3.0 | 0.020 | 84 | 418 | 51 | 92 | 0.2 | 0 | 3.100 | 269 | 45 | 92 |
| 2 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| 2018–2019 | 1 | 2.8 | 0.18 | 22 | 222 | 15 | 16 | 0.8 | 0.10 | 7.130 | 237 | 11 | 16 |
| 2 | 0\*\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 2019–2020 | 1 | 13 | 0.070 | 158 | 279 | 11 | 19 | 3.2 | 0.68 | 30 | 210 | 14 | 19 |
| 2 | 0\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0\*\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| NO3– |  |  |  |  |  |  | NO2– |  |  |  |  |
| 2008–2009 | 1 | 44 | 6 | 135 | 135 | 5 | 5 | 1.8 | 0.31 | 6.2 | 146 | 3 | 6 |
| 2 | 1.5\* | 1.4 | 2.1 | 37 | 6 | 6 | 0.027 | 0.027 | 0.055 | 141 | 1 | 2 |
| 2009–2010 | 1 | 8.6 | 5.3 | 50 | 113 | 54 | 54 | 1.1\*\*\* | 0.16 | 3.8 | 123 | 54 | 54 |
| 2 | 0.3\*\*\* | 0.2 | 1.1 | 87 | 9 | 9 | 0.029 | 0.028 | 0.044 | 47 | 9 | 9 |
| 2011–2012 | 1 | 3182 | 16 | 236041 | 701 | 128 | 128 | 11\*\*\* | 7.02 | 42 | 109 | 109 | 127 |
| 2 | 5.0\*\* | 1.3 | 20 | 144 | 9 | 9 | 0.028 | 0.030 | 0.080 | 93 | 6 | 9 |
| 2013–2014 | 1 | 2018 | 30 | 34588 | 303 | 106 | 106 | 16\*\*\* | 0.73 | 484 | 376 | 88 | 106 |
| 2 | 1.9\*\*\* | 1.5 | 9.7 | 116 | 23 | 23 | 0.014 | 0.011 | 0.057 | 122 | 14 | 23 |
| 2014–2015 | 1 | 963 | 64 | 18430 | 258 | 154 | 156 | 6.7 | 0.83 | 196 | 328 | 127 | 156 |
| 2 | 3.0\*\*\* | 1.6 | 16 | 137 | 28 | 28 | 0.012 | 0.008 | 0.067 | 150 | 17 | 28 |
| 2015–2016 | 1 | 763 | 41 | 20065 | 354 | 91 | 91 | 6.9\*\*\* | 0.34 | 142 | 356 | 58 | 68 |
| 2 | 2.8\*\*\* | 1.5 | 12 | 113 | 21 | 23 | 0.003 | 0 | 0.046 | 400 | 1 | 16 |
| 2018–2019 | 1 | 138 | 71 | 673 | 133 | 16 | 16 | 13\*\*\* | 5.95 | 59 | 129 | 15 | 16 |
| 2 | 1.1\*\*\* | 0.9 | 2.3 | 53 | 11 | 11 | 0.016 | 0.009 | 0.055 | 129 | 6 | 11 |
| 2019–2020 | 1 | 359 | 25 | 3987 | 261 | 19 | 19 | 40\*\*\* | 14 | 290 | 168 | 19 | 19 |
| 2 | 1.5\*\*\* | 1.5 | 2.0 | 36 | 9 | 9 | 0.013 | 0.015 | 0.030 | 102 | 5 | 9 |
| ФА |  |  |  |  |  |  |  | pH |  |  |  |  |  |
| 2008–2009 | 1 | 2.0 | 2.5 | 3.9 | 83 | 4 | 6 | 7.1 | 7.2 | 9.3 | 26 | 11 | 11 |
| 2 | 0.75 | 0.75 | 1.5 | 141 | 1 | 2 | 6.6 | 6.5 | 7.4 | 11 | 8 | 8 |
| 2009–2010 | 1 | 2.2\*\*\* | 1.9 | 5.9 | 91 | 16 | 16 | 5.5 | 6.1 | 9.6 | 44 | 77 | 77 |
| 2 | 0.022 | 0 | 0.06 | 117 | 5 | 11 | 6.3 | 6.5 | 8.4 | 15 | 20 | 20 |
| ТМТ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2009–2010 | 1 | 0.026 | 0 | 0.72 | 460 | 4 | 38 |  |  |  |  |  |  |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |  |  |  |  |  |  |
| 2011–2012 | 1 | 0.19 | 0 | 5.5 | 444 | 8 | 110 | 7.1 | 7.5 | 9.8 | 19 | 128 | 128 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7.1 | 7.5 | 7.9 | 10 | 9 | 9 |
| NH4+ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2013–2014 | 1 | 23 | 3.0 | 670 | 382 | 48 | 57 | 5.8 | 6.5 | 10.3 | 41 | 105 | 105 |
| 2 | 1.8 | 1.6 | 3.6 | 61 | 7 | 8 | 6.6 | 6.6 | 8.4 | 13 | 23 | 23 |
| 2014–2015 | 1 | 11\*\*\* | 7.0 | 68 | 129 | 61 | 64 | 5.5 | 6.4 | 10.2 | 44 | 156 | 156 |
| 2 | 1.1 | 0.22 | 3.5 | 133 | 5 | 9 | 6.7\* | 7.0 | 8.4 | 14 | 28 | 28 |
| 2015–2016 | 1 | 7.5\*\*\* | 1.3 | 64 | 184 | 37 | 41 | 6.0 | 6.8 | 10.3 | 39 | 92 | 92 |
| 2 | 0.30 | 0.27 | 0.81 | 96 | 11 | 17 | 6.8 | 7.0 | 7.9 | 11 | 21 | 21 |
| 2018–2019 | 1 | 29\*\*\* | 13 | 97 | 113 | 10 | 10 | 5.9 | 6.7 | 7.9 | 29 | 16 | 16 |
| 2 | 0.40 | 0.65 | 0.69 | 91 | 3 | 5 | 6.8 | 6.8 | 7.7 | 8 | 11 | 11 |
| 2019–2020 | 1 | 13\*\* | 3.2 | 50 | 134 | 10 | 10 | 7.3 | 7.6 | 8.5 | 17 | 19 | 19 |
| 2 | 0.31 | 0.29 | 0.40 | 22 | 4 | 4 | 6.3\*\*\* | 6.5 | 7.2 | 13 | 9 | 9 |

Участок: 1 – «загрязненные» пробы вблизи фрагментов первой ступени, 2 – «чистые» пробы. М – среднее, Ме – медиана, max – максимум, Cv – коэффициент вариации для выборок со значимыми концентрациями веществ (n). N – общее число проанализированных проб. Значимость отличий среднего: \* P<0.05, \*\* P<0.01, \*\*\* P<0.001.

**Таблица 2.** Состав снега и величина рН в районе падения второй ступени РН «Протон» в Северо-Западном Алтае (в 2009 – 2019 гг.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Зима | M | Me | max | Cv | n | N | M | Me | max | Cv | n | N |
| NO3– | pH |
| 2009–2010 | 0.24 | 0.11 | 1.5 | 127 | 55 | 55 | 6.1 | 6.0 | 7.3 | 10 | 55 | 55 |
| 2011–2012 | 0.26 | 0.08 | 2.2 | 159 | 97 | 131 | 6.1 | 6.1 | 8.0 | 11 | 70 | 70 |
| 2012–2013 | 0.18 | 0.08 | 3.9 | 238 | 77 | 109 | 5.7 | 5.6 | 6.8 | 9 | 96 | 96 |
| 2013–2014 | 0.51 | 0.23 | 3.6 | 132 | 78 | 151 | 5.9 | 5.9 | 7.6 | 9 | 127 | 127 |
| 2014–2015 | 0.69 | 0.70 | 3.9 | 100 | 57 | 89 | 6.5 | 6.5 | 7.7 | 9 | 82 | 82 |
| 2015–2016 | 0.81 | 0.70 | 2.4 | 71 | 90 | 103 | 6.0 | 6.0 | 6.8 | 6 | 83 | 83 |
| 2018–2019 | 0.76 | 0.57 | 2.0 | 59 | 37 | 37 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 4 | 50 | 50 |
| 2019–2020 | 0.53 | 0.67 | 1.3 | 98 | 11 | 22 | 6.3 | 6.3 | 7.0 | 5 | 22 | 22 |
| NH4+ | NO2– |
| 2009–2010 | 0.10 | 0.03 | 0.78 | 182 | 27 | 55 | 0.06 | 0.00 | 0.61 | 178 | 55 | 55 |
| 2011–2012 | 0.16 | 0.05 | 1.2 | 157 | 97 | 131 | – | 0 | 70 |
| 2012–2013 | 0.13 | 0.05 | 0.73 | 143 | 81 | 109 | – | 0 | 96 |
| 2013–2014 | 0.16 | 0.10 | 1.3 | 118 | 104 | 151 | – | 0 | 127 |
| 2014–2015 | 0.26 | 0.27 | 0.88 | 80 | 77 | 89 | – | 0 | 82 |
| 2015–2016 | 0.23 | 0.16 | 0.74 | 100 | 78 | 103 | – | 0 | 83 |
| 2018–2019 | 0.41 | 0.46 | 0.86 | 61 | 47 | 50 | 0.01 | 0.00 | 0.06 | 279 | 6 | 50 |
| 2019–2020 | 0.26 | 0.23 | 0.68 | 74 | 19 | 22 | – | 0 | 22 |

Концентрации НДМГ и НДМА были меньше 0,5 мкг/л во всех проанализированных пробах

**Таблица 3.** Уровни содержания азотсодержащих веществ (мг/л) и рН снега

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатель | Импактные зоны | Фоновые территории |
| ЦК | Литературные данные | ЦК\* | КТ | СВА | Литературные данные |
| х | max\*\* | х | max\*\* | х | max\*\* | х | max\*\* | х | max\*\* | х | max\*\* |
| NO3– | 8.6–3182 | 34588 | 0.2–2.9 | 16 | 0.3–5.0 | 20 | 0.36 | 0.82 | 0.18–0.81 | 3.9 | 0.14–32 | 10 |
| NO2– | 1.1–40 | 484 | 0.001–1.8 | 11 | 0.003–0.029 | 0.067 | 0.048 | 0.06 | <0.06 | 0.61 | <0.21 | 0.51 |
| NH4+ | 7.5–29 | 670 | 0.05–1.48 | 12 | 0.3–1.8 | 3.6 | <0.05 | <0.05 | 0.10–0.41 | 1.3 | 0.04–15 | 9.6 |
| рН | 5.5–7.3 | 0.9–10.3 | 5.4–6.9 | 3.3–9.2 | 6.6–7.1 | 4.5–8.4 | 4.9 | 4.7–5.2 | 5.7–6.4 | 4.6–8.0 | 4.8–6.4 | 4.0–7.7 |

х – типичные значения среднего, max – максимум. \* для массива незагрязненных проб, \*\* для рН помимо максимума представлен и минимум. Районы падений ступеней ракет-носителей «Протон» (данные за 2009 – 2019 гг.): ЦК – Центральный Казахстан, КТ – Кетско-Тымская возвышенность, СВА – Северо-Восточный Алтай (включая сопредельные территории). Обзор литературы для России и Казахстана по [5] с дополнениями: **NO3–** [44,45, 46, 48,50, 51, 54, 57, 58,60, 61, 62, 63, 66,67], **NO2–** [49, 50, 54,55, 58, 60, 61, 62], **NH4+** [44,45, 46,48, 50, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 63], **рН** [31, 44, 45, 48,50, 51, 52, 54, 57, 64,65, 68].