

П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, М.Т. Павлова, Е.С. Семенец,
А.И. Полищук, С.С. Талаш, А.С. Талаш

**Атлас диаграмм
ЗАПОЛЯРЬЯ И СТАНЦИЙ
ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА
(химический состав атмосферных осадков)**



Москва 2023

**П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, М.Т. Павлова, Е.С. Семенец,
А.И. Полищук, С.С. Талаш, А.С. Талаш**

**АТЛАС ДИАГРАММ
ЗАПОЛЯРЬЯ И СТАНЦИЙ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА
(химический состав атмосферных осадков)**

Издательство «Перо»
Москва 2023

УДК 551.510.04
ББК 26.23
А95

Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Семенец Е.В.,
Полищук А.И., Талаш С.С., Талаш А.С.

А95 Атлас диаграмм Заполярья и станций фонового мониторинга
(химический состав атмосферных осадков). М.: Издательство
«Перо», 2023. – 222 с.: ил. 264, табл. 74

ISBN 978-5-00204-878-6

По Заполярным и станциям фонового мониторинга Российской Федерации даётся графическая и табличная характеристика химического состава атмосферных осадков. Приводятся общие показатели и концентрации с крайними значениями 11 основных компонентов, а для некоторых станций содержание органических кислот и микроэлементов. Период сетевых наблюдений с 1958 г составляет примерно 60 лет. Рассматриваются в основном равновесные влажные выпадения из воздуха. Эти материалы являются по существу одним из итогов работы огромного коллектива наблюдателей метеорологов и химиков-аналитиков Гидрометслужбы СССР и Росгидромета.

ISBN 978-5-00204-878-6

© Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Семенец Е.В.,
Полищук А.И., Талаш С.С., Талаш А.С., 2023

Оглавление

| | |
|---|------------|
| АТЛАС ДИАГРАММ ХИМСОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЗАПОЛЯРЬЯ . 5 | |
| Предисловие..... | 5 |
| Введение..... | 8 |
| Минерализация, кислотность и главные ионы осадков..... | 11 |
| Общая кислотность атмосферных осадков..... | 21 |
| Временные изменения химического состава осадков..... | 31 |
| Таблицы и диаграммы по станциям..... | 38 |
| Выводы..... | 144 |
| АТЛАС ДИАГРАММ ХИМСОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СТАНЦИЯХ ФООНОВОГО МОНИТОРИНГА..... | 145 |
| Предисловие..... | 145 |
| Образование облаков и атмосферных осадков..... | 148 |
| Характеристика основного химического состава осадков..... | 153 |
| Таблицы и диаграммы по станциям..... | 158 |
| Органические вещества в атмосферных осадках..... | 207 |
| Заключение..... | 208 |
| Библиографический список:..... | 214 |
| Приложение I..... | 215 |
| Приложение II..... | 218 |



Журнал «КЛИМАТ И ПРИРОДА»

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № **ФС77-42728** от 25.11.10
Регистрационный номер и дата принятия решения о внесении
изменений в Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № **ФС77-73605** от 31.08.2018 г.
ISSN 2220-8259

12.10.2021 г. № 10-21

На № _____ от _____

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на **Атлас диаграмм химического состава атмосферных осадков Заполярья (сектор Российской Федерации), авторы: Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Семенец Е.С., Полищук А.И., Талаш С.С., Талаш А.С.**

Протокол заседания экспертного (эколого-химический сектор) совета редакции научного журнала «Климат и природа» № 1 от 12 октября 2021 г.

Настоящий труд представляет результаты многолетних сетевых наблюдений на станциях Гидрометслужбы СССР и Росгидромета за химическим составом осадков и динамику изменений различных параметров, характеризующих атмосферные осадки. Начало работы в этом направлении заложено и продолжается относительно небольшими коллективами сотрудников с 1958 года.

В работе отражена реальная необходимость и возможность определения и фиксации сложных взаимосвязей водно-воздушной среды различной природы: физико-химических, химических, микробиологических, биофизических и др., и их сопоставления.

Поставлена задача формирования информационной системы, совместимой с другими системами и базами данных иных научно-исследовательских направлений, для сопоставления и обнаружения взаимосвязей и закономерностей, без чего невозможны моделирование глобальных климатических изменений и поиск адаптационных механизмов к ним. Такие данные могут быть положены в основу создания нейрородобной сети.

Исключительная важность публикации Атласа заключается в том, что представленные данные получены при проведении исследований в рамках единой системы государственного экологического мониторинга, обеспечивают конституционное право каждого гражданина РФ на достоверную информацию о состоянии окружающей среды, а также фиксируют экологические эталоны и отклонения от них.

Главный редактор,
д.пед.н., профессор



 М.А. Винник

Учредитель и издатель: ООО "СЕЛЬМАШПРОЕКТ"

ИНН 7720310697 ОГРН 1157746690782

Адрес издательства и редакции: 111402, Россия, г. Москва, аллея Жемчужовой, д. 5,
корп. 2, пом. 109, ком. 7

www.klipr.ru

E-mail: mail@klipr.ru тел +7 (495) 978-62-99

АТЛАС ДИАГРАММ ХИМСОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЗАПОЛЯРЬЯ

Настоящий раздел представляет химический состав атмосферных осадков и его временных изменений в Заполярье. Являясь результатом регулярных сетевых наблюдений на станциях Гидрометслужбы СССР и Росгидромета, данные с 1958 года охватывают периоды от 15 до 59 лет. Своеобразие кислотности (рН) и минерализации (М) атмосферных осадков Заполярья состоит в широком природном колебании крайних значений за месяц: величины рН от 3,2 (Янискоски) до 8,3 (Полярный) и суммы ионов от 0,6 (Янискоски) до 650 мг/л (Норильск). Для каждой станции показана возможность в дальнейшем автоматического и дистанционного измерения кислотности и минерализации влажных выпадений по их проводимости. Работа рассчитана на широкий круг читателей и специалистов, интересующихся реальной сущностью природных явлений.

Предисловие

Наблюдения за химическим составом атмосферных осадков (ХСО) на значительной территории СССР впервые организованы в 1958 г по инициативе Евгении Семеновны Селезнёвой и Петра Алексеевича Воронцова – профессоров Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО»), Ленинград (Санкт-Петербург). Инициативу поддержали директор ГГО Будько М. И. и тогдашний руководитель Гидрометслужбы СССР академик Федоров Е. К. (геофизик на дрейфующей станции «Северный полюс 1», 1937–1938 гг.). Тем самым было положено начало широким исследованиям по этой немаловажной проблеме метеорологии, гидрохимии, почвоведения и охраны окружающей природной среды. Нам дорога память об этих выдающихся организаторах и учёных. С самого начала группа непосредственных исполнителей проекта состояла из метеорологов и химиков-аналитиков. В неё входили Дроздова В.М., Петренчук О.П., Бондаренко Т.Г., Лавриненко Р.Ф. и Свистов П.Ф. В дальнейшем через лабораторию прошли и квалифицированно выполняли свою работу Васильченко Л.А., Бовыкина А.М., Мийна (Грязновская) Л. П., Савельева Е.В., Туху (Устинова) Л.Э., Неввонен Л.И. и Соколова Т.А. Коллектив обслуживал более 300 станций, осуществлявших специальный сбор атмосферных осадков, которые подвергали химическому, электрохимическому и спектральному анализу на 11 основных компонентов (ионы сульфатов, хлоридов, нитратов, гидрокарбонатов, аммония, натрий,

калий, кальций, магний, величина рН, удельная электропроводность) и микроэлементы. В ГГО на некоторых станциях параллельно измеряли химический состав аэрозолей в приземном слое воздуха и при самолётном зондировании в свободной атмосфере. Сконструированы были установки по сбору аэрозолей и облачной воды на химический анализ. Существовала небольшая сеть станций по измерению концентрации «ядер конденсации Айткена». К этому же периоду относятся первые наблюдения, которые провели сотрудники ГГО в Антарктиде: Т.В. Лободин за элементами атмосферного электричества и А.В. Дергач за атмосферными ядрами конденсации (Айткена). Пробы осадков и снега, собранные Т.В. Лободиныным, проанализированы были в лаборатории ГГО.

Лавриненко Р.Ф. провела ряд измерений ХСО осадков в период их выпадения, а каждую пробу по мере её выдерживания перед анализом. Уникальные результаты собраны в экспедиционных условиях, в том числе при самолётном зондировании атмосферы, с участием Беляшовой М.А., Немца С.М., Ионина В.А. и Неввонен Л.И. По методам химического анализа влажных и сухих выпадений из воздуха получены 5 авторских свидетельств, а по их химическому составу защищены 4 кандидатских и 2 докторские диссертации (Е.С. Селезнева, О.П. Петренчук). Специалисты ГГО по химии атмосферных осадков являются участниками ВДНХ СССР 1967 г (свидетельство №252749) и выставки в Гаване «Наука и техника в СССР» 1976^ог. Первые результаты были обобщены за период 1958-1961 гг и опубликованы в монографии коллектива авторов (В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева, П.Ф. Свистов «Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР». 1964. Л., Гидрометиздат. — 210 с.)). Тогда же Е.С. Селезнева сформулировала два положения: о наличии глобального фона минерализации осадков и о преобладающей зависимости их химического состава на региональных станциях от природной зоны. В диссертациях и монографиях (Е.С. Селезнева «Атмосферные аэрозоли». 1966. Л., Гидрометеиздат. — 174 с; О.П. Петренчук «Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля». 1979. Л., Гидрометеиздат. — 254 с.) описывается и показывается роль атмосферных аэрозолей в обеспечении состава влажных выпадений, пространственные и временные их распределения. Первый вариант атласа диаграмм по кислотности осадков для 90 станций сети ХСО, включая Заполярье и Антарктиду, за период 1958-1990 гг был опубликован для внутреннего использования в 1991 году (П.Ф. Свистов, А.С. Зайцев «Кислотность атмосферных осадков на территории СССР». 1991. Л., Ргп ГГО. — 118 с.).

В прошлом возникали неоднократно попытки сильно сократить или даже закрыть сеть по химическому составу атмосферных осадков,

существование которой в её современном виде обязано руководству ГГО в лице В.Я. Никандрова и А.С. Зайцева.

Интернациональные семинары и конференции вывели эти наблюдения на международный уровень и с 1972 г (по настоящее время) аналитики ГГО принимают участие в международных сравнениях методов анализа ХСО. Ежегодными сравнениями в разных странах охвачены более 100 лабораторий. Несмотря на все периодически возникающие трудности, аналитические измерения в ГГО поддерживаются на высоком уровне, благодаря усилиям Н.А. Першиной, М.Т. Павловой, Е.С. Семенец и организаторскому таланту А.И. Полищук.

Результаты первых наблюдений опубликованы были в «Изв. АН СССР», «Вестнике ЛГУ», «Учен. Зап. ЛГУ» и систематически публикуются в журналах: «Труды ГГО», «Метеорология и Гидрология», «Экологическая химия», «Природа», «Экология урбанизированных территорий» и научном журнале «Климат и природа», в котором издано более половины настоящего атласа. Санкт-Петербургский университет МЧС выпустил учебное пособие для студентов (П.Ф. Свистов, М.Т. Павлова, А.С. Талаш «Оценка состояния урбанизированных территорий по данным о химическом составе атмосферных осадков». 2016. СПб, ГПС МЧС России. — 88 с.). Некоторые данные опубликованы в материалах АМАР, журнале *Tellus* (за 1966 и 1972 годы) и международных изданиях: *International Journal of Applied and Fundamental Research*. — 2014. № 4; *Russian Journal of General Chemistry*. — 2017, Vol. 87, No. 13, pp. 146-156; *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017. Vol. 42, No. 5, pp. 314–318. В настоящем Атласе приводятся результаты измерений химического состава влажных выпадений из воздуха в лабораториях ГГО и региональных УГМС. Приносим химикам-аналитикам региональных УГМС, сопричастникам настоящего атласа нашу благодарность. Атлас диаграмм по ХСО Заполярья печатается повторно с дополнениями. Графический материал и таблицы подготовили П. Ф. Свистов, С.С. Талаш и А.С. Талаш, дополнения при участии Е.С. Семенец, М.Т. Павловой и Н.А. Першиной.

Введение

В современных природных условиях вся вода (поверхностная, грунтовая и артезианская), которую использует человек, представляет собой атмосферные осадки. Из глубинных слоёв Земли её поступает не более 10-15%.

В осадках задействованы все основные факторы — концентрация и состав аэрозолей, газовых примесей, содержание углекислого газа и кислорода в атмосфере — существенные колебания которых могут привести к изменениям климата [1-3,9].

Природная вода никогда не бывает абсолютно чистой. Полученная в герметическом дистилляторе, она имеет (при 15°C) удельную электропроводность k менее 1 мкСм/см с величиной $pH=7$ (нейтральна) и является хорошим изолятором. В контакте с атмосферным воздухом при комнатной температуре такая вода буквально «закипает» в результате растворения азота, кислорода, аргона и диоксида углерода. В приземных условиях присутствие диоксида углерода в атмосфере ($\approx 0,035\%$), повышая кислотность, обеспечивает дистиллированной воде величину $pH=5,6$ с очень низкой буферной ёмкостью и проводимостью $k=1-2$ мкСм/см при минерализации $M \approx 0,5-1$ мг/л. Из дневника полярного летчика Лебедева В. (Наука и жизнь, 1984, №9): «мы осмотрели лежащий самолет и были приятно удивлены тем, что на металлических частях самолета почти нет признаков коррозии, хотя он пролежал на льду три с половиной года».

В зависимости от условий естественный незагрязнённый атмосферный воздух, содержа более 100 различных ионов, газов и частичек соли, повышает проводимость осадков и минерализацию, изменяет величину pH . Такие осадки при повышенной кислотности обладают высокой каталитической, биохимической и коррозионной активностью. Дальнейшие исследования по изменению состава воздуха и аэрозолей, химической и биологической активности природной воды найдут свое применение в медицинской практике — в целях профилактики и лечения болезней, в фармакологии, а также в растениеводстве, животноводстве и ряде областей пищевой промышленности.

Для водных организмов область «риска» начинается с величины pH меньше 5,0. Не вдаваясь в детали, можно (по Дажо Р. Основы экологии. — М: Изд. «Прогресс», 1975, — сс. 143-145) отметить, что в водной среде при $pH = 3,0-3,5$ (не зависимо от минерализации) погибают практически все виды рыб; выживают некоторые виды растений и беспозвоночные; при величине $pH = 4,0-5,0$ задерживается развитие икры некоторых рыб с последующей их гибелью. Закисление поверхностных вод приводит к увеличению ее прозрачности. Происходит оно за счет уменьшения количества и разнообразия зоо- и фитопланктона, оседания взвешенных частиц. Параллельно снижается содержание фосфат-ионов и кальция, возрастает

концентрация сульфат-ионов. Эти изменения отражаются на поведении многих видов рыб и беспозвоночных. Моллюски и ракообразные крайне чувствительны к малейшему закислению воды: величина $pH=6,0$ является предельной, а $5,0-5,2$ — опасной для их жизнедеятельности. Ракообразные встречаются в воде крайне редко и даже отмечается гибель рыбы, если продолжительное время величина pH сохраняется равной или меньше $6,0$. Значения кислотности вод, при которых отмечались заморы, неодинаковы даже для одного вида рыб.

Проведено множество наблюдений, которые показывают связь состава воздуха и осадков с увеличением заболеваемости и преждевременной смерти от сердечных и лёгочных заболеваний. Гидрокарбонатная система (а также гемоглобиновая, фосфатная и белковая) в живом организме человека поддерживают строго величину pH в интервале $7,35-7,45$ [7]. Изменения значения pH крови человека на $0,6$ единицы в любую сторону приводит к летальному исходу. Известно также, что ритмы развития организмов и сообществ, их состав и структура согласованы с ритмами выпадения осадков.

Особое место занимает Заполярье. Каждую зиму и весну Арктика становится центром перемещения массы загрязнителей. Плотная, окрашенная в разные цвета дымка стоит над этим регионом и значительной территорией северной части Евразии. Мощные ветры переносят загрязнители из Европы и Азии на север в виде устойчивой массы воздуха, который останется на холодный период в Заполярье и над территорией Арктики. В сухом, холодном арктическом воздухе редко происходят снегопады. Загрязнители сохраняются до выпадения дождя в конце весны.

Что касается ожидаемых изменений атмосферных осадков в Заполярье, то Арктика относится к числу регионов мира, где их относительное усиление в текущем столетии максимально. Все современные физико-математические модели прогнозируют рост выпадения осадков на протяжении XXI в., по крайней мере, на большей части территории Арктики [2, 3].

Модели указывают также на понижение атмосферного давления в Арктике в XXI веке. Предлагаемые материалы, таким образом, ждут своего продолжения. Очевидна также утилитарная необходимость наблюдений за ХСО. Кислотные дожди при любой минерализации ускоряют разрушение строительных материалов и красок, воздействуют на исторические здания, статуи и другие объекты культурного наследия человека. Своевременно проведенные мероприятия по устранению причин загрязнения окружающей среды позволяют сэкономить бюджетные денежные средства, выделенные на эти цели, на лечение населения и лекарственные препараты, на ремонт государственных учреждений и реставрацию памятников, на поддержание плодородия почв и повышение урожайности в сельском хозяйстве, на

реализацию программ по увеличению товарного производства рыбы в открытых водоёмах Российской Федерации.

Длительное отсутствие атмосферных осадков провоцирует возникновение лесных пожаров, сильно изменяя кислотность и токсичность влажных и сухих выпадений из воздуха.

Измерение ХСО относится к простейшему способу территориального диагностирования загрязнения окружающей природной среды: воздуха, почвы, поверхностных и грунтовых вод. При отсутствии осадков то же самое простейшее устройство (рис. 2 Приложения I) может быть использовано также для сбора «сухих» выпадений. Показателями загрязнения воздуха соединениями серы, азота, другими газами и пылью могут служить сопряженные с ними в осадках величина рН, ионы сульфатов, нитратов, аммония, гидрокарбонатов, щелочные и щелочноземельные ионы, а также микроэлементы, органические соединения. А так как в природе отсутствуют минеральные вещества нерастворимые в воде, то все указанные соединения имеют постоянно определённый уровень концентрации, доступный современным способам измерения. Методики этих измерений и приборы регулярно обновляются.

Материалы публикуются авторами прежде всего в поддержку сохранения и расширения в РФ региональной сети станций по химическому составу влажных выпадений из воздуха и распространения этих измерений на акваторию Центральной Арктики.

Минерализация, кислотность и главные ионы осадков.

По физико-географическим и климатическим особенностям российский сектор Арктики условно делится на Европейскую и Азиатскую территории Заполярья с включением станций из Субарктического пояса (табл. 1). В качестве фоновой станции Туруханск входит в международную систему Глобальной службы атмосферы (ГСА «ВМО»). Включены некоторые континентальные станции, собирающие регулярно атмосферные осадки на химический анализ. По Центральной Арктике приводятся таблицы содержания макрокомпонентов и тяжёлых металлов в единичных и месячных осадках на дрейфующей станции Северный полюс-35, а также установка, которую использовали для сбора осадков на химический анализ (рис.2 Приложения I).

В таблицах и на сводных графиках станции располагаются примерно по долготе с запада на восток. В качестве основных показателей выбраны среднегодовые и среднемесячные: сумма ионов M и величина pH , а также проводимость k , сумма осадков q и содержание в осадках ионов сульфатов, хлоридов, нитратов, аммония и гидрокарбонатов. Акцент делается на временной (многолетний) ход средней за год и средней за месяц величины pH и минерализации атмосферных осадков M .

По всем станциям стандартное отклонение средней величины за период наблюдения при $M \leq 15$ мг/л составляет не более $\pm 4-5$ мг/л и $\pm 0,5$ ед. pH для кислотности. При $M > 15$ мг/л отклонение возрастает в первом случае до 8 мг/л и уменьшается во втором до 0,3. Связь суммы ионов M с проводимостью k оценивают по исходным месячным данным (табл. 1) и для сравнения по средним за год (табл. 49). Некоторые из этих параметров по содержанию и поведению в Арктике и Субарктике существенно отличаются от соответствующих характеристик в других природных зонах [5, 6].

Результаты измерений для каждой станции представлены шестью типами графиков, станции фонового мониторинга – двенадцатью. Главные из них временной ход величины pH с крайними значениями, содержание ион-сульфатов и гидрокарбонатов. Влияние сульфатов, нитратов, карбонатов и аммония проявляется через их газовые источники в атмосфере (оксиды и аммиак) и аэрозоли. Оксиды газов повышают, а пыль чаще всего понижает кислотность раствора.

Пространственное гипотетическое распределение осадков с максимальной кислотностью приводится на карте 1 Приложения I.

Таблица 1. Сеть станций, собирающих осадки в Заполярье на химический анализ (по средним за месяц)

| Станция | Широта, град. с.ш. | Долгота, градус в.д. | Средняя за период | | Связь суммы ионов М с проводимостью к | R ² , % |
|---|--------------------|----------------------|-------------------|---------|---------------------------------------|--------------------|
| | | | pH | М, мг/л | | |
| Европейская территория Заполярья | | | | | | |
| Янискоски | 69,0 | 28,8 | 4,9 | 5,5 | $M=0,73 \cdot k-4,1$ | 84 |
| Никель | 69,4 | 30,2 | 5,3 | 18,6 | $M=0,50 \cdot k-1,4$ | 94 |
| Зареченск | 66,7 | 31,4 | 5,4 | 6,6 | $M=0,43 \cdot k+0,4$ | 67 |
| Падун | 68,6 | 31,8 | 4,9 | 7,0 | $M=0,29 \cdot k+0,4$ | 66 |
| Мурманск | 69,0 | 33,1 | 5,0 | 19,6 | $M=0,46 \cdot k-0,1$ | 96 |
| Краснощелье | 67,4 | 37,1 | 5,4 | 8,6 | $M=0,25 \cdot k+1,8$ | 56 |
| Северодвинск | 64,6 | 39,8 | 6,0 | 13,0 | $M=0,38 \cdot k+3,2$ | 63 |
| Мудьюг | 64,9 | 40,3 | 5,7 | 25,0 | $M=0,45 \cdot k+1,7$ | 90 |
| Архангельск | 64,6 | 40,5 | 5,9 | 13,5 | $M=0,49 \cdot k+0,5$ | 79 |
| Нарьян-Мар | 67,7 | 53,0 | 6,1 | 17,9 | $M=0,48 \cdot k+1,3$ | 70 |
| Азиатская территория Заполярья | | | | | | |
| Уренгой | 66,0 | 78,4 | 5,9 | 10,2 | $M=0,41 \cdot k+2,0$ | 88 |
| Диксон | 73,5 | 80,4 | 6,3 | 59,0 | $M=0,46 \cdot k+2,6$ | 94 |
| Туруханск | 65,8 | 87,9 | 5,8 | 7,2 | $M=0,55 \cdot k+0,3$ | 86 |
| Норильск | 69,3 | 88,3 | 6,8 | 204,7 | $M=0,44 \cdot k+19,8$ | 98 |
| Полярный | 66,7 | 112,4 | 6,5 | 18,1 | $M=0,67 \cdot k-1,9$ | 97 |
| Жиганск | 66,8 | 123,4 | 6,1 | 7,8 | $M=0,64 \cdot k-0,6$ | 96 |
| Кюсюр | 70,6 | 128,0 | 6,5 | 33,1 | $M=0,59 \cdot k+0,9$ | 99 |
| Тикси | 71,6 | 128,9 | 6,5 | 37,4 | $M=0,54 \cdot k+0,5$ | 99 |
| Депутатский | 69,3 | 139,7 | 6,3 | 13,7 | $M=0,55 \cdot k+0,1$ | 85 |
| Усть-Мома | 66,5 | 143,2 | 6,3 | 13,8 | $M=0,52 \cdot k+1,1$ | 94 |
| Палатка | 60,1 | 150,9 | 6,1 | 14,2 | $M=0,52 \cdot k+1,1$ | 83 |

В абсолютном большинстве отечественных и зарубежных публикаций при осреднении (пространственном или временном) текущих значений pH_1, pH_2, \dots, pH_n проводят их сложение и деление суммы на число измерений, то есть применяют простое соотношение:

$$a) pH_{cp} = \frac{pH_1 + pH_2 + \dots + pH_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n pH_i}{n} = \frac{166,7}{30} = 5,56$$

Более правильным в нашем случае следует считать два других приёма, особенно третий, где кислотность взвешивается по сумме осадков. Все конкретные примеры рассматриваются для одних и тех же исходных данных.

б) Величину pH каждого измерения переводят в концентрацию ионов водорода $[H^+]$, суммируют их и делят на число измерений. Обратный десятичный логарифм частного является средней величиной pH .

$$\begin{aligned} pH_{cp} &= -\lg \left[\frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \right] \cdot 10^{-6} = -\lg \left[\frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n} \right] \cdot 10^{-6} = \\ &= -\lg \left[\frac{265,8}{30} \right] \cdot 10^{-6} = 6 - 0,95 = 5,05 \end{aligned}$$

с) Осадки за каждые сутки (или единичные) умножают на соответствующую концентрацию ионов водорода $[H^+]$, произведения суммируют и делят на сумму осадков за все сутки. Обратный десятичный логарифм частного является также средней величиной pH .

$$pH_{cp} = -\lg \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot q_i}{q_i} \cdot 10^{-6} = -\lg [H^+] \cdot 10^{-6} = 6 - \lg [H^+] = 6 - \lg 8,05 = 5,09$$

Разность (0,51 ед. pH) между крайними значениями от $pH=5,6$ составляет 9,2%.

По временному ходу суммы осадков и минерализации M с крайними значениями приводятся все сведения, необходимые для расчёта количества иона или элемента, выпадающих из воздуха с осадками. Для величины pH и минерализации M показаны временные колебания от года к году абсолютно минимальных и абсолютно максимальных значений. Временной ход концентрации нитратов, аммония и хлоридов интересен тем, что постоянный природный источник хлоридов «мировой океан» проявляется в повышенном содержании и некоторой пространственной устойчивости их концентрации в осадках.

По связи суммы ионов M и величины pH с проводимостью осадков k приводится экспериментальная прямолинейная зависимость $M = a \cdot k \pm b$ по исходным месячным данным. Поскольку проводимость осадков определяется суммой основных компонентов взаимосвязь близка в некоторых случаях к функциональной.

Расчётная удельная электропроводность k (мкСм/см) любого разбавленного раствора: $k = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \lambda_i$, где λ_i — эквивалентная электропроводность иона, См·см²/г-эquiv; c_i — концентрация иона, мг-эquiv/л; n — число анионов и катионов.

Даётся годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л (мкг/л). Кислотность и щёлочность осадков взаимно связаны. Кислотность, особенно влажных выпадений с минимальной суммой ионов, существенно могут изменять многие компоненты, присутствующие в атмосферном воздухе (рис.1 Приложения I).

Свежевыпавшие маломинерализованные осадки в 90% случаев имеют величину рН близкую к 5,0 и содержат следовые количества карбонатов. Месячное и большее хранение проб приводит к полному переходу сульфит-ионов и нитрит-ионов соответственно в сульфат-ионы и нитрат-ионы, а также к образованию за счёт углекислого газа воздуха карбонатной системы, все компоненты которой теперь присутствуют в осадках:

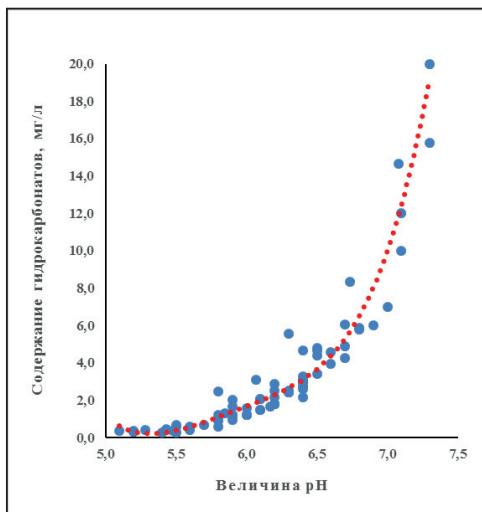
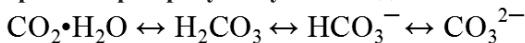


Рис. 1. Экспериментальная, проверенная в лаборатории ГГО, связь величины рН и щёлочности в равновесных осадках за месяц

Приводится годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения минимальной за месяц величины минерализации от условно выбранного фонового уровня $M=1,5$ мг/л. Относительная ошибка значения суммы ионов здесь составляет не менее $\pm 15\%$, а влияние кислотности осадков не принимается во внимание.

Повсеместно характерным признаком загрязнения воздуха служат величина минерализации и значение pH – близость их к глобальному фону при равновесной величине pH или превышение регионального фона для загрязнённых пунктов. По максимальной кислотности все станции Кольского полуострова укладываются в интервал $pH=3,2$ (Янискоски) – $3,8$ (Никель), а более восточные от Северодвинска до Нарьян-Мара имеют размах $pH=4,1-4,7$.

Так как буферность слабоминерализованных осадков низкая, их коррозионная активность невысока, хотя относительная влажность воздуха в Заполярье почти постоянно сохраняется выше 75% . Эти особенности чаще всего проявляются при северном переносе осадков и указывают на чистоту и специфичность закисления воздуха Арктики в теплый период. Величина pH осадков на Азиатской территории в среднем значительно выше (кислотность ниже) в основном за счёт и повсеместно бытового использования каменного угля. Абсолютно максимальная кислотность при минерализации $M \leq 5$ мг/л обнаруживается только в Туруханске, Уренгое и Палатке ($pH \approx 3,5$), а при высокой минерализации в Норильске. В Норильске такое сочетание объясняется высоким содержанием серной кислоты (концентрация сульфат-ионов составляет 102 мг/л) и малым количеством гидрокарбонат-ионов (менее $0,1$ мг/л). Общий интервал изменений значений pH на АТР составляет от $3,5$ до $8,3$ (Диксон, Тикси, Полярный). Обычно считают, что измеренная проводимость осадков полностью определяется основным составом суммы ионов и в принятых единицах измерения k (мкСм/см) примерно вдвое при идеальных условиях выше минерализации M (мг/л). Реальная картина получается другой (табл. 1). Ошибка методики измерений проводимости составляет от 2 до 5% . Измерив концентрацию каждого компонента и рассчитав k , определяют качество химического анализа. Для природоохранных задач практичнее сначала оценить общее загрязнение осадков (минерализацию), а затем при необходимости содержание каждого из ионов. Инструментальные измерения величины pH и минерализации природных вод по удельной электропроводности давно привлекают внимание исследователей. К важным преимуществам этого метода относят возможность определения быстрой характеристики загрязнения осадков непосредственно в период выпадения, что очень ценно в связи с изменчивостью их состава.

Оказалось, проводимость в действительности далеко не всегда определяется основными катионами металлов и анионами неметаллов. Связь суммы их с проводимостью в природных условиях редко бывает строго функциональной и может существенно различаться даже на близко расположенных пунктах.

Для каждой станции (табл.1) приводится экспериментальная зависимость проводимости осадков от суммы ионов. Коэффициент детерминации R^2 (в %) показывает, в какой мере изменчивость проводимости объясняется поведением суммы ионов без гидроксония (H_3O^+). Корень квадратный из коэффициента детерминации представляет собой коэффициент корреляции. По величине проводимости или через минерализацию оказалось не просто, хотя бы приблизительно, оценить кислотность осадков. Обобщенные характеристики среднегодовых величины рН, минерализации М, а также ионов хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, нитратов и аммония показаны на рис. 2 и 3.

Для величины рН=4,0 и 3,5 в чистой дистиллированной воде минерализация равна соответственно 0,1 и 0,32 мг/л, следовательно, абсолютно минимальному в настоящей работе значению рН=3,2 соответствует М=0,63 мг/л.

От предельно фоновой минерализации 3 мг/л максимальная относительная ошибка недоучета кислотности достигает 21%. Наименее минерализованные и сильно подкисленные осадки выпадают в Янискоски и Падуне, расположенных довольно далеко от г. Никеля – одного из источников местного загрязнения воздуха. Результаты не вполне адекватны ожидаемым, так как закисление осадков должно сопровождаться уменьшением концентрации гидрокарбонат-ионов и повышением минерализации.

Поскольку сумма ионов ниже региональной и близка к фоновой, следует признать повышенную здесь кислотность осадков естественной. На большинстве станций ЕТР доля сульфат-ионов, иногда меняясь с хлорид-ионами, является преобладающей, а хлоридов – самой устойчивой.

Концентрация их и характер временных изменений указывают на присутствие загрязняющих воздух источников: локальных – для ионов сульфатов, гидрокарбонатов и более мощного, но расположенного вдали океана – для хлорид-ионов. Экспедиционные исследования выноса морских солей на Кольском полуострове показывают, что основная масса их выпадает из воздуха в 3-5 километровой зоне, а остаточная поддерживает фон (1-2 мг/л) глубоко континентальных станций.

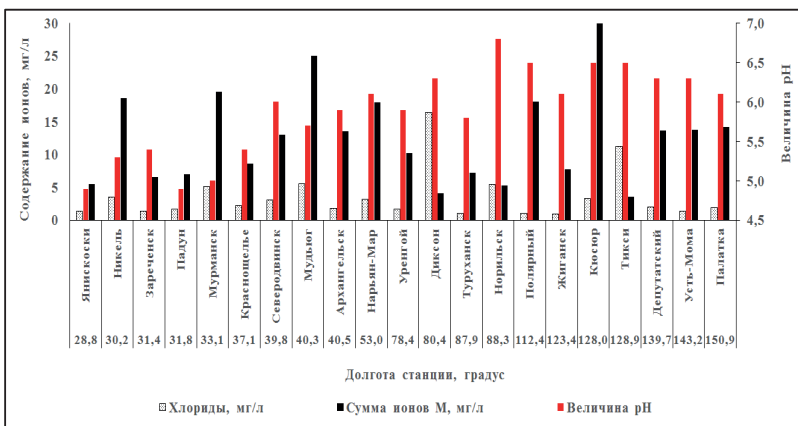


Рис. 2. Распределение средних за период величины рН, минерализации М и хлорид-ионов по станциям Заполярья (сумма ионов М для Норильска, Диксона и Тикси представлена натуральными логарифмами концентрации).

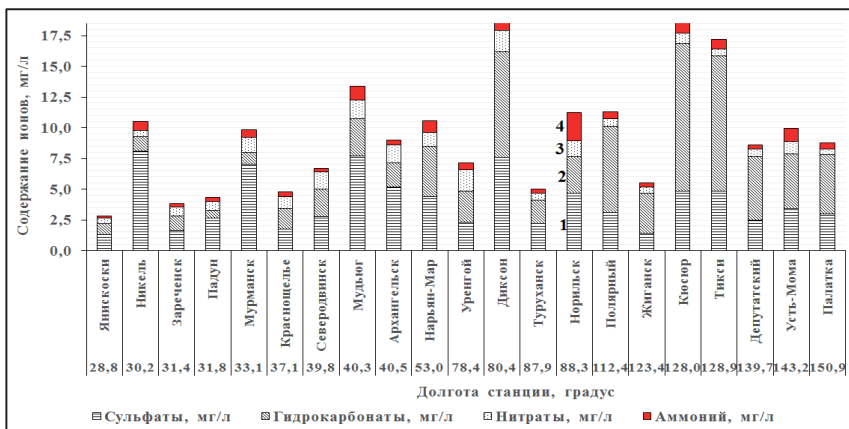


Рис. 3. Распределение средних за период концентраций ионов сульфатов (1), гидрокарбонатов (2), нитратов (3) и аммония (4) по станциям Заполярья (для Норильска содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов представлено натуральными логарифмами концентрации)

Таблица 2. Величина влажных выпадений серы Ps и суммы ионов Рм, 2016 г

| Станция | Сумма осадков q за год, мм | Средняя за год, т/ км ² | | Максимальная за год, т/ км ² | |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------|--|------|
| | | Ps | Рм | Ps | Рм |
| Европейская территория | | | | | |
| Янискоски | 1155,6 | 0,77 | 14,6 | 4,9 | 31,9 |
| Никель | 778,6 | 2,64 | 17,1 | 5,0 | 28,1 |
| Зареченск | 648,3 | 0,32 | 4,0 | 0,5 | 8,2 |
| Падун | 500,0 | 0,48 | 3,5 | 2,5 | 12,7 |
| Мурманск | 676,6 | 1,22 | 4,6 | 2,5 | 29,4 |
| Краснощелье | 601,1 | 0,24 | 4,1 | 0,5 | 10,9 |
| Северодвинск | 516,5 | 0,45 | 8,6 | 1,6 | 26,6 |
| Мудьюг | 457,8 | 0,53 | 9,6 | 1,8 | 21,7 |
| Архангельск | 660,7 | 0,62 | 9,4 | 1,4 | 17,5 |
| Нарьян-Мар | 458,6 | 0,24 | 6,4 | 0,4 | 9,5 |
| Азиатская территория | | | | | |
| Уренгой | 433,5 | 0,50 | 5,2 | 1,0 | 9,5 |
| Диксон | 445,0 | 0,96 | 22,6 | 3,7 | 41,0 |
| Туруханск | 485,4 | 0,55 | 4,7 | 5,1 | 26,6 |
| Норильск | 316,0 | 9,39 | 43,6 | 15,9 | 77,9 |
| Полярный | 318,6 | 0,37 | 4,4 | 0,8 | 15,3 |
| Жиганск | 279,3 | 0,26 | 4,0 | 0,7 | 7,5 |
| Кюсюр | 307,0 | 0,63 | 12,6 | 5,4 | 21,2 |
| Тикси | 212,9 | 0,16 | 3,3 | 0,7 | 9,4 |
| Депутатский | 373,9 | 0,29 | 2,8 | 0,6 | 4,7 |
| Усть-Мома | 322,2 | 0,37 | 4,1 | 1,0 | 9,6 |
| Палатка | 500,8 | 0,48 | 4,7 | 0,8 | 6,4 |

Содержание и поведение сульфатов и гидрокарбонат-ионов сопоставимо только в Нарьян-Маре и объясняется расположением в аэропорту пункта сбора осадков на химанализ. Изменчивые концентрации анионов, различаясь по годам, после осреднения имеют на ЕТР характеристики: средняя по ионам сульфатов 4,2⁰мг/л с размахом от 1,3 до 8,1 мг/л, хлоридов 2,9 и гидрокарбонатов 1,9 мг/л с разбросом соответственно 1,4-5,6 и 0,6-3,2 мг/л. Те же параметры для АТР имеют несколько иные значения: сульфат-ионы 3,5 мг/л, хлорид-ионы 4,1 и гидрокарбонат-ионы 6,1 мг/л примерно с тем же размахом для ионов сульфатов и более высоким верхним пределом для хлоридов (16,4 мг/л, Диксон) и гидрокарбонатов (12 мг/л, Кюсюр).

Получается несколько более высокая загазованность воздуха западных и запыленность восточных районов Заполярья. Средние содержания нитрат-ионов и ионов аммония колеблются в пределах 0,5- 1,0 мг/л.

Выпадения с осадками серы, суммы ионов и гидроксония H_3O^+ (ионов водорода) показаны в табл. 2 и 3. Выпадения веществ с атмосферными осадками (влажные выпадения из воздуха) рассчитывают по формуле: $P = C \cdot q \cdot 10^{-3}$, где: P – величина влажного выпадения, г/м² • год (т/ км² • год); C – средняя за год или за период концентрация компонента, мг/л; q – сумма осадков за год или за период, мм.

Норму для оценки выпадения на почву суммы ионов P_m , серы P_s и гидроксония P_h берут по соответствующим данным для Центрально-черноземной зоны предполагая, что количество и состав атмосферных осадков являются необходимыми компонентами формирования почвы с наибольшим природным потенциалом. В качестве примера для 2016 г результаты сведены в табл. 2 и 3.

Все почвы Севера Российской Федерации считаются закисленными и далеко не последнюю роль в этом играют подкисленные влажные выпадения в Заполярье. По средним данным закисление влажных выпадений не кажется (кроме Никеля и Мурманска) высоким вследствие низкой буферности осадков на других станциях. Если, пользуясь выбранным критерием, в качестве нормы выпадения на почву серы принять 2 т/ км² • год, то по средним за год значениям она превышает только в Никеле, примерно на 30% и в Норильске – более чем в 4 раза. Повышенные значения наблюдаются в Янискоски вследствие аномально высокой суммы осадков в 2016 г (при норме осадков для Янискоски 550 мм P_s составляет 0,4 т/км²•год). Далее (табл. 2) приводятся гипотетические значения поступления в почву серы и суммы ионов, исходя из предположения, что при указанном количестве осадков концентрация ион-сульфатов и минерализация соответствуют абсолютно максимальным значениям. Тогда влажные выпадения серы на почву в Никеле и Янискоски превосходят норму примерно в 2,5 раза и несколько выше в Падуне и Мурманске.

В Краснощелье и Нарьян-Маре, по-видимому, отсутствуют какие-либо существенные источники оксидов серы. На АТР норма превышает в 2,5 раза даже на фоновой станции Туруханск и почти в 8 раз по Норильску. На фоновой станции Туруханск в 2016 г выпало всего вещества около 3 т/ км²•год, а в Норильске более 44 т/ км²•год. При этом продолжительные осадки с океана в тёплый период почти постоянно самые чистые и слабо закисленные. Подобное явление, возможно, объясняется режимом воздушных течений, при котором

преобладающие направления ветра зимой и летом противоположны или близки к противоположности; однако повторяемость противоположных направлений невелика, и циркуляция не имеет характера резко выраженных муссонов (карта 3 Приложения I).

Таблица 3. Выпадения с осадками ионов водорода Рн, кг/км²

| Средняя величина за период наблюдений | | | | |
|---------------------------------------|-----|-------|---------------------------------------|-------------------------|
| Станция | рН | q, мм | Н ₃ О ⁺ , мкг/л | Рн, кг/ км ² |
| Европейская территория | | | | |
| Янискоски | 4,9 | 552,9 | 12,6 | 7,0 |
| Никель | 5,3 | 530,4 | 5,0 | 2,7 |
| Зареченск | 5,4 | 593,8 | 4,0 | 2,4 |
| Падун | 4,9 | 515,5 | 12,6 | 6,5 |
| Мурманск | 5,0 | 544,0 | 10,0 | 5,4 |
| Краснощелье | 5,4 | 527,3 | 4,0 | 2,1 |
| Северодвинск | 6,0 | 529,1 | 1,0 | 0,5 |
| Мудьюг | 5,7 | 471,7 | 2,0 | 0,9 |
| Архангельск | 5,9 | 622,6 | 1,3 | 0,8 |
| Нарьян-Мар | 6,1 | 543,2 | 0,8 | 0,4 |
| Азиатская территория | | | | |
| Уренгой | 5,9 | 433,5 | 1,26 | 0,55 |
| Диксон | 6,3 | 445,0 | 0,50 | 0,22 |
| Туруханск | 5,8 | 485,4 | 1,58 | 0,77 |
| Норильск | 6,8 | 316,0 | 0,16 | 0,05 |
| Полярный | 6,5 | 318,6 | 0,32 | 0,10 |
| Жиганск | 6,1 | 279,3 | 0,79 | 0,22 |
| Кюсюр | 6,5 | 307,0 | 0,32 | 0,10 |
| Тикси | 6,5 | 212,9 | 0,32 | 0,07 |
| Депутатский | 6,3 | 373,9 | 0,50 | 0,19 |
| Усть-Мома | 6,3 | 322,2 | 0,50 | 0,16 |
| Палатка | 6,1 | 500,8 | 0,79 | 0,40 |
| Норма | 5,6 | 600,0 | 2,5 | 1,5 |

Основными источниками химического состава влажных выпадений из воздуха считают: 1) ядра конденсации облачных элементов, 2) захват аэрозолей, растворение ионов и газов в процессе формирования и перемещения облаков и 3) вымывание влажное и сухое примесей из подоблачного слоя. Влияние их в разной степени отражается в Заполярье на представленных графиках.

Общая кислотность атмосферных осадков.

Общая кислотность осадков - это концентрация всех катионов водорода (свободных и связанных), находящихся в растворе. Поводом для включения в Атлас этого раздела послужили аномально высокие значения кислотности в некоторых пробах осадков, обнаруженные при титровании их слабым щелочным раствором. При этом пользуются понятиями активной рН или $[H^+]$ и H_3O^+ , потенциальной ΣH и общей кислотности ($[H^+] + \Sigma H$). На рис. 4 приводятся их соотношения для станций Янискоски и Падун. По диаграмме нетрудно оценить содержание в осадках потенциальной кислотности.

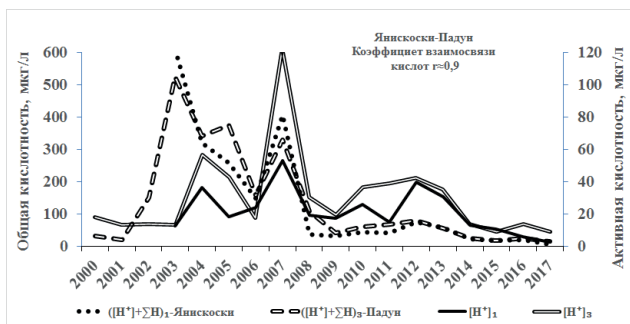


Рис. 4. Временной ход общей ($[H^+] + \Sigma H$) и активной $[H^+]$ кислотности осадков на станциях Янискоски и Падун, 2000–2017 гг

Считается, что потенциальная кислотность представляет собой сумму органических кислот ΣH , растворимых в воде и не диссоциирующих, возможно, очень слабо диссоциирующих. На рисунках далее показывается поведение ΣH на станциях с регулярным и наибольшим их содержанием. Эти кислоты в атмосферных осадках представляют наибольший интерес и рассматриваются в настоящем разделе. Происхождение общей кислотности в почве, поверхностных водах и атмосферных осадках, по-видимому, разное, хотя до некоторой степени измеряют её одинаково. В основу отбора аналитических измерений было положено наличие общей кислотности хотя бы в половине проб осадков. Рассматриваются все пробы равновесные с продолжительность выдерживания собранных осадков до анализа более 30 суток.

При рассмотрении данных принято считать значимым коэффициент корреляции $r = 0,30$ ($R^2 \approx 0,1$) при числе измерений больше 30.

При подготовке графиков и таблиц допускается минимальное осреднение. Ввиду повышенных концентраций более детально приводятся результаты сетевых наблюдений по станциям северо-западного Заполярья: Янискоски, Никель, Падун, Краснощелье, Зареченск и Мурманск (рис. 4 – 11). Выборка сделана из ряда наблюдений за последние 10-15 лет. Любопытно, что повышенные содержания не диссоциирующих в воде кислот получены в осадках на всех приведенных станциях Мурманского УГМС и только в один период. Чаще других это явление наблюдалось в Янискоски. Возможно, это как-то связано с запретом лесоразработок на прилегающих территориях, переносом пограничного поста и сокращением штата местной гидроэлектростанции. В результате был ликвидирован посёлок с таким названием. Недалеко от места, где был расположен поселок, в 2001 г была открыта ГМС (Гидрометеорологическая станция) Янискоски. Высота над уровнем моря около 100 м. Метеоплощадка Янискоски не имеет вблизи жилых и производственных строений. Грунтовая дорога используется редко. Обслуживающие ГМС наблюдатели приходят из соседнего населенного пункта. Подсобное помещение отапливается электронагревателями. Расстояние пункта от побережья Баренцева моря и г. Никель более 100 км. Преимущественный перенос воздуха на станции Янискоски (С-СВ в теплый и Ю-ЮЗ в холодный период) практически не оказывает влияние на содержание органических кислот в месячных осадках. Сбор осадков на химический анализ в Янискоски проводится с 2003 г, пробы анализируются в гидрохимической лаборатории г. Мурманска.

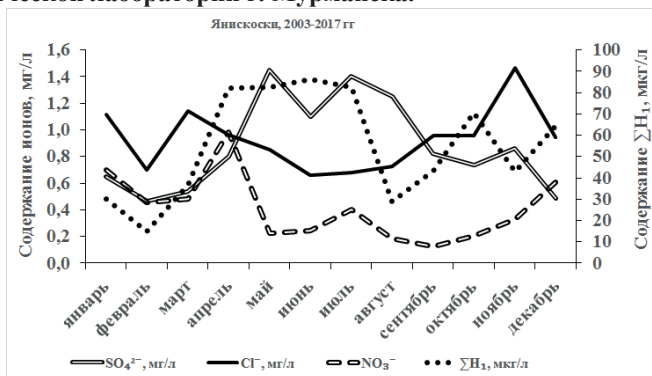


Рис. 5. Годовой ход в осадках концентрации ионов сульфатов, хлоридов, нитратов и органических кислот ΣH_1 в Янискоски, 2003- 2017 гг

Мурманская область расположена в двух физико-географических зонах: тундры и тайги. Климат области арктически-умеренный, морской, относительно мягкий – сказывается влияние ветви тёплого течения Гольфстрим, поэтому сплошных районов вечной мерзлоты здесь нет. Средняя месячная температура по области ($t^{\circ}\text{C}$) колеблется в январе от минус $11,2^{\circ}$ (г. Никель) до минус $15,5^{\circ}$ (г. Апатиты), в июле от $11,7^{\circ}$ до $12,3^{\circ}$. Почти все приведенные рисунки относятся к местности, где преобладают возвышенности, впадины, террасы. Гранитные массивы могут возвышаться над уровнем моря до 800–1200 метров. Встречаются и сравнительно ровные приподнятые участки – плато. К Баренцеву морю Кольский полуостров спускается почти одинаковыми ступеньками – террасами. Вероятно, поэтому в составе главных ионов осадков наблюдается постоянно повышенное содержание хлоридов. Для сравнения приводим данные по станции фонового мониторинга Туруханск. Для объяснения природы общей кислотности атмосферных осадков за основу были приняты во внимание современные высказывания гидрохимиков по поверхностным водам. Предполагается, что при величине $\text{pH} \leq 4,5$ общая кислотность природной воды обеспечивается присутствием органических соединений почвы.

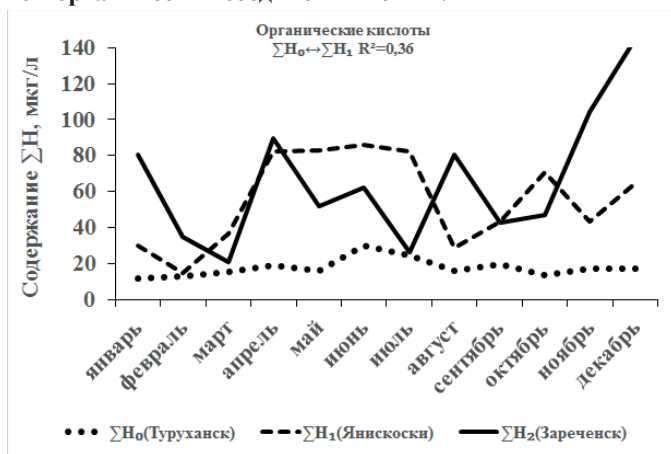


Рис. 6. Годовой ход содержания органических кислот ΣH в осадках на станциях Туруханск ΣH_0 , Янискоки ΣH_1 и Зареченск ΣH_2 .

Значительную часть органического компонента природных вод составляют гумусовые вещества: гуминовые и фульвокислоты. Особенно

богаты гуминовыми веществами воды северных районов страны, где концентрация их в поверхностных водах часто составляет единицы и десятки миллиграммов на литр.

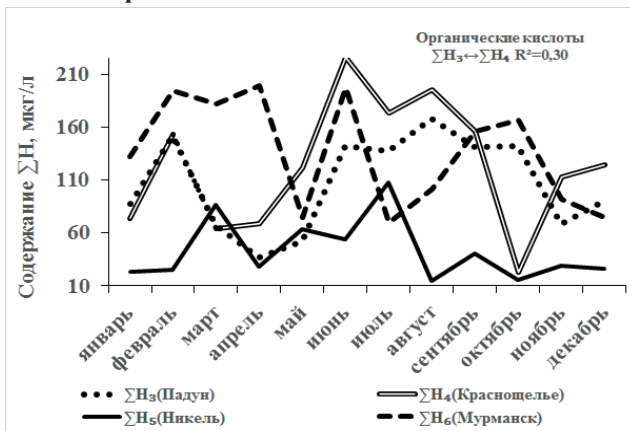


Рис. 7. Годовой ход содержания органических кислот ΣH в осадках на станциях Падун ΣH_3 , Красношелье ΣH_4 , Никель ΣH_5 и Мурманск ΣH_6 .

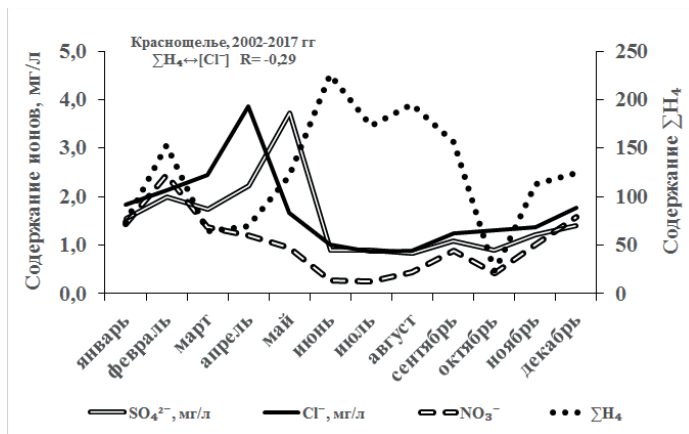


Рис. 8. Годовой ход в осадках концентрации ионов сульфатов, хлоридов, нитратов и органических кислоты ΣH_4 в Красношелье, 2002- 2017 гг.

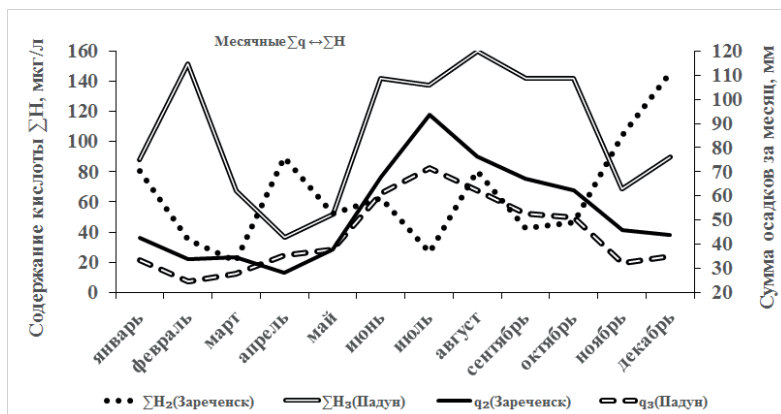


Рис. 9. Годовой ход концентрации органических кислот и месячной суммы осадков в Зареченске ΣH_2 и Падуне ΣH_3 , 2000-2015 гг. (Связи: $q_2 \leftrightarrow q_3$ $r=0,9$; $q_2 \leftrightarrow \Sigma H_2$ $r=-0,24$; $q_3 \leftrightarrow \Sigma H_3$ $r=0,6$; $\Sigma H_2 \leftrightarrow \Sigma H_3$ $r=-0,32$).

Контакт воды с почвой всегда приводит к высокой общей минерализации пробы, поэтому первое с чем сталкивается исследователь в Заполярье при анализе влажных выпадений из воздуха на общую кислотность – это высокая концентрация микрокомпонентов ΣH (до 1,8 мг/л) при низкой минерализации пробы от 0,6 до 6 мг/л. Как и у гидрохимиков, общая кислотность не включается в общую сумму ионов. Однако, указанный источник органических кислот не единственный. Имеются прямые измерения масс-спектров летучих выделений можжевельника, лиственницы и конского каштана. Расшифровано около 200 масс-пиков (Литвинова Л.И., Левон Ф.М. Зеленые насаждения и охрана окружающей среды. Киев: Изд. Здоровье, 1986. – С. 27-32). Характерно, что у всех растений примерно одинаков качественный состав летучих фитоорганических соединений. Однако концентрации отдельных компонентов различны и носят сезонный характер. Общий фитоорганический фон растений включает спирты, альдегиды, эфиры и органические кислоты, терпены, фенольные и циклические соединения. По обсуждаемой тематике выделения растений содержат эфиры уксусной, пропионовой, масляной и капроновой кислот, а также бензойной, коричной, салициловой и о-кумаровой кислот; уксусная и бензойная кислоты постоянно присутствуют в свободном виде.

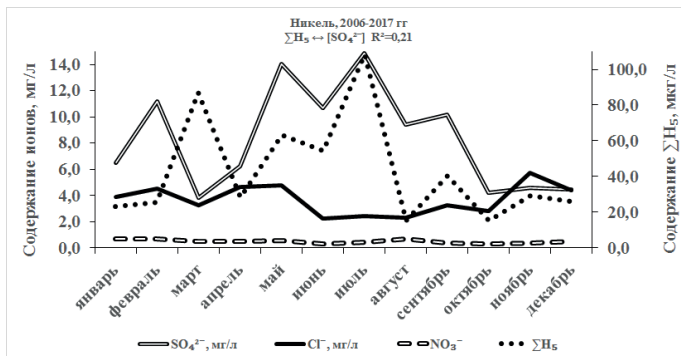


Рис. 10. Годовой ход в осадках концентрации ионов сульфатов, хлоридов, нитратов и органических кислоты ΣH_5 в Никеле, 2006- 2017 гг.

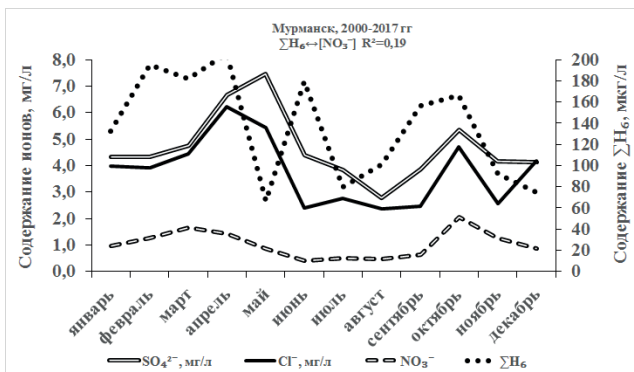


Рис. 11. Годовой ход в осадках концентрации ионов сульфатов, хлоридов, нитратов и органических кислоты ΣH_6 в Мурманске, 2000- 2017 гг.

Минерализация могла быть произвольной, но приблизительно в 90 % она сосредоточилась в пределах регионального фона ($M \leq 15$ мг/л), а из последних в 80% случаев оказалась ниже 6 мг/л. Реальная удельная электропроводность растворов изменяется от 4,0 (дистиллированная вода по ГОСТу) до 33 мкСм/см, что указывает на присутствие других не измеренных ионов. По всем таким осадкам средние суммы ионов и концентрации основных компонентов практически совпадают с принятой за стандарт дистиллированной водой.

Только повышенные значения проводимости и низкая величина pH указывают на необычное состояние и происхождение этих осадков (табл. 4). Из главных компонентов преобладают сульфаты (около 1-3 мг/л) и хлориды (около 1-2 мг/л); из катионов натрия и кальций вместе дают примерно 2,5 мг/л. Все эти ионы присутствуют в эквивалентных концентрациях и никак не могут объяснить повышенную кислотность слабоминерализованных проб. Более 90% равновесных осадков не имеют связи величины активной кислотности (pH) с концентрацией основных анионов (сульфаты, нитраты, хлориды) и катионов. С другой стороны, в осадках обнаружено присутствие формиатов, что позволяет предположить наличие в них муравьиной кислоты, а, возможно, и других кислот метанового ряда (уксусной и пропионовой).

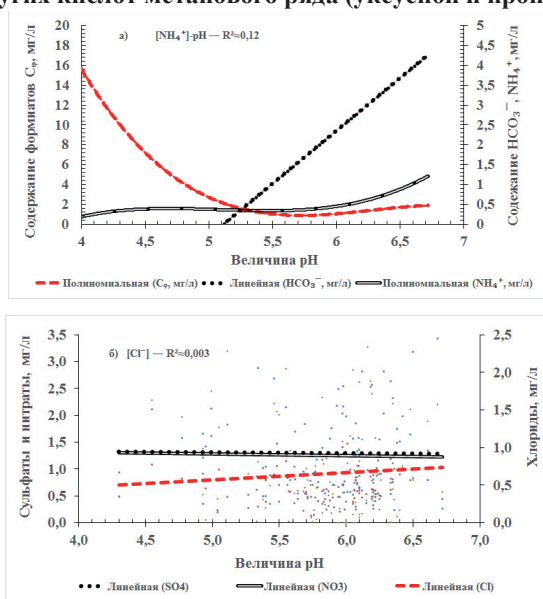


Рис. 12, а) и б). Экспериментальная связь концентрации ионов сульфатов, нитратов, хлоридов, формиатов и аммония с активной кислотностью (pH) равновесных осадков (гипотетическая для формиатов)

Авторские измерения по формиатам в осадках имеются только до 5 мг/л и величины pH до 4,3 – далее проведена линейная экстраполяция. Концентрация метановой (муравьиной) кислоты в воздухе составляет примерно 1-10 мкг/м³ (карта 4 Приложения I) и в сравнении с углекислым газом ($3,5 \cdot 10^5$ мкг/м³) ничтожно мала.

Повышенная свободная кислотность анализируемых проб следовательно объясняется постоянным и повсеместным наличием в свободной атмосфере слабых кислот типа муравьиной, уксусной, возможно, перекиси водорода и аминокислот.

Около 85% муравьиной кислоты (HCOOH) вымывается из воздуха атмосферными осадками, но содержание кислоты небольшое, поэтому действие слабых кислот проявляется только при низкой минерализации раствора, при отсутствии карбонатов и других подобных соединений. По утверждению биохимиков [7, 9] муравьиная кислота, попадая в организм человека и животных, не остаётся безучастной. Метановая кислота является исходным материалом для биосинтеза пуриновых и некоторых пиримидиновых оснований, некоторых аминокислот (серина, гистидина, метионина, тирозина), а, следовательно, и таких важных веществ, как нуклеиновые кислоты.

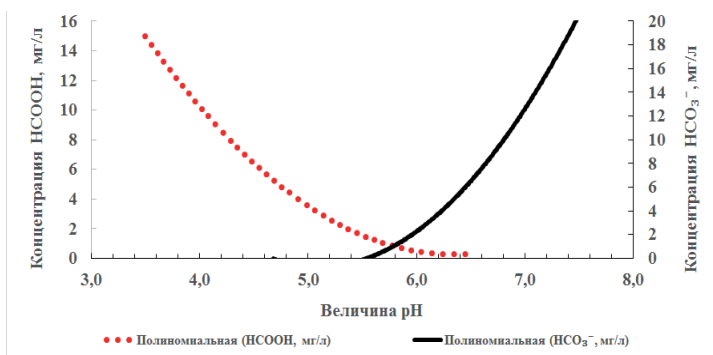


Рис. 13. Гипотетическая связь величины pH с концентрациями ионов гидрокарбонатов HCO_3^- и метановой кислоты HCOOH .

В присутствии заметного количества муравьиной кислоты, естественно, содержание карбонатов и гидрокарбонатов становится ниже предела обнаружения. Даже следовые количества карбонатов сразу начинают разрушать недиссоциирующие и реагировать с диссоциирующими органическими кислотами. Получается, что постоянно действующий и подавляющий на три порядка по концентрации углекислый газ воздуха не способен продолжительное время изменить пониженную равновесную кислотность фактически дистиллированной воды. Сказывается буферное действие солей слабых кислот (аммония, муравьиной, уксусной и др.).

Эти кислоты, по-видимому, и определяют повышенную свободную кислотность, а иногда и проводимость, равновесных маломинерализованных осадков. Все приведенные данные о содержании органических кислот в атмосферных осадках показывают, что наибольшее их проявление приходится на период 2003-2007 гг.

По осадкам, собранным за месяц, периоды появления и повышенного содержания органических кислот в течение года не имеют существенного различия и чередуются с месяцами пониженных концентраций, близких к пределу обнаружения. Абсолютный максимум концентрации кислот 1790 мкг/л достигал в Краснощелье в июне, а в Янискоски — 1716 мкг/л в сентябре, причем, в Краснощелье свободная кислотность осадков H^+ соответствовала величине рН больше 5,0. Подобные отклонения наблюдаются и на других станциях. В Зареченске повышенные концентрации органических кислот проявляются менее контрастно, и концентрация распределяется более равномерно в течении всего года. Орографические особенности территории здесь способствуют изменению основного переноса воздуха практически каждые сутки, за которыми, вероятно, и следуют максимумы и минимумы кривой. Отличает рассматриваемые кислоты в Заполярье от других территорий также слабая взаимозависимость содержания органических кислот с концентрацией основных ионов. Каждая станция, конечно, имеет свой годовой и временной ход, но все их объединяет высокая чувствительность присутствия органических кислот в осадках к приземным загрязнениям природного и антропогенного происхождения. На станциях Падун, Краснощелье и Зареченск, как и в Янискоски повышенная общая кислотность осадков не зависит от направления переноса воздуха и слабо реагирует на смену сезонов, несколько усиливаясь в самый тёплый месяц июль. Естественно, самая тесная связь существует между минерализацией осадков и проводимостью, величина которой, иногда, не покрывается полностью измеренными ионами. Слабо обеспеченными следует считать некоторые данные по магнию, так как концентрации находится на грани чувствительности метода. Величина рН равновесных осадков сильнее всего связана с гидрокарбонат-ионами, намного слабее с ионами аммония. Главные анионы сульфаты, нитраты и хлориды по существу не оказывают на равновесную кислотность никакого влияния. Объединяют рисунки ещё два фактора: сравнительно не высокая зависимость содержания органических кислот от концентрации главных ионов и очень слабая их связь в годовой динамике. Взаимная связь главных ионов между собой, с небольшими отклонениями, сохраняется практически на всех представленных станциях.

Таблица 4. Средние и крайние за месяц показатели по тем атмосферным осадкам, в которых присутствует общая кислотность

| Станция | Величина рН | | Сумма ионов, мг/л | | Сумма кислот ($[H^+]+ΣH$), мг/л | | Органические $ΣH$, мг/л | |
|--------------|-------------|-----|-------------------|------|-----------------------------------|------|--------------------------|------|
| | сопр | мин | мин | сопр | мин | макс | сред | макс |
| Янискоски | 5,3 | 3,2 | 0,6 | 1,4 | 2 | 1721 | 145 | 1716 |
| Никель | 4,5 | 3,8 | 5,7 | 27 | 2 | 564 | 42 | 534 |
| Зареченск | 5,0 | 3,7 | 1,4 | 8 | 2,5 | 635 | 66 | 624 |
| Падун | 3,8 | 3,8 | 0,8 | 6 | 1,3 | 1660 | 106 | 1600 |
| Мурманск | 4,3 | 3,6 | 4,1 | 32 | 1,5 | 1730 | 139 | 1680 |
| Краснощелье | 5,4 | 3,3 | 1,3 | 4,4 | 2,4 | 1790 | 129 | 1790 |
| Северодвинск | 4,9 | 4,7 | 2,7 | 31 | 2 | 30 | — | — |
| Мудьюг | 4,4 | 4,2 | 4,4 | 8 | 3 | 51 | — | — |
| Архангельск | 4,8 | 4,3 | 2,8 | 14 | 3 | 20 | — | — |
| Нарьян-Мар | 4,5 | 4,1 | 2,7 | 57 | 3 | 37 | — | — |
| Уренгой | 3,5 | 3,5 | 1,1 | 53 | 8 | 145 | 14 | — |
| о. Диксон | 4,6 | 4,4 | 1,3 | 81 | 3 | 94 | 11 | — |
| Туруханск | 3,5 | 3,5 | 1,4 | 25 | 2 | 354 | 20 | 195 |
| Норильск | 4,1 | 4,1 | 41 | 213 | 2 | 85 | — | — |
| Жиганск | 5,2 | 5,1 | 1,3 | 2,5 | 3 | 36 | — | — |
| Депутатский | 5,1 | 4,3 | 2,0 | 3,2 | 2 | 41 | — | — |
| Усть-Мома | 4,7 | 4,4 | 1,9 | 10 | 3 | 85 | — | — |
| Палатка | 3,5 | 3,5 | 1,4 | 12 | 5 | 309 | — | — |

Примечание. В табл. 4 величина рН и сумма ионов «сопряженные» (сопр) относятся только к пробам осадков с максимальным значением общей кислотности.

Не диссоциирующие и слабо диссоциирующие растворимые в воде кислоты постоянно присутствуют в атмосфере и при отсутствии активной деятельности человека, в определенных физико-географических и погодных условиях кислоты выпадают в заметном количестве. Кислоты по происхождению, вероятно, бывают двух типов – взаимосвязанные с основным составом осадков или совершенно к нему индифферентные. Учитывая те осадки, которые имеют очень низкую минерализацию и условия, при которых они выпадают, основными источниками органической кислоты в Заполярье служат, вероятно, местное испарение и выделения растений, возможно, эрозия приземной поверхности. Некоторые химические характеристики мало минерализованных осадков Заполярья указывают на общность происхождения их состава от ядер конденсации и захвата вещества облачными каплями.

Временные изменения химического состава осадков

Основной характеристикой химического состава атмосферных осадков является их минерализация (сумма ионов) M , мг/л. Значение этого параметра получается суммированием концентраций измеренных ионов или путем определения проводимости раствора k , мкСм/см. При этом коэффициент корреляции между удельной электропроводностью и суммой ионов составляет в большинстве случаев от 0,4 до 0,7 с относительным квадратическим отклонением около 10 % (табл. 1). Ценным качеством этого метода, как говорилось ранее, является возможность быстрой характеристики минерализации осадков непосредственно в момент их выпадения. Именно в этот период такие, как правило, неравновесные выпадения проявляют максимальную физическую, химическую и биологическую агрессивность. Преимуществом этого метода является возможность вести непрерывные наблюдения, осуществить автоматическую запись результатов и при необходимости смонтировать дистанционную передачу.

Точность среднегодовых значений минерализации для каждой станции зависит от продолжительности периода наблюдений, точности измерения отдельных компонентов и, возможно, степени изменчивости годовых сумм осадков. Таким образом, норма минерализации – средняя арифметическая из ряда наблюдаемых величин – является статистическим понятием, исходящим из представления о том, что годовая сумма ионов в осадках является результатом большого числа факторов. Появление той или иной величины M в разные годы может рассматриваться как случайное явление. Колебания минерализации во времени подчиняются нормальному или близкому к нему закону распределения. Норма минерализации, также как коэффициенты вариации и асимметрии, является параметром кривой распределения годовых сумм ионов. Она представляет собой среднюю величину, около которой колеблются значения минерализации отдельных лет. Обязательным условием при статистической обработке любых величин является однородность членов ряда. Под однородностью ряда годовых величин минерализации за какой-либо период следует понимать неизменность в течение этого времени физико-географических факторов формирования химического состава осадков. Очевидно, что норма минерализации может быть определена только для периода с мало меняющимися средними климатическими, другими физико-географическими условиями и уровнем хозяйственной деятельности.

Между величинами минерализации за смежные годы имеется связь, которая может быть оценена величиной коэффициента корреляции. По нашим данным величина среднего коэффициента корреляции $r \approx 0,36$. С

увеличением промежутка времени между сравниваемыми годовыми значениями M коэффициенты корреляции уменьшаются, а их ошибки возрастают.

Таким образом, с той точностью, с какой можно установить на основании сравнительно небольших периодов наблюдений, зависимость минерализации смежных лет в общем незначительна. Поэтому годовые величины минерализации практически можно рассматривать большей частью как ряд независимых случайных величин.

С практической точки зрения интерес представляет вопрос об устойчивости средней минерализации за указанные сравнительно короткие промежутки времени.

Таблица 5. Статистические показатели средних за год минерализации, проводимости и максимальной активной кислотности pH осадков в Туруханске и Норильске.

| Параметры | Туруханск | | | Норильск | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------|--------|-----------------|--------------------|--------|
| | M_1 , мг/л | k_1 , мкСм/см | pH_1 | M_2 , мг/л | k_2 , мкСм/см | pH_2 |
| Среднее, \bar{x} | 7,3 | 15,7 | 4,9 | 193,9 | 366,4 | 6,0 |
| Стандарт. ошибка, m | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 11,9 | 23,8 | 0,1 |
| Медиана | 6,8 | 15,3 | 4,8 | 198,1 | 348,0 | 6,3 |
| Мода | — | 10,4 | 4,7 | — | — | 6,4 |
| Стандарт. отклонение, s | 2,3 | 3,6 | 0,4 | 66,4 | 132,6 | 0,7 |
| Дисперсия выборки, m^2 | 5,2 | 12,9 | 0,2 | 4405 | 17574 | 0,6 |
| Эксцесс $\leq \pm 3$ | 0,8 | -0,8 | -0,3 | -0,8 | -0,6 | 2,1 |
| Асимметрия $\pm 0,5$ | 0,9 | 0,2 | -0,2 | 0,4 | 0,4 | -1,5 |
| Интервал | 10,9 | 13,2 | 1,8 | 235,6 | 516,5 | 2,9 |
| Минимум | 3,5 | 9,7 | 3,8 | 100,8 | 156,3 | 3,9 |
| Максимум | 14,8 | 22,9 | 5,6 | 336,4 | 672,8 | 6,8 |
| Счет | 59 | 59 | 59 | 31 | 31 | 31 |
| Уровень надежности (95%) | 0,6 | 0,9 | 0,1 | 24,3 | 48,6 | 0,3 |

Поэтому важно установить среднюю величину суммы ионов за периоды наблюдений и возможные отклонения от среднего значения за более длительное время. Наиболее длительные наблюдения на станциях РФ показывают, что колебания минерализации осадков всюду носят циклический характер, выражающийся в последовательной смене слабо- и среднеминерализованных осадков.

Периоды различаются как по своей длительности, так и по степени отклонения от средней величины. Некоторые циклы бывают выражены более четко, другие менее. На фоне длительных циклов проявляются менее значительные, состоящие из двух-трех лет с обильными осадками при общем их среднем уровне.

Представим основные статистические показатели по Туруханску — с одним из наиболее длительных периодов наблюдений и по Норильску с хорошо прослеживаемым трендом основных компонентов.

В показателях таблицы приводятся пределы асимметричности и эксцесса, допустимые в нормальных распределениях. По уровню надежности 95 % можно предположить, что в среднем минерализация M_1 для Туруханска находится в пределах 6,7-7,9 мг/л, а у Норильска средняя сумма ионов M_2 колеблется от 169 до 218,2 мг/л. Величина pH относится к абсолютно минимальным значениям за каждый год, то-есть соответственно максимальная кислотность осадков составляет 316 мкг/л (pH=3,5) и 126 мкг/л (pH=3,9). Уравнения корреляционных связей минерализации с проводимостью для всех станций приводятся в табл. 1.

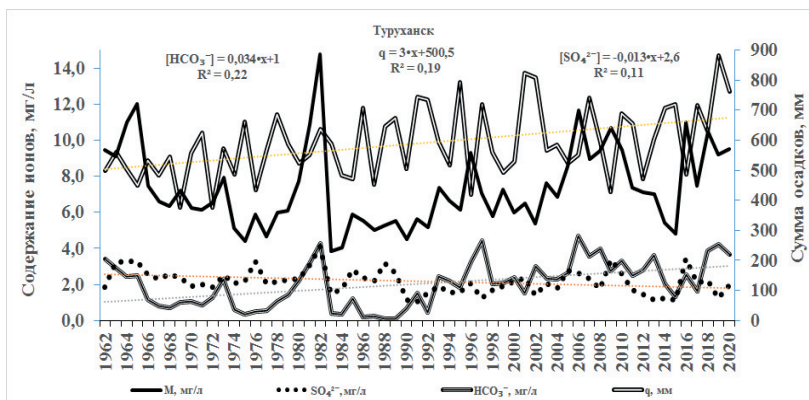


Рис. 14. Изменения средней за год минерализации M , концентрации сульфатов, гидрокарбонатов и суммы осадков на станции Туруханск, 1962-2020 гг.

В большинстве случаев действует «золотое правило» – величина проводимости примерно равна удвоенному значению минерализации. Эта связь зависит от кислотности и слабо от количества осадков, от их качественного состава в большей степени, чем от количественного. Иногда её нарушает присутствие органических кислот.

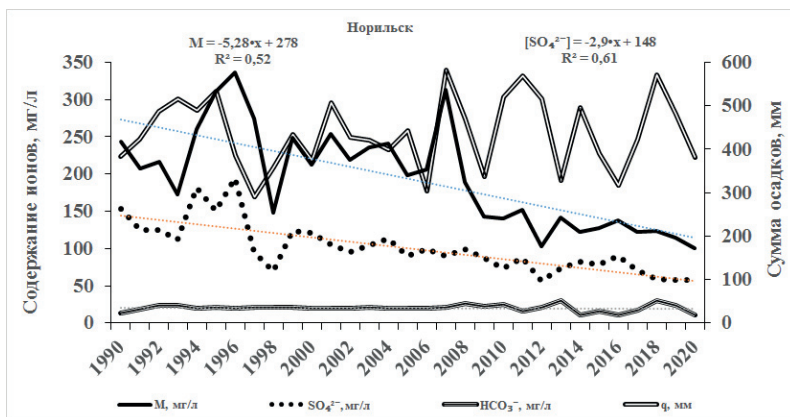


Рис. 15. Изменения средней за год минерализации M , концентрации сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов и суммы осадков на станции Норильск, 1990-2020гг. Значащие корреляционные связи Норильск↔Туруханск: $r(q)=0,35$;

$$r(\text{HCO}_3^-) = 0,36 \text{ и } r(\text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{HCO}_3^-) = -0,35$$

На рис. 14 и 15 приводятся изменения средней за год минерализации осадков и годовой суммы осадков на станциях Туруханск и Норильск. Для обеих станций теснота связей за весь период показана на рисунках. В Туруханске вследствие изменений годовой суммы осадков и уровней загрязненности воздуха в течение такого периода, можно отчетливо установить циклы изменения суммы ионов. Длительность этих циклов составляет от 3 до 7 лет. Менее продолжительные наблюдения в Норильске также свидетельствуют о наличии менее выраженных циклов изменения минерализации осадков. Резкое возрастание ее величины на фоновой станции объясняется, вероятно, появлением местных источников загрязнения воздуха, так что в среднем получилась в Туруханске слабая связь средней минерализации за год с годовой суммой осадков. То же самое с годовой суммой осадков наблюдается и в Норильске, несколько иные связи здесь у других компонентов. В год (1990 г) начала здесь регулярных наблюдений сумма ионов в осадках составляла 267 мг/л. Со временем в течение 30-ти лет наблюдается постепенное уменьшение суммы основных ионов примерно по линейной зависимости: $M_2 \approx -4,3 \cdot \Delta T + 267$, где ΔT – период времени, год. Следовательно в современных условиях, минерализация осадков в Норильске ежегодно уменьшается на 4,3 мг/л. Однако, если пренебречь общим изменением климата при переходе от предшествующих геологических периодов к современному [1, 2], которое происходит очень медленно и не может быть

отмечено сколько-нибудь заметно на протяжении жизни нескольких поколений, то можно считать среднюю сумму ионов в осадках и в Норильске устойчивой в течение длительного времени.

Различная длительность циклов и разная степень отклонения средней минерализации за каждый из них от средней суммы ионов за весь период, а также большое число факторов, формирующих химический состав осадков, и их различное сочетание в разное время позволяют рассматривать колебания минерализации во времени как ряд независимых или незначительно зависимых друг от друга случайных величин.

Временные изменения состава осадков по основным компонентам на других станциях более подробно представлены графиками в главе Таблицы и диаграммы по станциям. Далее приводим иллюстрации временных изменений органических кислот в атмосферных осадках. На заполярных станциях наблюдается самый низкий (0,6 мг/л, Янискоски) по РФ и самый высокий (336 мг/л, Норильск) уровень минерализации. Осадки в Янискоски могут обладать самой высокой активной кислотностью до 631 мкг/л (рН=3,2). Напрашивается предположение о предельно возможной низкой минерализации влажных выпадений, что в природных условиях означает иметь дело с веществами в осадках, способствующими образованию облачных элементов, то-есть с ядрами конденсации.

Таблица 6. Статистические показатели по сумме осадков за месяц, по сумме анионов и катионов, по максимальной активной и общей кислотности осадков, Янискоски и Падун, 2000-2017 гг

| Показатели | q, мм | мг/л | | | рН | к, мкСм/см | мкг/л | | |
|--------------------------|----------|------|------|------|------|---------------|----------------------|----------------|------|
| | | ∑Ан | ∑Кат | М | | | (Н ⁺ +∑Н) | Н ⁺ | ∑Н |
| Среднее | 58,6 | 1,3 | 0,6 | 1,8 | 4,5 | 9,6 | 367 | 68 | 299 |
| Стандартная ошибка | 4,9 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,1 | 0,6 | 92 | 27 | 84 |
| Медиана | 65,3 | 1,2 | 0,5 | 1,8 | 4,5 | 10,0 | 148 | 35 | 126 |
| Мода | 58,9 | 1,2 | 0,8 | 2,0 | 4,1 | 10,0 | 145 | 87 | 946 |
| Стандартное отклонение | 23,7 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 2,8 | 440 | 129 | 405 |
| Экссесс | -0,9 | -0,4 | -0,3 | -1,1 | 0,0 | -0,5 | 3 | 18 | 6 |
| Асимметричность | -0,1 | 0,6 | 0,9 | -0,5 | -0,1 | -0,2 | 2 | 4 | 2 |
| Интервал | 82,8 | 0,7 | 0,5 | 1,4 | 2,2 | 10,2 | 1710 | 626 | 1709 |
| Минимум | 18,0 | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 3,2 | 3,9 | 11 | 4 | 7 |
| Максимум | 100,8 | 1,7 | 0,9 | 2,0 | 5,4 | 14,0 | 1721 | 630 | 1716 |
| Счет | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Уровень надежности (95%) | 10,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 1,2 | 190 | 56 | 175 |

Приводим (табл. 6) выборку из всего ряда исходных измерений по сумме ионов $M \leq 2$ мг/л в пробах осадков за месяц для станций Янискоски и Падун. В этих пробах привлекают внимание не только низкие суммы ионов, но и высокие концентрации кислот – общей и активной.

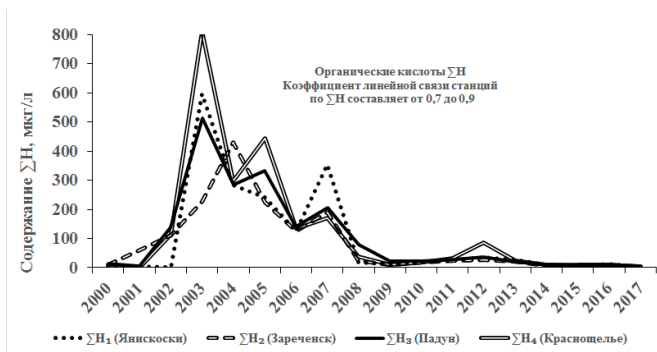


Рис. 16. Временной ход содержания органических кислот ΣH в атмосферных осадках на станциях Янискоски ΣH_1 , Зареченск ΣH_2 , Падун ΣH_3 и Краснощелье ΣH_4 , 2000-2017 гг.

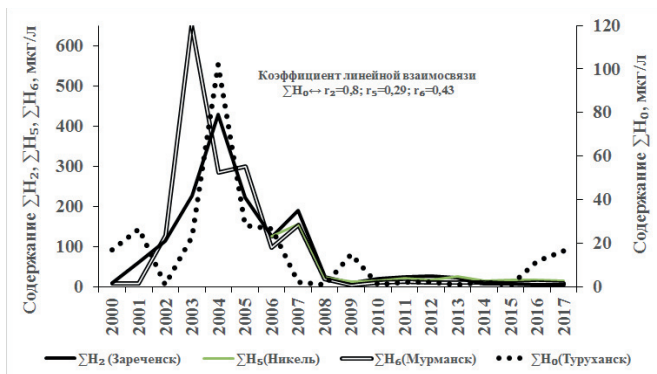


Рис. 17. Временной ход содержания органических кислот ΣH в атмосферных осадках на станциях Туруханск ΣH_0 , Зареченск ΣH_2 , Никель ΣH_5 и Мурманск ΣH_6 , 2000-2017 гг.

Подтверждается ранее высказанное положение, что равновесная величина $pH > 5,0$ обеспечивается и контролируется в осадках диоксидом углерода, а значение $pH \leq 5,0$ определяется концентрациями каких-то слабо диссоциирующих кислот, постоянно присутствующих в атмосфере и конкурирующих с диоксидом углерода.

На рис. 16 и рис. 17 приводится уникальный по величине содержания временной ход средних за год содержаний потенциальной кислотности в атмосферных осадках северо-западного Заполярья и для сравнения по Туруханску. Наибольшее их проявление в Мурманской области приходится на период 2003-2007 гг. с максимальной величиной за год 812 мкг/л в Краснощелье. Станции, расположенные на десятки километров друг от друга, имеют высокий коэффициент связи и единственное, что их объединяет – отсутствие какой-либо активной деятельности человека на близко расположенных территориях. Практически органические кислоты, по-видимому, можно обнаружить на любой станции при низкой минерализации осадков ($M < 5$ мг/л). Источники, как говорилось, также могут быть иными, но они в большинстве случаев оказываются значительно слабее локальных антропогенных.

Временные изменения концентрации основных компонентов на заполярных станциях различается по величине и динамике (Таблицы и диаграммы по станциям). Наиболее устойчиво содержание хлоридов, связанное, по-видимому, с близостью главного морского источника. Меньше всего концентрация и больше всего изменяется сумма ионов аммония и нитратов — по средним за год от 0,6 до 1,4 мг/л. Сульфат-ионы, всюду преобладая (до 2 мг/л), по элементному составу занимают второе или третье место после хлора и суммарного азота. Видна временная тенденция уменьшения концентрации указанных ионов. Известно, что из трех основных факторов формирования минерализации осадков – ядра конденсации, захват облачными компонентами и вымывание из подоблачного слоя воздуха – последнее преобладает в 85%.

В годовом ходе содержание свободных ионов водорода H^+ в растворе на 36% регулируется концентрацией гидрокарбонатов. Обнаруживается слабая связь величины органических кислот $\sum H$ с нитрат-ионами и аммонием, что, при отсутствии антропогенных источников, может указывать также на их указанное выше происхождение.

**Таблицы и диаграммы по станциям
Европейская территория РФ**

Янискоски

По трём станциям приводится краткое описание. Янискоски имеет за указанный период самые высокие концентрации органических кислот, Приокско-Тerrasный БЗ отличается наиболее стабильным соответствием состава осадков окружающей природной среде. На м/с Воейково были проведены многочисленные научно-методические работы по химическому составу атмосферных осадков и аэрозолей. Находясь в 13 км восточнее Санкт Петербурга, станция периодически полностью отражает его экологическое состояние (импактная станция).

Таблица 7. Описательная статистика на м/с Янискоски

| Показатели | pН _{мин} | pН _{ср} | pН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,1 | 4,9 | 5,9 | 1,7 | 5,5 | 16,7 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 3,4 |
| Медиана | 4,1 | 4,8 | 5,7 | 1,7 | 4,4 | 12,7 |
| Мода | — | — | 5,7 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 2,9 | 12,9 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 8,7 | 166 |
| Эксцесс | 1,2 | 1,7 | -1,0 | 1,8 | 1,6 | 1,9 |
| Асимметричность | 0,4 | 1,3 | 0,2 | 1,1 | 1,5 | 1,5 |
| Интервал | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,6 | 9,8 | 44,0 |
| Минимум | 3,2 | 4,2 | 4,9 | 0,6 | 2,8 | 5,1 |
| Максимум | 5,2 | 6,2 | 7,0 | 3,2 | 12,6 | 49,1 |
| Счет | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Уровень надежности (95%) | 0,28 | 0,31 | 0,38 | 0,39 | 1,70 | 7,43 |

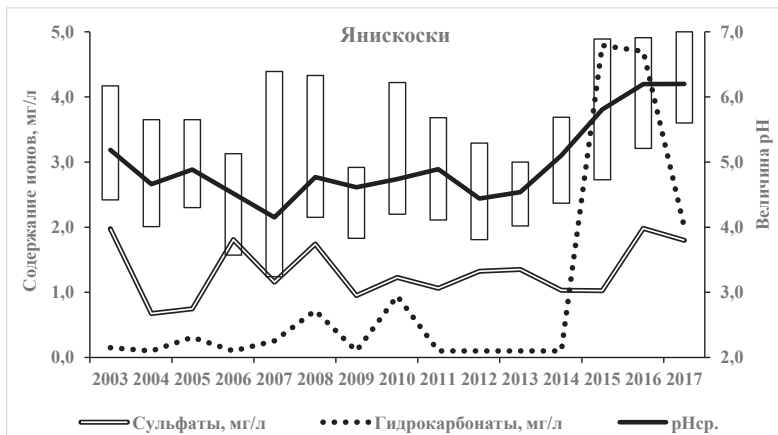


Рис. 18. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Янискоски

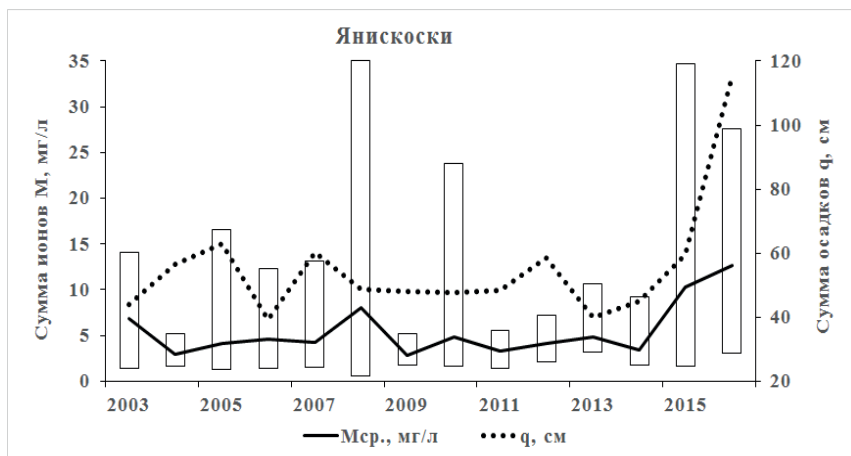


Рис. 19. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Янискоски

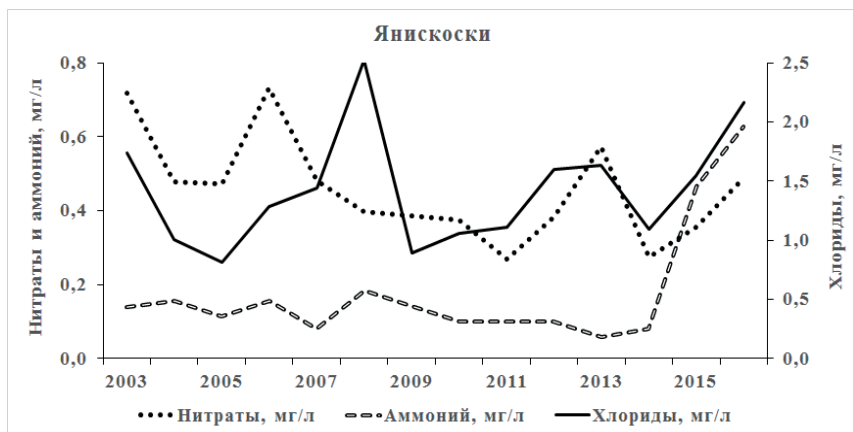


Рис. 20. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Янискоски

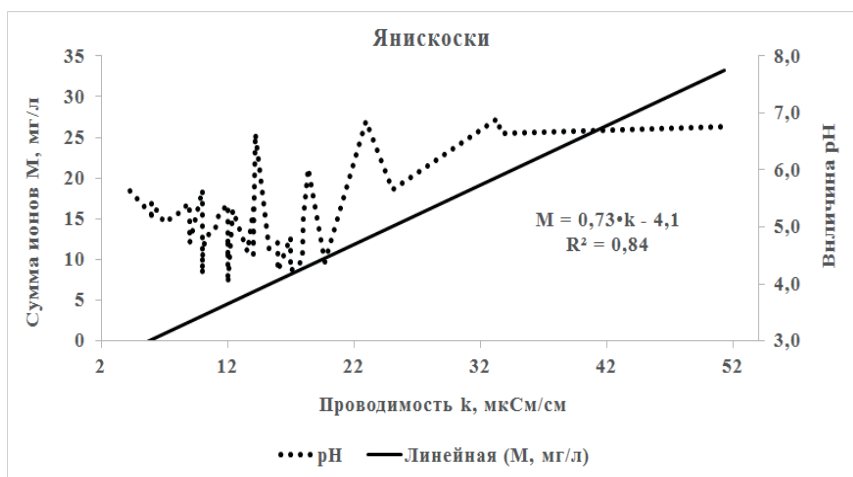


Рис. 21. Связь суммы ионов M и величины pH с проводимостью осадков k на м/с Янискоски

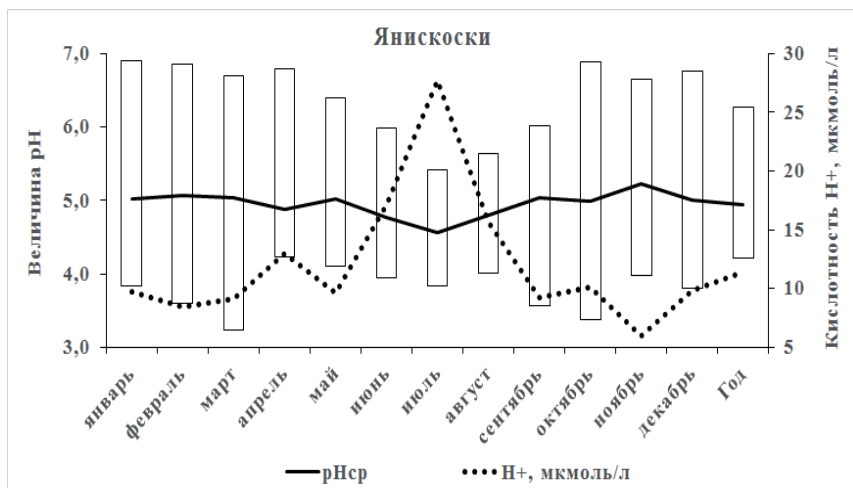


Рис. 22. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Янискоски

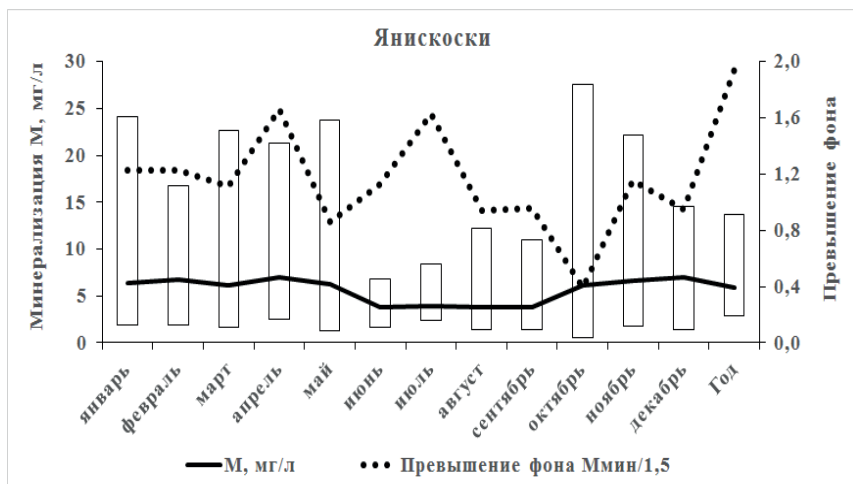


Рис. 23. Годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Янискоски

Таблица 8. Описательная статистика средних за год значений по м/с Янискоски, 2003-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее \bar{x} | 628,2 | 6,2 | 5,2 | 15,9 |
| Стандартная ошибка | 52,5 | 0,7 | 0,2 | 1,2 |
| Медиана | 574,9 | 5,0 | 4,9 | 13,8 |
| Стандартное отклонение | 222,6 | 3,1 | 0,7 | 5,2 |
| Дисперсия выборки | 49571 | 9,4 | 0,5 | 27,1 |
| Экссес $\leq \pm 3$ | 0,3 | 0,4 | -1,4 | -0,1 |
| Асимметрия от $-0,5$ до $+0,5$ | 1,1 | 1,1 | 0,5 | 0,9 |
| Интервал | 763,7 | 10,7 | 2,1 | 18,6 |
| Минимум | 391,9 | 2,9 | 4,2 | 8,8 |
| Максимум | 1155,6 | 13,6 | 6,3 | 27,3 |
| Счет | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Уровень надежности (95%) | 110,7 | 1,5 | 0,3 | 2,6 |

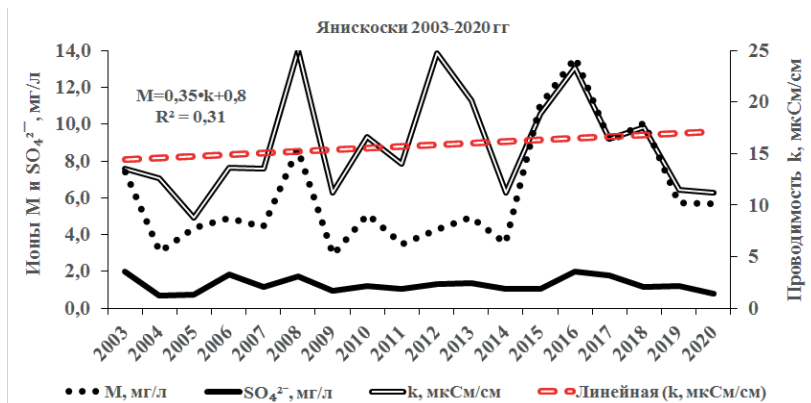


Рис. 24. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Янискоски

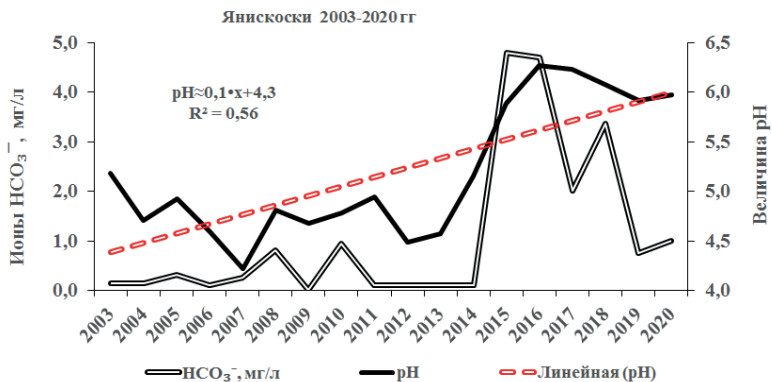


Рис. 25. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Янискоски

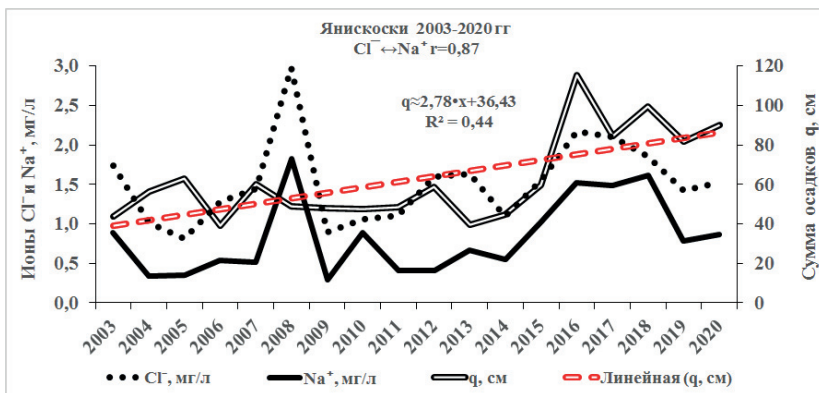


Рис. 26. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Янискоски

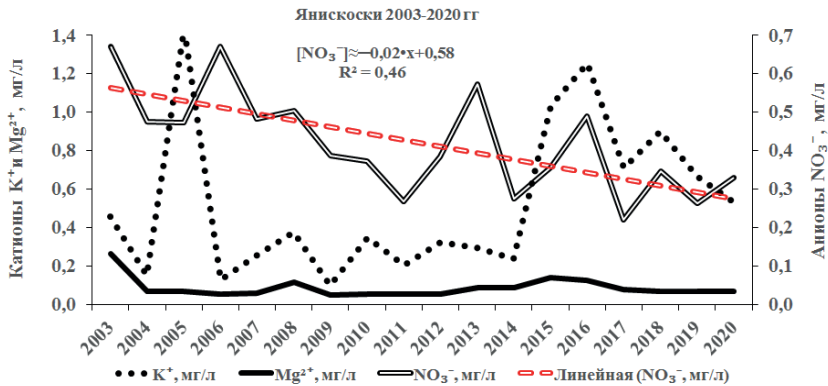


Рис. 27. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Янискоски

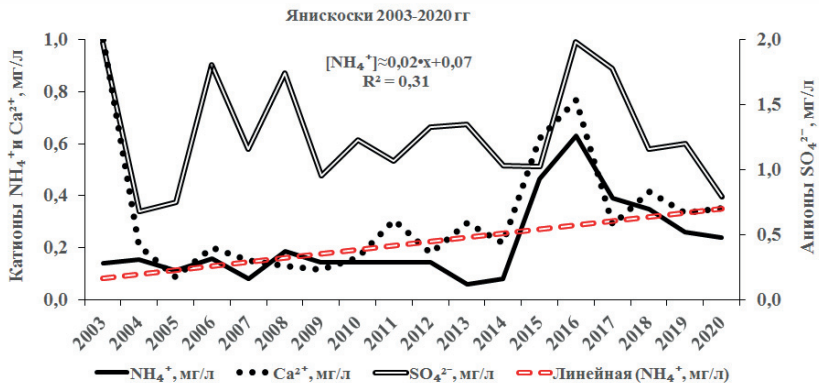


Рис. 28. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Янискоски

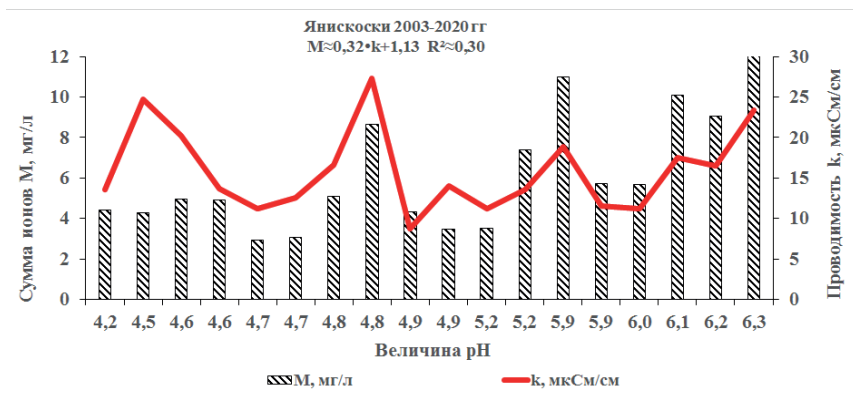


Рис. 29. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M, величиной pH и проводимостью k на м/с Янискейски

Таблица 9. Описательная статистика средних за год значений по м/с Янискейски, 2003-2011 гг.

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 506,4 | 4,9 | 4,8 | 14,6 |
| Стандартная ошибка | 25,7 | 0,6 | 0,1 | 1,7 |
| Медиана | 484,6 | 4,4 | 4,8 | 13,6 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 77,1 | 1,9 | 0,3 | 5,2 |
| Дисперсия выборки | 5950 | 3,8 | 0,1 | 27,4 |
| Экссесс | -0,7 | 0,4 | 1,7 | 5,3 |
| Асимметричность | 0,4 | 1,1 | -0,6 | 2,0 |
| Интервал | 236,5 | 5,7 | 1,0 | 18,6 |
| Минимум | 391,9 | 2,9 | 3,2 | 8,8 |
| Максимум | 628,4 | 8,7 | 5,2 | 27,3 |
| Счет | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Уровень надежности (95%) | 59,3 | 1,5 | 0,2 | 4,0 |

Таблица 10. Описательная статистика средних за год значений по м/с Янискоски, 2011-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 749,9 | 7,5 | 5,6 | 17,2 |
| Стандартная ошибка | 85,7 | 1,2 | 0,2 | 1,7 |
| Медиана | 819,7 | 5,7 | 5,9 | 17,6 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 257,0 | 3,5 | 0,7 | 5,1 |
| Дисперсия выборки | 66037 | 12,3 | 0,5 | 26,3 |
| Экссесс | -1,1 | -1,0 | -0,8 | -1,4 |
| Асимметричность | 0,1 | 0,6 | -1,0 | 0,1 |
| Интервал | 757,6 | 10,1 | 1,8 | 13,5 |
| Минимум | 398,0 | 3,5 | 4,5 | 11,2 |
| Максимум | 1155,6 | 13,6 | 6,3 | 24,7 |
| Счет | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Уровень надежности (95%) | 197,5 | 2,7 | 0,5 | 3,9 |

Никель

Таблица 11. Описательная статистика на м/с Никель

| Показатели | pНмин | pНср | pНмак | Mмин | Mср | Mмак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,3 | 5,3 | 6,3 | 9,3 | 18,6 | 39,3 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 1,0 | 3,3 |
| Медиана | 4,3 | 5,3 | 6,4 | 9,1 | 18,4 | 37,4 |
| Мода | — | — | 6,5 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 2,4 | 3,4 | 11,0 |
| Дисперсия выборки | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 5,6 | 11,3 | 121 |
| Экссесс | 3,3 | 0,1 | -1,1 | 2,9 | 1,8 | 0,3 |
| Асимметричность | 1,4 | 0,4 | -0,3 | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Интервал | 1,4 | 1,1 | 1,3 | 9,2 | 11,1 | 34,4 |
| Минимум | 3,8 | 4,8 | 5,6 | 5,7 | 15,3 | 27,9 |
| Максимум | 5,3 | 5,9 | 6,9 | 14,9 | 26,4 | 62,3 |
| Счет | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Уровень надежности (95%) | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 1,6 | 2,3 | 7,4 |

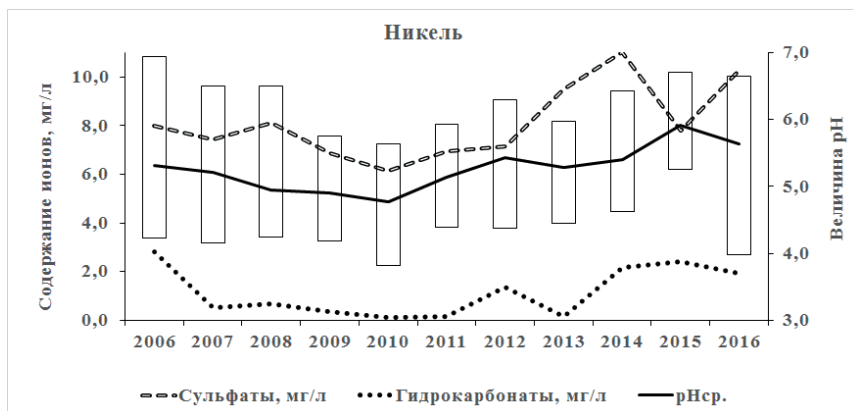


Рис. 30. Временной ход величины рН с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Никель

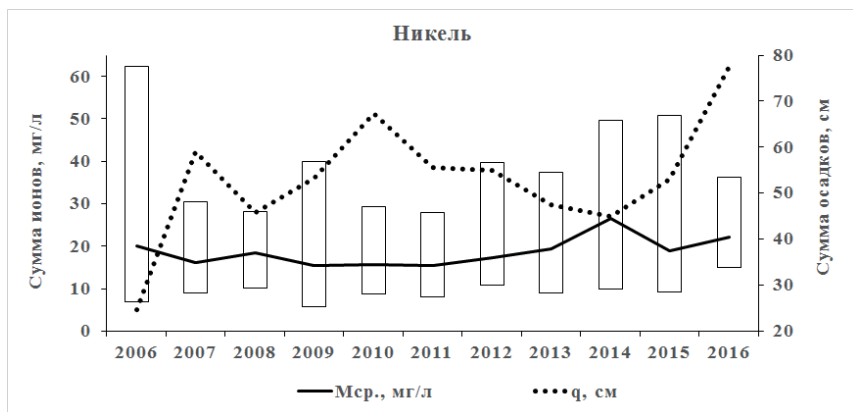


Рис. 31. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями ионов на м/с Никель

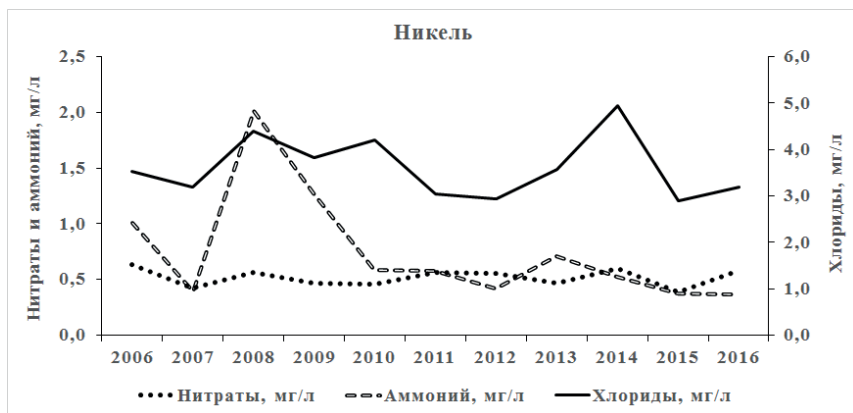


Рис. 32. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов ионов на м/с Никель



Рис. 33. Связь суммы ионов M и величины рН с проводимостью осадков k ионов на м/с Никель

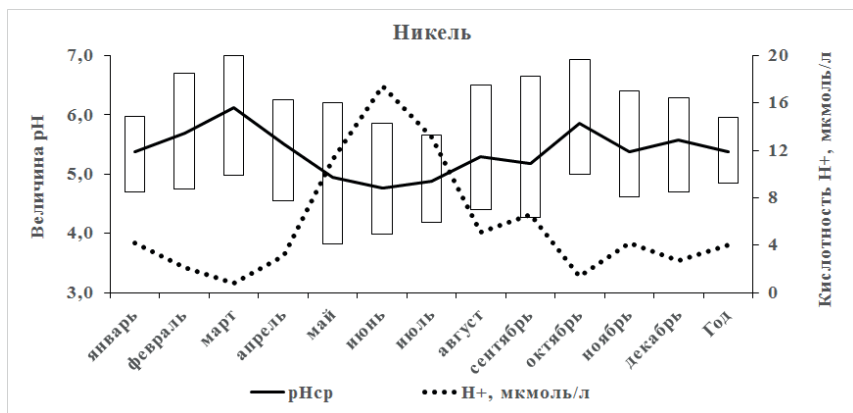


Рис. 34. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л ионов на м/с Никель

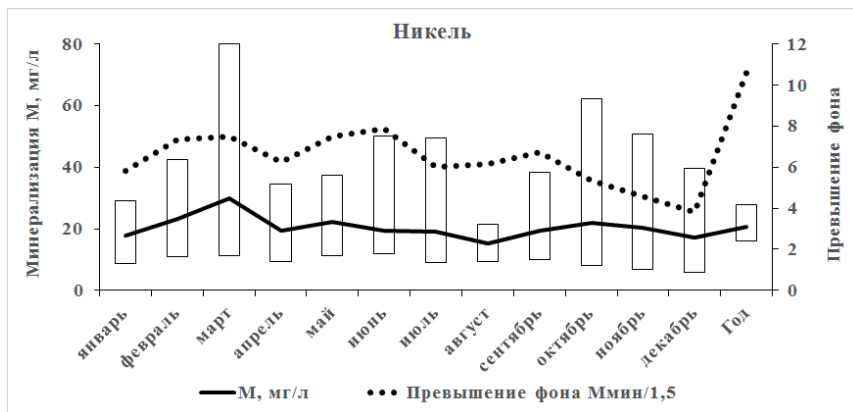


Рис. 35. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/ ионов на м/с Никель л

Зареченск

Таблица 12. Описательная статистика на м/с Зареченск

| Показатели | рНмин | рНср | рНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,7 | 5,4 | 6,2 | 2,8 | 6,6 | 13,7 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 1,1 |
| Медиана | 4,7 | 5,3 | 6,4 | 2,5 | 6,2 | 10,6 |
| Мода | 4,7 | — | 6,4 | 2,1 | — | 9,6 |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 1,2 | 2,3 | 5,9 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 1,4 | 5,2 | 34,8 |
| Экссесс | 0,4 | -0,2 | -0,8 | 1,7 | 1,9 | 0,4 |
| Асимметричность | 0,0 | 0,3 | -0,6 | 1,2 | 1,4 | 1,1 |
| Интервал | 1,8 | 1,5 | 1,6 | 4,9 | 9,9 | 21,8 |
| Минимум | 3,7 | 4,7 | 5,3 | 1,4 | 3,5 | 6,7 |
| Максимум | 5,5 | 6,3 | 6,9 | 6,3 | 13,3 | 28,5 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,16 | 0,15 | 0,19 | 0,46 | 0,90 | 2,33 |

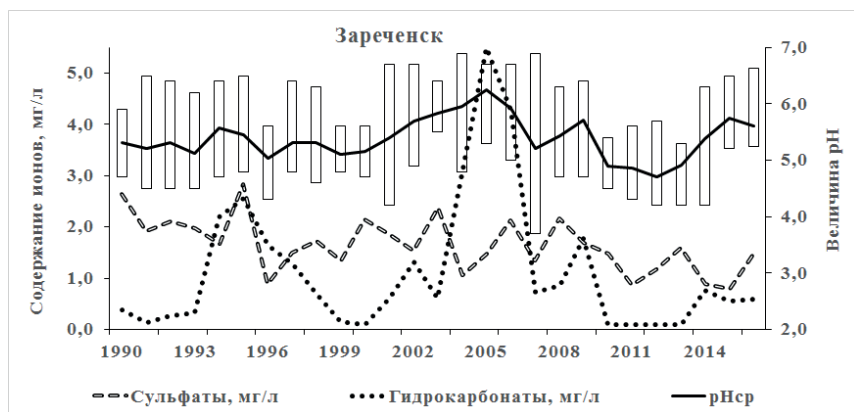


Рис. 36. Временной ход величины рН с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Зареченск

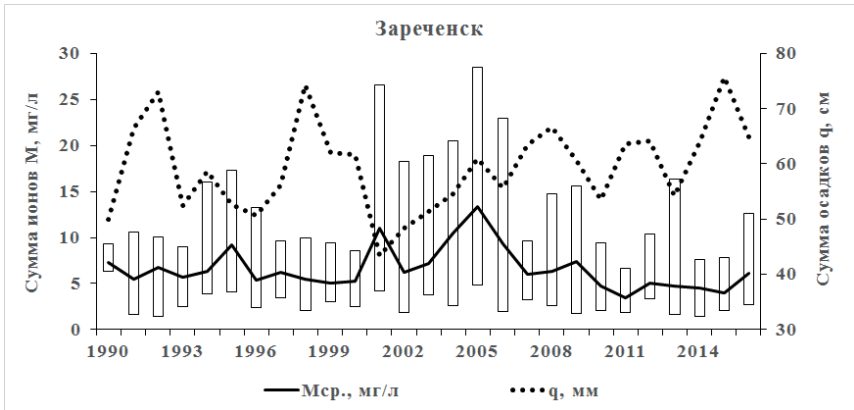


Рис. 37. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Зареченск

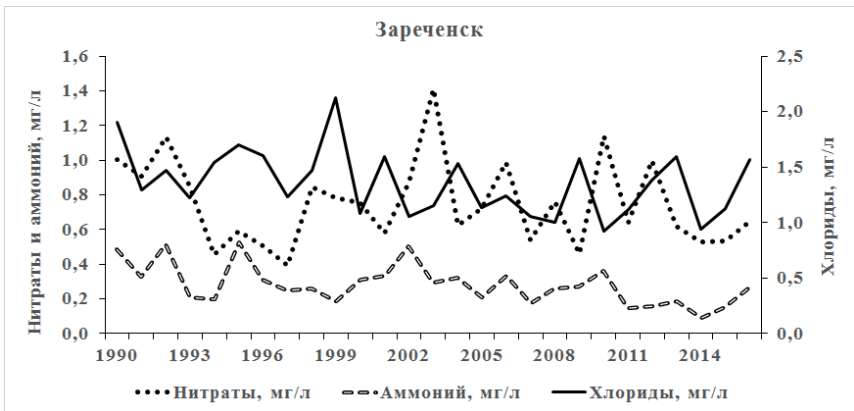


Рис. 38. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Зареченск

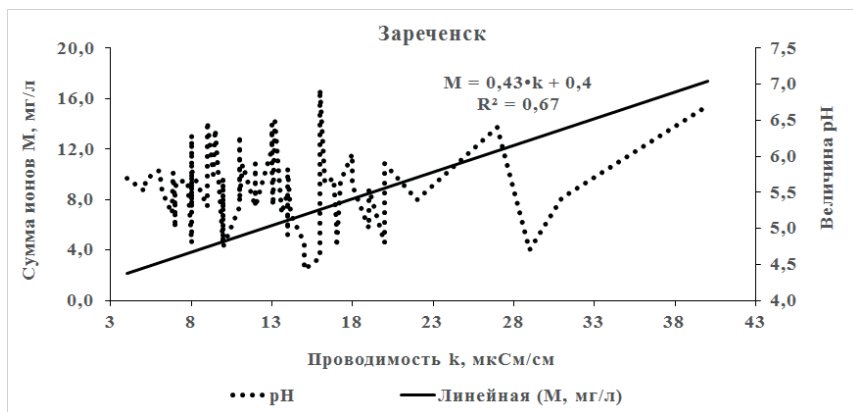


Рис. 39. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков к на м/с Зареченск

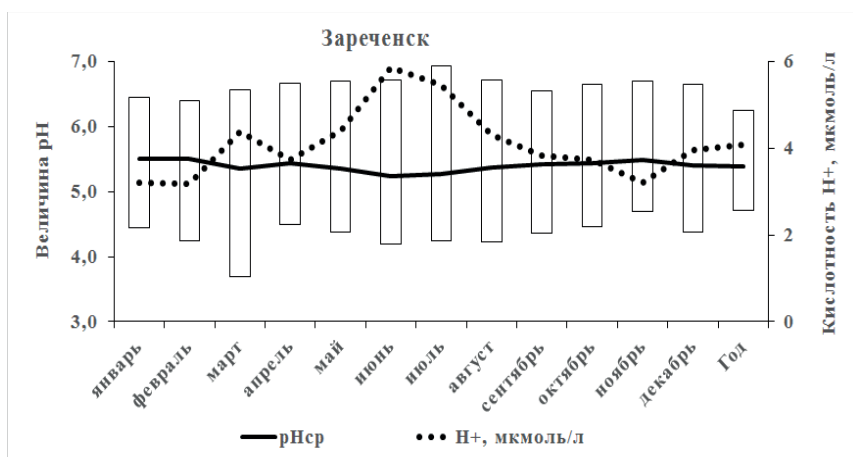


Рис. 40. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Зареченск

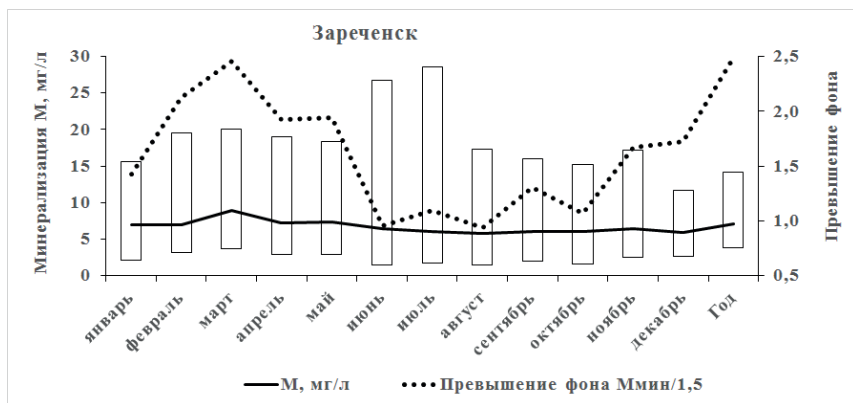


Рис. 41. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Зареченск

Таблица 13. Описательная статистика средних за год значений на м/с Зареченск, 1990-2020 гг.

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 598,7 | 6,6 | 5,4 | 14,6 |
| Стандартная ошибка | 15,3 | 0,4 | 0,1 | 0,6 |
| Медиана | 606,3 | 6,3 | 5,4 | 14,2 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 85,3 | 2,3 | 0,4 | 3,6 |
| Дисперсия выборки | 7282 | 5,4 | 0,1 | 12,6 |
| Экссесс | -0,3 | 3,1 | -0,6 | -0,1 |
| Асимметричность | 0,01 | 1,5 | 0,1 | 0,1 |
| Интервал | 330,3 | 10,8 | 1,5 | 15,0 |
| Минимум | 427,3 | 3,4 | 3,7 | 7,5 |
| Максимум | 757,6 | 14,2 | 6,2 | 22,4 |
| Счет | 31 | 31 | 31 | 31 |
| Уровень надежности (95%) | 31,3 | 0,9 | 0,1 | 1,3 |

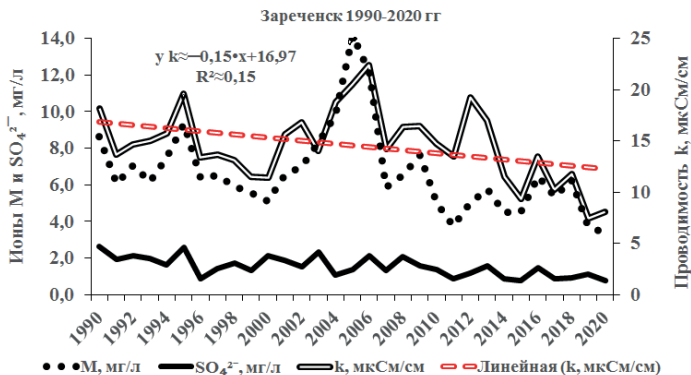


Рис. 42. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Зареченск.

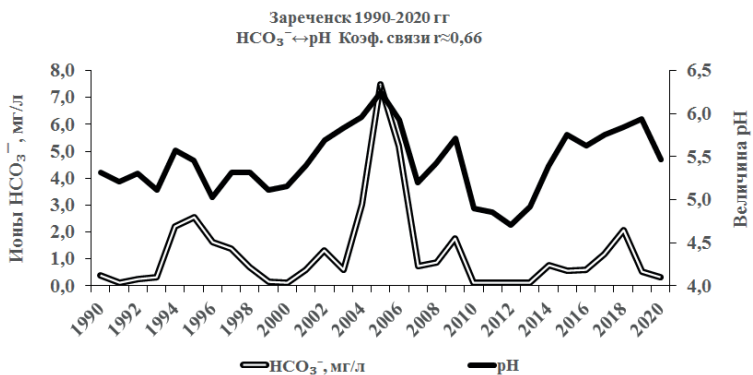


Рис. 43. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Зареченск.

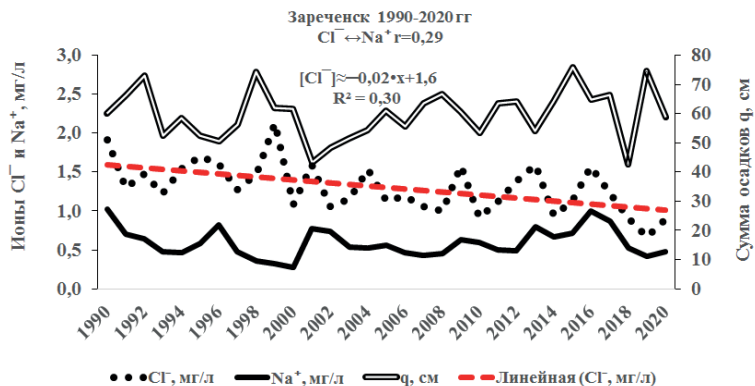


Рис. 44. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Зареченск.

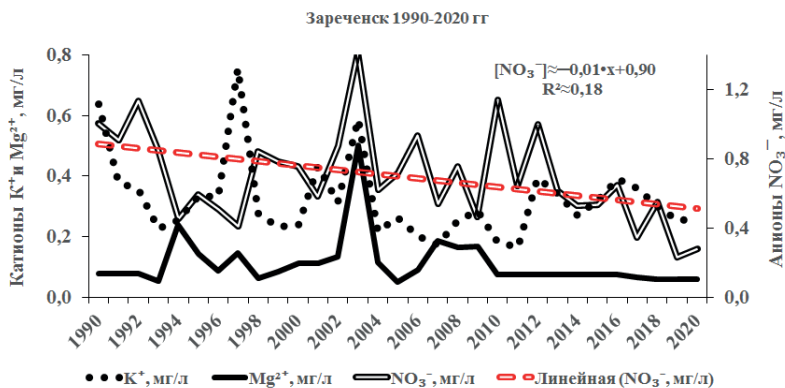


Рис. 45. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Зареченск

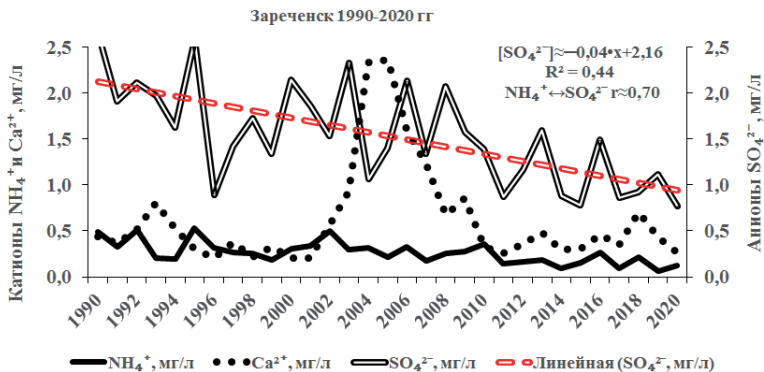


Рис. 46. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO₄²⁻, ионов аммония NH₄⁺ и кальция Ca²⁺ на м/с Зареченск.

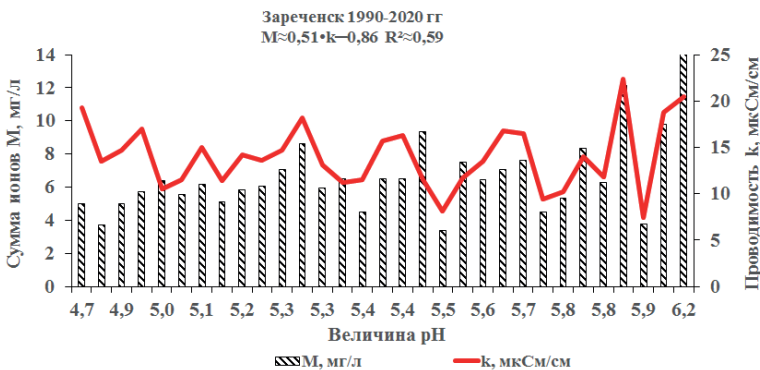


Рис. 47. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M, величиной pH и проводимостью k на м/с Зареченск

Таблица 14. Описательная статистика средних за год значений на м/с Зареченск, 1990-2005 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|-----|------------|
| Среднее | 579,3 | 7,5 | 5,4 | 15,4 |
| Стандартная ошибка | 21,3 | 0,6 | 0,1 | 0,7 |
| Медиана | 574,3 | 6,8 | 5,3 | 14,9 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 85,3 | 2,2 | 0,3 | 2,8 |
| Дисперсия выборки | 7272 | 5,0 | 0,1 | 7,6 |
| Экссесс | -0,1 | 4,8 | 0,6 | -0,7 |
| Асимметричность | 0,4 | 2,0 | 1,1 | 0,5 |
| Интервал | 309,9 | 9,1 | 1,2 | 9,1 |
| Минимум | 433,1 | 5,1 | 5,0 | 11,4 |
| Максимум | 743,0 | 14,2 | 6,2 | 20,5 |
| Счет | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Уровень надежности (95%) | 45,4 | 1,2 | 0,2 | 1,5 |

Таблица 15. Описательная статистика средних за год значений на м/с Зареченск, 2006-2020 гг.

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 619,4 | 5,7 | 5,4 | 13,7 |
| Стандартная ошибка | 21,5 | 0,6 | 0,1 | 1,1 |
| Медиана | 636,2 | 5,3 | 5,5 | 13,5 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 83,2 | 2,1 | 0,4 | 4,2 |
| Дисперсия выборки | 6924 | 4,6 | 0,2 | 17,4 |
| Экссесс | 1,0 | 5,6 | -1,2 | -0,1 |
| Асимметричность | -0,5 | 2,0 | -0,5 | 0,4 |
| Интервал | 330,3 | 8,8 | 1,2 | 15,0 |
| Минимум | 427,3 | 3,4 | 3,7 | 7,5 |
| Максимум | 757,6 | 12,1 | 5,9 | 22,4 |
| Счет | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Уровень надежности (95%) | 46,1 | 1,2 | 0,2 | 2,3 |

Падун

Таблица 16. Описательная статистика по м/с Падун

| Показатели | pН _{мин} | pН _{ср} | pН _{мак} | M _{мин} | M _{ср} | M _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,2 | 4,9 | 5,9 | 2,6 | 6,8 | 17,3 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,7 |
| Медиана | 4,3 | 5,0 | 5,9 | 2,6 | 6,2 | 14,9 |
| Мода | 4,4 | — | 6,6 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,4 | 8,5 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 5,6 | 72,4 |
| Экссесс | 0,2 | -0,3 | 0,2 | -0,7 | 0,5 | 0,4 |
| Асимметричность | -0,5 | -0,6 | -0,1 | 0,0 | 1,0 | 1,0 |
| Интервал | 1,6 | 1,2 | 2,4 | 3,8 | 9,3 | 32,2 |
| Минимум | 3,3 | 4,1 | 4,6 | 0,8 | 3,7 | 6,4 |
| Максимум | 4,9 | 5,3 | 7,0 | 4,6 | 13,0 | 38,6 |
| Счет | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Уровень надежности (95%) | 0,16 | 0,13 | 0,22 | 0,40 | 0,96 | 3,44 |

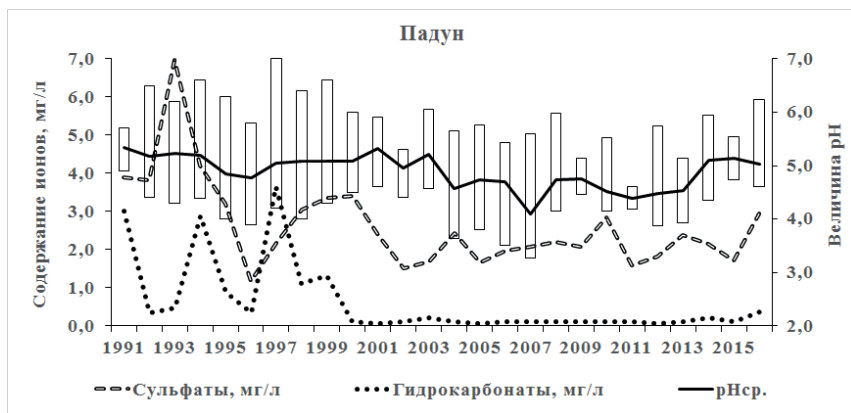


Рис. 48. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Падун

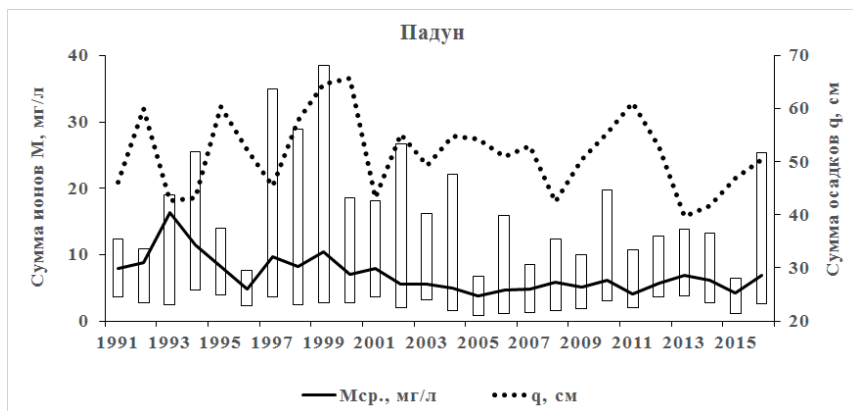


Рис. 49. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Падун

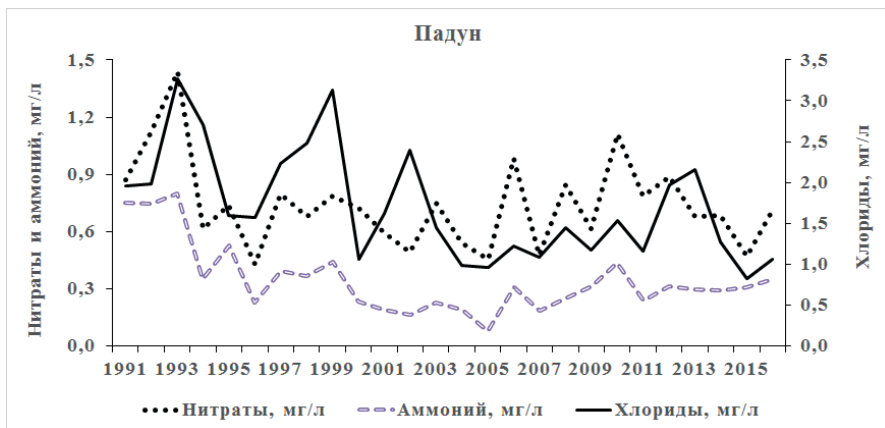


Рис. 50. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Падун

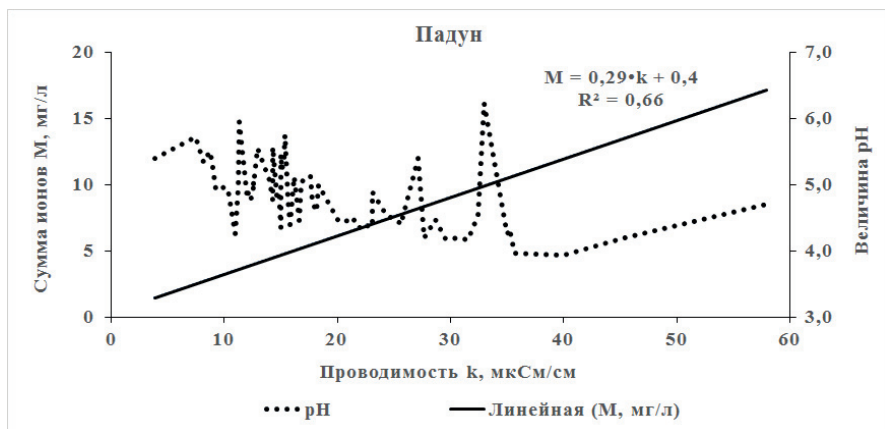


Рис. 51. Связь суммы ионов M и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Падун

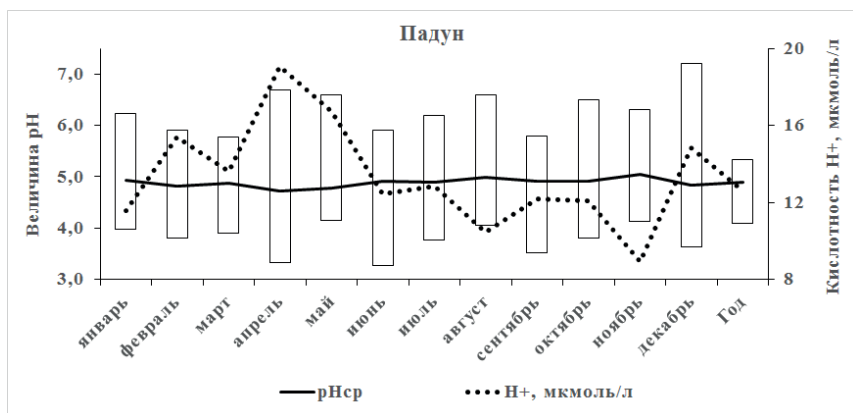


Рис. 52. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Падун

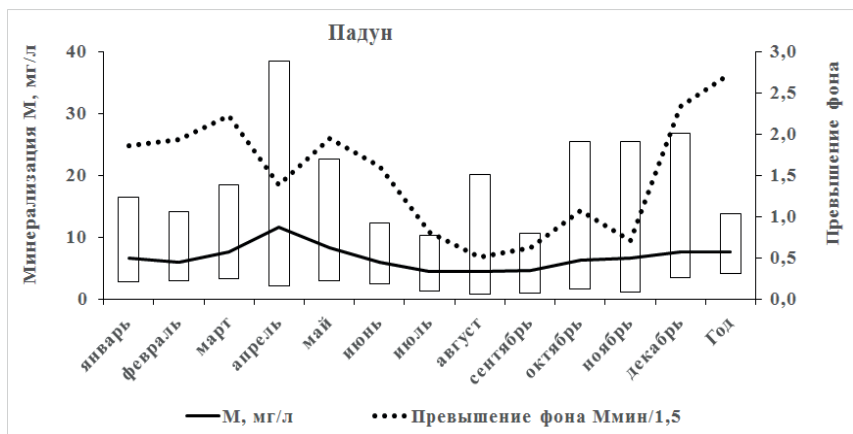


Рис. 53. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Падун

Таблица 17. Описательная статистика средних за год значений на м/с Падун, 1991-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | к, мкСм/см |
|---------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 516,9 | 7,4 | 4,9 | 19,6 |
| Стандартная ошибка | 12,9 | 0,5 | 0,1 | 1,1 |
| Медиана | 525,2 | 6,6 | 5,1 | 17,8 |
| Мода | — | — | — | 15,1 |
| Стандартное отклонение | 70,5 | 2,8 | 0,3 | 6,3 |
| Дисперсия выборки | 4966 | 8,0 | 0,1 | 39,5 |
| Экцесс | -0,8 | 0,0 | -0,1 | -0,3 |
| Асимметричность | 0,1 | 1,0 | -0,7 | 0,7 |
| Интервал | 260 | 10,2 | 1,3 | 24,3 |
| Минимум | 397,3 | 3,6 | 3,8 | 11,0 |
| Максимум | 657,3 | 13,8 | 5,4 | 35,3 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95 %) | 26,3 | 1,1 | 0,1 | 2,3 |

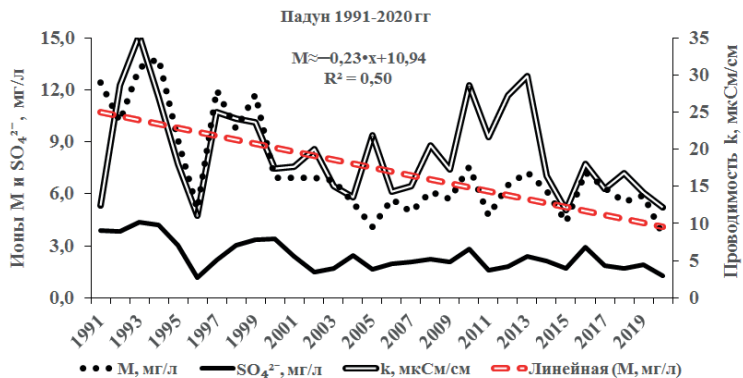


Рис. 54. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости осадков k на м/с Падун

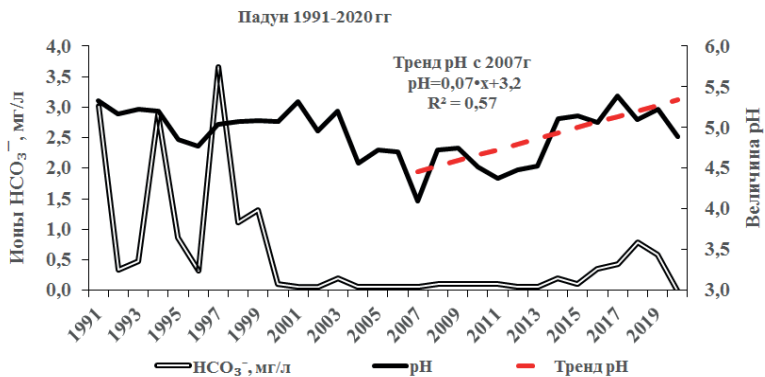


Рис. 55. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Падун.

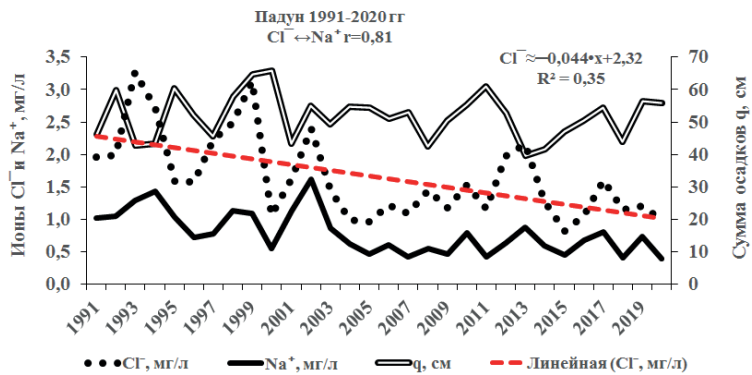


Рис. 56. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Падун

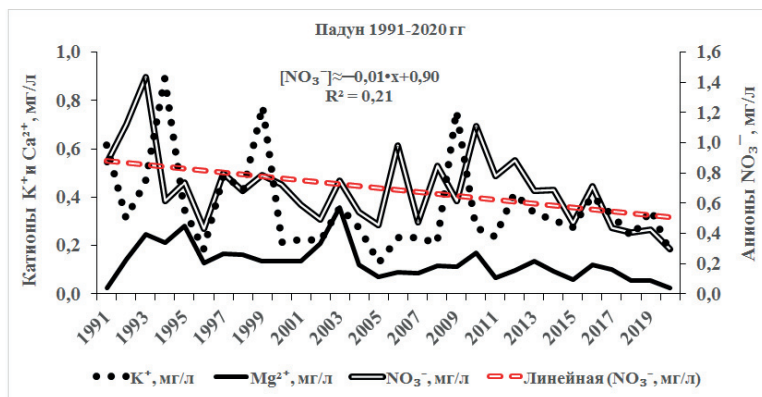


Рис. 57. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Падун.

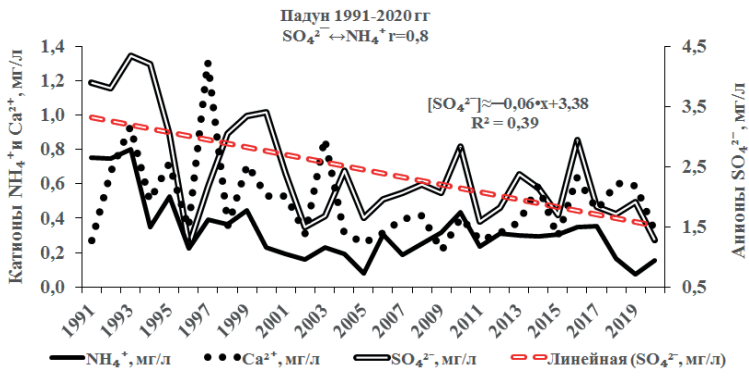


Рис. 58. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Падун

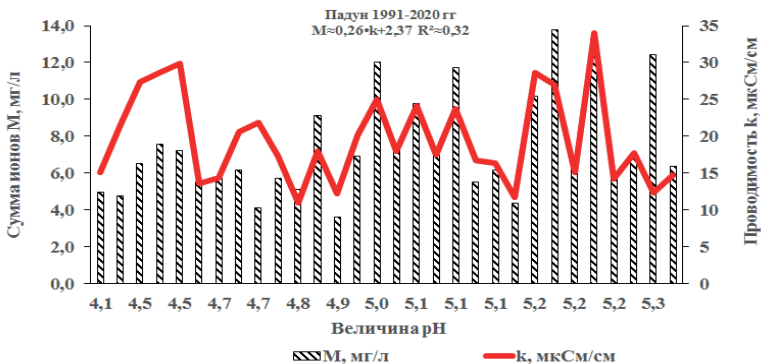


Рис. 59. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной pH и проводимостью k на м/с Падун

Таблица 18. Описательная статистика средних за год значений на м/с Падун, 1991-2005 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 530,2 | 9,0 | 5,0 | 20,7 |
| Стандартная ошибка | 20,1 | 0,8 | 0,1 | 1,7 |
| Медиана | 543,1 | 9,1 | 5,1 | 20,1 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 77,7 | 3,2 | 0,2 | 6,7 |
| Дисперсия выборки | 6042 | 10,1 | 0,1 | 45,1 |
| Экссесс | -1,2 | -1,4 | -0,2 | -0,02 |
| Асимметричность | 0,1 | 0,1 | -0,7 | 0,5 |
| Интервал | 230,5 | 9,7 | 0,8 | 24,3 |
| Минимум | 426,8 | 4,1 | 4,6 | 11,0 |
| Максимум | 657,3 | 13,8 | 5,3 | 35,3 |
| Счет | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Уровень надежности (95%) | 43,0 | 1,8 | 0,1 | 3,7 |

Таблица 19. Описательная статистика средних за год значений на м/с Падун, 2006-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 503,6 | 5,8 | 4,8 | 18,6 |
| Стандартная ошибка | 16,1 | 0,3 | 0,1 | 1,5 |
| Медиана | 510,3 | 5,9 | 4,7 | 16,8 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 62,2 | 1,1 | 0,4 | 5,9 |
| Дисперсия выборки | 3866 | 1,2 | 0,1 | 34,4 |
| Экссесс | -0,8 | -0,2 | -0,7 | -0,3 |
| Асимметричность | -0,3 | -0,3 | -0,2 | 0,9 |
| Интервал | 213,7 | 3,9 | 1,3 | 18,2 |
| Минимум | 397,3 | 3,6 | 3,8 | 11,8 |
| Максимум | 611,0 | 7,6 | 5,4 | 29,9 |
| Счет | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Уровень надежности (95%) | 34,4 | 0,6 | 0,2 | 3,2 |

Мурманск

Таблица 20. Описательная статистика на м/с Мурманск

| Показатели | pH _{мин} | pH _{Ср} | pH _{Мак} | M _{мин} | M _{Ср} | M _{Мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,2 | 5,0 | 6,1 | 8,5 | 19,6 | 43,6 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 1,4 | 3,3 |
| Медиана | 4,1 | 4,9 | 6,3 | 7,0 | 17,8 | 41,5 |
| Мода | 4,1 | — | 5,5 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 4,0 | 6,9 | 17,0 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 15,8 | 47,3 | 289 |
| Экссесс | -0,1 | -1,1 | 3,2 | 1,5 | -0,3 | 0,3 |
| Асимметричность | 0,6 | 0,3 | 0,8 | 1,4 | 0,5 | 0,9 |
| Интервал | 1,5 | 2,0 | 4,8 | 15,7 | 28,1 | 65,7 |
| Минимум | 3,6 | 4,0 | 4,2 | 4,1 | 6,8 | 20,2 |
| Максимум | 5,1 | 5,9 | 9,0 | 19,7 | 34,9 | 85,9 |
| Счет | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Уровень надежности (95%) | 0,16 | 0,24 | 0,37 | 1,60 | 2,78 | 6,86 |

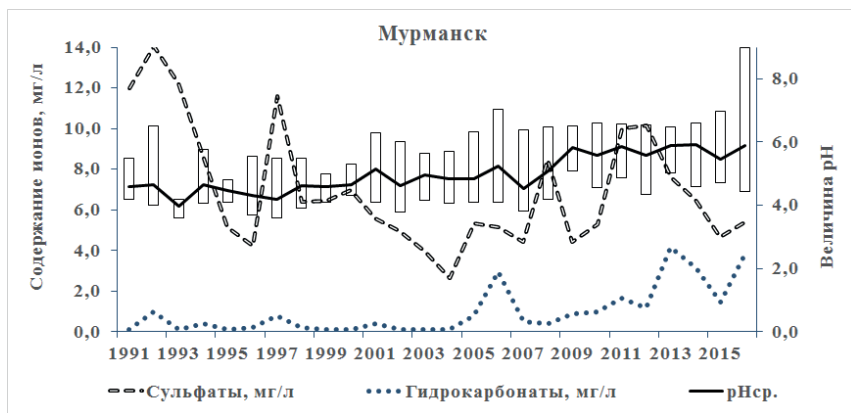


Рис. 60. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Мурманск

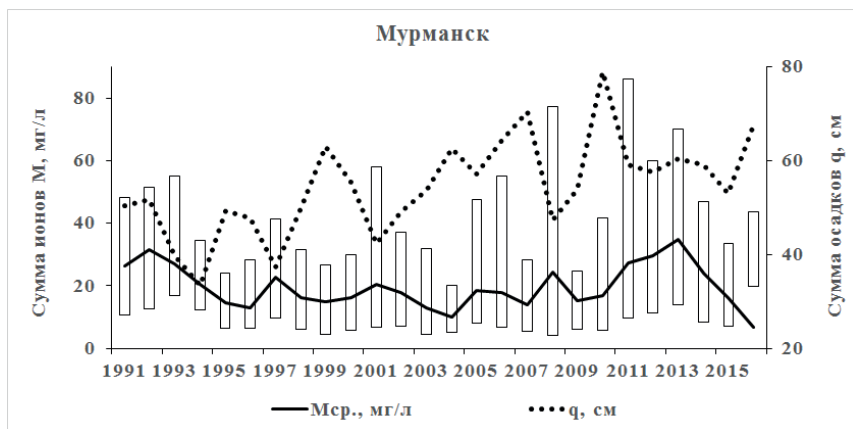


Рис. 61. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Мурманск

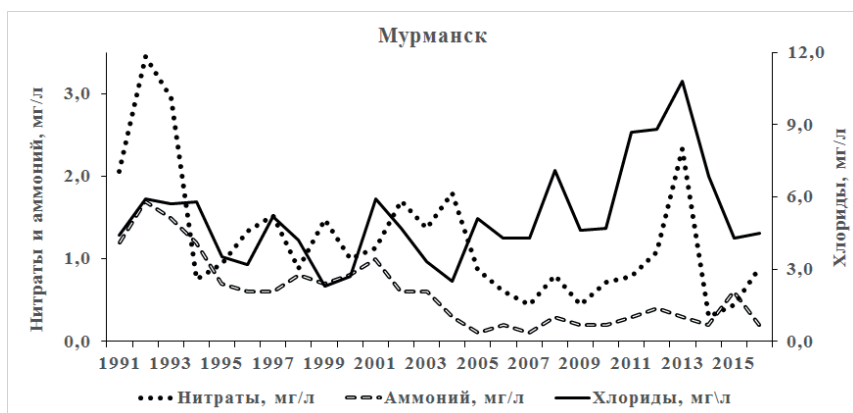


Рис. 62. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Мурманск

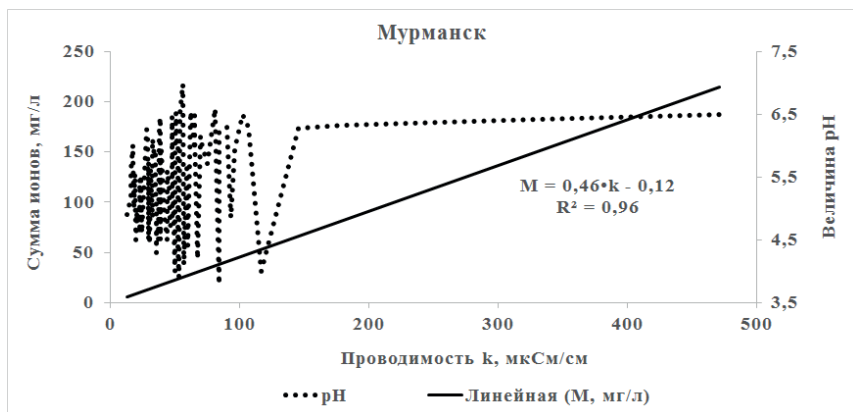


Рис. 63. Связь суммы ионов M и величины pH с проводимостью осадков k на м/с Мурманск

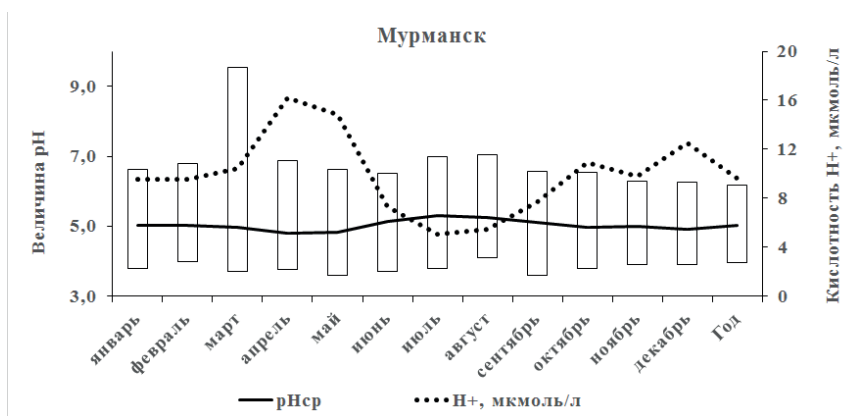


Рис. 64. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Мурманск

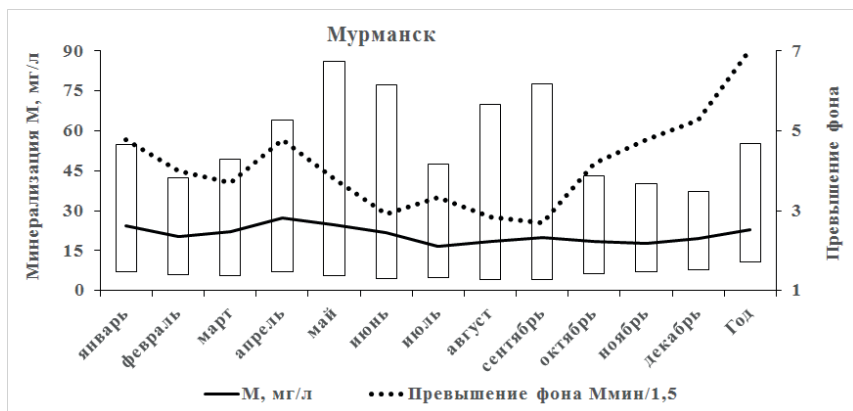


Рис. 65. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Мурманск

Краснощелье

Таблица 21. Описательная статистика на м/с Краснощелье

| Показатели | рН _{мин} | рН _{ср} | рН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,6 | 5,4 | 6,3 | 3,3 | 8,6 | 19,9 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 2,0 |
| Медиана | 4,6 | 5,6 | 6,4 | 2,9 | 7,8 | 17,9 |
| Мода | 5,0 | — | 6,7 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 1,6 | 3,5 | 10,3 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 2,4 | 12,6 | 107 |
| Экцесс | 0,6 | 2,0 | 1,3 | 3,5 | 0,7 | -0,3 |
| Асимметричность | -0,5 | -1,2 | -0,9 | 1,6 | 1,0 | 0,8 |
| Интервал | 2,2 | 2,0 | 2,7 | 7,1 | 13,8 | 34,8 |
| Минимум | 3,3 | 4,0 | 4,5 | 1,3 | 4,4 | 7,2 |
| Максимум | 5,5 | 6,1 | 7,2 | 8,4 | 18,2 | 42,0 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,19 | 0,18 | 0,24 | 0,61 | 1,40 | 4,08 |

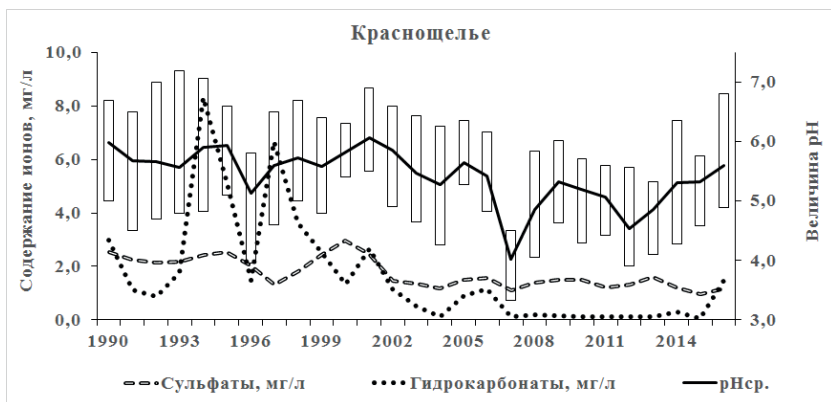


Рис. 66. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Краснощелье

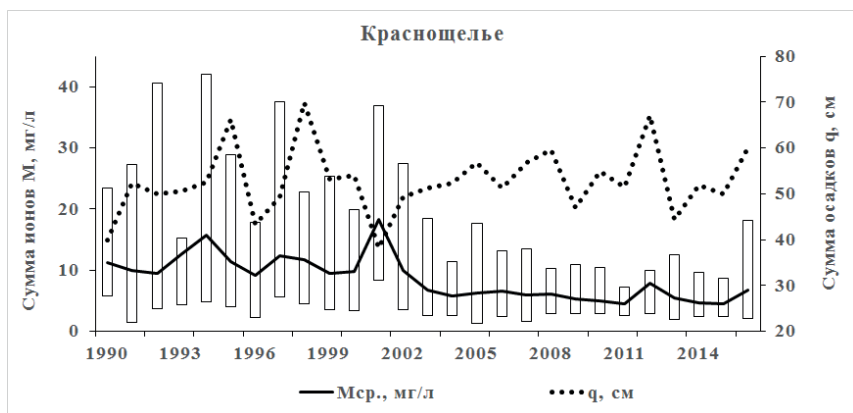


Рис. 67. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Краснощелье

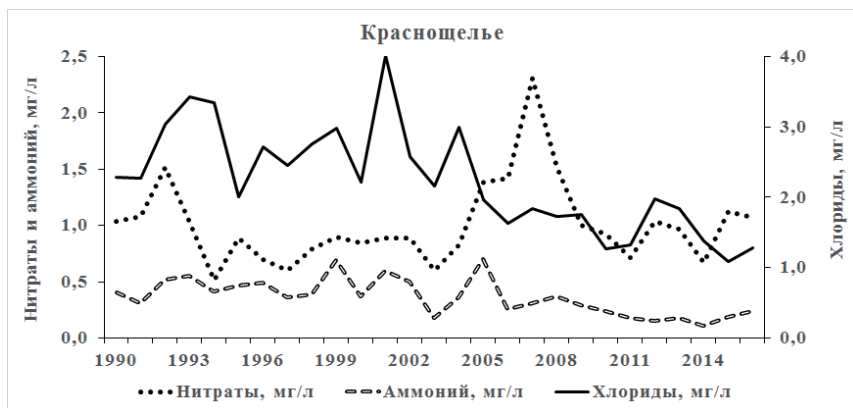


Рис. 68. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Краснощелье

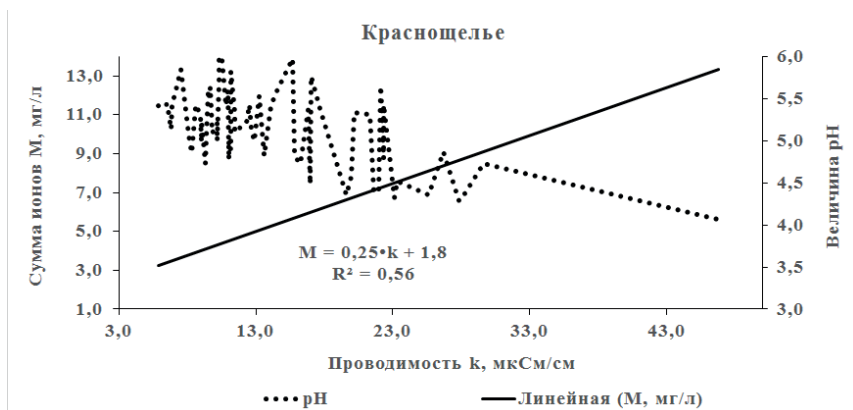


Рис. 69. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Краснощелье

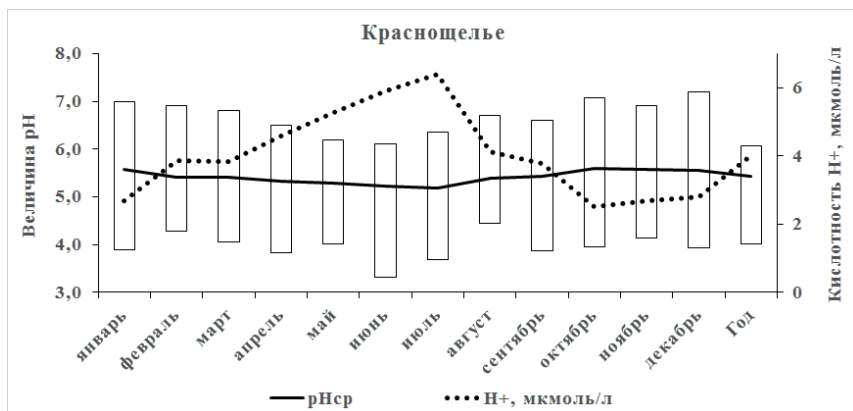


Рис. 70. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Красношелье

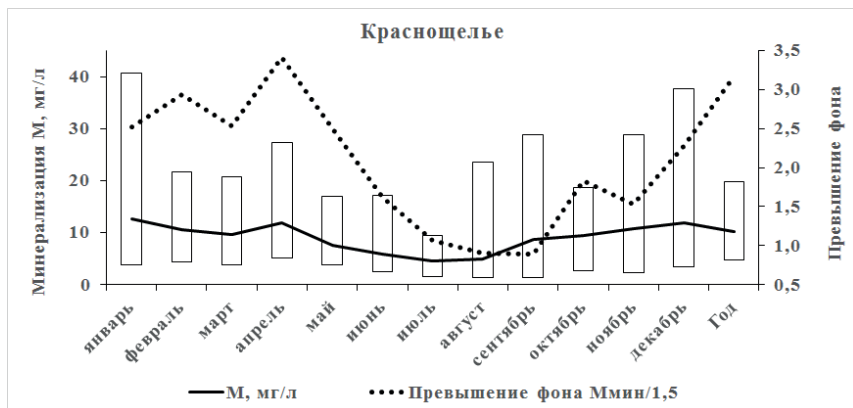


Рис. 71. Годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Красношелье

Таблица 22. Описательная статистика средних за год значений на м/с Красношелье, 1990-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 536,2 | 9,5 | 5,4 | 21,8 |
| Стандартная ошибка | 14,2 | 0,7 | 0,1 | 1,5 |
| Медиана | 523,7 | 8,8 | 5,6 | 20,8 |
| Мода | 500,0 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 79,1 | 4,0 | 0,4 | 8,6 |
| Дисперсия выборки | 6249,2 | 15,8 | 0,2 | 74,3 |
| Экссесс | 0,5 | 0,1 | 2,5 | 1,7 |
| Асимметричность | 0,6 | 0,8 | -1,3 | 1,2 |
| Интервал | 344,1 | 15,2 | 2,0 | 36,7 |
| Минимум | 382,4 | 4,6 | 3,3 | 10,3 |
| Максимум | 726,5 | 19,8 | 6,1 | 47,0 |
| Счет | 31 | 31 | 31 | 31 |
| Уровень надежности (95%) | 29,0 | 1,5 | 0,2 | 3,2 |

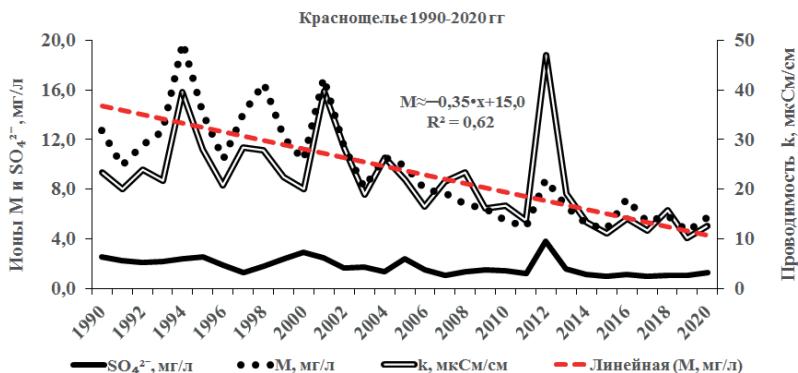


Рис. 72. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Красношелье.

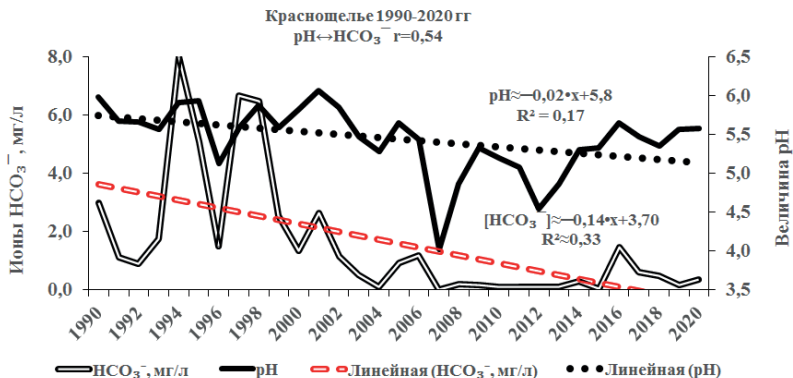


Рис. 73. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Краснощелье.

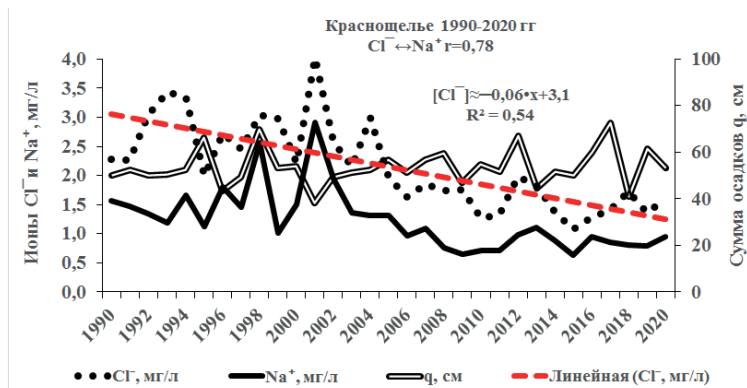


Рис. 74. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Краснощелье

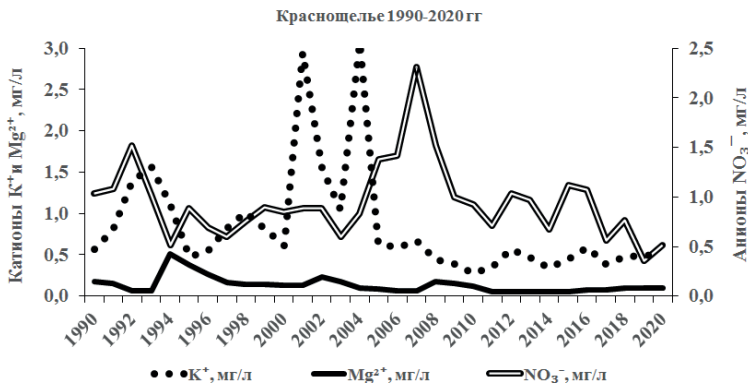


Рис. 75. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Красношелье

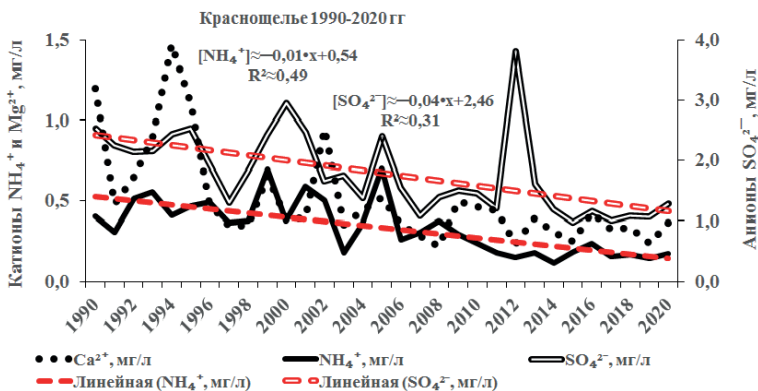


Рис. 76. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Красношелье

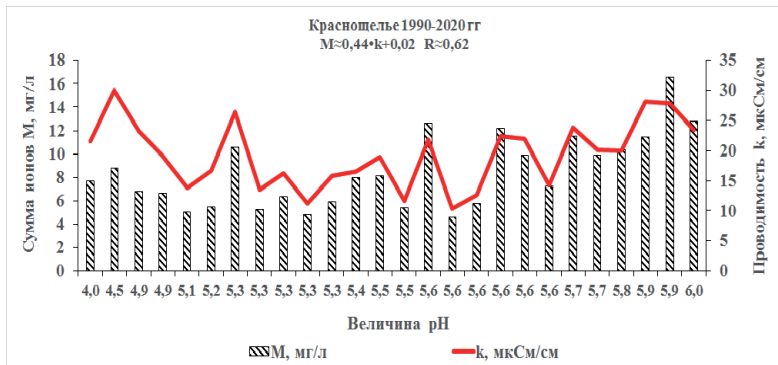


Рис. 77. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Краснощелье

Таблица 23. Описательная статистика средних за год значений на м/с Краснощелье, 1990-2005 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | рН | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 524,7 | 12,6 | 5,7 | 25,7 |
| Стандартная ошибка | 18,7 | 0,8 | 0,1 | 1,6 |
| Медиана | 518,1 | 11,8 | 5,7 | 23,7 |
| Мода | 500,0 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 74,7 | 3,1 | 0,3 | 6,3 |
| Дисперсия выборки | 5576 | 9,4 | 0,1 | 39,6 |
| Экссесс | 1,9 | 0,6 | 0,1 | 1,4 |
| Асимметричность | 0,8 | 1,0 | -0,7 | 1,4 |
| Интервал | 316,4 | 11,6 | 0,9 | 20,8 |
| Минимум | 382,4 | 8,1 | 5,1 | 18,9 |
| Максимум | 698,8 | 19,8 | 6,1 | 39,7 |
| Счет | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Уровень надежности (95%) | 39,8 | 1,6 | 0,1 | 3,4 |

Таблица 24. Описательная статистика средних за год значений на м/с Красноселье, 2006-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 548,5 | 6,2 | 5,2 | 17,6 |
| Стандартная ошибка | 21,8 | 0,3 | 0,1 | 2,3 |
| Медиана | 532,2 | 5,9 | 5,3 | 15,8 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 84,3 | 1,3 | 0,4 | 9,0 |
| Дисперсия выборки | 7101 | 1,6 | 0,2 | 80,1 |
| Экссесс | 0,2 | -0,6 | 2,1 | 9,3 |
| Асимметричность | 0,5 | 0,6 | -1,5 | 2,8 |
| Интервал | 317,6 | 4,2 | 1,6 | 36,7 |
| Минимум | 408,9 | 4,6 | 3,3 | 10,3 |
| Максимум | 726,5 | 8,8 | 5,6 | 47,0 |
| Счет | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Уровень надежности (95%) | 46,7 | 0,7 | 0,2 | 5,0 |

Северодвинск

Таблица 25. Описательная статистика по м/с Северодвинск

| Показатели | pH _{мин} | pH _{ср} | pH _{мак} | M _{мин} | M _{ср} | M _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,2 | 6,0 | 6,8 | 6,2 | 13,0 | 30,0 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 2,4 |
| Медиана | 5,3 | 6,0 | 6,7 | 5,9 | 12,2 | 27,5 |
| Мода | 4,7 | — | 6,5 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,7 | 3,0 | 12,0 |
| Дисперсия выборки | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 2,8 | 9,1 | 145 |
| Экссесс | -0,2 | -0,7 | 0,2 | -0,8 | -0,2 | -0,7 |
| Асимметричность | 0,3 | 0,3 | 0,7 | -0,1 | 0,9 | 0,6 |
| Интервал | 1,4 | 0,9 | 1,1 | 6,2 | 10,3 | 41,2 |
| Минимум | 4,7 | 5,5 | 6,4 | 2,7 | 9,3 | 12,4 |
| Максимум | 6,1 | 6,5 | 7,5 | 8,9 | 19,6 | 53,6 |
| Счет | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Уровень надежности (95%) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 1,2 | 4,9 |

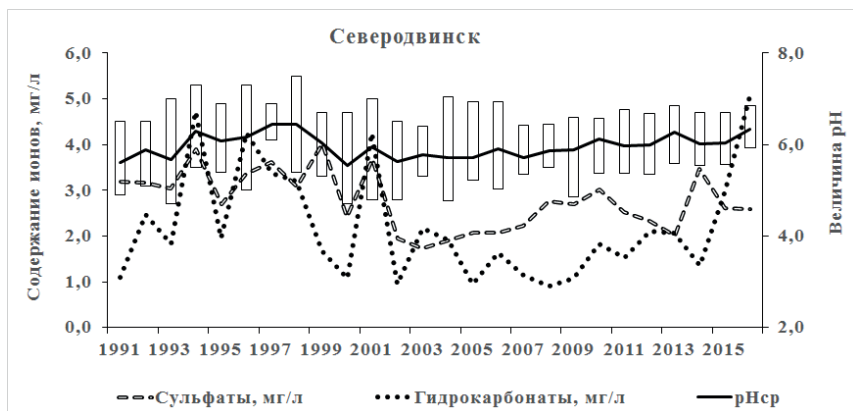


Рис. 78. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Северодвинск

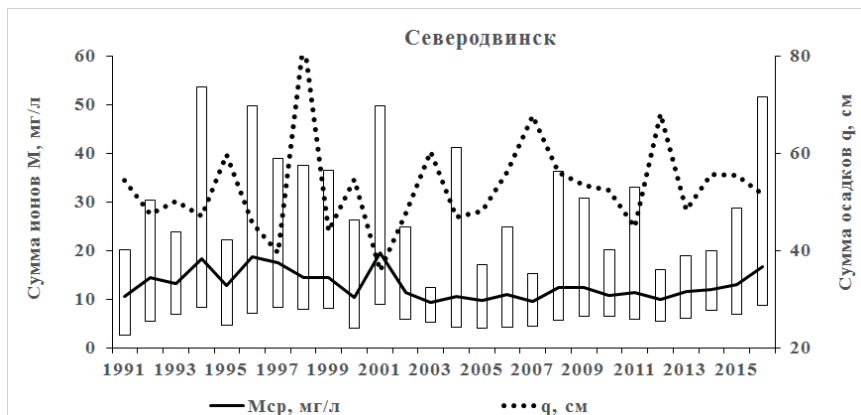


Рис. 79. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Северодвинск

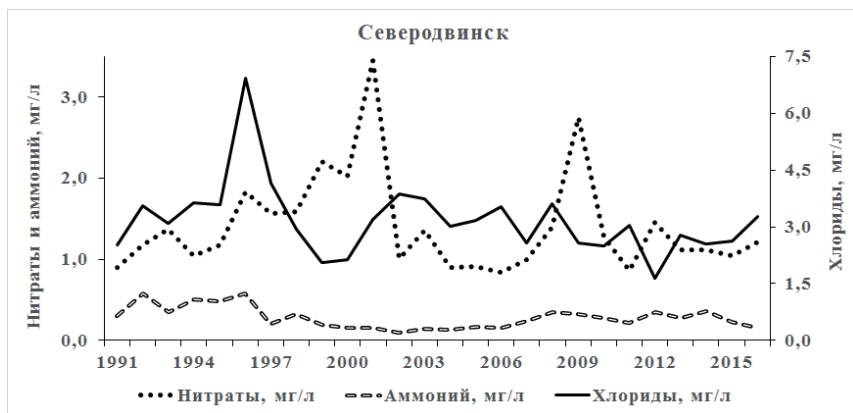


Рис. 80. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Северодвинск

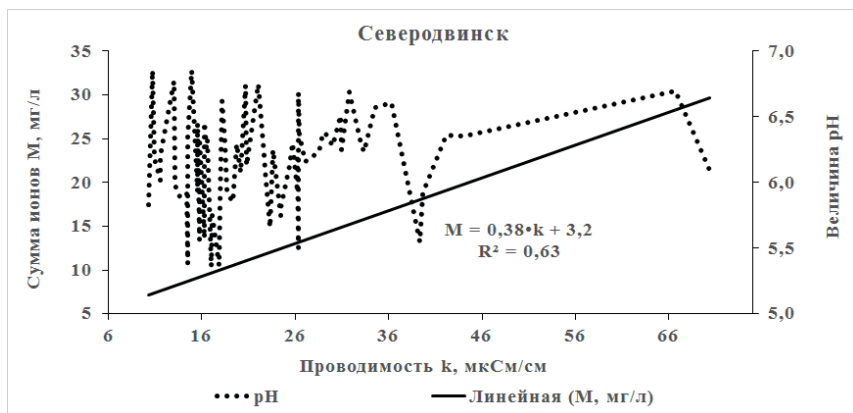


Рис. 81. Связь суммы ионов M и величины pH с проводимостью осадков k на м/с Северодвинск

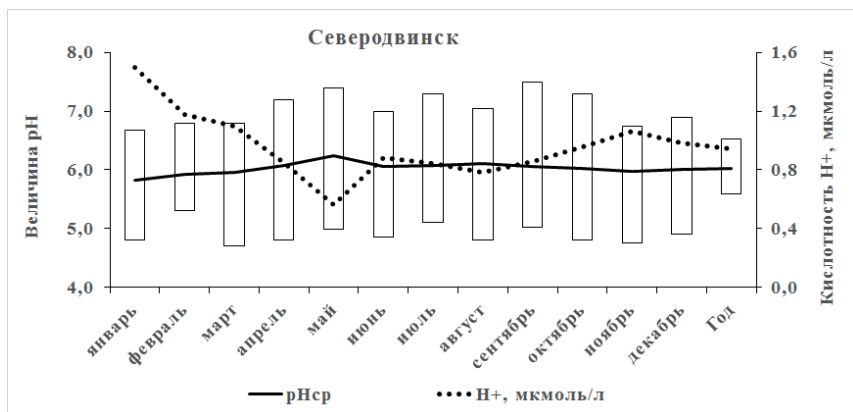


Рис. 82. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Северодвинск

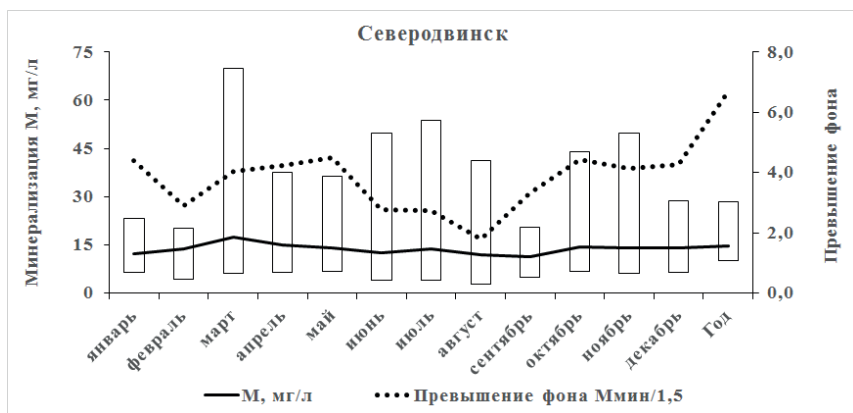


Рис. 83. Годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Северодвинск

Мудьюг

Таблица 26. Описательная статистика по м/с Мудьюг

| Показатели | рНмин | рНСр | рНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,8 | 5,8 | 6,6 | 9,2 | 25,0 | 54,4 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 2,2 |
| Медиана | 4,8 | 5,7 | 6,6 | 8,1 | 24,2 | 56,4 |
| Мода | 4,5 | 6,1 | 6,5 | 7,2 | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 4,0 | 8,2 | 17,2 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 15,7 | 66,9 | 294 |
| Экцесс | -0,5 | -0,8 | -0,2 | 1,3 | -0,5 | -0,1 |
| Асимметричность | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 0,5 | 0,3 |
| Интервал | 1,5 | 1,4 | 1,8 | 19,7 | 32,9 | 76,0 |
| Минимум | 4,2 | 5,2 | 5,8 | 3,8 | 11,2 | 23,9 |
| Максимум | 5,7 | 6,5 | 7,6 | 23,4 | 44,1 | 99,9 |
| Счет | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| Уровень надежности (95%) | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 1,03 | 2,13 | 4,47 |

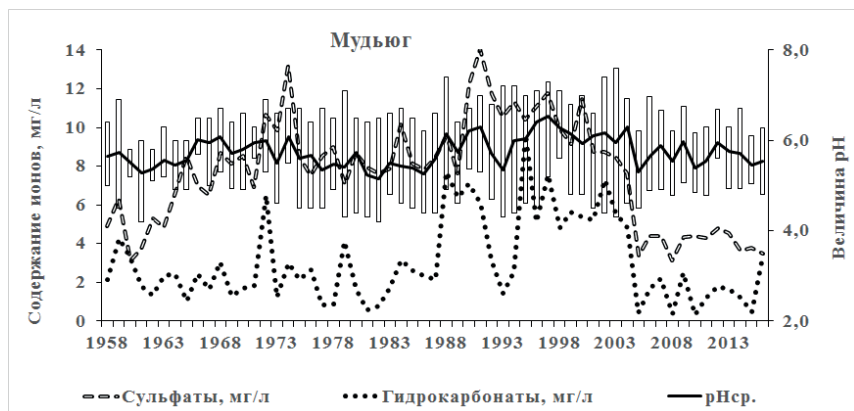


Рис. 84. Временной ход величины рН с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Мудьюг

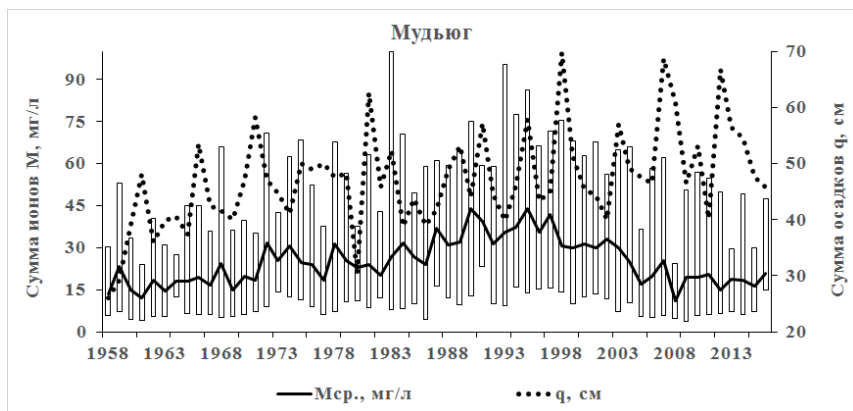


Рис. 85. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Мудьюг

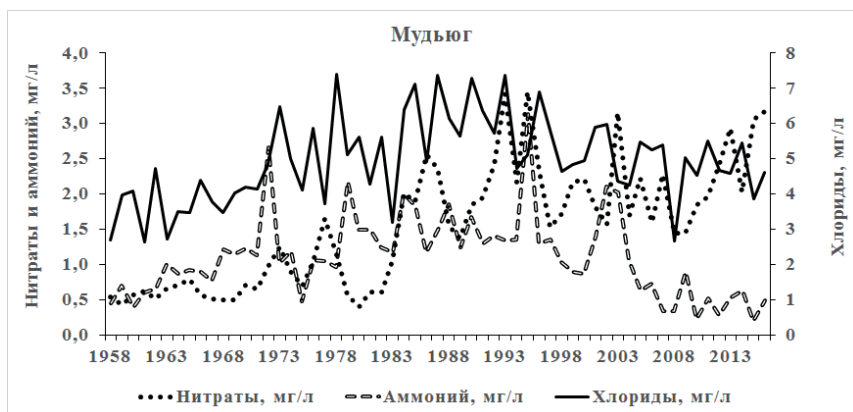


Рис. 86. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Мудьюг

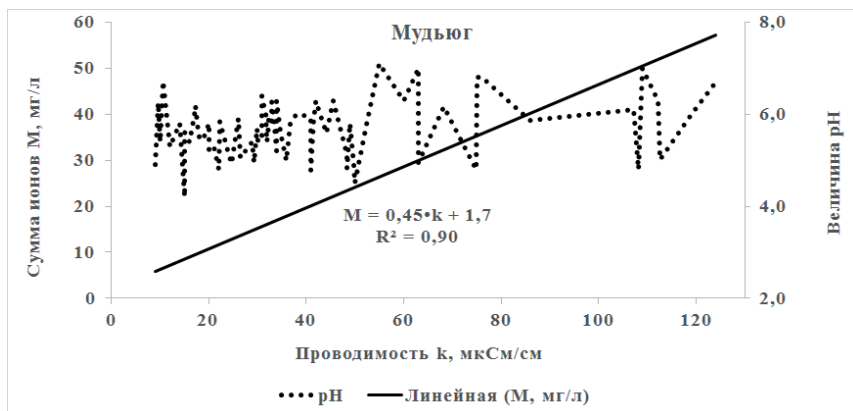


Рис. 87. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Мудьюг

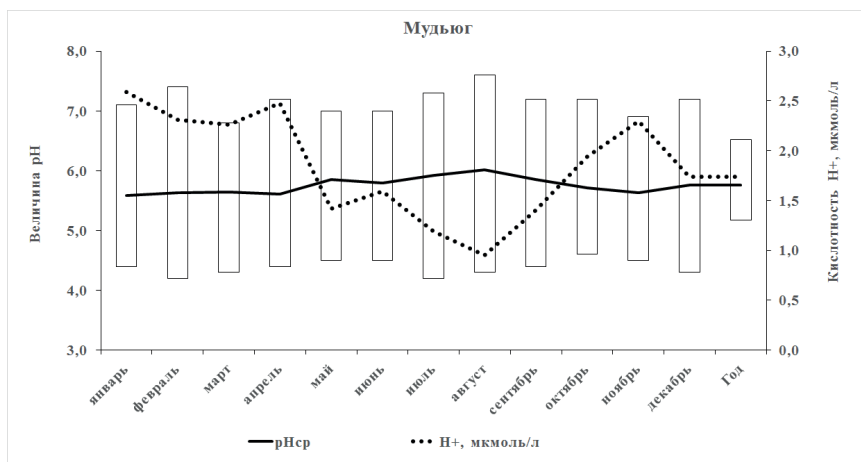


Рис. 88. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л (мкг/л) на м/с Мудьюг

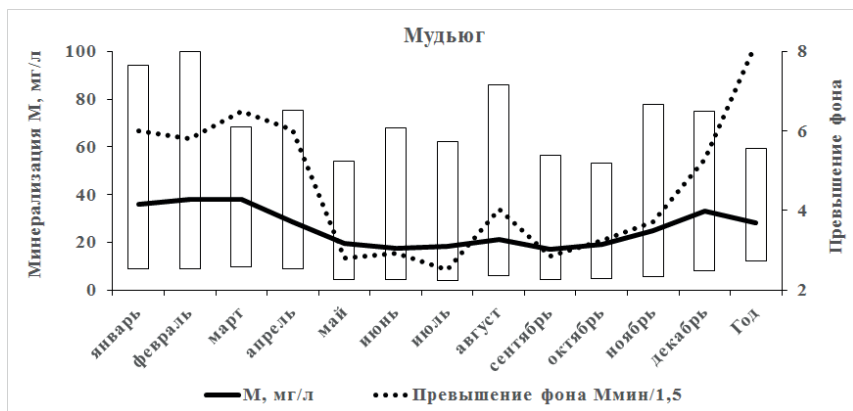


Рис. 89. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Мудьюг

Архангельск

Таблица 27. Описательная статистика по м/с Архангельск

| Показатели | рН _{мин} | рН _{ср} | рН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,9 | 5,9 | 6,8 | 5,5 | 13,5 | 33,0 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,0 | 3,5 |
| Медиана | 4,8 | 5,8 | 6,9 | 4,9 | 11,9 | 26,9 |
| Мода | 4,4 | #— | 6,9 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 2,0 | 5,2 | 17,7 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 3,9 | 27,0 | 312 |
| Экцесс | -0,7 | 0,2 | 0,4 | 2,7 | 2,1 | 1,4 |
| Асимметричность | 0,6 | 0,8 | -0,1 | 1,4 | 1,7 | 1,5 |
| Интервал | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 8,9 | 18,8 | 66,6 |
| Минимум | 4,3 | 5,3 | 6,2 | 2,8 | 7,9 | 13,4 |
| Максимум | 5,8 | 6,6 | 7,5 | 11,7 | 26,7 | 80,0 |
| Счет | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Уровень надежности (95%) | 0,18 | 0,12 | 0,11 | 0,79 | 2,10 | 7,14 |

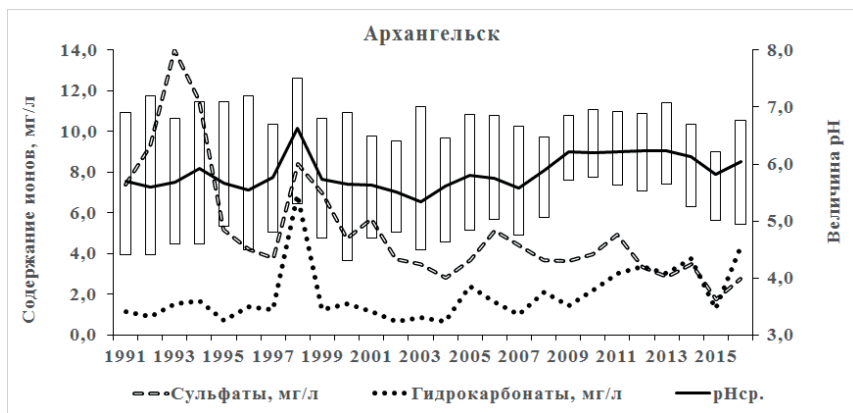


Рис. 90. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Архангельск

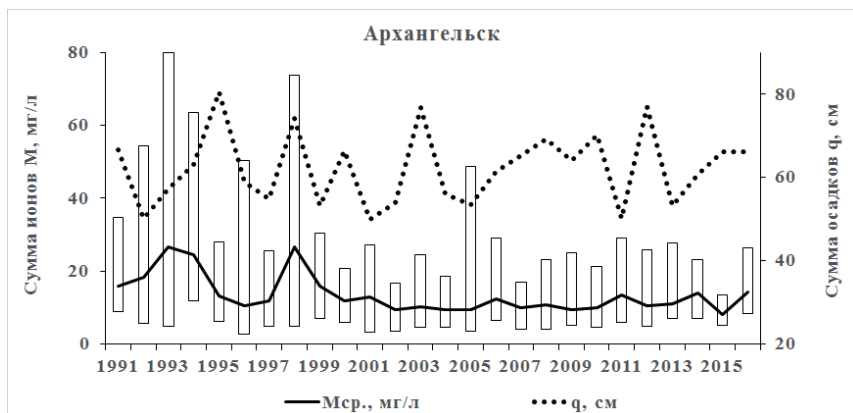


Рис. 91. Временной ход суммы осадков и минерализации M с крайними значениями на м/с Архангельск

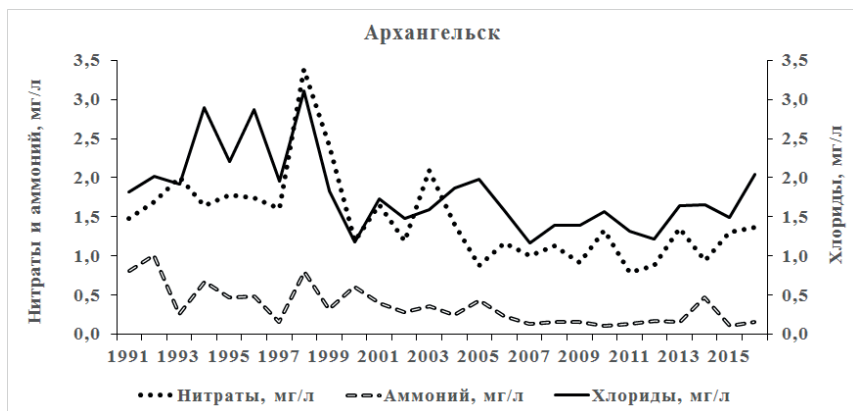


Рис. 92. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Архангельск

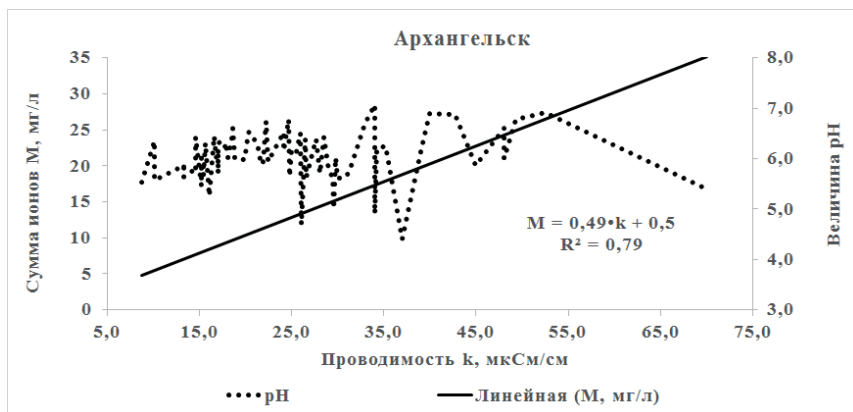


Рис. 93. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков к на м/с Архангельск

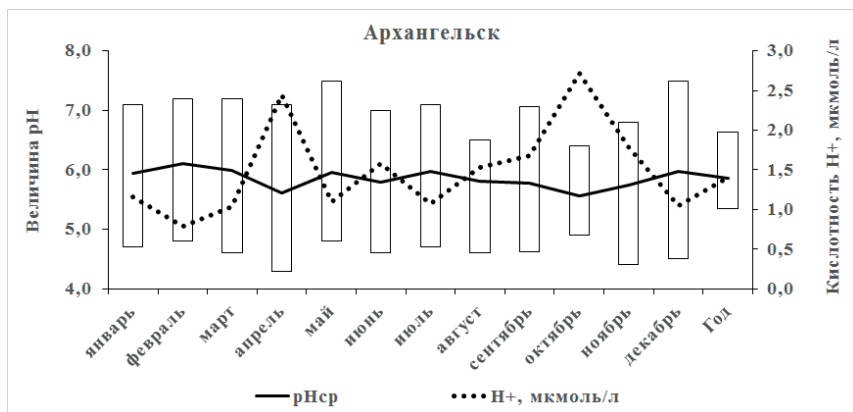


Рис. 94. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л (мкг/л) на м/с Архангельск

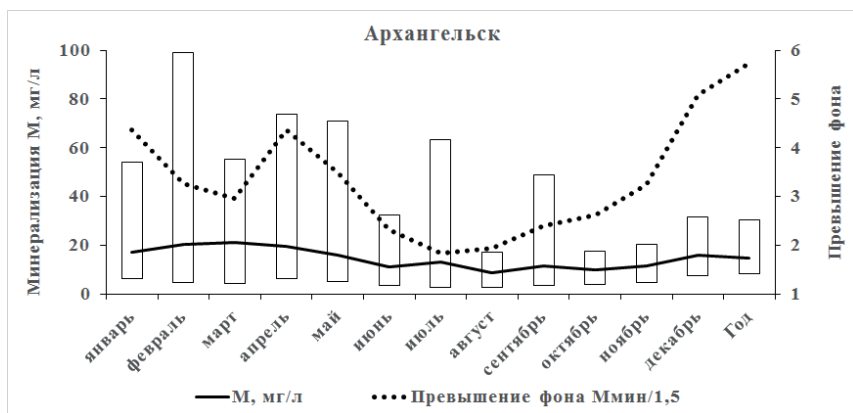


Рис. 95. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Архангельск

Нарьян-Мар

Таблица 28. Описательная статистика на м/с Нарьян-Мар

| Показатели | pН _{мин} | pН _{ср} | pН _{мак} | M _{мин} | M _{ср} | M _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,3 | 6,1 | 6,8 | 7,6 | 17,9 | 38,0 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 0,9 | 2,3 |
| Медиана | 5,4 | 6,1 | 6,8 | 6,7 | 16,8 | 33,7 |
| Мода | 5,5 | 6,2 | 6,5 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 3,5 | 6,8 | 17,0 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 12,1 | 46,8 | 289 |
| Экцесс | 0,1 | -0,3 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | -0,3 |
| Асимметричность | -0,4 | 0,0 | 0,2 | 0,9 | 1,0 | 0,7 |
| Интервал | 2,3 | 1,2 | 1,7 | 13,2 | 34,3 | 72,6 |
| Минимум | 4,1 | 5,5 | 6,0 | 2,7 | 5,2 | 7,4 |
| Максимум | 6,4 | 6,7 | 7,7 | 15,9 | 39,5 | 80,0 |
| Счет | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Уровень надежности (95%) | 0,13 | 0,07 | 0,10 | 0,94 | 1,85 | 4,59 |

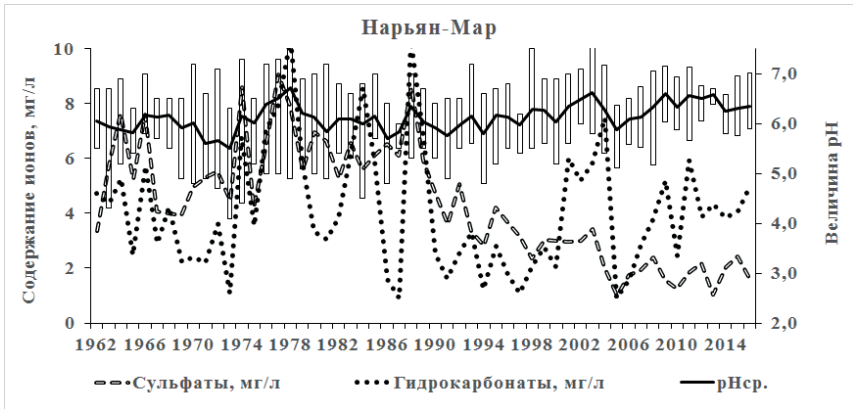


Рис. 96. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Нарьян-Мар

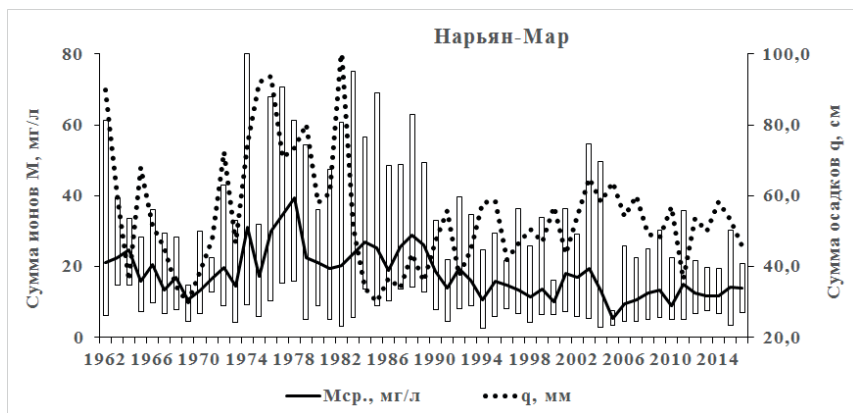


Рис. 97. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Нарьян-Мар

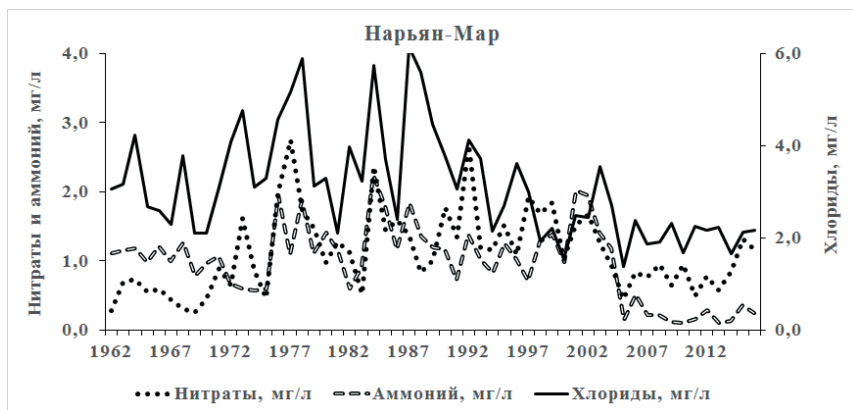


Рис. 98. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Нарьян-Мар

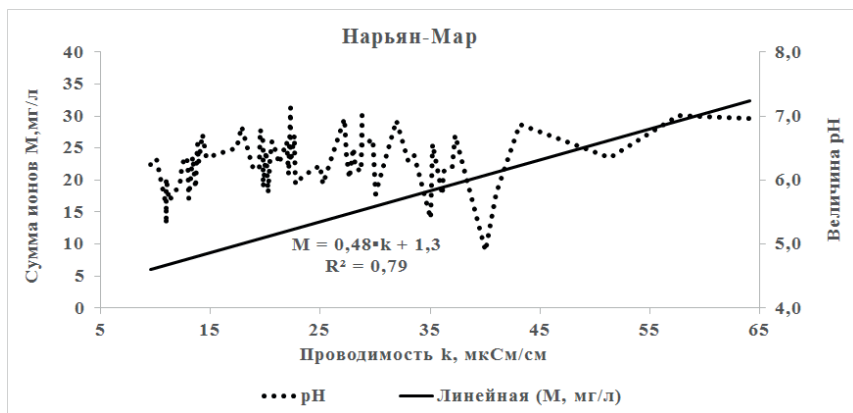


Рис. 99. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Нарьян-Мар

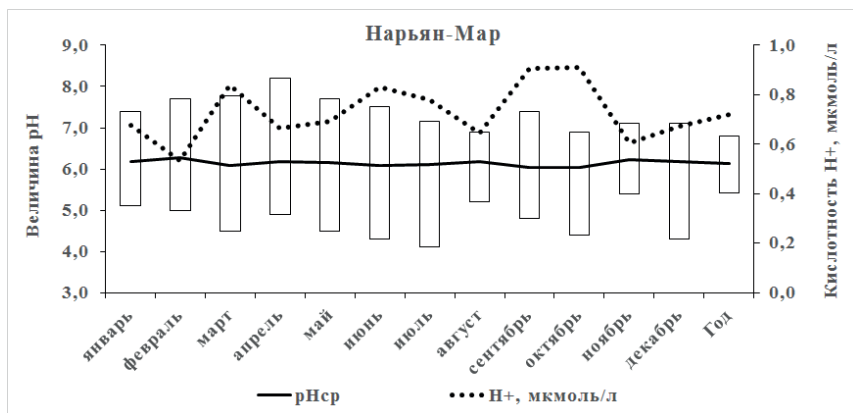


Рис. 100. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/

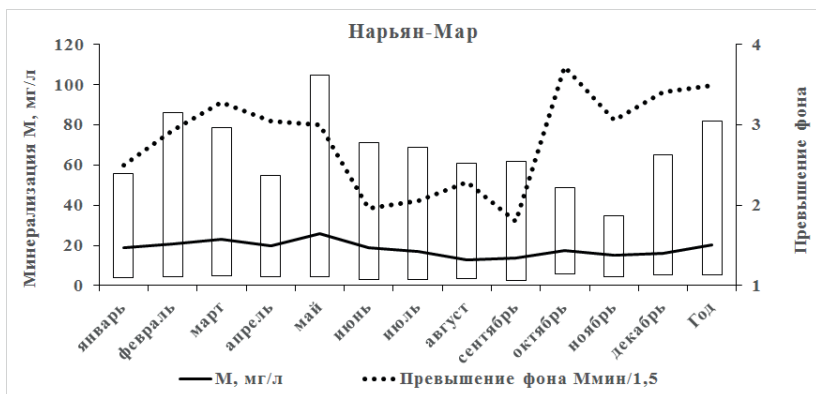


Рис. 101. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Нарьян-Мар

Азиатская территория РФ

Уренгой

Таблица 29. Описательная статистика на м/с Уренгой

| Показатели | рН _{мин} | рН _{Ср} | рН _{мак} | М _{мин} | М _{Ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,0 | 5,9 | 6,7 | 4,1 | 10,2 | 26,0 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 2,2 |
| Медиана | 5,1 | 5,9 | 6,9 | 4,2 | 10,1 | 24,6 |
| Мода | 4,7 | — | 7,2 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 1,6 | 2,6 | 11,5 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 2,5 | 6,8 | 132 |
| Экцесс | 2,9 | -0,6 | -0,2 | -0,6 | 0,0 | 1,7 |
| Асимметричность | -1,3 | -0,5 | -0,5 | 0,3 | 0,0 | 1,1 |
| Интервал | 2,1 | 0,8 | 1,6 | 6,0 | 11,1 | 52,2 |
| Минимум | 3,5 | 5,4 | 5,8 | 1,1 | 4,3 | 8,2 |
| Максимум | 5,6 | 6,2 | 7,4 | 7,1 | 15,4 | 60,4 |
| Счет | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Уровень надежности (95%) | 0,18 | 0,09 | 0,16 | 0,61 | 1,01 | 4,45 |

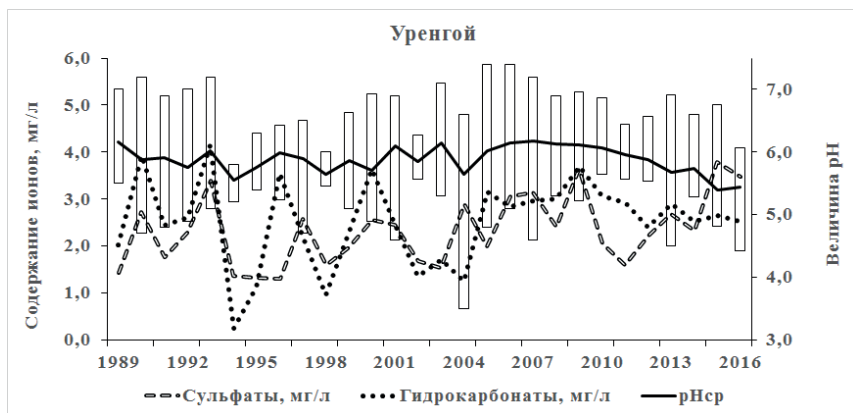


Рис. 102. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Уренгой

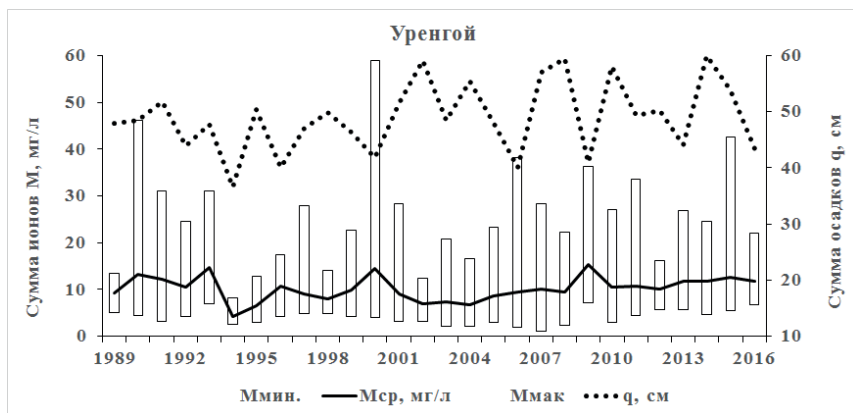


Рис. 103. Временной ход суммы осадков и минерализации M с крайними на м/с Уренгой значениями

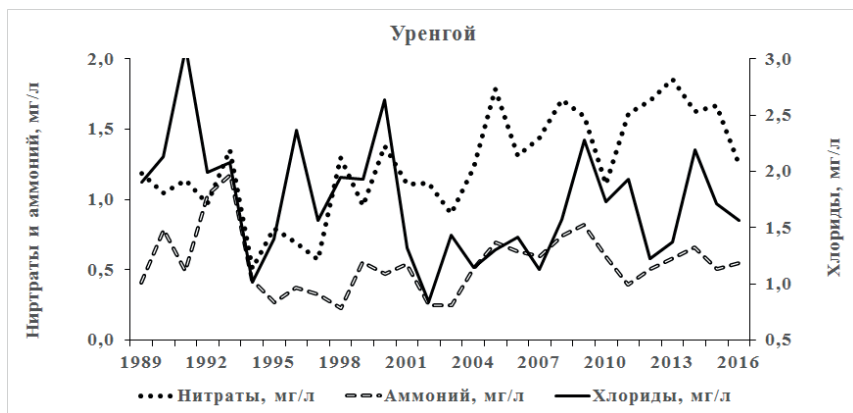


Рис. 104. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Уренгой

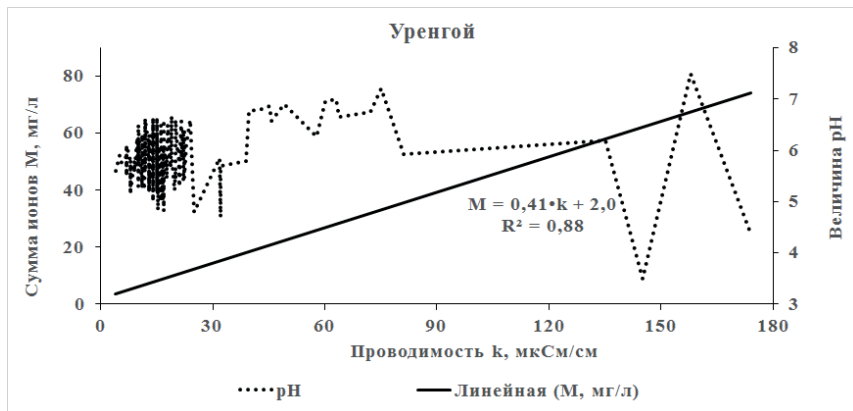


Рис. 105. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Уренгой

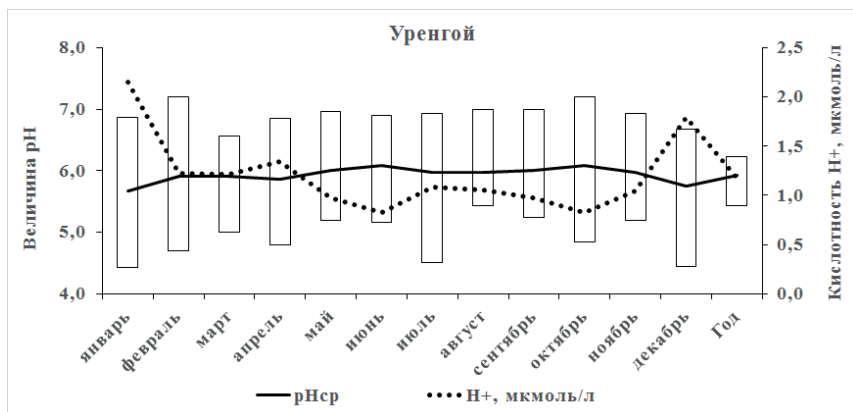


Рис. 106. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Уренгой

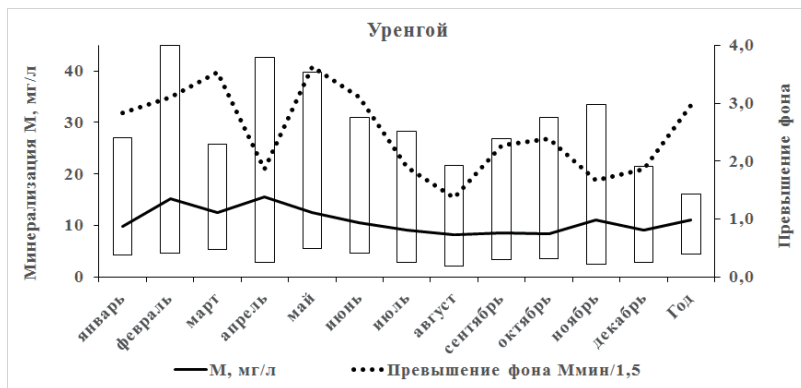


Рис. 107. Годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Уренгой

Таблица 30. Описательная статистика средних за год значений на м/с Уренгой, 1989-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 498,7 | 11,6 | 5,9 | 23,9 |
| Стандартная ошибка | 9,5 | 0,5 | 0,04 | 1,2 |
| Медиана | 483,9 | 11,3 | 5,9 | 22,8 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 53,8 | 3,1 | 0,2 | 6,5 |
| Дисперсия выборки | 2896 | 9,6 | 0,1 | 42,6 |
| Экцесс | -0,5 | 2,8 | -0,5 | 2,2 |
| Асимметричность | 0,3 | 0,6 | -0,4 | 0,9 |
| Интервал | 200,5 | 17,1 | 0,9 | 33,9 |
| Минимум | 399,8 | 4,4 | 5,4 | 10,5 |
| Максимум | 600,3 | 21,5 | 6,4 | 44,4 |
| Счет | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Уровень надежности (95%) | 19,4 | 1,1 | 0,1 | 2,4 |

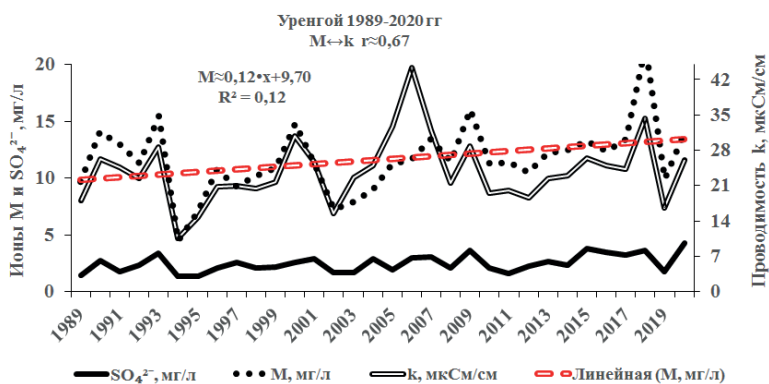


Рис. 108. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Уренгой

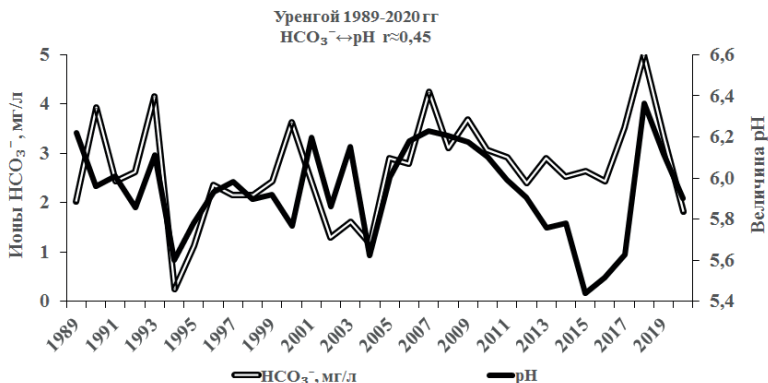


Рис. 109. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Уренгой

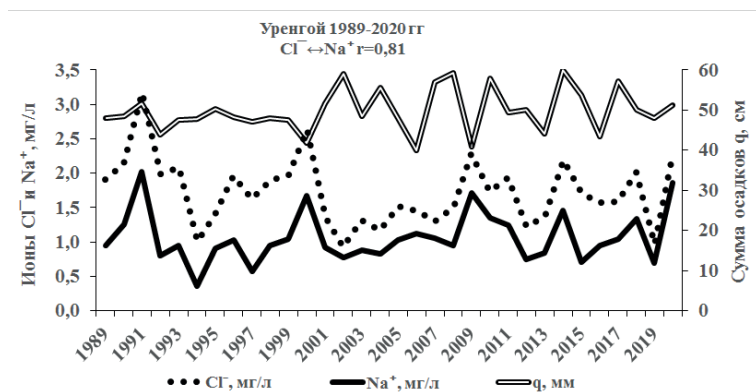


Рис. 110. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Уренгой

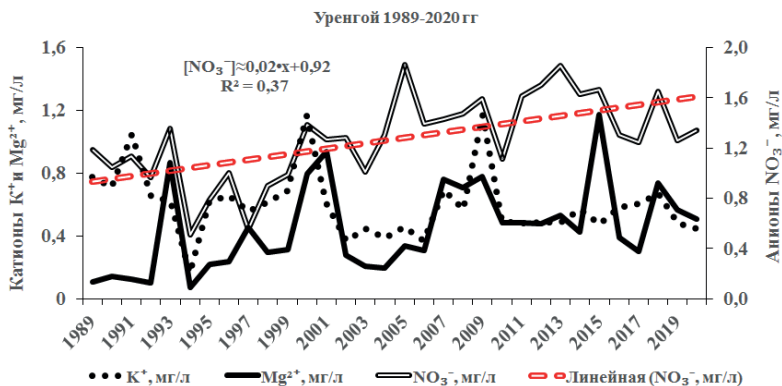


Рис. 111. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Уренгой

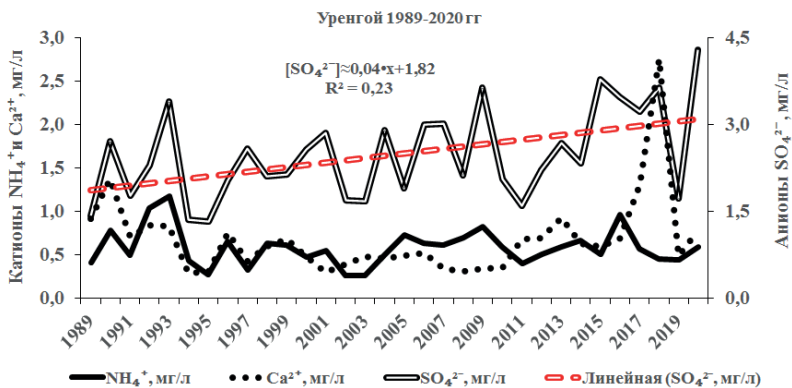


Рис. 112. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Уренгой

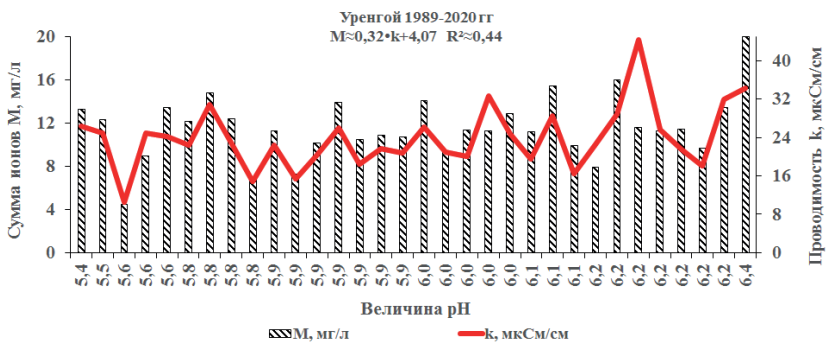


Рис. 113. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к м/с Уреньгой

о. Диксон

Таблица 31. Описательная статистика на м/с Диксон

| Показатели | рН _{мин} | рН _{Ср} | рН _{Мак} | М _{мин} | М _{Ср} | М _{Мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,3 | 6,3 | 7,2 | 16,6 | 59,0 | 127 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 2,1 | 3,6 | 8,8 |
| Медиана | 5,2 | 6,5 | 7,2 | 13,1 | 56,5 | 110 |
| Мода | 5,2 | — | 7,1 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 12,5 | 22,0 | 53,4 |
| Дисперсия выборки | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 157 | 485 | — |
| Экцесс | -1,1 | -0,8 | 0,3 | 2,3 | 0,8 | 1,2 |
| Асимметричность | 0,3 | -0,5 | -0,4 | 1,4 | 0,6 | 0,9 |
| Интервал | 2,0 | 1,8 | 2,5 | 56,1 | 111 | 257 |
| Минимум | 4,4 | 5,3 | 5,9 | 1,3 | 11,6 | 36,0 |
| Максимум | 6,4 | 7,1 | 8,4 | 57,3 | 122 | 293 |
| Счет | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| Уровень надежности (95%) | 0,19 | 0,16 | 0,18 | 4,18 | 7,35 | 17,8 |

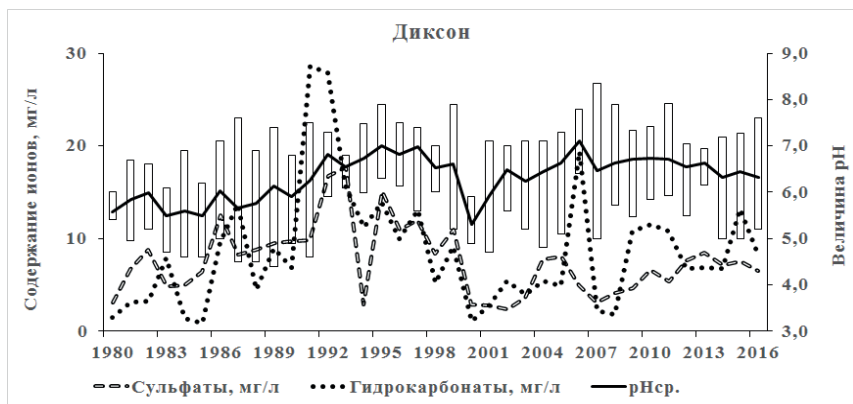


Рис. 114. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Диксон

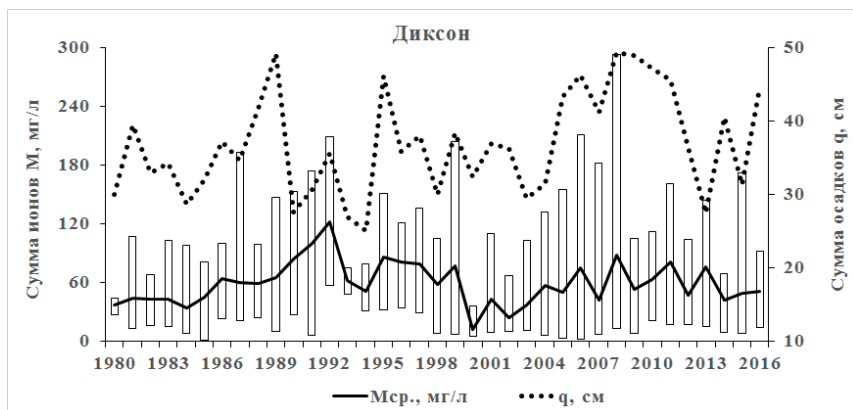


Рис. 115. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Диксон

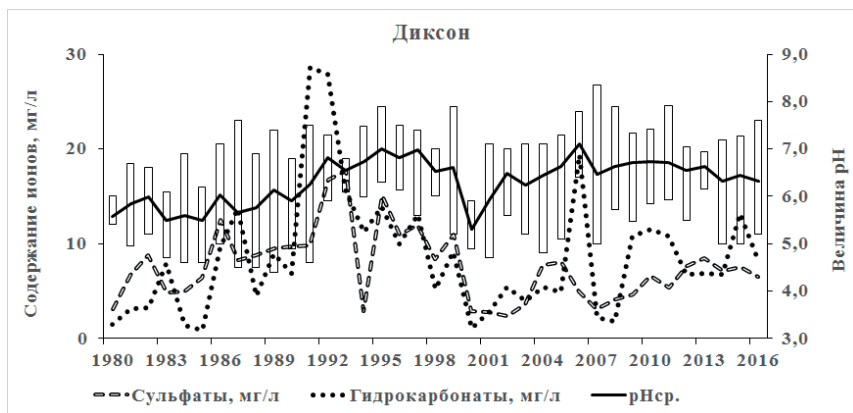


Рис. 116. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Диксон

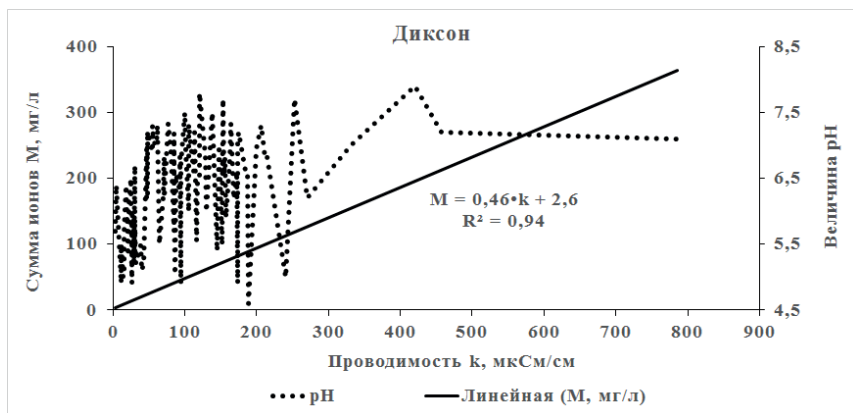


Рис. 117. Связь суммы ионов М и величины pH с проводимостью осадков k на м/с Диксон

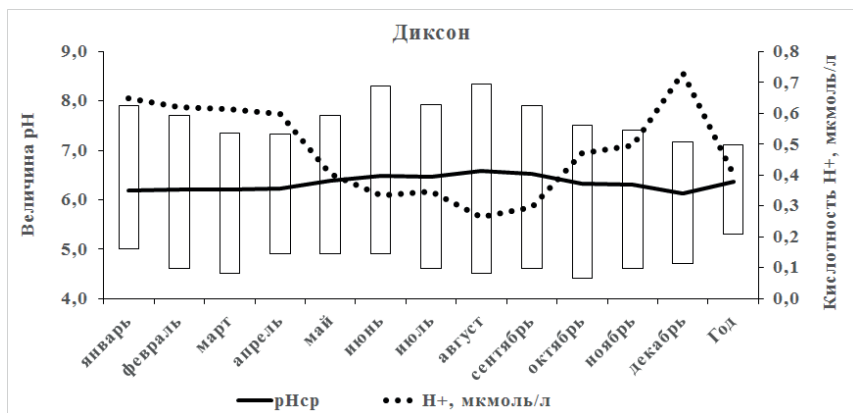


Рис. 118. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Диксон

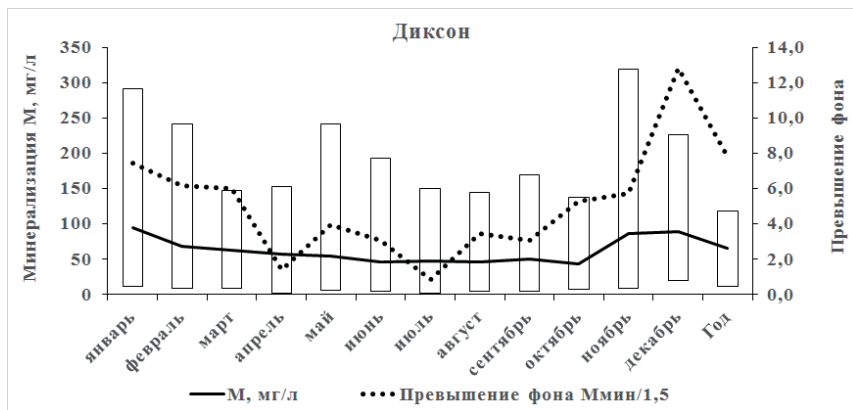


Рис. 119. Годовой ход средней за месяц суммы ионов M с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Диксон

Туруханск

Таблица 32. Описательная статистика на м/с Туруханск

| Показатели | pН _{мин} | pН _{ср} | pН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 4,8 | 5,8 | 6,6 | 3,1 | 7,2 | 22,6 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 1,7 |
| Медиана | 4,8 | 5,8 | 6,8 | 2,9 | 6,7 | 19,2 |
| Мода | 4,7 | - | 6,9 | 2,8 | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 1,3 | 2,2 | 12,7 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1,6 | 5,0 | 162 |
| Экссес | 0,8 | -0,9 | -0,4 | 8,6 | 1,0 | 0,5 |
| Асимметричность | -0,6 | -0,4 | -0,3 | 2,5 | 1,0 | 1,0 |
| Интервал | 2,1 | 1,2 | 2,5 | 7,3 | 10,6 | 53,1 |
| Минимум | 3,5 | 5,0 | 5,5 | 1,4 | 3,9 | 5,9 |
| Максимум | 5,6 | 6,2 | 8,0 | 8,8 | 14,4 | 59,0 |
| Счет | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Уровень надежности (95%) | 0,12 | 0,09 | 0,15 | 0,34 | 0,60 | 3,44 |

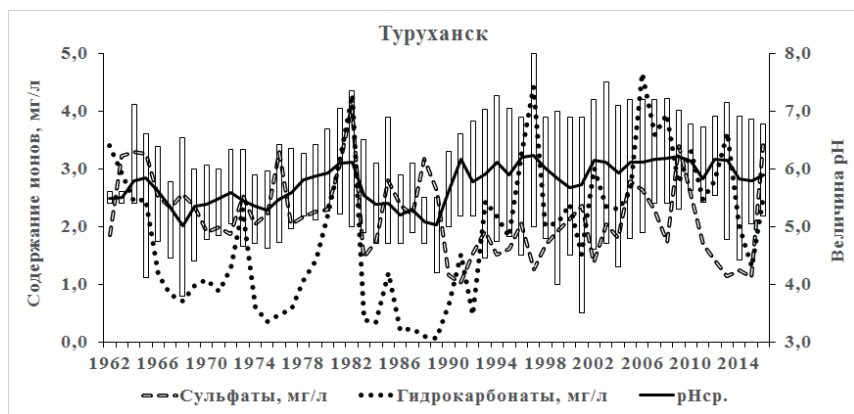


Рис. 120. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Туруханск

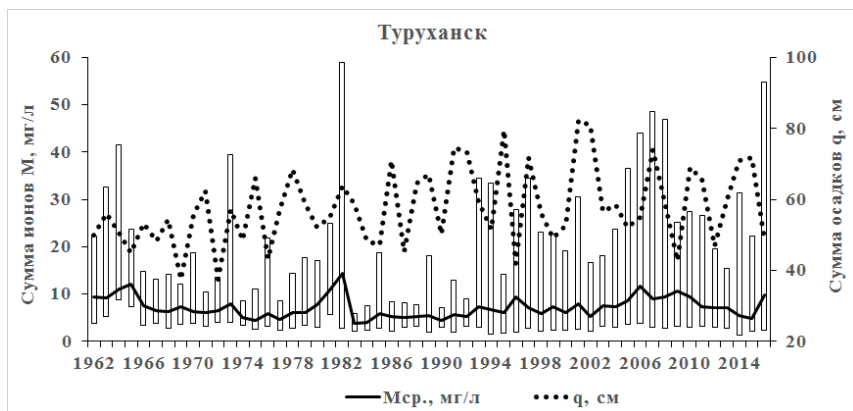


Рис. 121. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Туруханск

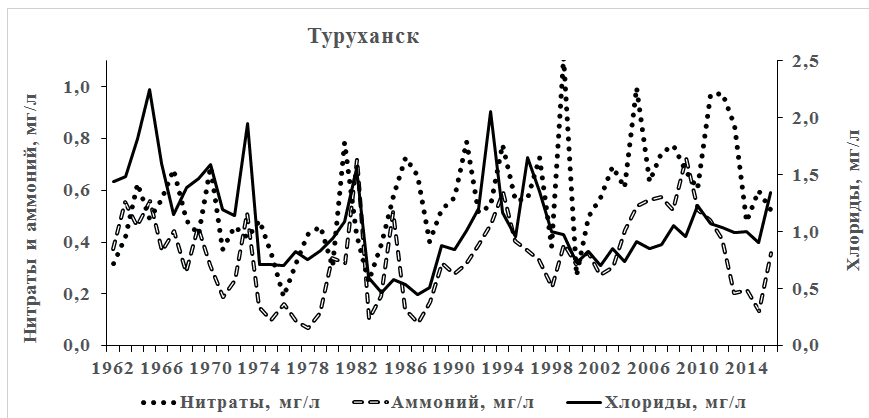


Рис. 122. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Туруханск

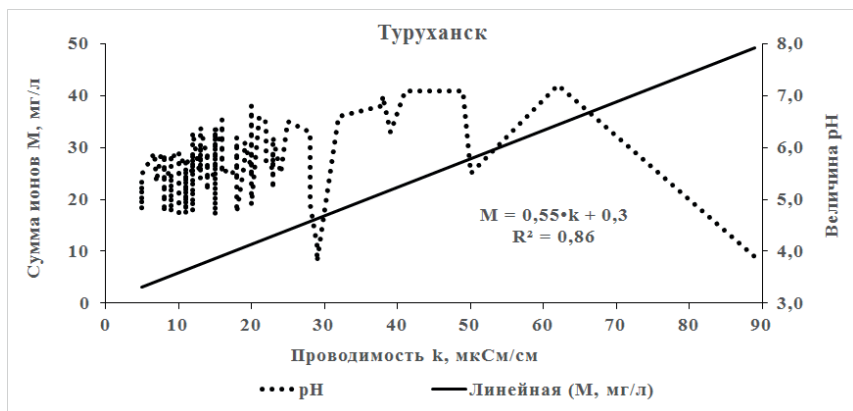


Рис. 123. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Туруханск

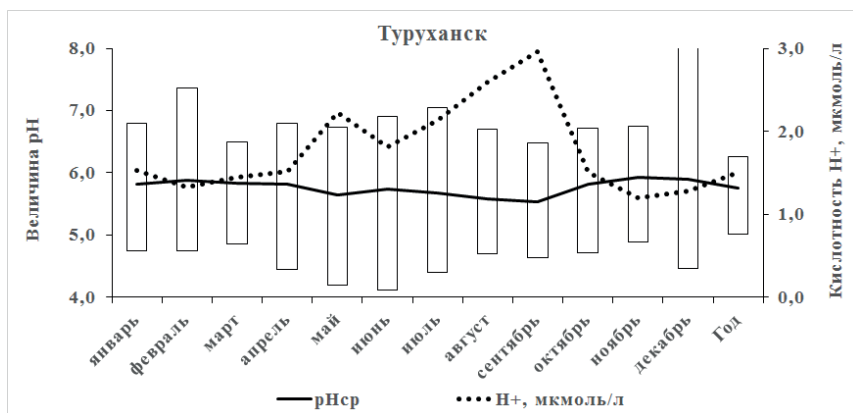


Рис. 124. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Туруханск

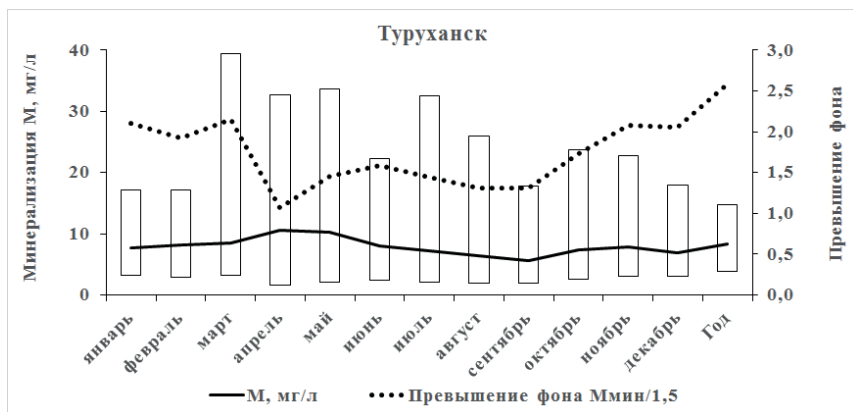


Рис. 125. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Туруханск

Таблица 33. Описательная статистика средних за год значений на м/с Туруханск, 1962-2020 гг

| Показатели | q, мм | М, мг/л | pH | к, мксм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 589,8 | 8,4 | 5,8 | 16,3 |
| Стандартная ошибка | 15,1 | 0,3 | 0,0 | 0,6 |
| Медиана | 570,2 | 8,2 | 5,8 | 15,9 |
| Мода | — | — | — | 10,4 |
| Стандартное отклонение | 116,4 | 2,6 | 0,4 | 4,3 |
| Дисперсия выборки | 13541 | 6,6 | 0,1 | 18,3 |
| Экспесс | -0,4 | -0,6 | -0,9 | 0,4 |
| Асимметричность | 0,4 | 0,3 | -0,4 | 0,6 |
| Интервал | 506,8 | 10,9 | 1,4 | 19,0 |
| Минимум | 376,0 | 3,9 | 5,0 | 9,7 |
| Максимум | 882,8 | 14,8 | 6,4 | 28,7 |
| Счет | 59 | 59 | 59 | 59 |
| Уровень надежности (95%) | 30,3 | 0,7 | 0,1 | 1,1 |

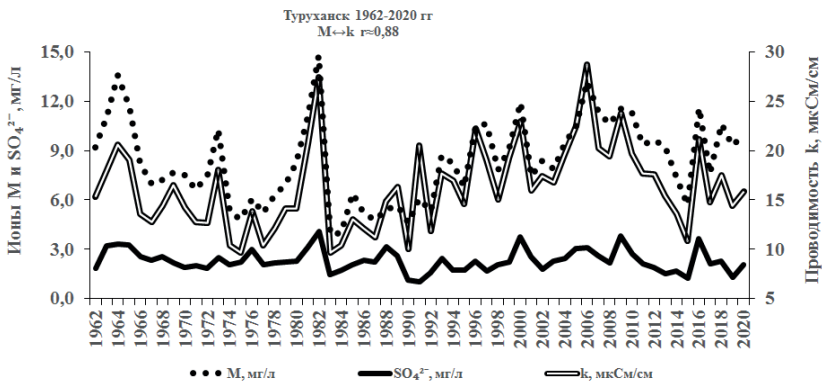


Рис. 126. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Туруханск

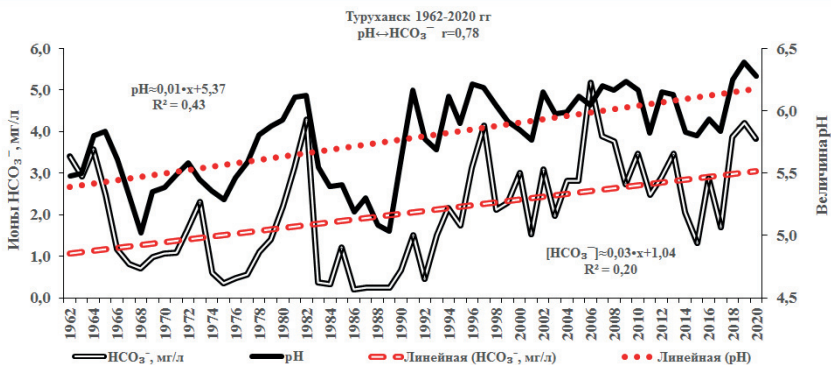


Рис. 127. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Туруханск

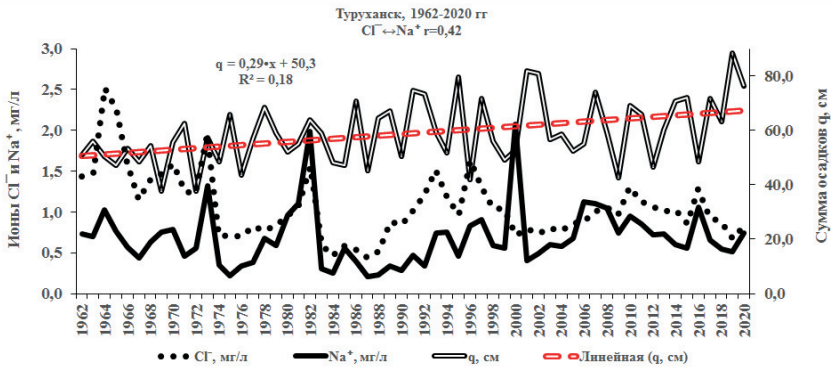


Рис. 128. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Туруханск

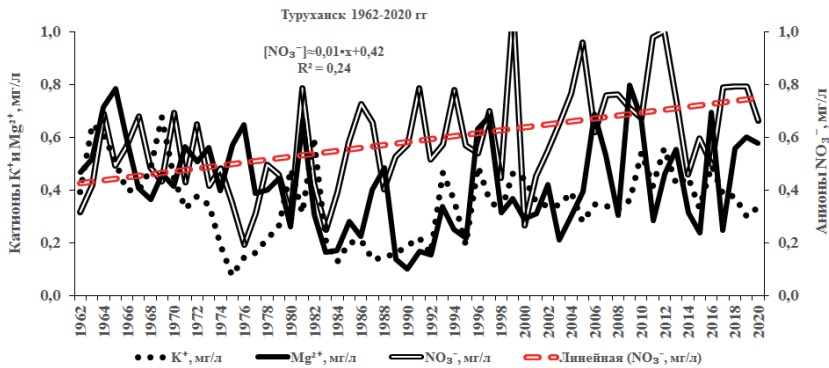


Рис. 129. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Туруханск

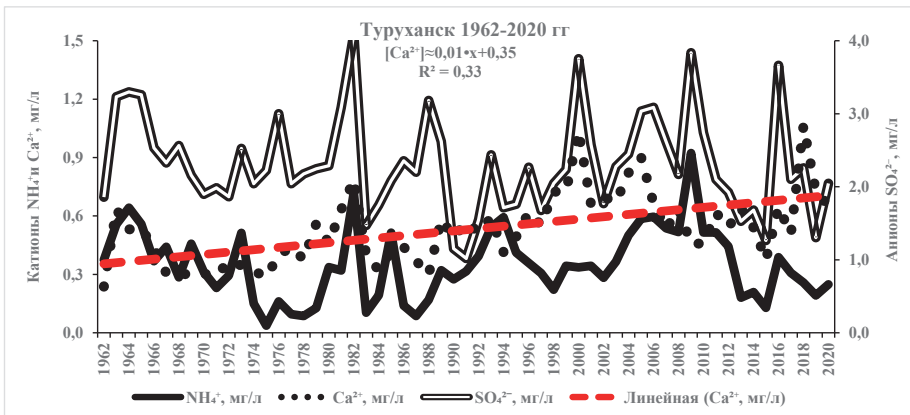


Рис. 130. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Туруханск

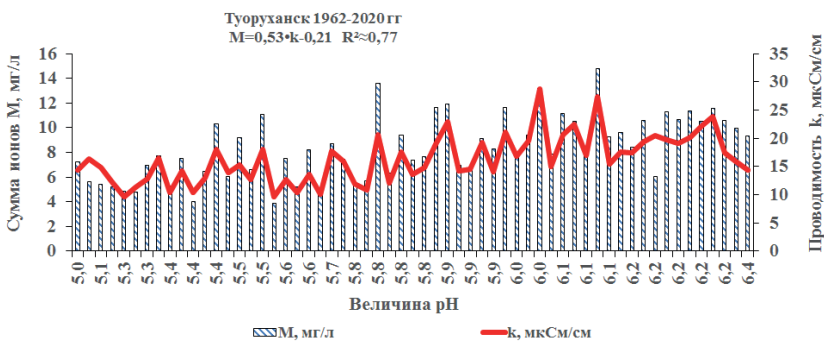


Рис. 131. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной pH и проводимостью k на м/с Туруханск

**Таблица 34. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Туруханск, 1962-1991 гг**

| Показатели | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|---------------------------------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| Среднее | 550,4 | 7,4 | 5,5 | 14,6 |
| Стандартная ошибка | 17,0 | 0,5 | 0,1 | 0,7 |
| Медиана | 547,2 | 6,8 | 5,5 | 14,0 |
| Мода | — | — | — | 10,4 |
| Стандартное отклонение | 93,0 | 2,8 | 0,3 | 4,1 |
| Дисперсия выборки | 8645 | 7,7 | 0,1 | 16,7 |
| Экссесс | -0,4 | 0,7 | -0,3 | 1,9 |
| Асимметричность | 0,2 | 1,1 | 0,4 | 1,2 |
| Интервал | 369,0 | 10,9 | 1,1 | 17,8 |
| Минимум | 376,0 | 3,9 | 5,0 | 9,7 |
| Максимум | 745,0 | 14,8 | 6,2 | 27,4 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95%) | 34,7 | 1,0 | 0,1 | 1,5 |

**Таблица 35. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Туруханск, 1992-2020 гг**

| Показатели | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|---------------------------------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| Среднее | 630,5 | 9,3 | 6,0 | 18,0 |
| Стандартная ошибка | 23,3 | 0,4 | 0,0 | 0,7 |
| Медиана | 602,1 | 9,4 | 6,0 | 17,6 |
| Стандартное отклонение | 125,4 | 1,9 | 0,2 | 3,8 |
| Дисперсия выборки | 15719 | 3,6 | 0,0 | 14,5 |
| Экссесс | -0,9 | -0,3 | -1,1 | 1,0 |
| Асимметричность | 0,1 | -0,2 | -0,1 | 0,6 |
| Интервал | 463,0 | 7,9 | 0,7 | 17,8 |
| Минимум | 419,8 | 5,3 | 5,7 | 10,8 |
| Максимум | 882,8 | 13,2 | 6,4 | 28,7 |
| Счет | 29 | 29 | 29 | 29 |
| Уровень надежности (95%) | 47,7 | 0,7 | 0,1 | 1,5 |

Норильск

Таблица 36. Описательная статистика на м/с Норильск

| Показатели | pНмин | pНср | pНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 6,0 | 6,8 | 7,5 | 106 | 205 | 373 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 7,5 | 11,8 | 28,6 |
| Медиана | 6,3 | 6,8 | 7,4 | 107 | 208 | 374 |
| Мода | 6,4 | — | 7,5 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 39,9 | 62,2 | 151 |
| Дисперсия выборки | 0,6 | 0,1 | 0,2 | — | 3873 | — |
| Экспесс | 2,5 | 0,2 | 2,7 | 0,5 | -0,6 | -0,8 |
| Асимметричность | -1,6 | -0,6 | 1,4 | 0,7 | 0,3 | 0,5 |
| Интервал | 2,9 | 1,1 | 1,8 | 165 | 234 | 510 |
| Минимум | 3,9 | 6,1 | 6,8 | 41,0 | 103 | 140 |
| Максимум | 6,8 | 7,3 | 8,6 | 206 | 336 | 650 |
| Счет | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Уровень надежности (95%) | 0,29 | 0,10 | 0,15 | 15,5 | 24,1 | 58,6 |

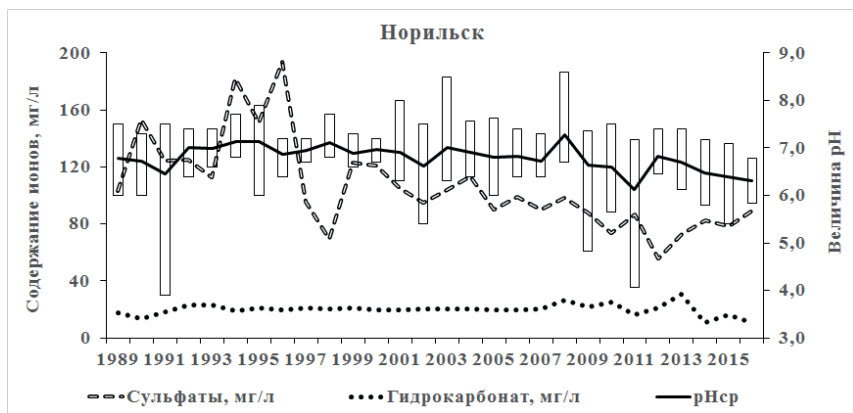


Рис. 132. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфатов и гидрокарбонатов на м/с Норильск

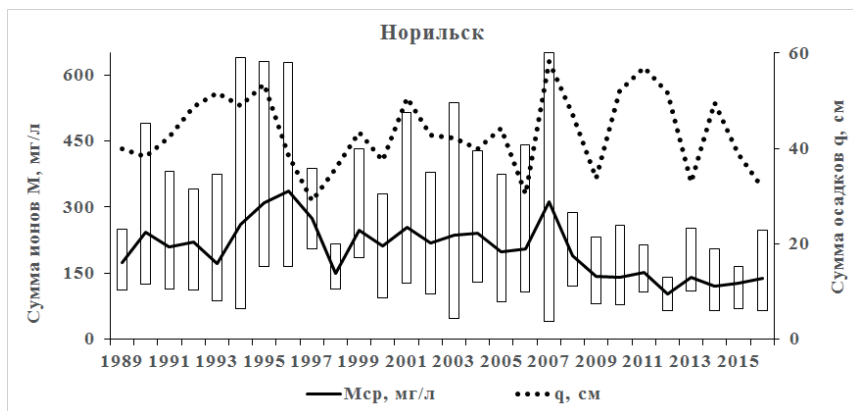


Рис. 133. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Норильск

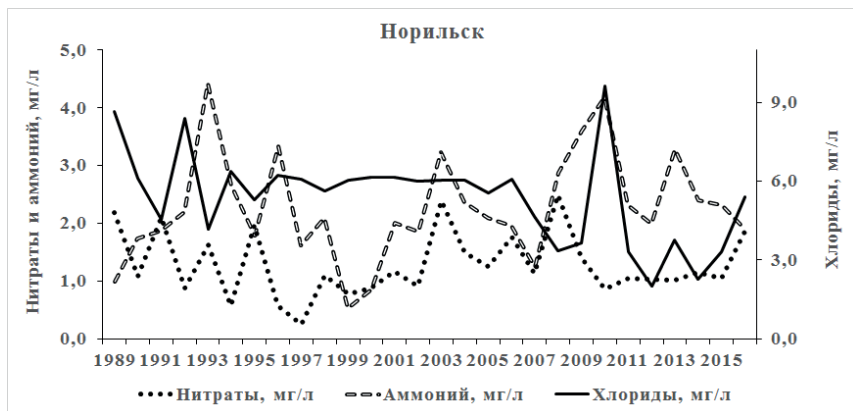


Рис. 134. Временной ход концентрации нитратов, аммония и хлоридов на м/с Норильск

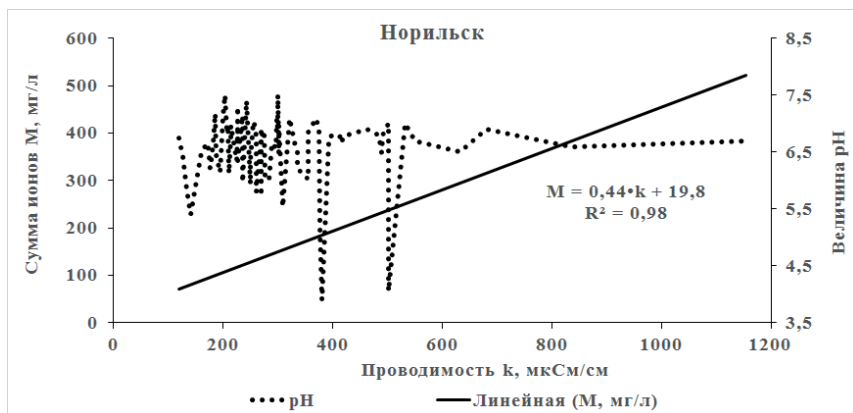


Рис. 135. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Норильск

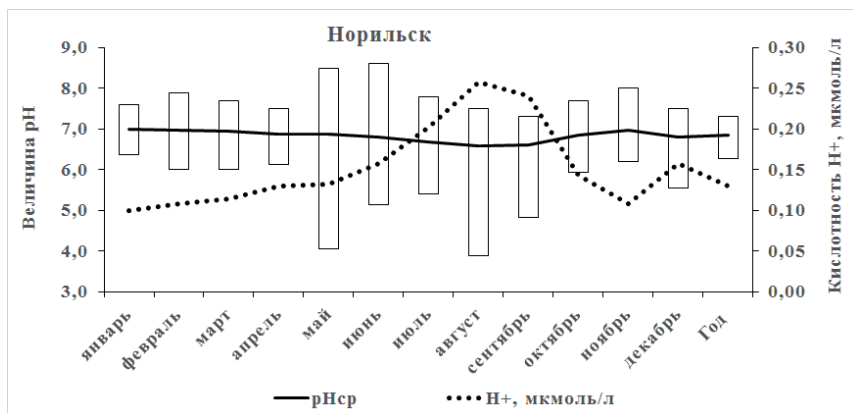


Рис. 136. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Норильск

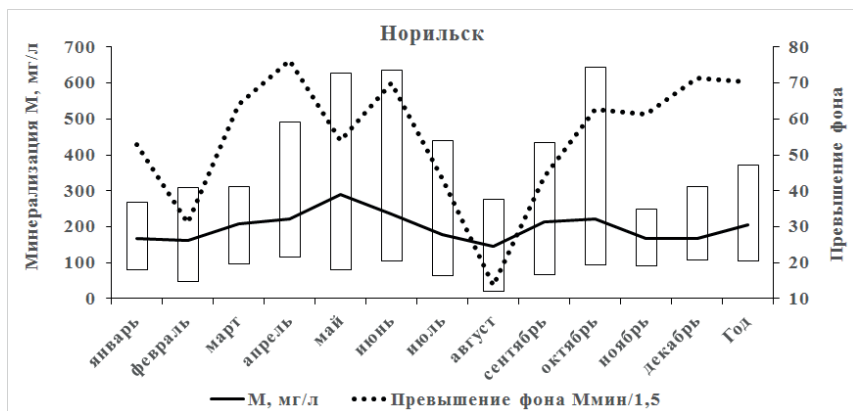


Рис. 137. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Норильск

Полярный

Таблица 37. Описательная статистика на м/с Полярный

| Показатели | рНмин | рНср | рНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,9 | 6,5 | 7,2 | 4,8 | 18,1 | 46,9 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 2,1 | 6,5 |
| Медиана | 5,9 | 6,5 | 7,1 | 4,1 | 16,9 | 40,9 |
| Мода | 6,3 | — | 7,4 | 5,0 | — | 58,9 |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 2,6 | 11,0 | 34,0 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 6,6 | 122 | 1154 |
| Экцесс | 0,5 | -0,3 | 6,4 | 10,2 | 7,5 | 8,5 |
| Асимметричность | -0,5 | 0,1 | 2,0 | 2,9 | 2,3 | 2,5 |
| Интервал | 2,0 | 1,2 | 1,8 | 12,9 | 55,2 | 171 |
| Минимум | 4,7 | 6,0 | 6,7 | 2,2 | 5,2 | 9,4 |
| Максимум | 6,7 | 7,2 | 8,5 | 15,1 | 60,4 | 180 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,18 | 0,11 | 0,14 | 1,01 | 4,36 | 13,4 |

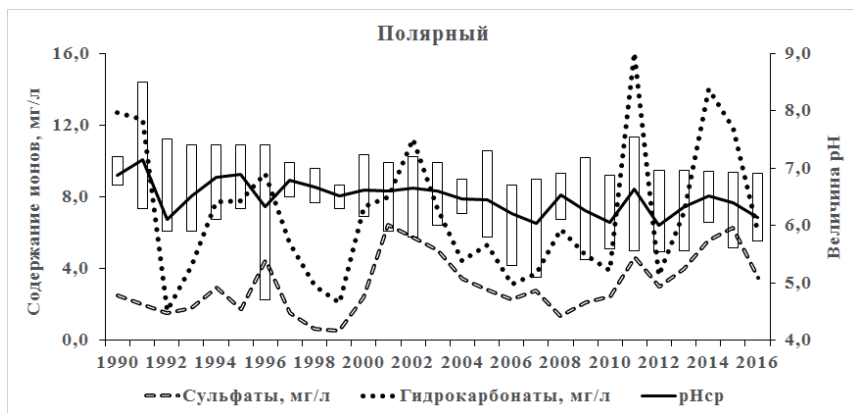


Рис. 138. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Полярный

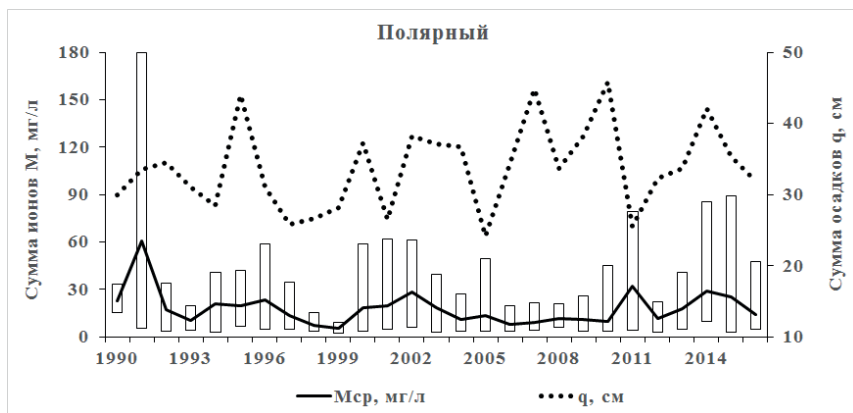


Рис. 139. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Полярный

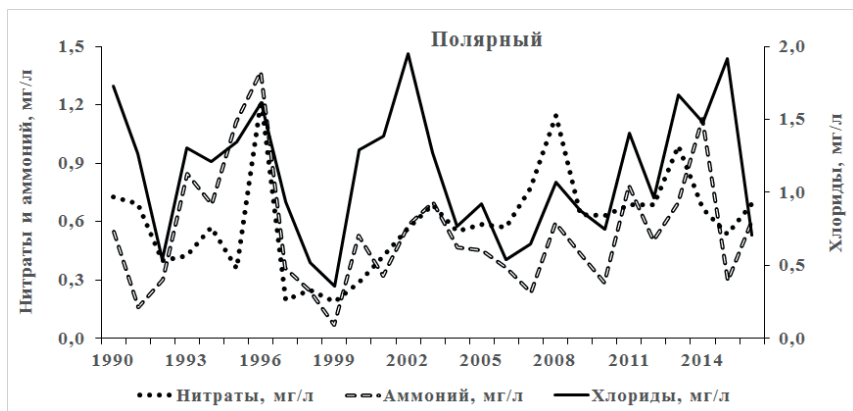


Рис. 140. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Полярный

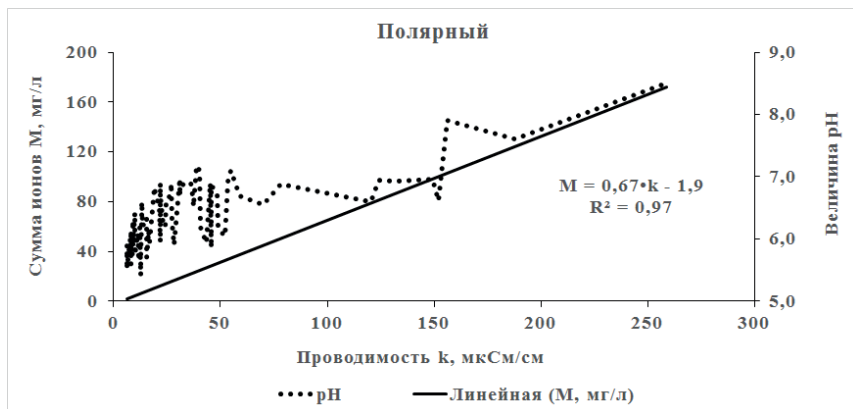


Рис. 141. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков к на м/с Полярный

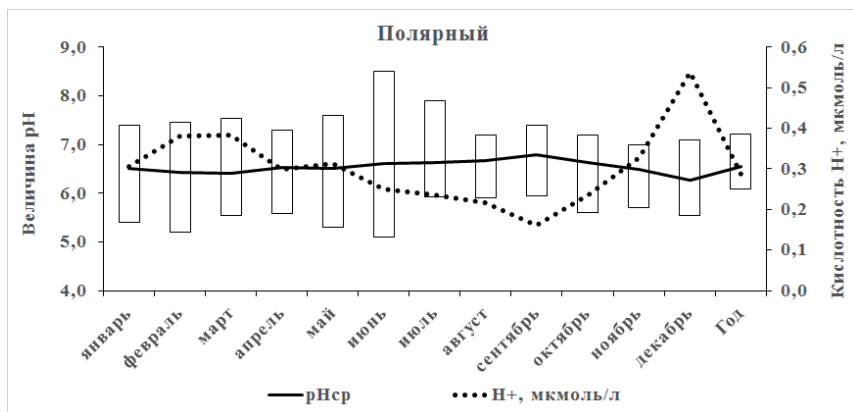


Рис. 142. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Полярный

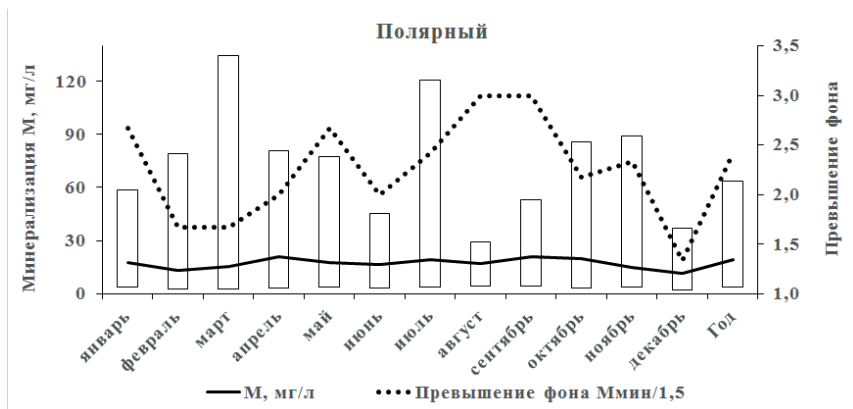


Рис. 143. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Полярный

Жиганск

Таблица 38. Описательная статистика на м/с Жиганск

| Показатели | рН _{мин} | рН _{Ср} | рН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,5 | 6,1 | 6,8 | 2,6 | 7,8 | 20,0 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,4 |
| Медиана | 5,6 | 6,1 | 6,8 | 2,3 | 7,1 | 20,8 |
| Мода | 5,6 | — | 6,9 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 1,1 | 2,6 | 7,2 |
| Дисперсия выборки | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 1,1 | 6,9 | 51,6 |
| Экцесс | -0,6 | 0,5 | 0,1 | 3,6 | 0,4 | -0,9 |
| Асимметричность | 0,0 | -0,2 | 0,6 | 1,8 | 0,8 | -0,3 |
| Интервал | 0,9 | 0,7 | 1,2 | 4,5 | 10,5 | 24,9 |
| Минимум | 5,1 | 5,7 | 6,3 | 1,3 | 3,8 | 5,7 |
| Максимум | 6,0 | 6,4 | 7,5 | 5,7 | 14,3 | 30,6 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,09 | 0,07 | 0,12 | 0,42 | 1,04 | 2,84 |

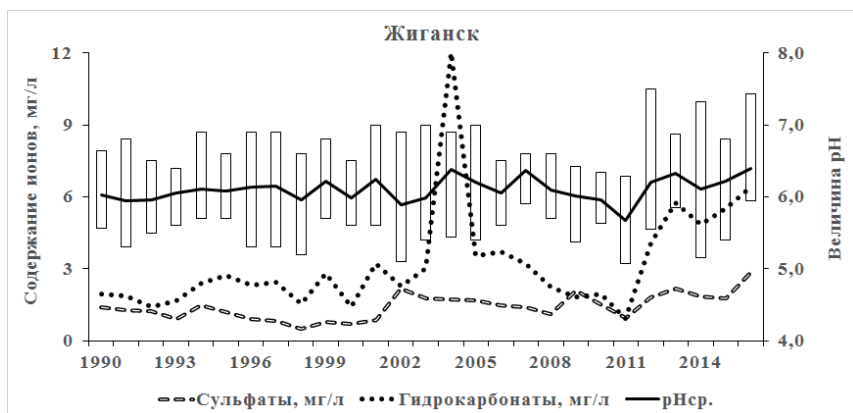


Рис. 144. Временной ход величины рН с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Жиганск

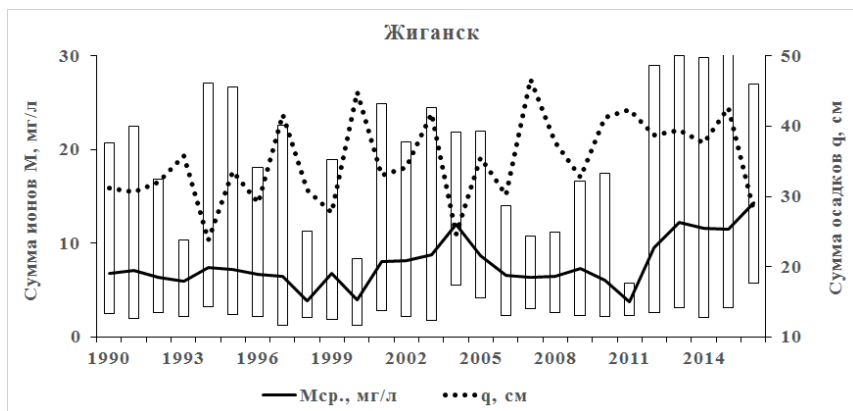


Рис. 145. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Жиганск

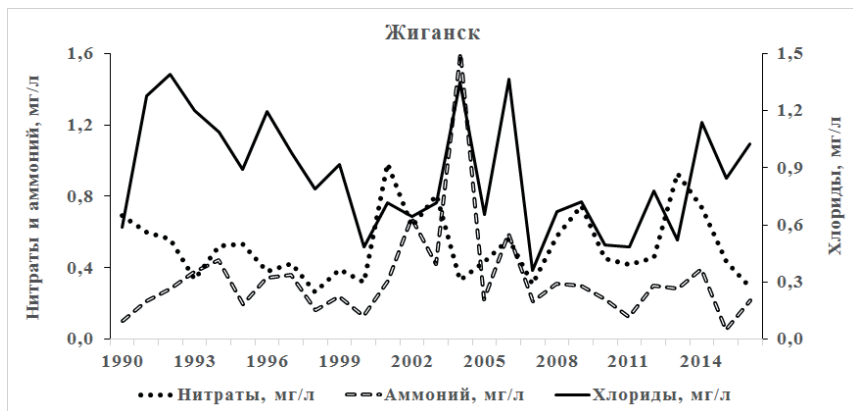


Рис. 146. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Жиганск

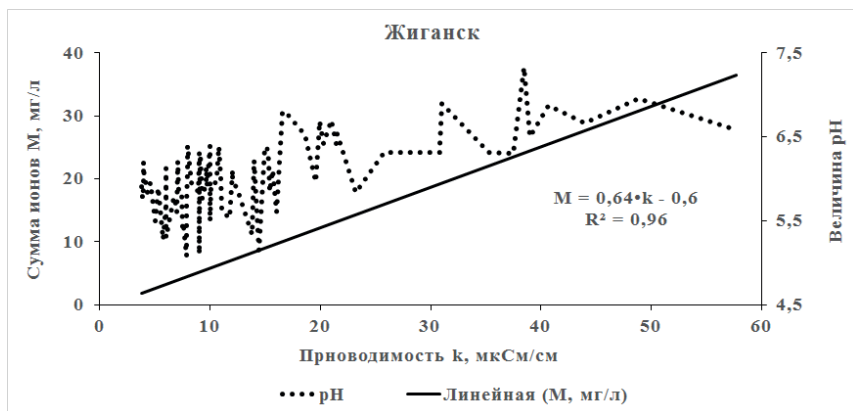


Рис. 147. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Жиганск

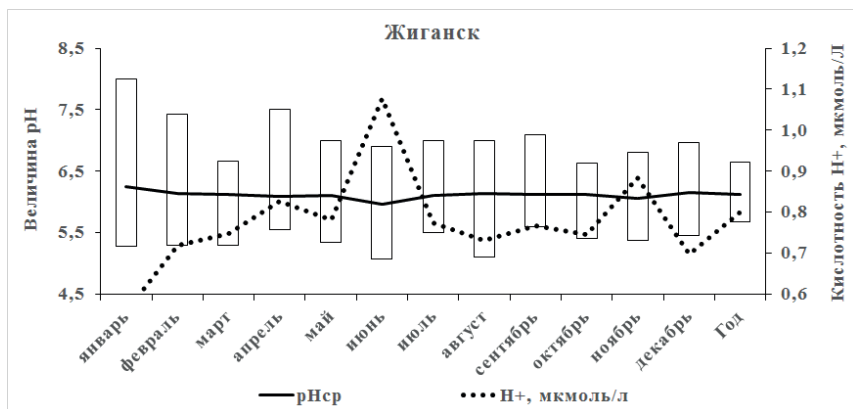


Рис. 148. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Жиганск

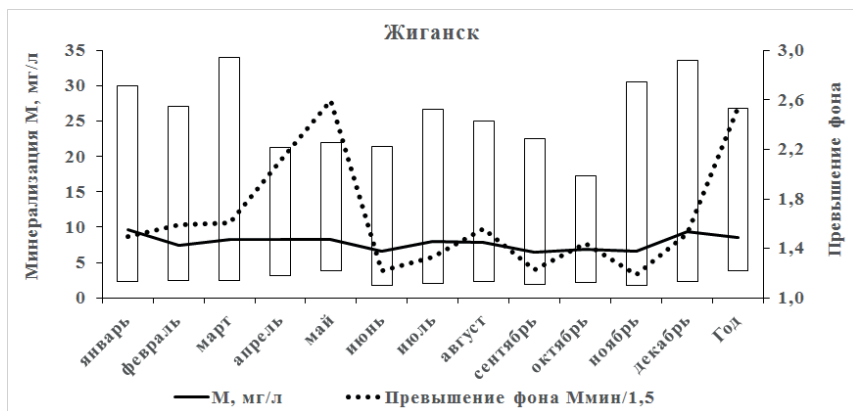


Рис. 149. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Жиганск

Кюсюр

Таблица 39. Описательная статистика на м/с Кюсюр

| Показатели | рН _{мин} | рН _{ср} | рН _{макс} | М _{мин} | М _{ср} | М _{макс} |
|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,9 | 6,5 | 7,1 | 13,0 | 33,0 | 63,6 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,3 | 2,3 | 3,2 |
| Медиана | 5,8 | 6,5 | 7,1 | 10,5 | 29,3 | 63,0 |
| Мода | 5,4 | 6,5 | 7,2 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 9,0 | 15,9 | 21,7 |
| Дисперсия выборки | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 81,0 | 253 | 469 |
| Экцесс | -0,3 | 0,6 | 4,1 | -0,5 | 0,0 | -0,4 |
| Асимметричность | 0,2 | -0,5 | -1,5 | 0,8 | 0,8 | 0,0 |
| Интервал | 2,0 | 1,8 | 2,5 | 32,5 | 67,8 | 97,2 |
| Минимум | 4,8 | 5,5 | 5,5 | 2,5 | 7,2 | 12,8 |
| Максимум | 6,8 | 7,3 | 8,0 | 35,0 | 75,0 | 110 |
| Счет | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| Уровень надежности (95%) | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 2,67 | 4,72 | 6,43 |

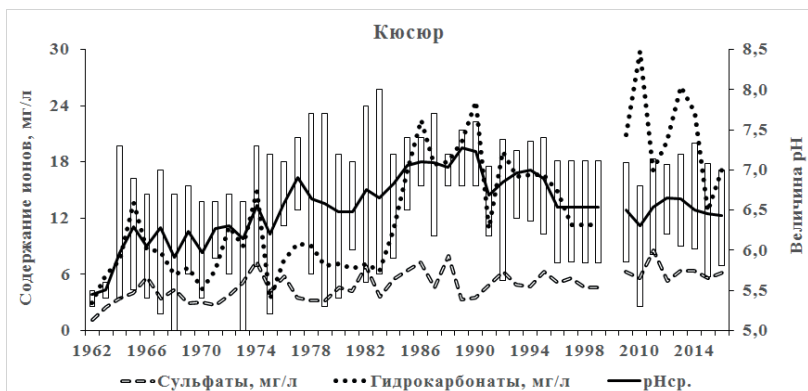


Рис. 150. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Кюсюр

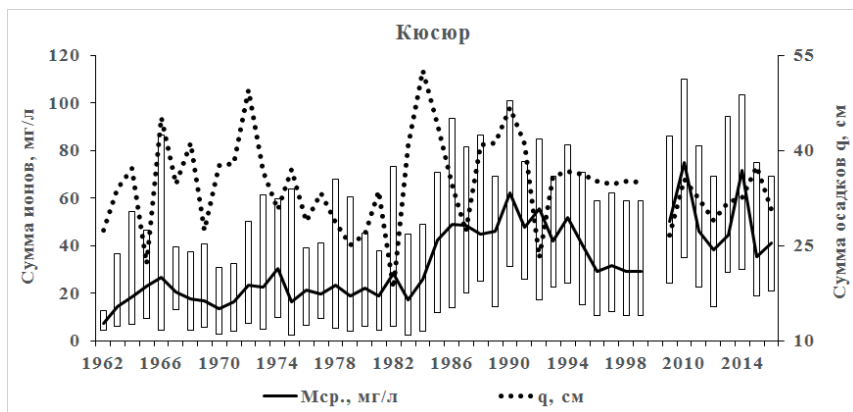


Рис. 151. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Кюсюр

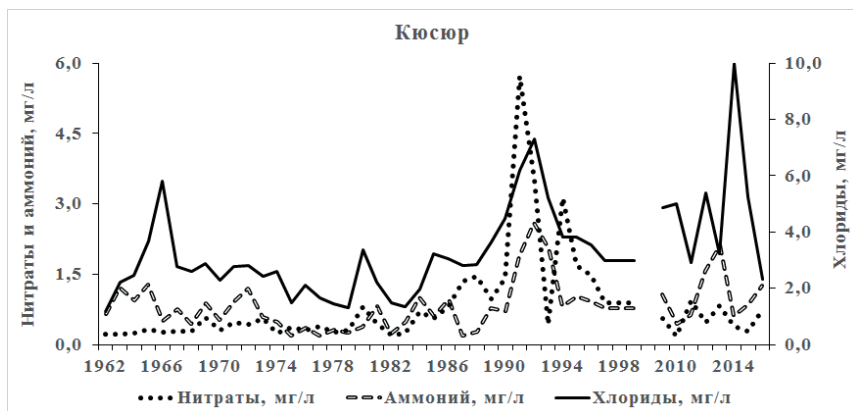


Рис. 152. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Кюсюр

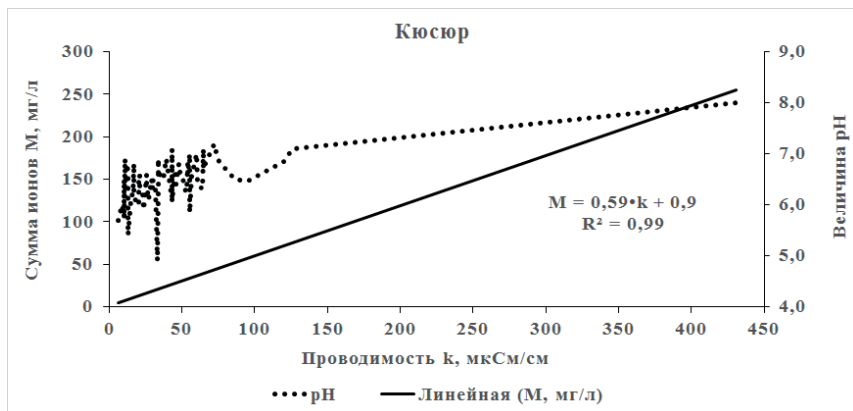


Рис. 153. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков к на м/с Кюсюр

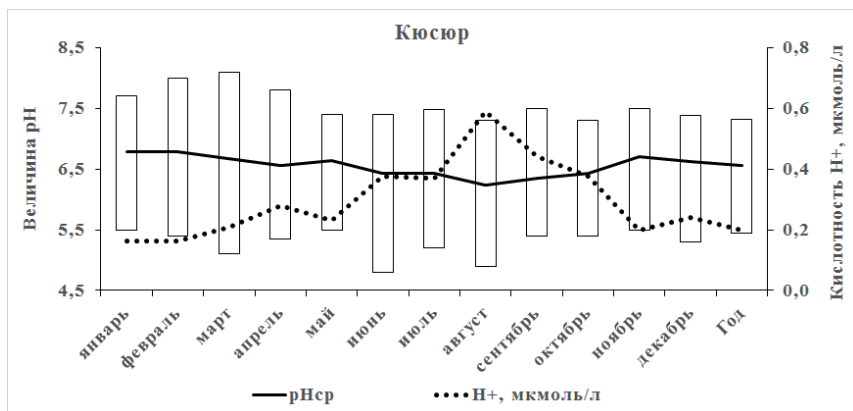


Рис. 154. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Кюсюр

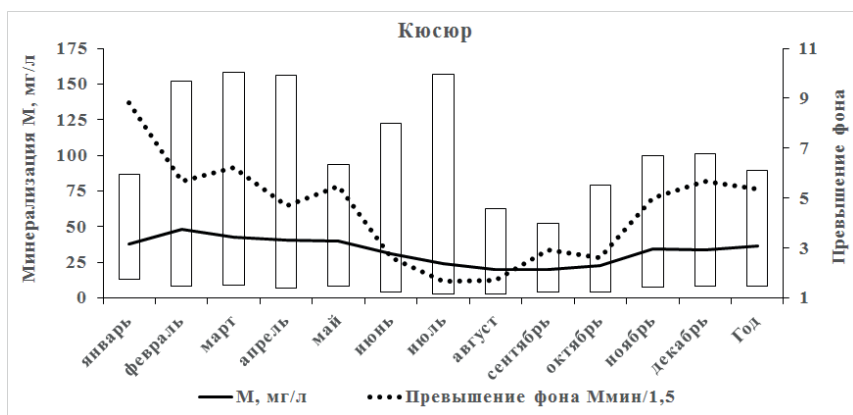


Рис. 155. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Кюсюр

Тикси

Таблица 40. Описательная статистика на м/с Тикси

| Показатели | pНмин | pНср | pНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,8 | 6,5 | 7,4 | 15,6 | 37,4 | 81,4 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,7 | 2,8 | 7,5 |
| Медиана | 5,9 | 6,5 | 7,4 | 13,5 | 30,5 | 67,9 |
| Мода | 6,2 | — | 7,9 | — | — | 146 |
| Стандартное отклонение | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 9,3 | 15,7 | 41,8 |
| Дисперсия выборки | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 85,8 | 246 | 1745 |
| Экссесс | 0,4 | -0,8 | -0,5 | 0,3 | -0,1 | -0,7 |
| Асимметричность | -0,7 | -0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| Интервал | 3,2 | 1,8 | 2,0 | 35,5 | 57,8 | 154 |
| Минимум | 4,0 | 5,6 | 6,5 | 1,6 | 16,3 | 26,4 |
| Максимум | 7,2 | 7,4 | 8,5 | 37,1 | 74,1 | 180 |
| Счет | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| Уровень надежности (95%) | 0,28 | 0,17 | 0,18 | 3,40 | 5,75 | 15,3 |

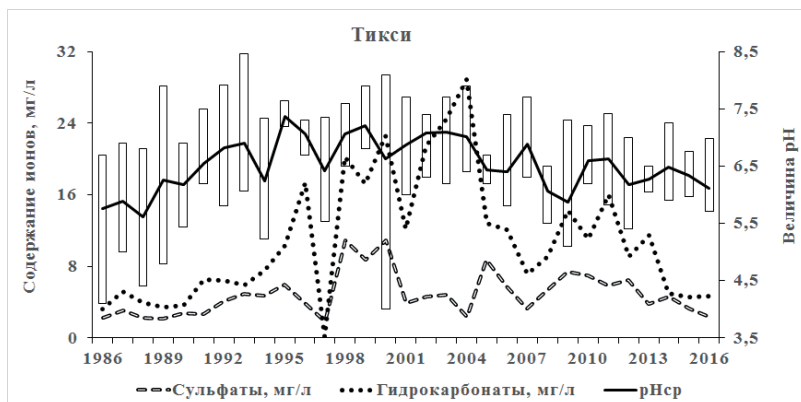


Рис. 156. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Тикси

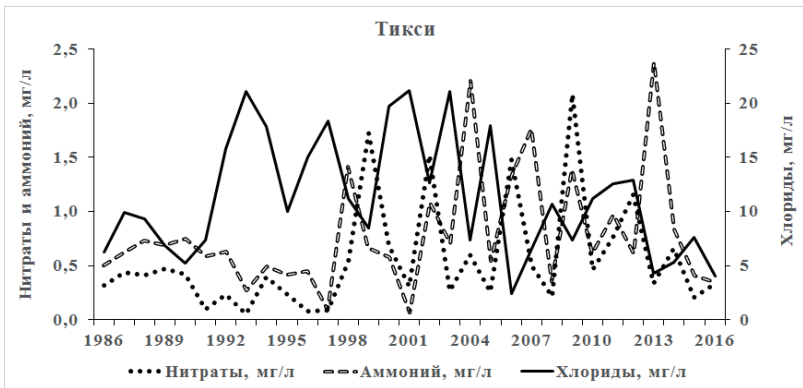


Рис. 157. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Тикси

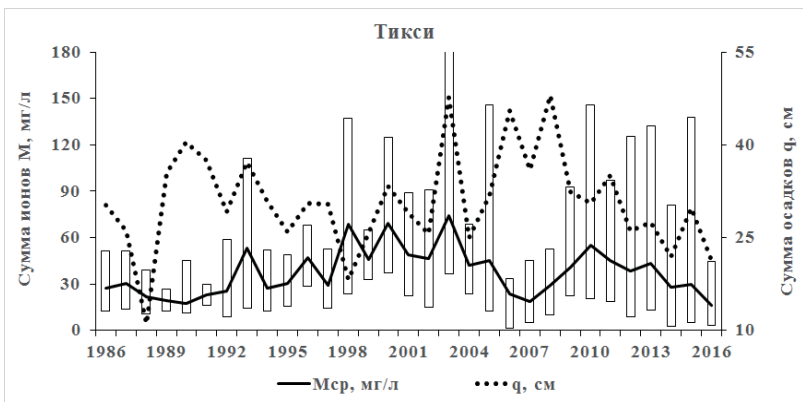


Рис. 158. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Тикси

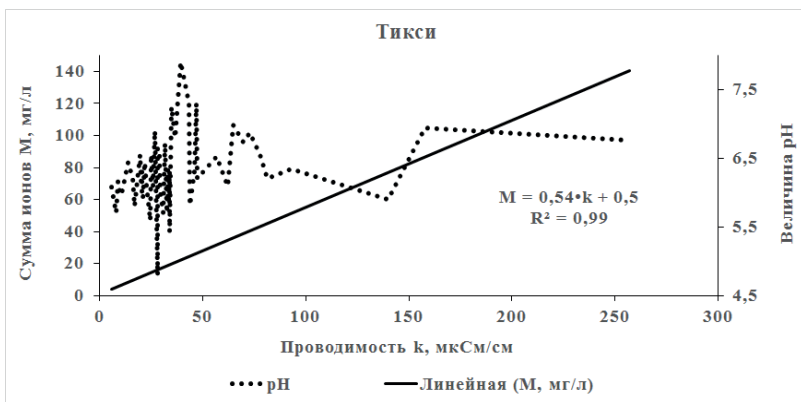


Рис. 159. Связь суммы ионов M и величины pH с проводимостью осадков k на м/с Тикси

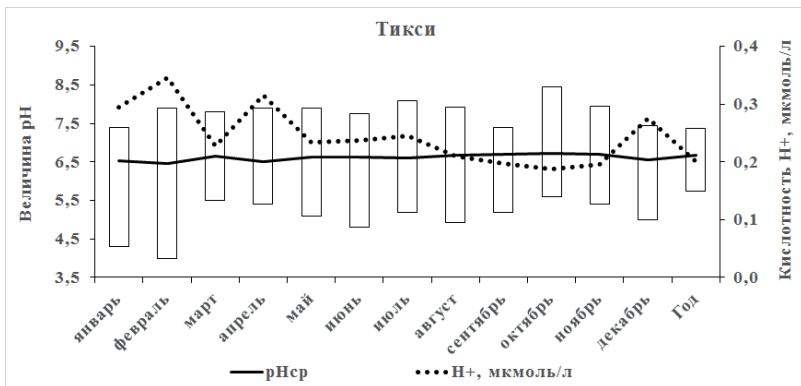


Рис. 160. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Тикси

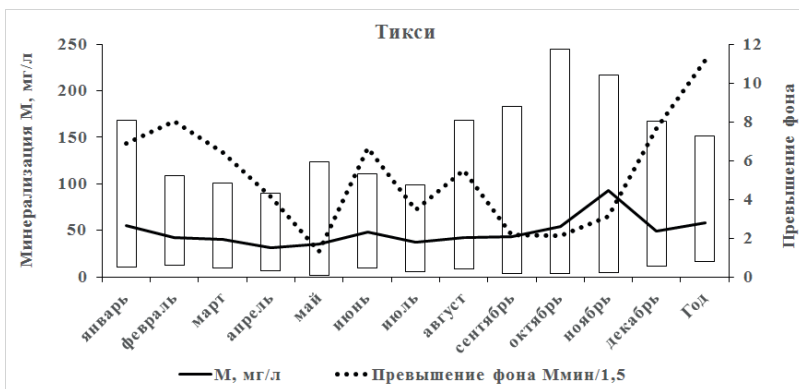


Рис. 161. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Тикси

Таблица 41. Описательная статистика средних за год значений на м/с Тикси, 1986-2020 гг

| Показатели | q, мм | М, мг/л | pH | к, мксм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 270,8 | 36,5 | 6,4 | 67,7 |
| Стандартная ошибка | 16,9 | 4,0 | 0,1 | 7,4 |
| Медиана | 272,8 | 35,1 | 6,3 | 69,3 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 77,4 | 18,4 | 0,5 | 33,8 |
| Дисперсия выборки | 5984 | 337,3 | 0,3 | 1145 |
| Экцесс | -0,4 | 1,4 | -0,9 | 1,3 |
| Асимметричность | -0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,7 |
| Интервал | 292,8 | 80,7 | 1,6 | 148,3 |
| Минимум | 110,8 | 6,0 | 5,7 | 11,7 |
| Максимум | 403,6 | 86,7 | 7,4 | 160,0 |
| Счет | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Уровень надежности (95%) | 35,2 | 8,4 | 0,2 | 15,4 |

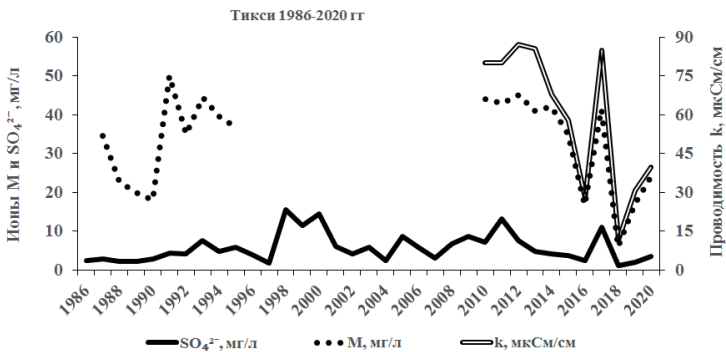


Рис. 162. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Тикси

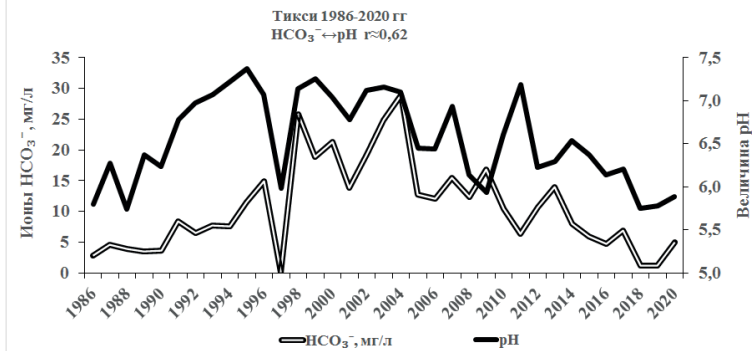


Рис. 163. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Тикси

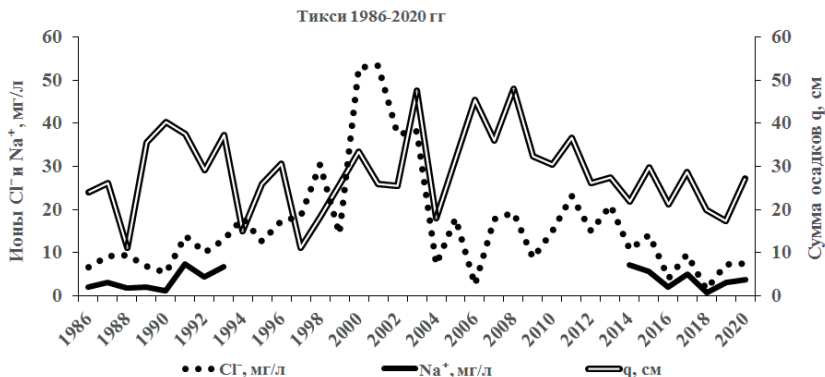


Рис. 164. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Тикси

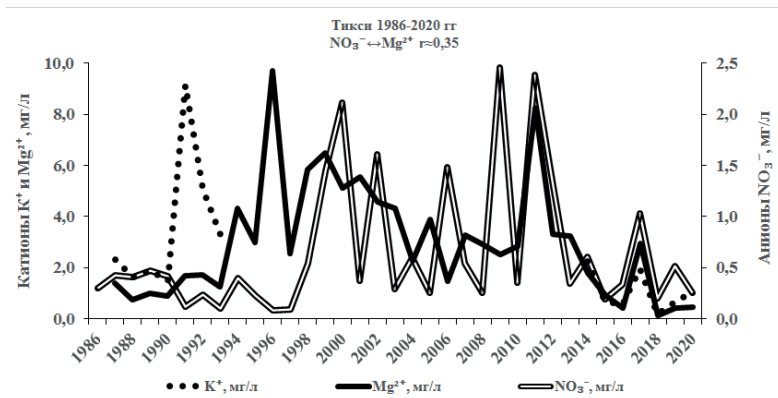


Рис. 165. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Тикси

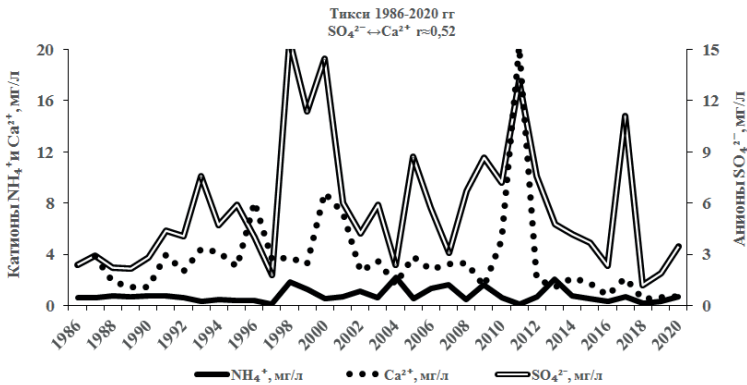


Рис. 166. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Тикси

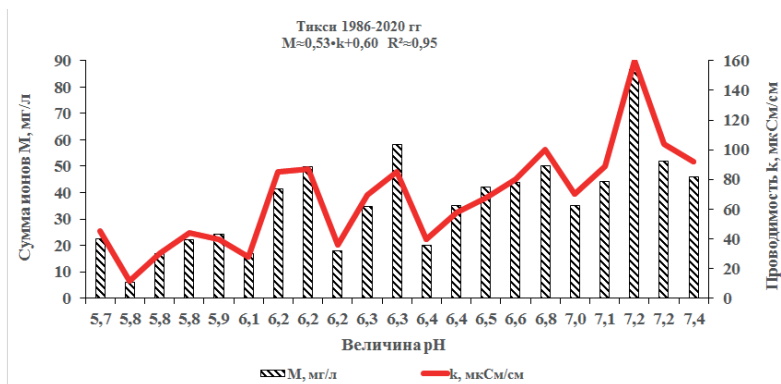


Рис. 167. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью k на м/с Тикси

Депутатский

Таблица 42. Описательная статистика на м/с Депутатский

| Показатели | pН _{мин} | pН _{Ср} | pН _{мак} | М _{мин} | М _{ср} | М _{мак} |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,6 | 6,3 | 6,9 | 4,8 | 13,7 | 31,8 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 3,5 |
| Медиана | 5,7 | 6,4 | 7,0 | 4,0 | 11,9 | 26,3 |
| Мода | 5,7 | 6,5 | 7,2 | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 2,5 | 5,5 | 18,3 |
| Дисперсия выборки | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 6,1 | 30,4 | 335 |
| Экцесс | 0,9 | 0,9 | 0,2 | 3,3 | 1,3 | 0,0 |
| Асимметричность | -0,7 | -1,3 | -0,6 | 1,7 | 1,1 | 1,1 |
| Интервал | 2,3 | 1,4 | 1,6 | 10,8 | 22,5 | 60,4 |
| Минимум | 4,3 | 5,3 | 6,0 | 2,0 | 6,7 | 11,3 |
| Максимум | 6,6 | 6,8 | 7,6 | 12,8 | 29,2 | 71,7 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,21 | 0,15 | 0,14 | 0,98 | 2,18 | 7,24 |

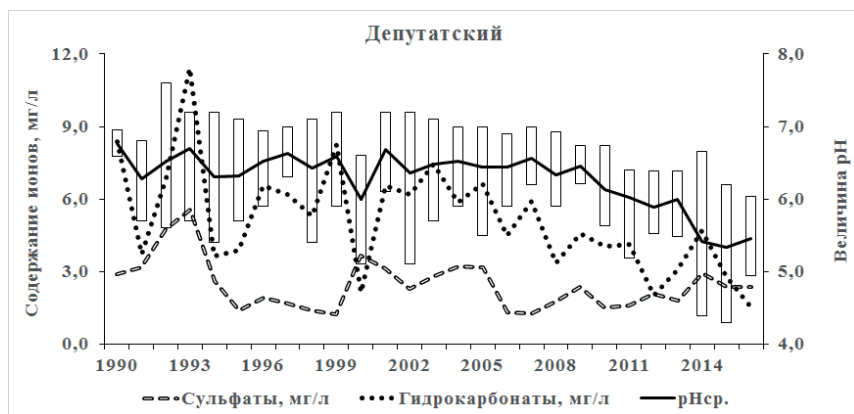


Рис. 168. Временной ход величины рН с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Депутатский

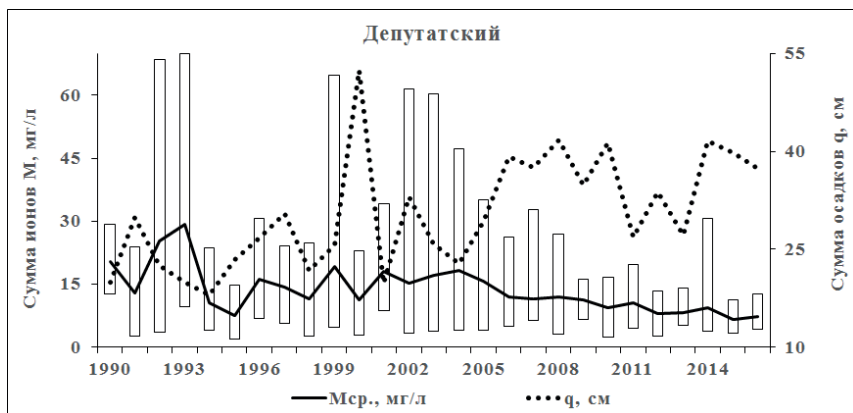


Рис. 169. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Депутатский

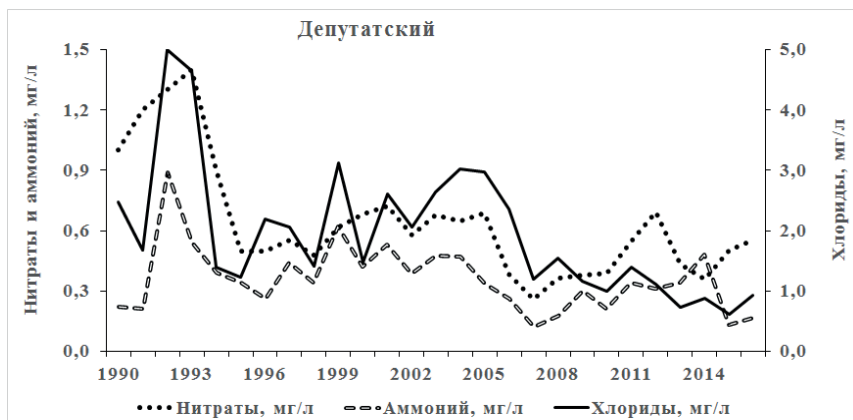


Рис. 170. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Депутатский

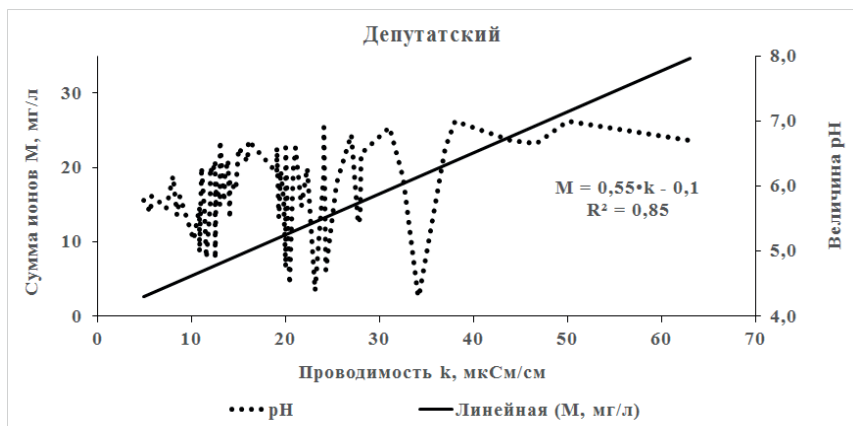


Рис. 171. Связь суммы ионов M и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Депутатский

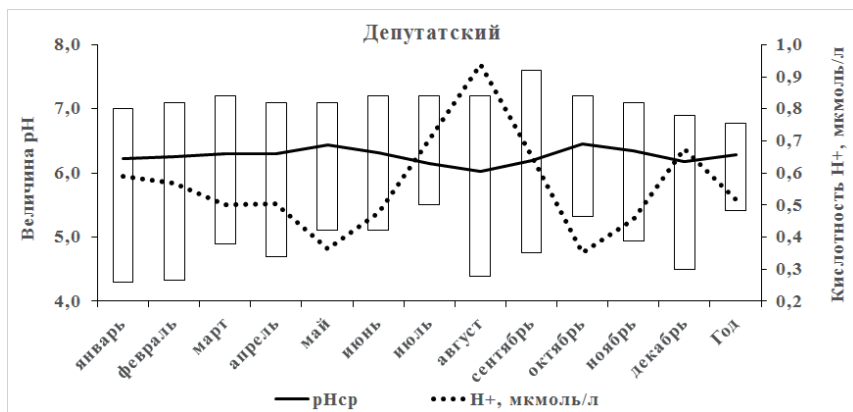


Рис. 172. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Депутатский

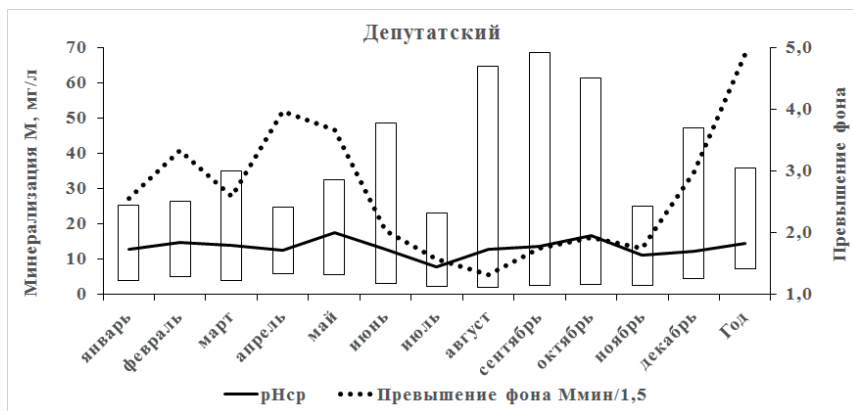


Рис. 173. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Депутатский

Усть-Мома

Таблица 43. Описательная статистика на м/с Усть-Мома

| Показатели | рНмин | рНср | рНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,6 | 6,3 | 7,1 | 5,1 | 13,8 | 30,9 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 2,4 |
| Медиана | 5,7 | 6,3 | 7,1 | 4,7 | 12,8 | 27,9 |
| Мода | 6,0 | — | 7,1 | 2,6 | — | — |
| Стандартное отклонение | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 2,8 | 4,3 | 12,5 |
| Дисперсия выборки | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 8,1 | 18,4 | 156 |
| Экссесс | 0,4 | 0,0 | 3,9 | 6,0 | -0,4 | 0,02 |
| Асимметричность | -0,3 | 0,5 | 1,7 | 2,0 | 0,7 | 0,9 |
| Интервал | 2,4 | 1,0 | 2,0 | 13,7 | 15,7 | 44,2 |
| Минимум | 4,4 | 5,9 | 6,5 | 1,9 | 7,9 | 15,8 |
| Максимум | 6,8 | 6,9 | 8,5 | 15,6 | 23,6 | 60,0 |
| Счет | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| Уровень надежности (95%) | 0,21 | 0,10 | 0,17 | 1,12 | 1,70 | 4,95 |

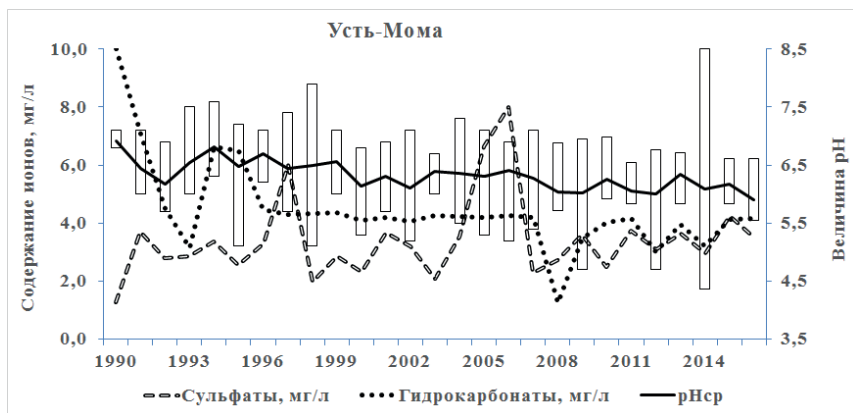


Рис. 174. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Усть-Мома

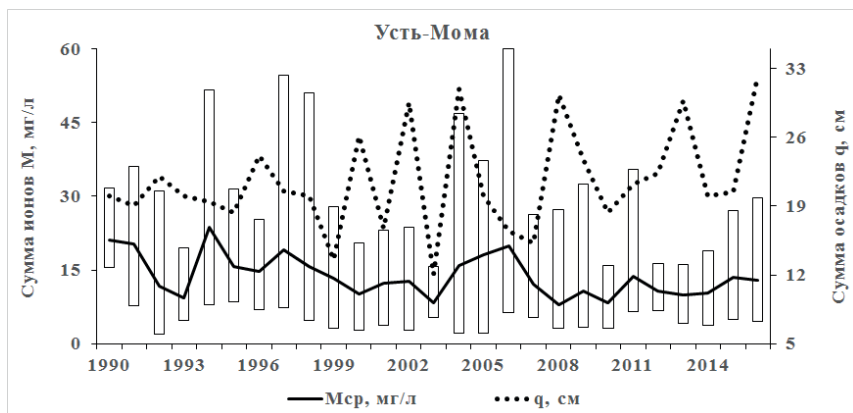


Рис. 175. Временной ход суммы осадков и минерализации M с крайними значениями на м/с Усть-Мома

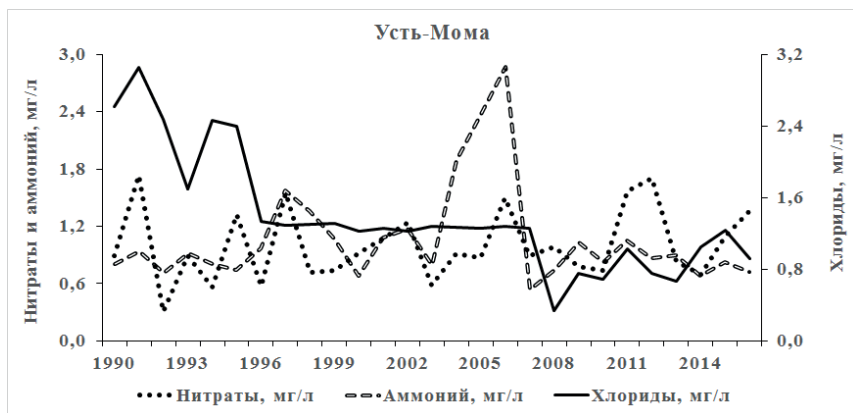


Рис. 176. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Усть-Мома

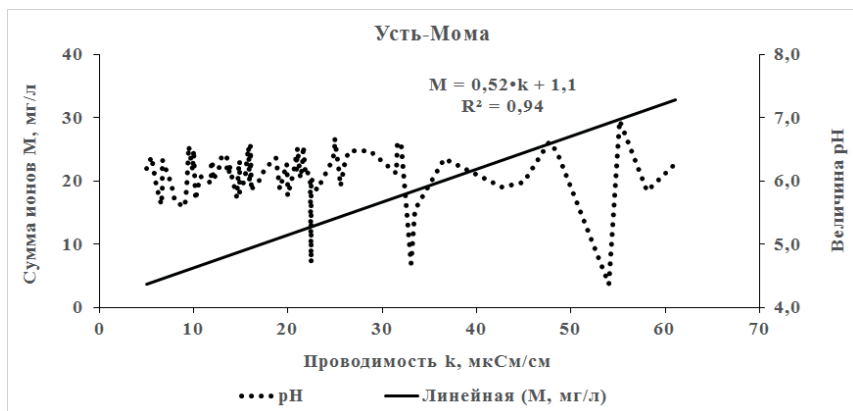


Рис. 177. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков k на м/с Усть-Мома

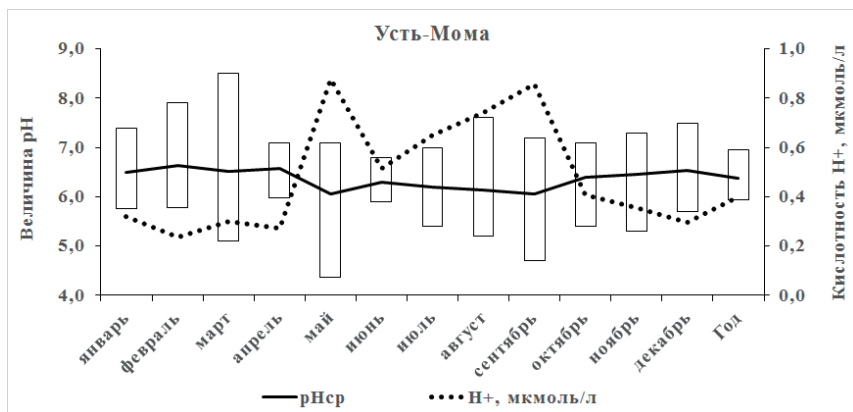


Рис. 178. Годовой ход средней величины pH с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Усть-Мома

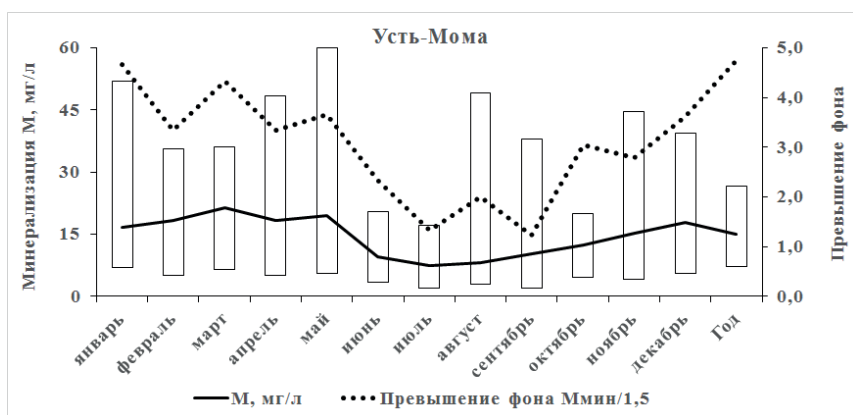


Рис. 179. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Усть-Мома

Палатка

Таблица 44. Описательная статистика на м/с Палатка

| Показатели | pНмин | pНср | pНмак | Ммин | Мср | Ммак |
|--------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | мг/л | | |
| Среднее | 5,2 | 6,1 | 6,9 | 4,3 | 14,2 | 34,3 |
| Стандартная ошибка | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,1 | 3,0 |
| Медиана | 5,1 | 6,1 | 7,0 | 3,1 | 12,2 | 32,4 |
| Мода | 5,0 | 5,7 | 7,3 | 2,9 | 12,6 | — |
| Стандартное отклонение | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 3,0 | 8,3 | 22,1 |
| Дисперсия выборки | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 8,8 | 68,3 | 489 |
| Экцесс | -0,02 | -1,0 | -0,8 | 4,8 | -0,7 | -1,0 |
| Асимметричность | -0,01 | -0,1 | -0,3 | 1,9 | 0,7 | 0,5 |
| Интервал | 3,1 | 1,9 | 2,4 | 15,4 | 27,0 | 70,1 |
| Минимум | 3,5 | 5,1 | 5,6 | 1,4 | 4,3 | 6,9 |
| Максимум | 6,6 | 7,0 | 8,0 | 16,8 | 31,3 | 77 |
| Счет | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Уровень надежности (95%) | 0,18 | 0,13 | 0,16 | 0,80 | 2,23 | 5,98 |

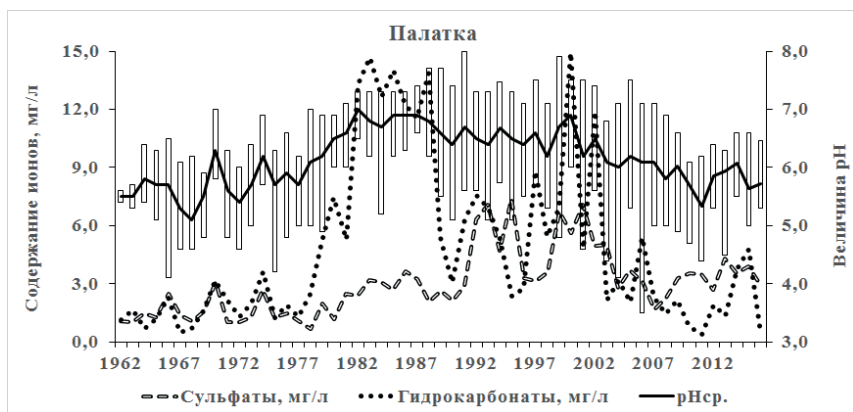


Рис. 180. Временной ход величины pH с крайними значениями, содержание сульфат-ионов и гидрокарбонат-ионов на м/с Палатка

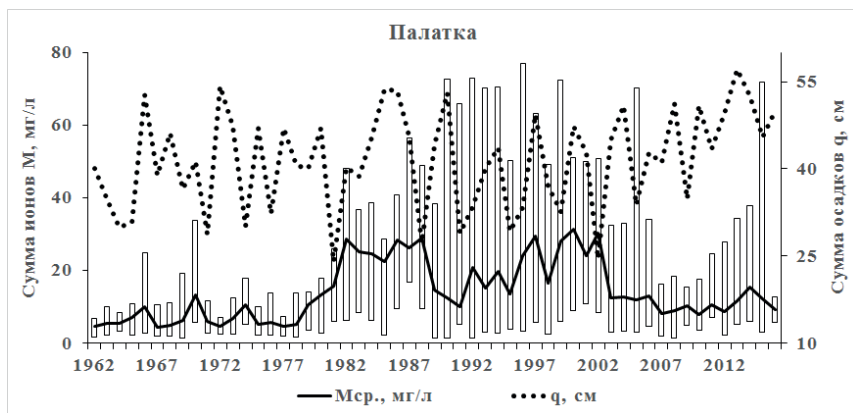


Рис. 181. Временной ход суммы осадков и минерализации М с крайними значениями на м/с Палатка

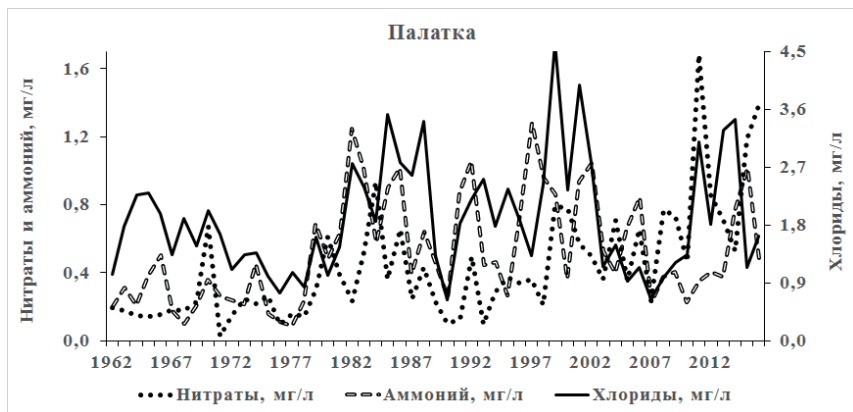


Рис. 182. Временной ход концентрации ионов нитратов, аммония и хлоридов на м/с Палатка

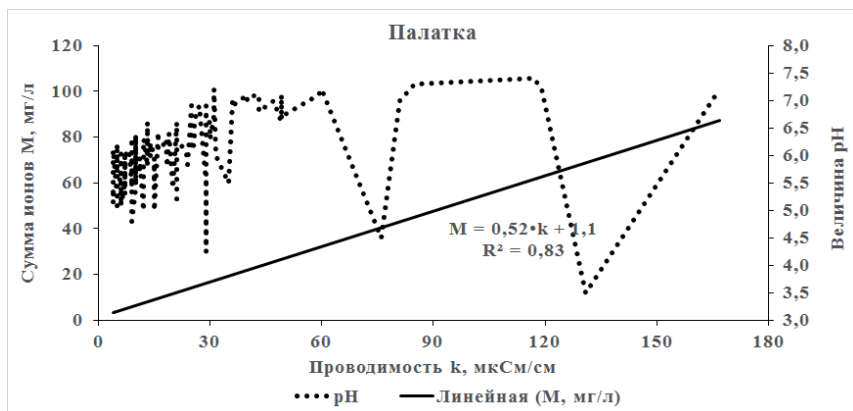


Рис. 183. Связь суммы ионов М и величины рН с проводимостью осадков к на м/с Палатка

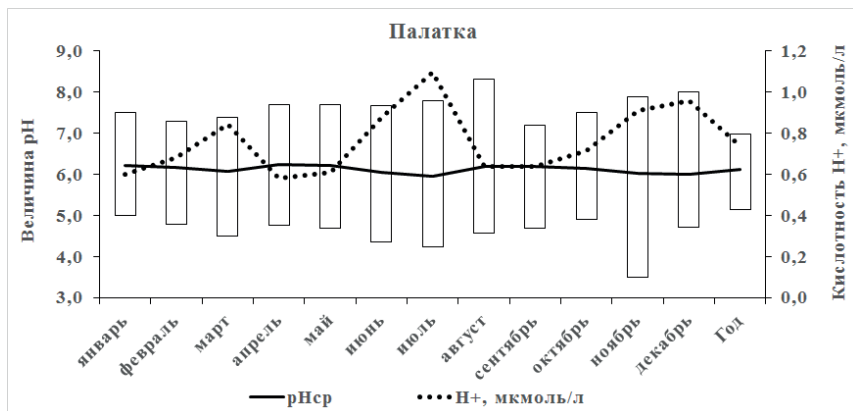


Рис. 184. Годовой ход средней величины рН с крайними значениями и тот же ход средней за месяц кислотности осадков, выраженной в мкмоль/л на м/с Палатка

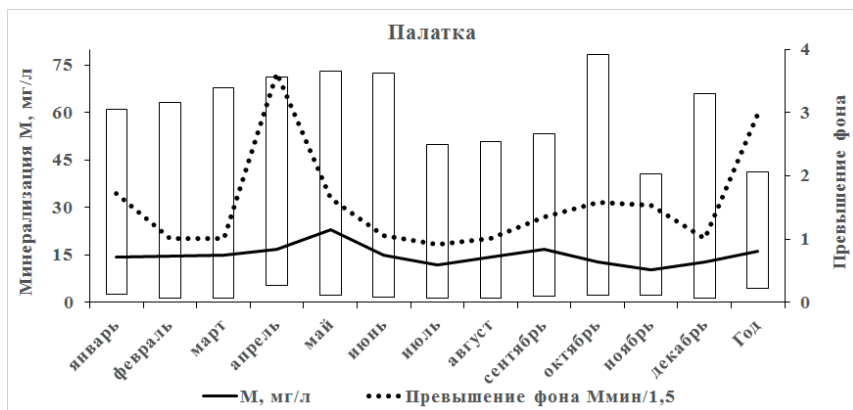


Рис. 185. Годовой ход средней за месяц суммы ионов М с крайними значениями и отклонения от условно фонового значения 1,5 мг/л на м/с Палатка

Последнее десятилетие на континентальных станциях Заполярья с региональным уровнем минерализации (до 15 мг/л) наблюдается небольшое повышение кислотности осадков, либо величина рН остается неизменной. Станции с понижающейся кислотностью осадков составляют примерно 15%. Наиболее чистые осадки выпадают в Европейском секторе. В годовом ходе повышенная кислотность осадков и пониженная сумма ионов характерны для тёплого периода, то есть в условиях интенсивного стаивания льда (около 100 сантиметров за год) в Северном Ледовитом океане и преимущественного переноса на сушу атмосферного воздуха.

Полярная станция СП-35

(Станции Северный полюс 35 и Ледовая база 35, июнь 2007 г — июль 2008 г)

Таблица 45. Содержание основных ионов и тяжёлых металлов в месячных осадках на станции Северный полюс

| Параметры | Месяц и год выпадения осадков | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------|------------------|-------|--------|---------|
| | X.07. | XI.07. | XII.07. | I.08. | II.08. | III.08. |
| SO_4^{2-} , мг/л | — | 1,7 | 2,0 | 3,2 | 2,3 | — |
| Cl ⁻ , мг/л | — | 24,9 | 29,4 | 47 | — | — |
| NO_3^- , мг/л | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,6 |
| HCO_3^- , мг/л | — | 1,7 | 0,3 | — | — | — |
| NH_4^+ , мг/л | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Na ⁺ , мг/л | 5,2 | 12,3 | 11,0 | 14,3 | 3,8 | — |
| K ⁺ , мг/л | — | 2,8 | 1,2 | 2,3 | 0,9 | — |
| Ca ²⁺ , мг/л | — | 1,8 | 2,5 | 4,6 | 2,0 | — |
| Mg ²⁺ , мг/л | — | 1,5 | 2,0 | 4,2 | 3,2 | — |
| M, мг/л | 6,4 | 47,5 | 49,5 | 76,6 | 13,2 | 0,86 |
| pH | 6,3 | 5,9 | 4,9 | 5,4 | 5,3 | 4,7 |
| k, мкСм/см | 46 | 95 | 112 | 166 | 46 | 32 |
| Fe, мкг/л | 74,6 | 118,4 | 134,3 | 71,54 | 195,4 | 198,9 |
| Zn, мкг/л | 85,4 | 46,585 | 35,19 | 37,61 | 169,65 | 60,22 |
| Ni, мкг/л | 64,0 | 48,9 | 110,1 | 36,94 | 244,7 | 71,55 |
| Mn, мкг/л | 6,65 | 6,03 | 5,83 | 7,64 | 5,81 | 18,67 |
| Cu, мкг/л | 3,74 | 5,71 | 4,46 | 4,21 | 2,58 | 7,63 |
| Pb, мкг/л | 5,51 | 0,33 | 1,21 | 1,32 | 0,69 | 2,14 |
| Cr, мкг/л | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 0,20 | 0,37 |
| Cd, мкг/л | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,009 | 0,01 | 0,009 |
| Органические кислоты | | | от 1 до 10 мкг/л | | | |

Таблица 46. Содержание основных ионов и тяжёлых металлов в единичных пробах осадков на станции Северный полюс.

| Параметры | Дата отбора пробы осадков, 2007 г | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 19.06. | 11.07. | 11.07. | 07.07. | 07.09. | 12.08. | 01.08. |
| SO_4^{2-} , мг/л | 0,05 | 0,07 | 0,44 | 0,03 | 0,37 | 0,09 | 0,13 |
| Cl ⁻ , мг/л | 0,21 | 1,06 | 0,74 | 0,57 | 0,78 | 0,71 | 0,57 |
| NO_3^- , мг/л | 0,04 | 0,14 | 0,06 | 0,04 | 0,30 | 0,20 | 0,60 |
| HCO_3^- , мг/л | 0,49 | — | 0,67 | 1,04 | 0,49 | 1,40 | — |
| NH_4^+ , мг/л | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,08 | 0,03 | 0,04 |
| Na^+ , мг/л | 0,08 | 0,60 | 0,30 | 0,30 | 0,41 | 0,70 | 0,39 |
| K^+ , мг/л | 0,00 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,09 | 0,05 |
| Ca^{2+} , мг/л | 0,19 | 0,67 | 0,53 | 0,49 | 0,49 | 0,28 | 0,55 |
| Mg^{2+} , мг/л | 0,03 | 0,11 | 0,10 | 0,05 | 0,09 | 0,06 | 0,09 |
| M, мг/л | 1,11 | 2,81 | 2,88 | 2,55 | 3,06 | 3,56 | 2,42 |
| q, мм | 6,0 | — | 7,9 | 0,2 | 6,3 | 4,1 | 4,4 |
| pH | 5,73 | 5,85 | 5,87 | 6,05 | 5,7 | 6,1 | 5,8 |
| k, мкСм/см | 3 | 9 | 7 | 5 | 8 | 7 | 8 |
| Fe, мкг/л | 14,69 | 40,88 | 29,05 | 26,83 | 20,69 | 69,02 | 28,28 |
| Zn мкг/л | 13,44 | 57,72 | 11,14 | 6,79 | 13,19 | 16,13 | 13,40 |
| Ni, мкг/л | 111,5 | 31,1 | 135,2 | 141,1 | 140,9 | 129,7 | 141 |
| Cu, мкг/л | 2,46 | 8,09 | 2,29 | 3,53 | 6,85 | 12,35 | 5,44 |
| Pb, мкг/л | 0,31 | 1,25 | 0,71 | 0,53 | 0,24 | 0,75 | 1,44 |
| Cr, мкг/л | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,06 |
| Cd, мкг/л | 0,014 | 0,015 | 0,012 | 0,009 | 0,001 | 0,001 | 0,06 |

Выводы

Минимальные природные показатели в Заполярье общих химических характеристик атмосферных осадков по исходным измерениям имеют значения: сумма ионов $M=0,6$ мг/л, величина $pH=3,2$ и эквивалентная электропроводность $k=3$ мкСм/см. Максимальные значения по всем станциям РФ иногда превышают показатели грунтовой и поверхностной воды. Абсолютный максимум, наблюдаемый также в Заполярье, в Норильске достигает: $M=650$ мг/л; величина $pH=8,1$ и $k=1290$ мкСм/см.

Обнаружены многими исследователями тренды климатических характеристик, в том числе, атмосферных осадков происходят в Заполярье на фоне современного глобального потепления воздуха примерно на $0,6$ °С от осредненной температуры за 1961-1990 гг. На указанных станциях минерализация равновесных осадков, в отличие от компонентов состава, сравнительно слабо реагирует на повышение количества осадков.

Выпадающие на поверхность Земли атмосферные осадки, как правило, имеют минерализацию и величину pH более низкие (чем выдержанные в течение нескольких суток) – это неравновесные осадки. В них продолжают идти обменные реакции в растворе и с компонентами атмосферного воздуха: кислородом, углекислым газом, аэрозолями и микропримесями. Значение pH_1 таких осадков формируется компонентами, исходными для сульфат- и нитрат-ионов, других главных анионов и катионов, но определяется для равновесных осадков, по-видимому, соотношением в атмосфере концентрации углекислого газа и слабых кислот. Величина pH_1 постоянно меньше равновесной pH_0 примерно в соотношении: $pH_1=0,8 \cdot pH_0+0,2$ при $R^2=0,77$ для недельных проб. При этом, равновесная кислотность осадков чаще всего совершенно безвредна для окружающей природной среды. На некоторых станциях наблюдается уменьшение со временем равновесной кислотности влажных выпадений. Исходя из этого, рост величины pH со временем, то есть уменьшение кислотности осадков, можно объяснить повышением запыленности воздуха, что мало вероятно в условиях возрастания влагосодержания и количества осадков, либо глобальным уменьшением содержания слабых кислот в атмосфере. В естественных природных условиях кажется вполне вероятным, что приземный слой воздуха, который осадки промывают, должен быть слабокислым ($pH \approx 5,5$), а пограничный слой, в котором осадки формируются – кислым с абсолютно минимальной величиной около $pH \approx 3,2$. При таком состоянии свободная атмосфера самостоятельно дезинфицируется от некоторых болезнетворных микроорганизмов, бактерий и вирусов.

АТЛАС ДИАГРАММ ХИМСОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СТАНЦИЯХ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА

Иллюстративный и табличный материал по временному ходу химического состава атмосферных осадков включает 12 фоновых и 7 региональных станций с низким уровнем концентрации основных компонентов. Фоновые станции входят в международную систему Глобальной службы атмосферы (ГСА). Для сравнения приводятся результаты измерений в нескольких других сельских пунктах. Результаты сетевых наблюдений охватывают периоды от 11 до 63 лет. Исходные измерения ХСО с одинаковым и различным режимом сбора осадков относятся к равновесной месячной, недельной или суточной сумме осадков. Рассматриваются и сопоставляются в основном средние за год временные характеристики 13 основных компонентов, сумма осадков и сумма органических кислот.

Предисловие

Как было сказано выше регулярным исследованиям химического состава атмосферных осадков положено начало в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова во время Международного геофизического года (МГГ) в 1957-1958 годах. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) уделяет большое внимание проблеме загрязнения окружающей среды и возможным последствиям этого явления. Выбросы в атмосферу от стационарных и подвижных источников распространяются на значительные расстояния и могут привести к глобальным изменениям состава атмосферы, что скажется на многих атмосферных процессах, составе почвы и в конечном итоге на изменении климата планеты [1-3, 8]. Поэтому ВМО поставило задачу – определить современный фоновый уровень загрязнения атмосферы и следить за этим уровнем с тем, чтобы выявить тенденцию дальнейших изменений. С этой целью была создана мировая сеть станций.

Фоновые станции разделены на две категории: глобальные (базовые) и региональные. Базовые станции рассматриваются как исследовательские, предназначенные для измерений любых атмосферных составляющих и подтверждения или опровержения длительных изменений в составе атмосферы, климата и погоды. В мире создано около 25 таких станций, расположенных в зоне альпийских лугов, крупных заповедников и на небольших островах; при этом на расстоянии не менее 100 км отсутствуют любые не природные источники загрязнения атмосферы.

На территории Российской Федерации базовые станции отсутствуют. В РФ открыты и регулярно ведут наблюдения 12 фоновых станций регионального уровня. Эти наблюдения призваны оценить длительные изменения в составе атмосферы, связанные с региональной практикой землепользования и других действий. Размещаются станции на расстоянии около 60 км от крупных источников промышленных выбросов, на лесных полянах, в заповедниках. Фоновые наблюдения были организованы на базе действующих метеорологических станций. Рекомендации по организации фоновых станций регламентированы «Рабочим руководством ВМО по методике отбора и анализа проб воздуха и осадков для определения их химических составляющих» (ВМО №299, 1971 г и последующими документами). В соответствии с этими рекомендациями в программу работ региональных фоновых станций входят определение характеристик спектральной прозрачности (или мутности) атмосферы и отбор проб атмосферных осадков для определения содержания химических компонентов. В «Рабочем руководстве» рекомендуются некоторые методические приемы для осуществления программы наблюдений, однако допускается использование и национальных методик, если они дают данные сравнимые с методиками ВМО.

В СССР и РФ принципы работы на региональных фоновых станциях шире, чем рекомендуемые ВМО. В дополнение к станциям, выбранным в сельской местности, подбираются парные станции в городских условиях, расположенные на различных расстояниях от сельских, т.е. используется пара станций «сельская-городская». Это позволяет оценить влияние и колебания загрязнения около промышленных центров на изменения состава воздуха во всём географическом районе.

Общее методическое руководство работой фоновых станций возложено на ГГО, которая определяет районы их расположения и выбирает местоположение. Родоначальниками в ГГО этих работ на сети стали: Селезнёва Е.С., Огнева Т.А., Петренчук О.П., Русина Е.Н., которые, не довольствуясь описанием, нередко ездили на места, чтобы убедиться в правильности выбора. Они стали первыми организаторами международных сравнений методик ВМО с отечественными.

В настоящее время такие сравнения проводятся регулярно с участием нескольких лабораторий Росгидромета. Приборы для химического анализа, а, следовательно, и методики измерений -- примерно одинаковые: иономеры, рН-метры, кондуктометры, эмиссионные и атомно-абсорбционные спектрофотометры, ионные хроматографы, реже масс-спектрометры.

Происхождению ХСО и различные варианты публикаций о временных и качественных изменениях химсостава осадков, облаков и аэрозолей посвящено ряд исследований сотрудников обсерватории. Работы указаны в первом разделе.

Сотрудникам лаборатории ГГО все методики химического анализа природной воды пришлось переделать и привести в соответствие с величиной и диапазоном концентрации компонента в атмосферных осадках. Введены были новые измерения. На Физическом факультете ЛГУ была собрана и передана затем в ГГО специальная спектрофотометрическая установка для определения в осадках концентрации натрия, калия, кальция и лития. Позже появились серийные пламенные фотометры. Лаборатория ГГО стала инициатором регулярного применения эмиссионного спектрографа для измерения концентрации в осадках магния, цинка и тяжёлых металлов. Химики-аналитики ГГО всегда отличались высоким профессиональным мастерством, который сохранился до настоящего времени.

До сих пор остаётся неоцененным вклад в эти работы наблюдателей метеостанций, которые нередко в дождь и снег отбирают на химанализ пробы осадков, а также химиков-аналитиков региональных УГМС. Своими замечаниями очень помогла нам М. А. Винник – сотрудница редакции журнала Климат и природа. Постоянная моральная поддержка и практические советы близких нам людей заслуживают вполне особую благодарность: А.Ф. Свистова, А.В. Соколов, Н.П. Талаш.

За период наблюдений около 60-ти лет все станции в виде обобщающих таблиц и графиков публикуются впервые. Описание и всю техническую работу выполнили Свистов П.Ф., Талаш С.С., Павлова М.Т. и Талаш А.С.

Образование облаков и атмосферных осадков

Из всех видов атмосферных осадков, в том числе росы, иней, изморози, жидкого и твердого налетов, в настоящей работе рассматриваются только жидкие и твердые осадки, выпадающие из облаков, то есть дождь и снег. При полной смене влагосодержания воздуха на Земле за 8-10 дней облака и осадки вбирают в себя многие вещества, содержащиеся в атмосфере в виде газов и аэрозолей. Фоновое содержание в атмосферных осадках сульфатов, нитратов, гидрокарбонатов, хлоридов, ионов аммония и металлов отражает количество вещества, поступившего в атмосферу с поверхности и из недр Земли. Надо полагать, что ХСО и в истории формирования атмосферы, осадочных пород и живого вещества на Земле принадлежит немаловажная роль [1-3, 8, 9]. При этом надежность временных характеристик о современных погодных и климатических изменениях во многом зависит от точности исходных измерений [5, 6]. Так выпадающие осадки, помимо ошибки сбора, постоянно имеют другой количественный и качественный состав, чем собранные за неделю или месяц. Приведенные значения общей минерализации и другие характеристики показывают наиболее высокое содержание примесей в осадках в тех же районах, где велика концентрация аэрозолей в свободной атмосфере. Изменяется не только количество примесей в осадках, но и соотношение компонентов. Внутриконтинентальные осадки имеют $Cl^-/Na^+ \approx 1$, а в прибрежной зоне это отношение близко к 1,8 (морская вода). Отношение SO_4^{2-}/Cl^- (для морской воды равно 0,14) в континентальных осадках достигает 2-3. Все подобные соотношения в настоящей работе относятся к исходным измерениям концентрации ионов. Следующими компонентами осадков в основном континентального происхождения следует назвать гидрокарбонат-ионы и нитраты, постоянными источниками которых считают оксиды углерода и азота, а также карбонатную пыль.

В природе атмосферные осадки играют основную роль в поступлении воды на земную поверхность, в увлажнении почвы, пополнении грунтовых вод и в самоочищении атмосферы от газообразных и аэрозольных примесей, в том числе от вирусов и болезнетворных микроорганизмов.

Метод радиоактивных индикаторов показал, что кислород, выделяемый растениями при фотосинтезе, принадлежит молекулам воды и, следовательно, осадки принимают участие в формировании кислородной атмосферы Земли. Влагооборот, наряду с теплообменом и циркуляцией воздуха, относится к главным факторам, формирующим погоду и климат на Земле. В своё время, успех классификации климатов А.И. Воейкова и В. Кеппена в большой мере был вызван доступностью и простотой исходных характеристик – месячных

температур и месячных сумм осадков, которые хотя и не определяли полностью границы природных зон, но увязывались с ними гораздо лучше других более сложных характеристик.

Более половины тепловой энергии, получаемой поверхностью океана, превращает в пар ежегодно такое количество воды, которое почти в 2 раза превышает суммарную массу всех озер мира и может покрыть планету слоем воды примерно в 1 метр. Считается, что годовое количество осадков в среднем на земном шаре составляет около 1000 мм (1000 литров на квадратный метр).

Основной причиной, вызывающей конденсацию молекул воды, является несоответствие количества содержащегося в воздухе пара термическому состоянию атмосферы. Существует несколько факторов, обуславливающих возникновение облаков и осадков. Влагосодержание (абсолютная влажность воздуха или число грамм воды в одном кубическом метре воздуха) свидетельствует о достаточных запасах водяного пара в атмосфере. Влагосодержание зависит от температуры воздуха и в основном подчиняется закономерностям её распределения как в пространстве, так и во времени. Годовой ход влагосодержания всюду аналогичен годовому ходу температуры. При прочих равных условиях осадки приблизительно пропорциональны абсолютной влажности, которая определяет их интенсивность. Отдельные измерения указывают на непосредственное влияние упругости водяного пара на химический состав осадков: при повышении содержания в атмосфере водяного пара минерализация осадков уменьшается, то есть загрязняющие вещества могут удаляться из воздуха с продуктами конденсации еще до выпадения осадков.

Относительная влажность воздуха показывает, насколько воздух далек от состояния насыщения (выражается в %). Она влияет не только на высоту, с которой начинается конденсация водяного пара в поднимающемся воздухе и выделение тепла конденсации, но и на условия испарения дождевых капель при прохождении через подоблачные слои воздуха. По наземным и аэрологическим наблюдениям выявлено наличие тенденции к повышению вероятности осадков с ростом температуры и связь вероятности выпадения осадков с предшествующей относительной влажностью. При относительной влажности 80-100% вероятность выпадения осадков колеблется от 40 до 60%. Все это относится к теплему периоду года (с апреля по октябрь). В холодный период значения относительной влажности нигде в России не бывают низкими. Расчеты показали, что на Европейской территории России до 2/3 летних осадков связано с влиянием испарения с поверхности материка Евразии. Некоторые специалисты считают влияние испарения с континента на влажность воздуха настолько существенным, что при отсутствии его

осадки практически бы не выпадали. Относительная влажность воздуха находится в прямой зависимости от его влагосодержания и в обратной – от температуры.

Восходящие движения воздуха, наличие которых связано с циркуляционными процессами. Их подразделяют на местные вертикальные потоки, возникающие под влиянием переноса теплого воздуха вверх в условиях неустойчивой стратификации атмосферы (распределение температуры воздуха с высотой) и вертикальные движения динамического происхождения, обусловленные, в конечном счете, также различиями температур, только в значительно более обширном районе. Ненасыщенный паром воздух при поднятии без притока тепла со стороны (адиабатически) охлаждается на $10^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Над уровнем конденсации скрытая теплота парообразования переходит в явную форму и задерживает это охлаждение. Средние вертикальные градиенты температуры в тропосфере становятся равными $5\text{-}6^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Любой объем воздуха, поднимающийся к верхней границе тропосферы, высота которой в теплых массах выше, чем в холодных, на всех широтах может охладиться до температуры минус $50\text{-}60^{\circ}\text{C}$. На определенном уровне водяной пар, содержащийся в воздухе, достигает состояния насыщения и превращается в капельки воды. Образуются облака. Существенное влияние на возникновение облаков оказывают горизонтальные переносы воздуха (адвекция влаги). Вероятность появления где-либо интенсивных восходящих потоков велика лишь для больших частей материка, в которых укладываются как антициклонические, так и циклонические области одновременно.

Для небольшой по площади территории пар при неблагоприятных условиях циркуляции легко будет пронестись мимо. В свою очередь, неблагоприятные условия увлажнения территории в состоянии парализовать действие циркуляции, например, в пустынях. Иначе дело обстоит при условиях торможения воздушной массы возвышенностями, через которые происходит переваливание воздушных масс или обтекание препятствия со стороны. Здесь всегда имеются мощные восходящие потоки и большие переносы влаги должны быть почти однозначны с положительными аномалиями осадков.

Наличие в воздухе ядер конденсации. Наименьшему числу частиц водяного пара, которым присущи свойства воды соответствует примерно 200 молекул, вероятность одновременного столкновения и слипания которых ничтожно мала. С другой стороны, такая капелька, имея диаметр менее $0,01$ микрона (10^{-6} см), мгновенно испарится из-за повышенной упругости пара над

искривленной поверхностью. В атмосферном воздухе самостоятельно может расти капля размером более 1 микрона (10^{-4} см).

Классические эксперименты в камерах с полной определенностью показывают, что в хорошо профильтрованном воздухе водные капельки не могут образоваться даже при значительном пересыщении (до 400%). В свободной атмосфере пересыщение едва достигает 100,2%. Поэтому приходится допустить, что в атмосферном воздухе постоянно присутствуют частицы, которые играют роль аккумулятора молекул воды по мере столкновения и удержания их, пока не произойдет конденсация в истинном смысле этого слова. Ядрами конденсации служат в основном частички гигроскопических солей, продукты сгорания и соединения, образующиеся при действии солнечного света на аммиак, оксиды серы и азота. Нейтральные пылевые частицы, по-видимому, играют вспомогательную роль. В действительности, частицы пыли в свободной атмосфере постоянно содержат заметные количества связанной воды.

Определенные выводы о природе ядер конденсации можно сделать на основе изучения химического режима осадков. Продолжительные осадки настолько сильно очищают подоблачные слои, что постепенно содержание в них различных компонентов становится очень низким и какое-то время остается постоянным. Параллельные измерения химического состава облачной воды показали их полную идентичность. Оказалось, общепринятые представления о природе ядер конденсации расходятся, по меньшей мере, с двумя экспериментальными фактами: а) выпадением осадков, сумма ионов в которых полностью *определяется только* содержанием углекислого газа в воздухе и б) присутствием в облаках капель, переохлажденных до -70°C . Современная теория объясняет поведение воды, водных растворов и коллоидных систем бесконечным многообразием их геометрической и энергетической структуры.

Коллоидальная неустойчивость облаков и образование осадков. Для образования осадков из сформировавшегося облака необходимо укрупнение содержащихся в нем капель. Закономерности, наблюдаемые при этих процессах, до сих пор до конца не изучены. Многие авторы считают обязательным для образования осадков предварительное переохлаждение облачных капель и наличие твердых частиц льда или изоморфных ему веществ. Возможность искусственно вызывать выпадение осадков из облаков при таких условиях доказана экспериментально. Вместе с тем, не исключается возможность образования дождя из не переохлаждённых облаков при отсутствии в них твердой фазы. Вопрос о том, насколько существенно влияние коллоидального строения облаков на процессы влагооборота и формирование

химического состава осадков окончательно не выяснен. При достаточно сильных восходящих потоках образование осадков происходит естественным порядком, а активные воздействия на облака в некоторых случаях лишь ускоряют процесс. Эти процессы могут иметь значение лишь в вопросах осаждения осадков из того или другого облака в определенной стадии его развития. Однако имеется одно «космическое» обстоятельство, заставляющее придавать вопросам механизма конденсации и коагуляции некоторое самостоятельное значение в определении качественного состава и количества осадков (рис. 186).

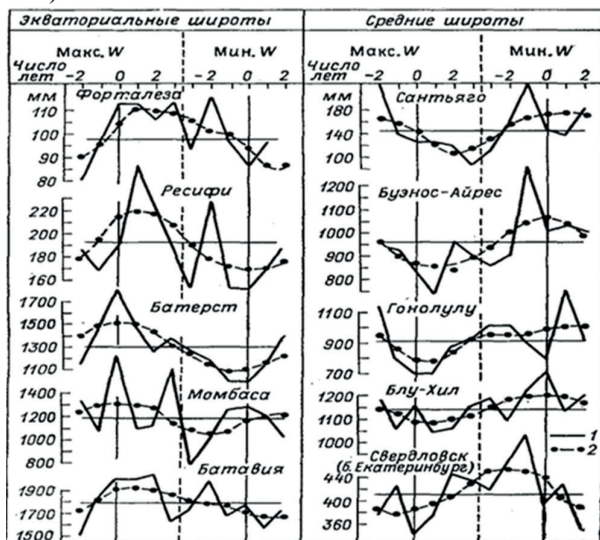


Рис. 186. Количество осадков (мм) в средних и экваториальных широтах в максимуме и минимуме числа солнечных пятен (W) за 1860-1917 гг. Krivolutsky, A. A., Kuminov, A. A., Vyushkova, T. Yu. 2005. Ionization of the atmosphere caused by solar protons and its influence on ozonosphere of the Earth during 1994 – 2003. J. Atmos. And Solar-Terr. Physics., 2005, vol. 67, pp. 105-117.

Характеристика основного химического состава осадков

Для каждой станции приводятся 6 типов рисунков с выбранным сочетанием 13 компонентов: сумма ионов M , проводимость k , величина pH , сумма осадков q и концентрация сульфат-ионов, хлорид-ионов, нитрат-ионов, гидрокарбонат-ионов, ионов аммония, натрия, калия, кальция, магния. Выбор сочетаний подсказали возможные природные ассоциации и некоторые выводы в работах [5-8]. Напомним, что в настоящей работе рассматриваются в основном станции с предельно низкими природными значениями ХСО.

Первые и последние рисунки для каждой станции показывают взаимную зависимость проводимости k , суммы ионов M , величины pH и преобладающего в сумме сульфат-иона SO_4^{2-} .

Доля суммы ионов в проводимости раствора в зависимости от кислотности составляет от 30 до 95%. На графиках временного хода показатели M и k ведут себя синхронно, иногда, со значительными отклонениями.

Далее дается временной ход в атмосферных осадках карбонатной системы атмосферного воздуха. Оксид углерода (IV) или диоксид углерода (CO_2) является кислотным оксидом и соответствующий ему гидроксид — угольная кислота H_2CO_3 — слабой кислотой. Растворимость в воде диоксида углерода 0,035 моль/л (1320 мг/л при 25°C). Если принять концентрацию газа CO_2 в воздухе 0,04 атм, то в пробах осадков его может быть до 52,8 мг/л. На станциях ГСА концентрация гидрокарбонат-иона может достигать 93 мг/л за счет карбонатной пыли.

Постоянными составляющими осадков являются ионы натрия и хлориды, которые, вероятнее всего, поступают в атмосферу с поверхности океана. По измерениям в конкретных пробах коэффициент связи между ними $r > 0,6$. По средним за год — коэффициент корреляции приводится на некоторых рисунках. Внутри континентальные станции имеют концентрацию хлоридов в пределах 1-3 мг/л, на прибрежных станциях содержание их резко возрастает.

Значимый тренд ионов в многолетнем ходе присутствует только на станциях Кольского полуострова. По измерениям в лаборатории ГГО нитраты и сульфаты образуются главным образом в результате преобразований, окислительно-восстановительных реакций оксидов азота, серы и аммиака. Процесс этот начинается в атмосфере и заканчивается в собранных осадках — для самого стабильного соединения сульфатов — примерно через 10 суток. Нитрат-ионы продолжают сохранять окислительные свойства. Постоянно при ливневых осадках и грозах наблюдаются повышенные содержания в них нитратов.

Отнесение ионов аммония в группу сульфат-ионов обусловлено широко распространенным мнением об образовании (во влажной атмосфере) гидросульфата аммония (NH_4HSO_4) прямо в воздухе. Рекомендуется NH_4OH (гидроксид аммония) записывать в виде $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Известно, что биосфера – это среда распространения, обитания и взаимодействия живых существ с неживой природой и между собой. Вещества биологического и геохимического происхождения, поступающие в атмосферу, содержат углерод, серу и азот. Среди углеродсодержащих веществ следует назвать метан, а также формальдегид и оксид углерода (CO) – продукты неполного окисления метана.

Они образуются в результате деструкции органических веществ под воздействием микробов, неполного сгорания веществ и в результате вулканической деятельности.

Газообразные серосодержащие соединения – диметилсульфид и сероводород – продукты жизнедеятельности бактерий и водорослей. Продуктом вулканической деятельности являются диоксид серы и карбонилсульфид (COS).

Аммиак и оксиды азота появляются в атмосфере благодаря также жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, электрическим разрядам при грозах. Как правило, вещества, поступающие в атмосферу естественным путем, выводятся из неё благодаря динамическому равновесию, существующему в биосфере, поэтому они не представляют опасности для жизнедеятельности. Изменения климата может привести к нарушению этого равновесия.

В табл. 47-49 используются средние за год величины и непосредственно измеренные значения, что более правильно. Так на фоновых станциях зависимость удельной электропроводности k от суммы ионов M получается более тесной по осадкам за неделю. Для остальных станций приводятся средние за год по месячным осадкам. Орография местности относится к важным факторам, влияющим на ХСО.

Исходя из принципа (по В.И. Вернадскому), что многолетние систематические наблюдения за любыми явлениями природы имеют самостоятельную ценность, приводим ранее установленную и несколько уточнённую обобщающую характеристику фоновых и некоторых других станций.

Работа включает 19 метеорологических станций, показанных в табл. 49 и расположенных на Европейской и Азиатской территориях по широте. Общие химические характеристики атмосферных осадков минерализация M , величина pH, проводимость k тесно взаимно связаны и подвергаются

постоянному влиянию других не измеренных компонентов воздуха и аэрозолей. Наиболее вероятная величина pH фоновых осадков образуется и поддерживается карбонатной системой воздуха. При этом вначале в растворе образуется гидрат $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который обратимо медленно превращается в H_2CO_3 .

Большая часть растворенного в осадках диоксида углерода находится в виде гидрата. Образующаяся H_2CO_3 диссоциирует до гидрокарбонат-аниона, а в более щелочной среде – до карбонат-иона. Устанавливается равновесие:



Угольная кислота существует только в растворе. Совокупность H_2CO_3 и гидрокарбонат-иона образует гидрокарбонатную буферную систему, которая при современном уровне концентрации диоксида углерода поддерживает величину pH осадков около 5,6-5,7.

Таблица 47. Коэффициент линейной связи r химических параметров в исходной, собранной за неделю суммы твердых осадков, Приокско-Тerrasный БЗ (N≈100)

| Состав снега | q, мм | SO_4^{2-} | Cl ⁻ | NO_3^- | HCO_3^- | NH_4^+ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | M | pH | k |
|---|-------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|------|-----|
| SO_4^{2-} , мг/л | -0,1 | 1,0 | | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ , мг/л | -0,3 | 0,2 | 1,0 | | | | | | | | | |
| NO_3^- , мг/л | -0,3 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | | | | | | | | |
| HCO_3^- , мг/л | -0,1 | -0,2 | 0,3 | -0,1 | 1,0 | | | | | | | |
| NH_4^+ , мг/л | -0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,0 | 1,0 | | | | | | |
| Na ⁺ , мг/л | -0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | | | | | |
| K ⁺ , мг/л | -0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | | | | |
| Ca ²⁺ , мг/л | -0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | | | |
| M, мг/л | -0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 1,0 | | |
| pH | -0,1 | -0,3 | 0,1 | -0,2 | 0,8 | -0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | |
| k, мкСм/см | -0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | -0,2 | 1,0 |
| ($\text{H}^+ + \sum \text{H}$), мкг/л | -0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | -0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | -0,7 | 0,5 |

Таблица 48. Коэффициент линейной связи r химических параметров в исходной, собранной за неделю суммы жидких осадков, Приокско-Тerrasный БЗ ($N \approx 100$)

| Состав дождя | q , мм | SO_4^{2-} | Cl ⁻ | NO_3^- | HCO_3^- | NH_4^+ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | M | pH | k |
|--------------------------|-------------|-------------|-----------------|----------|-----------|----------|-----------------|----------------|------------------|-----|------|-----|
| SO_4^{2-} , мг/л | -0,3 | 1,0 | | | | | | | | | | |
| Cl ⁻ , мг/л | -0,4 | 0,3 | 1,0 | | | | | | | | | |
| NO_3^- , мг/л | -0,3 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | | | | | | | | |
| HCO_3^- , мг/л | -0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | | | | | | | |
| NH_4^+ , мг/л | -0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | | | | | | |
| Na ⁺ , мг/л | -0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 1,0 | | | | | |
| K ⁺ , мг/л | -0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | | | | |
| Ca ²⁺ , мг/л | -0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 0,4 | 1,0 | | | |
| M, мг/л | -0,3 | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | | |
| pH | -0,1 | 0,0 | 0,1 | -0,1 | 0,7 | 0,4 | -0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | |
| k, мкСм/см | -0,3 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,1 | 1,0 |
| $(H^+ + \sum H)$, мкг/л | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | -0,2 | 0,0 | 0,0 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | -0,4 | 0,2 |

q — сумма атмосферных осадков, выпавших за неделю или в среднем за сутки, мм ($л/м^2$); r — коэффициент корреляции; изменяется от 0 до 1. При числе измерений больше 30 значимая величина $r=0,3$; $(H^+ + \sum H)$ — сумма концентраций активной кислоты и кислоты нерастворимой или слабо растворимой в воде, мкг/л.

Повышение в воздухе уровня концентрации CO_2 в 10 раз увеличит кислотность осадков до 5,0-5,2 ед. pH. Разрушают эту систему, также соединения углерода, слабые кислоты (вероятно, метановая и уксусная), постоянно присутствующие в атмосфере и хорошо растворимые в осадках. Метановая (муравьиная) $HCOOH$ и уксусная CH_3COOH кислоты со своими солями образуют свою более кислую буферную систему (3,2-3,8 ед.pH).

Гидрокарбонат-ионы оказываются единственными соединениями, которые принимают нулевые значения (ниже предела обнаружения) при постоянном присутствии заметного количества в атмосфере источников его образования — паров воды, оксида углерода (IV) и карбонатной пыли.

**Таблица 49. Некоторые характеристики станций
(по средним за год)**

| Станция | Градус | | Ж, м | Средняя за период | | | R ² | ΔT, лет |
|-------------------------------|--------|-------|------|-------------------|---------|---------------|----------------|---------|
| | с.ш. | в.д. | | pH | M, мг/л | Связь M↔k | | |
| Европейская территория | | | | | | | | |
| Янискоски | 69,0 | 28,8 | 99 | 5,2 | 6,2 | M≈0,3•k+1,1 | 0,30 | 18 |
| Падун | 68,6 | 31,8 | 61 | 4,9 | 7,4 | M≈0,3•k+2,4 | 0,32 | 30 |
| Краснощелье | 67,4 | 37,1 | 155 | 5,4 | 9,5 | M≈0,4•k+0,1 | 0,62 | 31 |
| Зареченск | 66,7 | 31,4 | 124 | 5,4 | 6,6 | M≈0,5•k-0,9 | 0,59 | 31 |
| Усть-Вымь | 62,2 | 50,4 | 106 | 5,7 | 10,5 | M≈0,5•k+2,1 | 0,42 | 63 |
| Воейково | 59,9 | 30,7 | 72 | 5,5 | 10,7 | M≈0,4•k+0,6 | 0,76 | 64 |
| Пр-Террасный* | 54,9 | 37,8 | 166 | 5,5 | 7,3 | M≈0,4•k+0,2 | 0,91 | 38 |
| Воронежский* | 51,9 | 39,4 | 156 | 5,5 | 13 | M≈0,5•k-0,9 | 0,84 | 31 |
| Кавказский* | 43,7 | 40,2 | 465 | 5,7 | 8,2 | M≈0,4•k+1,1 | 0,56 | 40 |
| Шаджатмаз | 43,7 | 42,7 | 2070 | 6,3 | 17,9 | M≈0,6•k+0,3 | 0,88 | 63 |
| Азиатская территория | | | | | | | | |
| Тикси | 71,6 | 128,9 | 6 | 6,4 | 36,5 | M≈0,5•k+0,6 | 0,95 | 21 |
| Уренгой | 66,0 | 78,4 | 40 | 5,9 | 11,6 | M≈0,3•k+4,1 | 0,44 | 32 |
| Туруханск | 65,8 | 87,9 | 38 | 5,8 | 8,4 | M≈0,5•k-0,2 | 0,77 | 59 |
| Памятная | 56,0 | 65,7 | 66 | 5,9 | 17,0 | M≈0,6•k-0,4 | 0,86 | 34 |
| Хужир | 53,2 | 107,3 | 487 | 6,3 | 13,3 | M≈0,5•k+0,7 | 0,80 | 43 |
| Яйлю | 51,8 | 87,6 | 491 | 5,8 | 5,9 | M≈0,6•k+0,6 | 0,90 | 24 |
| Хамар-Дабан | 51,5 | 103,6 | 1500 | 6,4 | 13,6 | M≈0,6•k-0,8 | 0,96 | 59 |
| Терней* | 45,0 | 136,6 | 51 | 5,7 | 11,0 | M≈0,5•k-0,8 | 0,93 | 38 |
| Приморская | 43,6 | 132,2 | 84 | 5,8 | 12,5 | **M≈0,5•k+0,1 | 0,99 | 11 |

*Приокско-Террасный, Воронежский, Кавказский биосферные заповедники (БЗ); Ж – высота над уровнем моря, м; R² - коэффициент детерминации, который получается путем простого возведения в квадрат коэффициента корреляции r (r в формуле M≈ r•k + c). R² — получены по исходным измерениям. Умножив величину R² на 100 получим, в какой мере изменчивость величины M объясняется поведением величины k (проводимость в мкСм/см), %; ΔT – период наблюдений, лет.

Карбонат- и гидрокарбонат-ионы, а также соединения типа H₂O•CO₂ распадаются и равновесие осадки H₂O↔CO₂ воздуха нарушается. Все ионы, которые присутствуют в атмосферных осадках и оказывают влияние на их кислотность ниже или выше изолинии 5,7 фактически действуют соответственно в качестве кислот или оснований различной силы. Значению pH=7,0 соответствует нейтральная среда (рис.1 Приложения I).

**Таблицы и диаграммы по станциям
Европейская территория РФ
Усть-Вымь**

**Таблица 50. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Усть-Вымь, 1958-2020 гг**

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 538,1 | 10,5 | 5,7 | 20,2 |
| Стандартная ошибка | 13,4 | 0,3 | 0,03 | 0,5 |
| Медиана | 539,1 | 10,7 | 5,7 | 20,2 |
| Мода | — | — | 5,9 | 21,3 |
| Стандартное отклонение | 106,3 | 2,6 | 0,3 | 4,1 |
| Дисперсия выборки | 11292 | 6,8 | 0,1 | 16,6 |
| Экссесс | 0,7 | 0,9 | 0,01 | 0,2 |
| Асимметричность | 0,0 | 0,7 | 0,1 | 0,2 |
| Интервал | 543,2 | 12,7 | 1,3 | 21,0 |
| Минимум | 291,3 | 6,1 | 5,0 | 11,5 |
| Максимум | 834,5 | 18,8 | 6,3 | 32,5 |
| Счет | 63 | 63 | 63 | 63 |
| Уровень надежности (95%) | 26,8 | 0,7 | 0,1 | 1,0 |

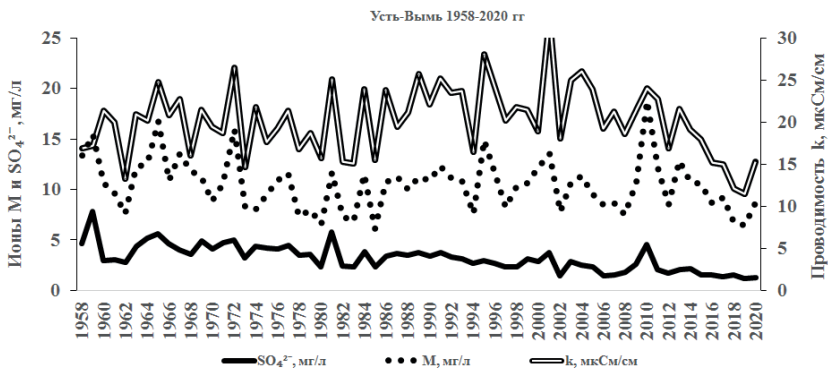


Рис. 187. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Усть-Вымь

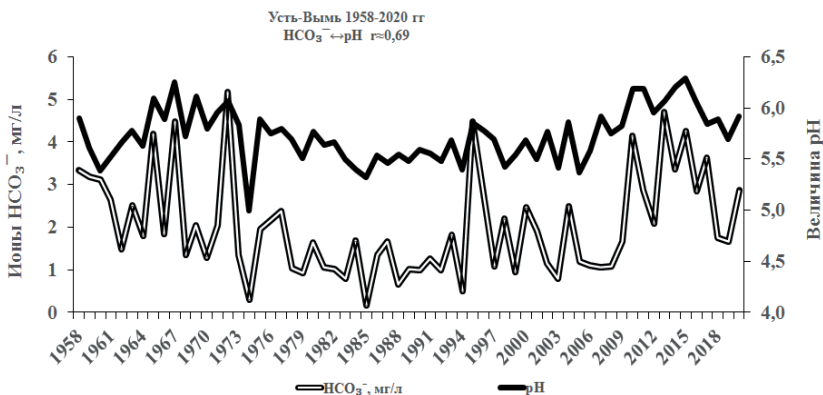


Рис. 188. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Усть-Вымь

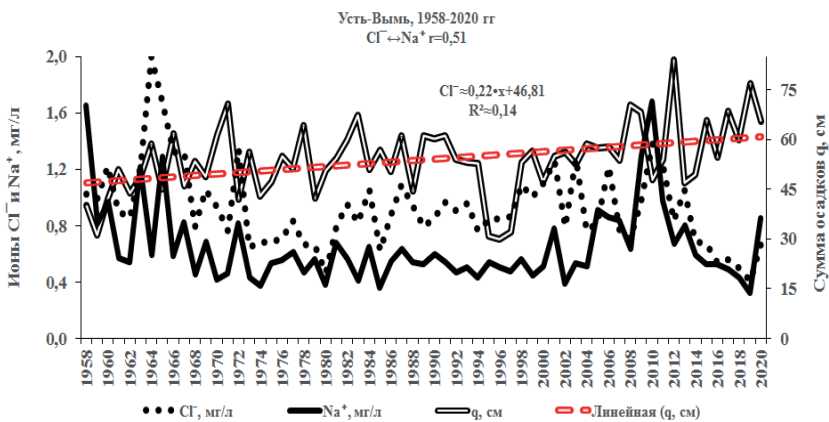


Рис. 189. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Усть-Вымь

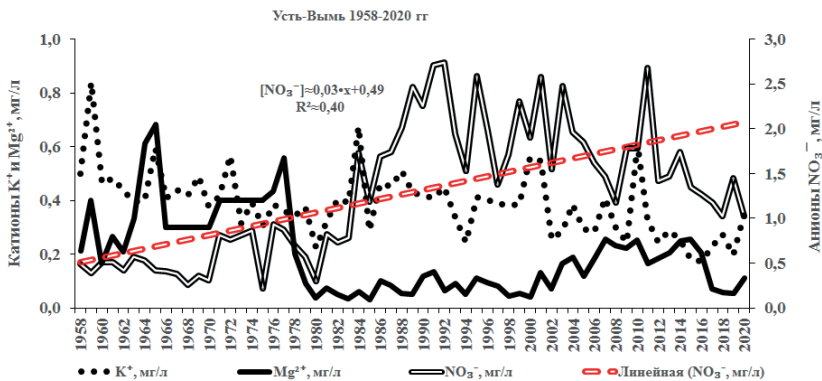


Рис. 190. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с. Усть-Вымь

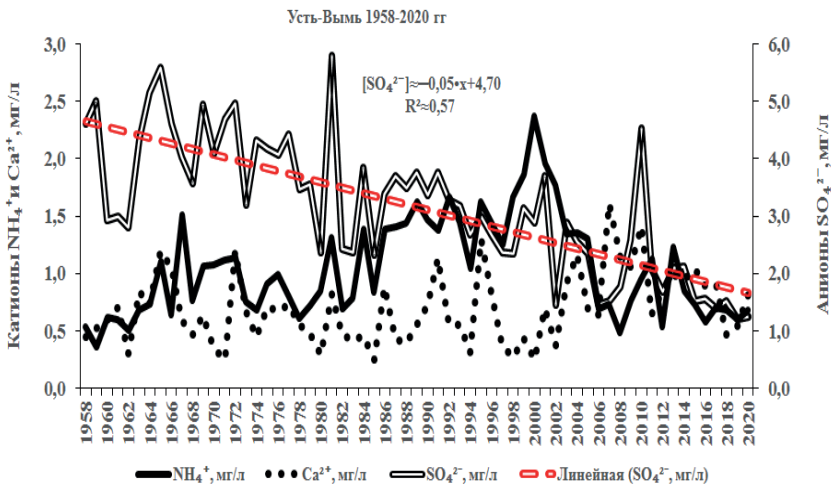


Рис. 191. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-иона SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Усть-Вымь

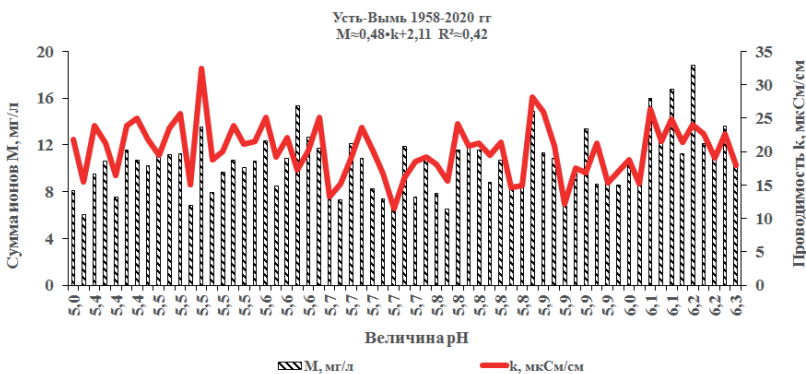


Рис. 192. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Усть-Вымь

Таблица 51. Описательная статистика средних за год значений на м/с Усть-Вымь, 1958-1987 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | рН | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 518,2 | 10,5 | 5,7 | 19,5 |
| Стандартная ошибка | 16,3 | 0,5 | 0,05 | 0,6 |
| Медиана | 509,7 | 10,8 | 5,7 | 19,4 |
| Мода | — | — | — | 21,3 |
| Стандартное отклонение | 89,2 | 2,8 | 0,3 | 3,4 |
| Дисперсия выборки | 7962 | 7,7 | 0,1 | 11,8 |
| Экссес | -0,1 | -0,3 | 0,7 | -0,8 |
| Асимметричность | 0,04 | 0,4 | -0,3 | 0,2 |
| Интервал | 393,8 | 10,7 | 1,3 | 13,2 |
| Минимум | 311,9 | 6,1 | 5,0 | 13,3 |
| Максимум | 705,7 | 16,7 | 6,3 | 26,4 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95%) | 33,3 | 1,0 | 0,1 | 1,3 |

**Таблица 52. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Усть-Вышь, 1988-2020 гг**

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 556,3 | 10,4 | 5,8 | 20,9 |
| Стандартная ошибка | 20,6 | 0,4 | 0,04 | 0,8 |
| Медиана | 550,1 | 10,6 | 5,7 | 21,5 |
| Мода | — | — | — | — |
| Стандартное отклонение | 118,1 | 2,5 | 0,3 | 4,5 |
| Дисперсия выборки | 13951 | 6,1 | 0,1 | 20,4 |
| Экссесс | 1,1 | 3,0 | -0,7 | 0,4 |
| Асимметричность | -0,3 | 1,2 | 0,4 | 0,1 |
| Интервал | 543,2 | 12,3 | 0,9 | 21,0 |
| Минимум | 291,3 | 6,5 | 5,4 | 11,5 |
| Максимум | 834,5 | 18,8 | 6,3 | 32,5 |
| Счет | 33 | 33 | 33 | 33 |
| Уровень надежности (95%) | 41,9 | 0,9 | 0,1 | 1,6 |

Воейково

В 1944 году п. Сельцы (под Ленинградом) передаётся ГГО для возрождения отраслевых научных подразделений и создания новой экспериментальной базы. К 100-летию Обсерватории в 1949 году его переименовывают в Воейково - именем великого русского климатолога, географа и путешественника Александра Ивановича Воейкова (1842-1916 гг). Одной из первых здесь открывается метеорологическая станция (м/с), организатором и первым начальником которой стала Митина Мария Михайловна. Воспитанница смольнинского института оказалась прекрасным организатором, владела несколькими языками. Наиболее славные страницы этого подразделения ГГО относятся к периоду её организации и становления. Физико-географическое положение и орографические особенности окружающего ландшафта станции имеют важное значение для её микроклиматических характеристик. В частности, несмотря на преобладание здесь западного переноса, сумма осадков за год в Воейково на 80% выше чем в Санкт-Петербурге. Посёлок Воейково находится на юго-восточных склонах Колтушских высот, откуда открывается вид на покрытую в основном хвойным лесом северо-восточную, восточную и юго-восточную части Приневской низменности. Химический состав влажных выпадений и

аэрозолей из этого сектора остаётся постоянным на большом протяжении следования фронтальных осадков.

Атмосферные осадки, которые поступают с юго-западных, западных, северо-западных направлений, различаются по количеству, продолжительности и типу и составу. Северо-западное направление представляет собой череду возвышенностей и котловин (до 27 м); западное и южное — ровную поверхность Финского залива и приневского понижения. При фронтальных осадках эти ландшафтные особенности влияют на количество и характер осадков.

В п. Воейково с 2001 года работает филиал немецкой гимназии «Петершуле». Вблизи базы ГГО располагается магнитно-ионосферная обсерватория петербургского отделения Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), ранее входившая в состав ГГО. В августе 1991 года в Воейково открыт Институт радарной метеорологии ООО «ИРАМ». Основной продукцией этого предприятия являются современные технологии метеорологического обеспечения различных отраслей народного хозяйства. В 2006 году «ИРАМ» признан лучшим инновационным предприятием области. Действует православная церковь святого Николая Чудотворца. В 2018 г метеостанция ГГО в п. Воейково признан полигоном ВМО по метеорологическим, актинометрическим и озонметрическим наблюдениям. В мире существует ещё восемь подобных полигонов.

Таблица 53. Описательная статистика средних за год значений на м/с Воейково, 1958-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 712,4 | 10,7 | 5,5 | 24,6 |
| Стандартная ошибка | 13,7 | 0,4 | 0,04 | 0,7 |
| Медиана | 703,2 | 10,2 | 5,5 | 24,6 |
| Мода | 748,5 | — | 5,2 | 23,8 |
| Стандартное отклонение | 109,4 | 3,0 | 0,3 | 5,8 |
| Дисперсия выборки | 11967 | 9,1 | 0,1 | 33,5 |
| Экцесс | 0,6 | 1,9 | -1,0 | 0,3 |
| Асимметричность | 0,5 | 1,0 | 0,1 | 0,1 |
| Интервал | 569,9 | 16,6 | 1,0 | 28,2 |
| Минимум | 496,9 | 5,0 | 5,0 | 10,3 |
| Максимум | 1066,8 | 21,7 | 6,0 | 38,5 |
| Счет | 63 | 63 | 63 | 63 |
| Уровень надежности (95%) | 27,3 | 0,8 | 0,1 | 1,4 |

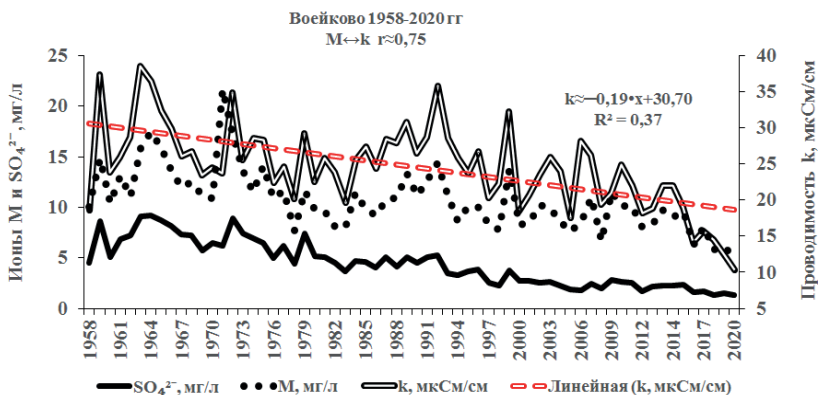


Рис. 193. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^- , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Воейково

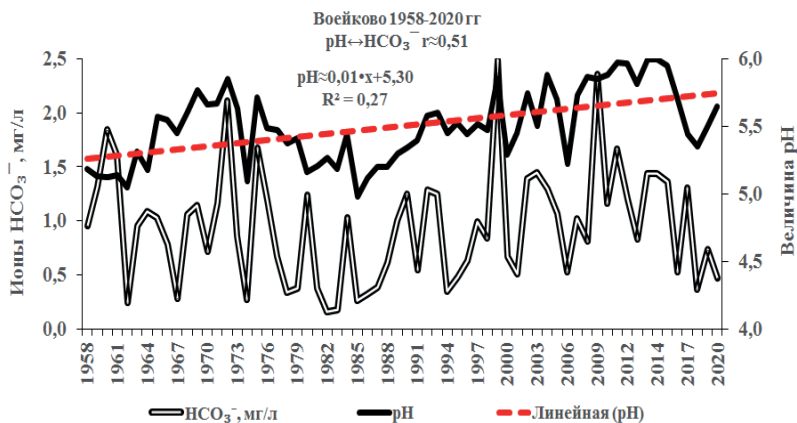


Рис. 194. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Воейково

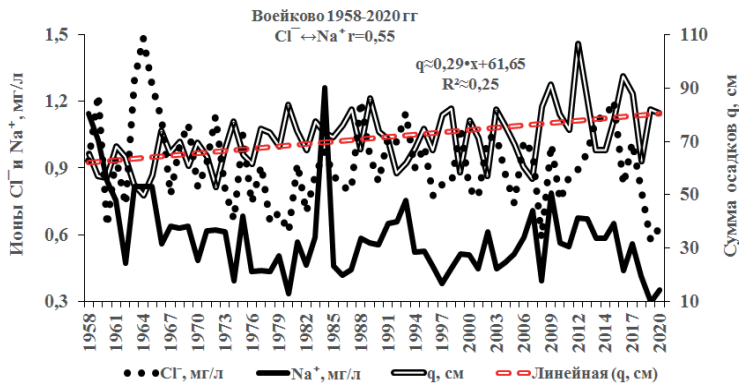


Рис. 195. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Воейково

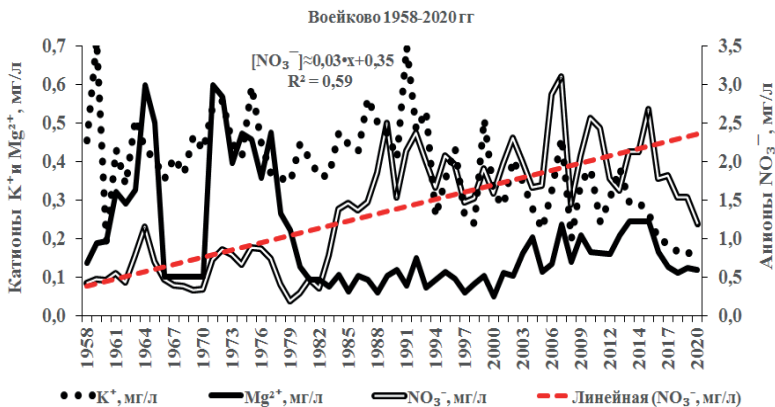


Рис. 196. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с. Воейково

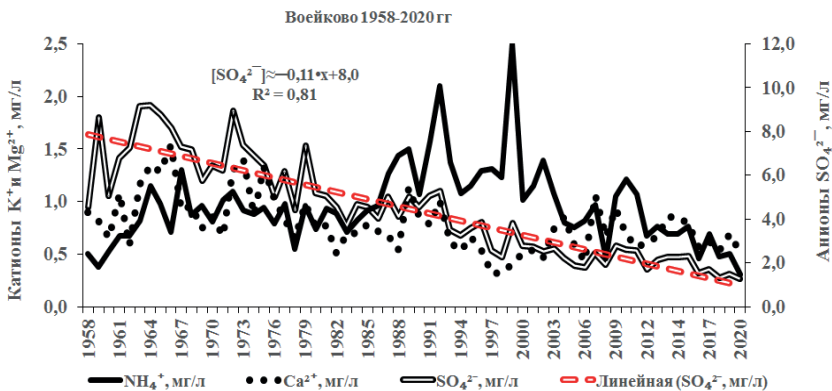


Рис. 197. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Воейково

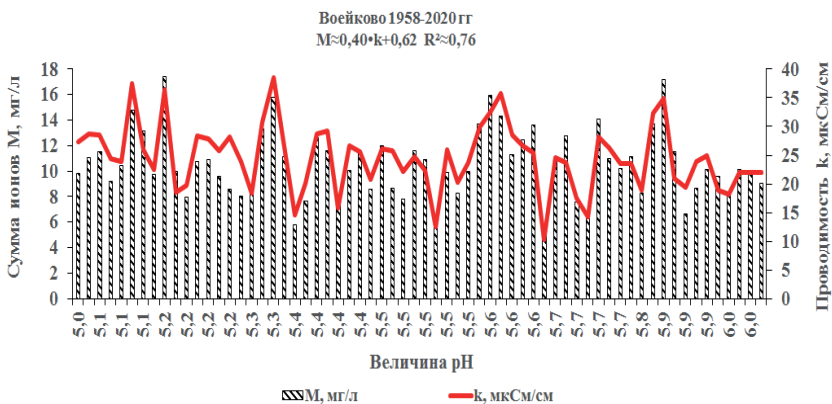


Рис. 198. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной pH и проводимостью k на м/с Воейково

**Таблица 54. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Воейково, 1958-1987 гг**

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 673,8 | 12,2 | 5,4 | 26,9 |
| Стандартная ошибка | 15,7 | 0,6 | 0,04 | 0,9 |
| Медиана | 673,9 | 11,5 | 5,3 | 25,9 |
| Мода | — | — | — | 23,8 |
| Стандартное отклонение | 85,9 | 3,1 | 0,2 | 5,0 |
| Дисперсия выборки | 7373,7 | 9,9 | 0,1 | 25,0 |
| Экссесс | -0,5 | 1,6 | -1,1 | 0,4 |
| Асимметричность | -0,2 | 1,1 | 0,3 | 0,8 |
| Интервал | 340,1 | 14,0 | 0,9 | 19,9 |
| Минимум | 496,9 | 7,7 | 5,0 | 18,6 |
| Максимум | 837,0 | 21,7 | 5,9 | 38,5 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95%) | 32,1 | 1,2 | 0,1 | 1,9 |

**Таблица 55. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Воейково, 1988-2020 гг**

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 746,4 | 9,4 | 5,6 | 22,6 |
| Стандартная ошибка | 20,2 | 0,4 | 0,04 | 1,0 |
| Медиана | 745,4 | 9,3 | 5,6 | 22,1 |
| Мода | 669,1 | — | 6,0 | 22,0 |
| Стандартное отклонение | 117,6 | 2,2 | 0,2 | 5,7 |
| Дисперсия выборки | 13820 | 5,0 | 0,1 | 33,0 |
| Экссесс | 0,2 | -0,1 | -1,2 | -0,1 |
| Асимметричность | 0,5 | 0,3 | 0,05 | 0,01 |
| Интервал | 506,2 | 9,3 | 0,8 | 25,4 |
| Минимум | 560,6 | 5,0 | 5,2 | 10,3 |
| Максимум | 1066,8 | 14,3 | 6,0 | 35,8 |
| Счет | 33 | 33 | 33 | 33 |
| Уровень надежности (95%) | 41,0 | 0,8 | 0,1 | 2,0 |

Приокско-Тerrasный БЗ

Приокско-Тerrasный государственный заповедник был создан в 1945 г как один из пяти участков в составе Московского государственного заповедника и становится самостоятельным в 1948 г. На территории заповедника преобладают сосновые боры, которые вполне заслуженно считаются его символом. Они занимают около трети всей площади, покрытой лесами. Вторыми по распространенности являются березовые леса. Сбор осадков на химический анализ проводится с 1983 г. По результатам регулярных почти 40-летних наблюдений за химическим составом атмосферных осадков территория относится к одной из самых экологически чистых в Российской Федерации.

Таблица 56. Описательная статистика средних за год значений на м/с Приокско-Тerrasный БЗ, 1983-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 628,2 | 7,3 | 5,5 | 16,3 |
| Стандартная ошибка | 17,9 | 0,4 | 0,05 | 0,9 |
| Медиана | 623,4 | 6,7 | 5,4 | 14,4 |
| Мода | — | — | 5,3 | 13,1 |
| Стандартное отклонение | 110,5 | 2,5 | 0,3 | 5,5 |
| Дисперсия выборки | 12220 | 6,4 | 0,1 | 30,5 |
| Экссесс | -0,2 | 3,4 | -1,2 | 1,9 |
| Асимметричность | 0,1 | 1,6 | 0,3 | 1,5 |
| Интервал | 486,4 | 12,5 | 0,9 | 24,9 |
| Минимум | 407,6 | 4,1 | 5,1 | 9,3 |
| Максимум | 894,0 | 16,6 | 6,0 | 34,3 |
| Счет | 38 | 38 | 38 | 38 |
| Уровень надежности (95%) | 36,3 | 0,8 | 0,1 | 1,8 |

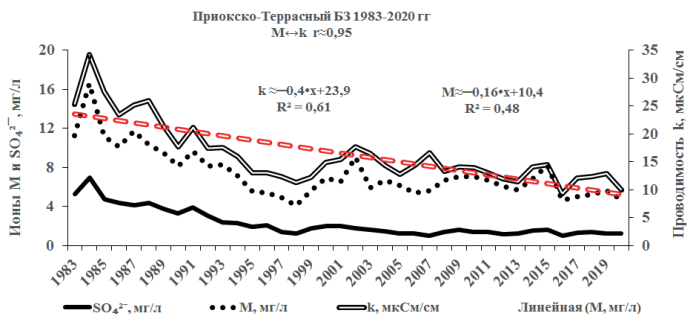


Рис. 199. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Приокско-Тerrasный БЗ

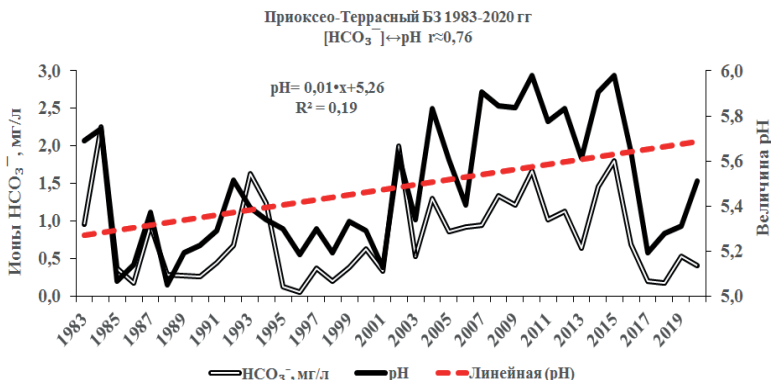


Рис. 200. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO₃⁻ в осадках на м/с Приокско-Тerrasный БЗ

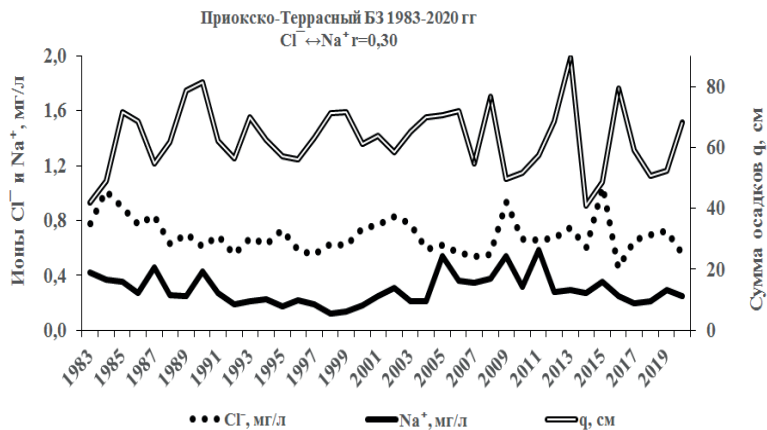


Рис. 201. Временные изменения концентрации ионов натрия Na⁺, хлорид-ионов Cl⁻ и суммы осадков q на м/с Приокско-Тerrasный БЗ

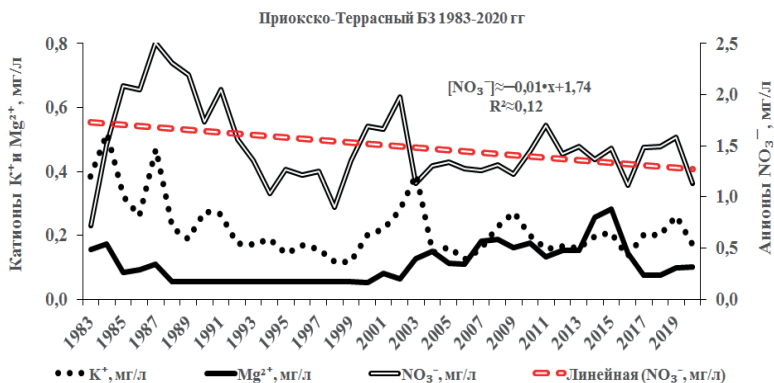


Рис. 202. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Приокско-Тerrasный БЗ

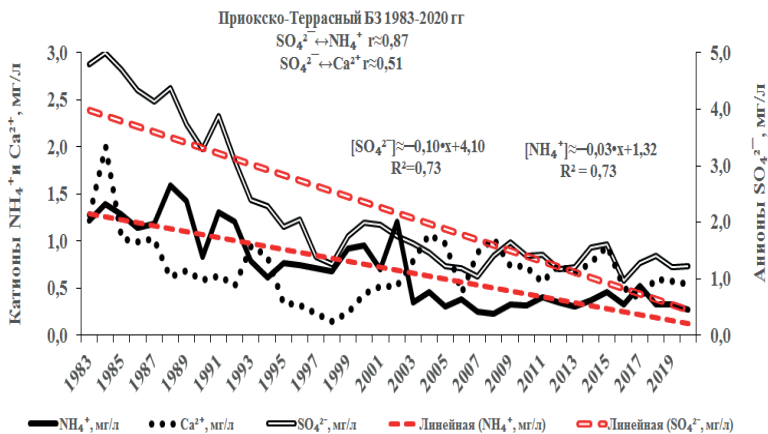


Рис. 203. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Приокско-Тerrasный БЗ.



Рис. 204. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью k на м/с Приокско-Тerrasный БЗ

Таблица 57. Описательная статистика средних за год значений в пробах осадков на м/с Приокско-Тerrasный БЗ, 1983-2002 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | рН | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 630,7 | 8,5 | 5,3 | 19,1 |
| Стандартная ошибка | 21,4 | 0,7 | 0,04 | 1,4 |
| Медиана | 623,4 | 8,2 | 5,3 | 17,6 |
| Мода | — | — | 5,3 | 13,1 |
| Стандартное отклонение | 95,7 | 3,0 | 0,2 | 6,2 |
| Дисперсия выборки | 9155 | 8,7 | 0,04 | 38,3 |
| Экссесс | 0,2 | 1,4 | 0,2 | 0,1 |
| Асимметричность | -0,1 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |
| Интервал | 394,5 | 12,5 | 0,7 | 22,9 |
| Минимум | 418,8 | 4,1 | 5,1 | 11,3 |
| Максимум | 813,3 | 16,6 | 5,7 | 34,3 |
| Счет | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Уровень надежности (95%) | 44,8 | 1,4 | 0,1 | 2,9 |

Таблица 58. Описательная статистика средних за год значений в пробах осадков на м/с Приокско-Террасный БЗ, 2003-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 625,4 | 6,1 | 5,7 | 13,2 |
| Стандартная ошибка | 30,1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 |
| Медиана | 622,5 | 6,0 | 5,7 | 13,1 |
| Стандартное отклонение | 127,9 | 0,9 | 0,3 | 1,9 |
| Дисперсия выборки | 16350 | 0,9 | 0,1 | 3,6 |
| Экссесс | -0,5 | -0,1 | -1,2 | 0,3 |
| Асимметричность | 0,3 | 0,4 | -0,4 | -0,2 |
| Интервал | 486,4 | 3,6 | 0,8 | 7,3 |
| Минимум | 407,6 | 4,6 | 5,2 | 9,3 |
| Максимум | 894,0 | 8,2 | 6,0 | 16,6 |
| Счет | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Уровень надежности (95%) | 63,6 | 0,5 | 0,1 | 0,9 |

Воронежский БЗ

Таблица 59. Описательная статистика средних за год значений на м/с Воронежский БЗ, 1990-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 560,4 | 13,0 | 5,5 | 26,7 |
| Стандартная ошибка | 18,6 | 1,0 | 0,1 | 1,7 |
| Медиана | 578,3 | 11,6 | 5,5 | 24,7 |
| Мода | — | — | 4,9 | — |
| Стандартное отклонение | 103,5 | 5,4 | 0,4 | 9,5 |
| Дисперсия выборки | 10712 | 29,1 | 0,2 | 90,4 |
| Экссесс | -1,1 | 6,1 | -1,0 | 3,1 |
| Асимметричность | -0,2 | 2,3 | -0,2 | 1,7 |
| Интервал | 354,5 | 25,1 | 1,7 | 40,6 |
| Минимум | 378,3 | 8,0 | 4,6 | 15,8 |
| Максимум | 732,8 | 33,1 | 6,3 | 56,3 |
| Счет | 31 | 31 | 31 | 31 |
| Уровень надежности (95%) | 38,0 | 2,0 | 0,2 | 3,5 |

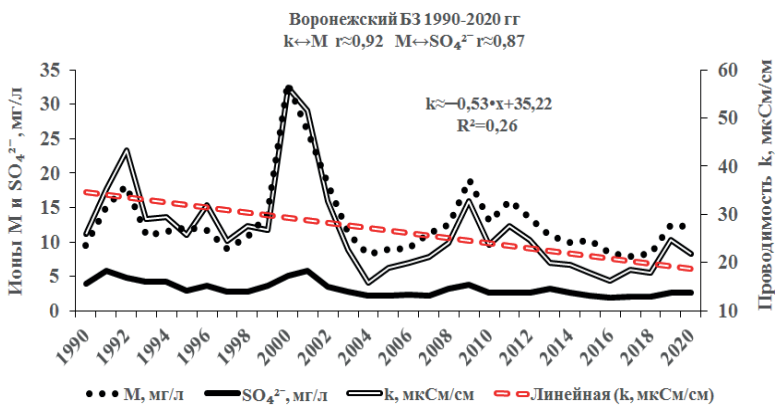


Рис. 205. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Воронежский БЗ

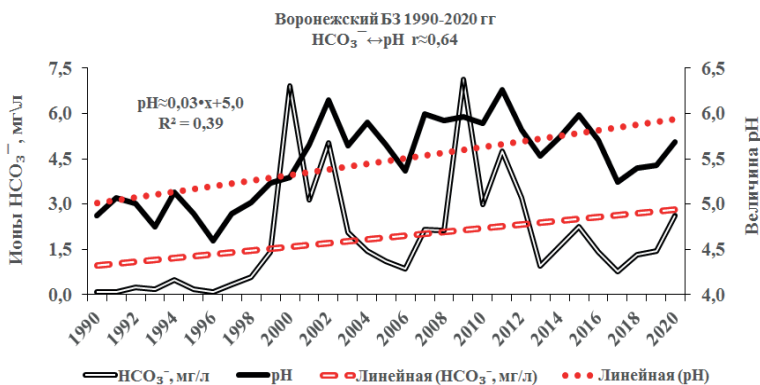


Рис. 206. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Воронежский БЗ.

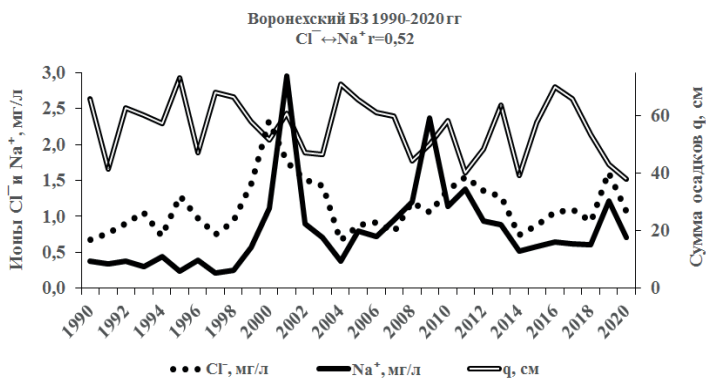


Рис. 207. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Воронежский БЗ.

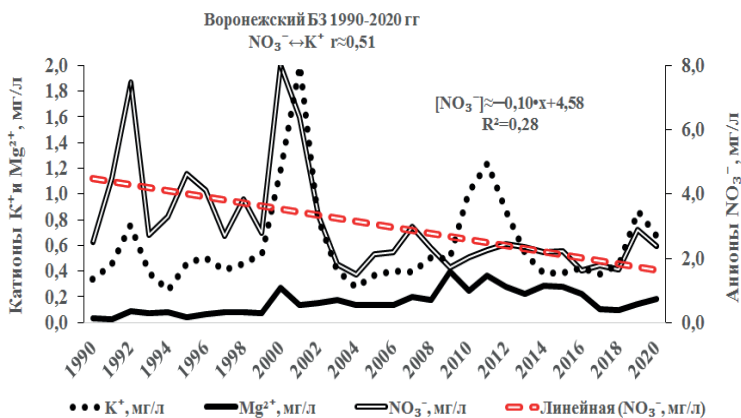


Рис. 208. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Воронежский БЗ.

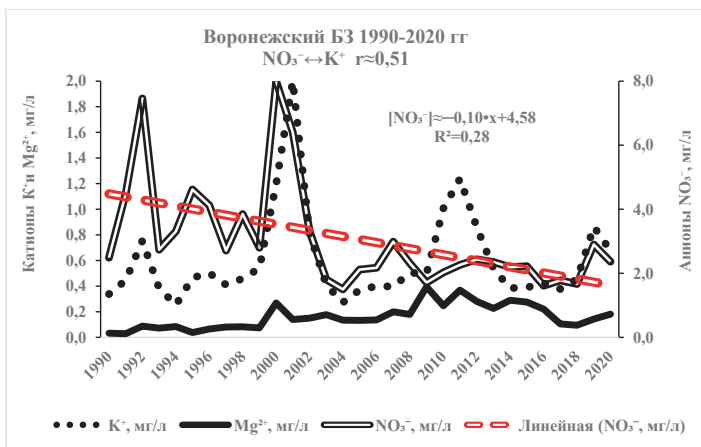


Рис. 209. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Воронежский БЗ.

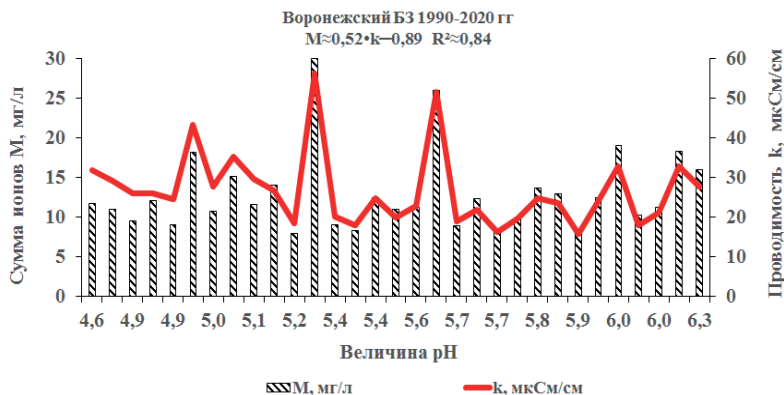


Рис. 210. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной pH и проводимостью k на м/с Воронежский БЗ

Кавказский БЗ

Таблица 60. Описательная статистика средних за год значений на м/с Кавказский БЗ, 1981-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 1971 | 8,2 | 5,7 | 16,6 |
| Стандартная ошибка | 57,1 | 0,4 | 0,1 | 0,8 |
| Медиана | 1934 | 7,6 | 5,7 | 15,5 |
| Мода | — | — | 5,4 | 13,8 |
| Стандартное отклонение | 360,8 | 2,8 | 0,3 | 4,8 |
| Дисперсия выборки | — | 7,6 | 0,1 | 23,1 |
| Эксцесс | -0,7 | 1,3 | -1,0 | 1,6 |
| Асимметричность | 0,0 | 1,0 | 0,2 | 1,3 |
| Интервал | 1397 | 12,9 | 1,2 | 22,4 |
| Минимум | 1302 | 3,7 | 5,1 | 9,1 |
| Максимум | 2699 | 16,6 | 6,3 | 31,5 |
| Счет | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Уровень надежности (95%) | 115,4 | 0,9 | 0,1 | 1,5 |

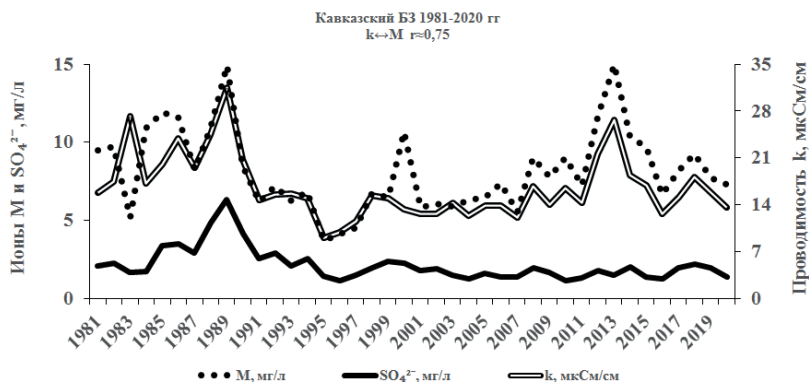


Рис. 211. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Кавказский БЗ.

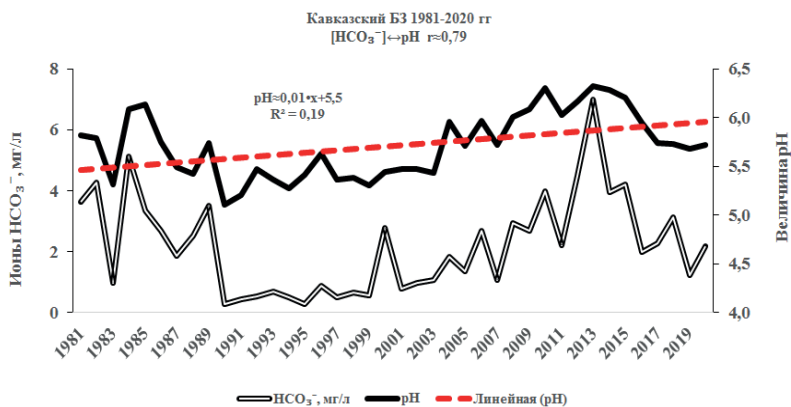


Рис. 212. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO₃⁻ в осадках на м/с Кавказский БЗ.

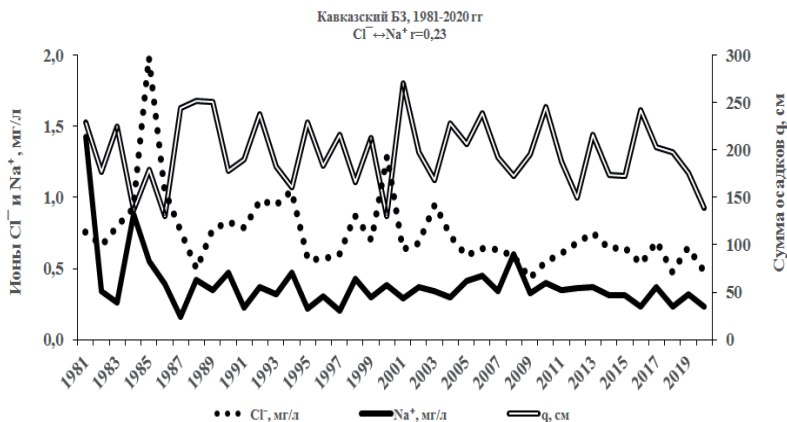


Рис. 213. Временные изменения концентрации ионов натрия Na⁺, хлорид-ионов Cl⁻ и суммы осадков q на м/с Кавказский БЗ.

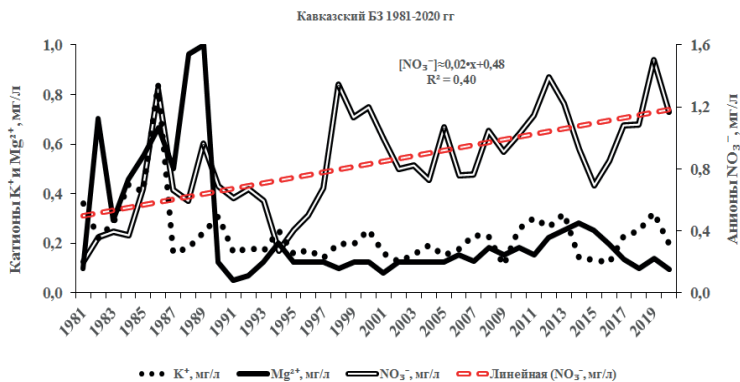


Рис. 214. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Кавказский БЗ.

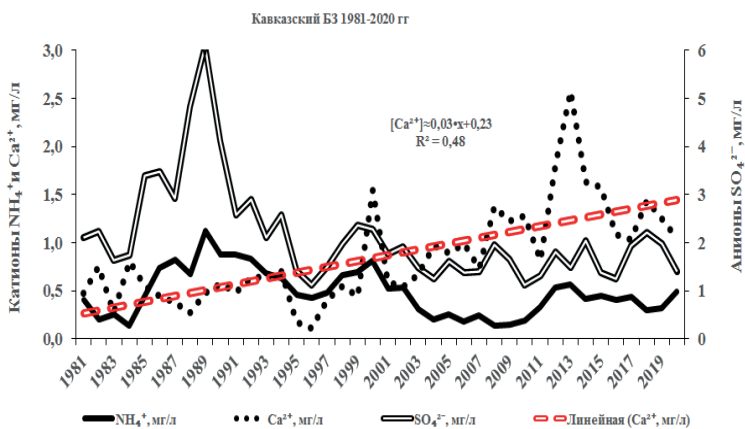


Рис. 215. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Кавказский БЗ.

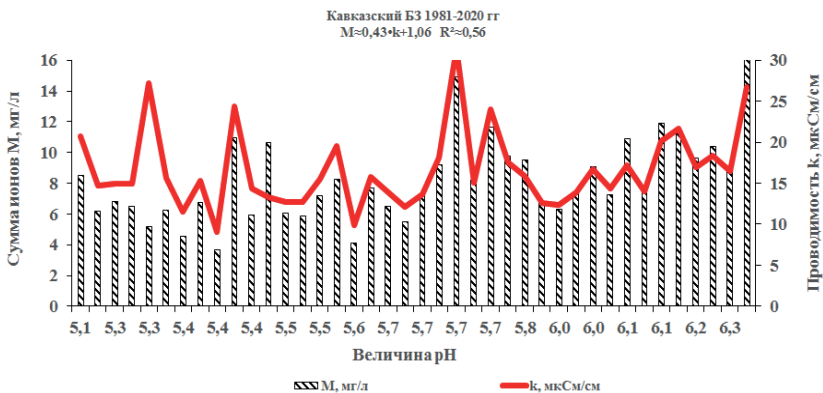


Рис. 216. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M, величиной pH и проводимостью k на м/с Кавказский БЗ

Таблица 61. Описательная статистика средних за год значений на м/с Кавказский БЗ, 1981-2000 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|-----|------------|
| Среднее | 1955,4 | 8,2 | 5,5 | 17,6 |
| Стандартная ошибка | 87,8 | 0,7 | 0,1 | 1,3 |
| Медиана | 1870,9 | 7,7 | 5,4 | 15,8 |
| Мода | - | - | 5,4 | - |
| Стандартное отклонение | 392,6 | 3,0 | 0,3 | 5,7 |
| Дисперсия выборки | 154102 | 9,0 | 0,1 | 32,5 |
| Экссесс | -1,1 | -0,4 | 0,1 | 0,5 |
| Асимметричность | -0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,8 |
| Интервал | 1213,6 | 11,3 | 1,0 | 22,4 |
| Минимум | 1302,0 | 3,7 | 5,1 | 9,1 |
| Максимум | 2515,6 | 14,9 | 6,1 | 31,5 |
| Счет | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Уровень надежности (95%) | 183,7 | 1,4 | 0,1 | 2,7 |

Таблица 62. Описательная статистика средних за год значений на м/с Кавказский БЗ, 2001-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 1986,6 | 8,2 | 5,9 | 15,6 |
| Стандартная ошибка | 75,0 | 0,6 | 0,1 | 0,8 |
| Медиана | 1963,9 | 7,6 | 6,0 | 14,3 |
| Мода | | | | 13,8 |
| Стандартное отклонение | 335,6 | 2,6 | 0,3 | 3,6 |
| Дисперсия выборки | 112629 | 6,6 | 0,1 | 12,7 |
| Экссесс | -0,3 | 5,2 | -1,1 | 4,0 |
| Асимметричность | 0,3 | 2,0 | -0,1 | 1,8 |
| Интервал | 1306,0 | 11,1 | 0,9 | 14,6 |
| Минимум | 1393,2 | 5,5 | 5,4 | 12,1 |
| Максимум | 2699,2 | 16,6 | 6,3 | 26,7 |
| Счет | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Уровень надежности (95%) | 157,1 | 1,2 | 0,1 | 1,7 |

Шаджатмаз

Таблица 63. Описательная статистика средних за год значений на м/с Шаджатмаз, 1958-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 650,6 | 17,9 | 6,3 | 29,9 |
| Стандартная ошибка | 12,8 | 1,0 | 0,03 | 1,5 |
| Медиана | 647,5 | 16,4 | 6,4 | 26,6 |
| Мода | — | — | 5,9 | — |
| Стандартное отклонение | 101,3 | 7,6 | 0,3 | 12,2 |
| Дисперсия выборки | 10252 | 58,3 | 0,1 | 148,7 |
| Экссесс | 0,8 | 8,4 | 0,8 | 9,4 |
| Асимметричность | 0,6 | 2,4 | 0,3 | 2,3 |
| Интервал | 519,5 | 44,8 | 1,5 | 77,3 |
| Минимум | 469,9 | 9,4 | 5,7 | 13,7 |
| Максимум | 989,4 | 54,2 | 7,2 | 91,0 |
| Счет | 63 | 63 | 63 | 63 |
| Уровень надежности (95%) | 25,5 | 1,9 | 0,1 | 3,1 |

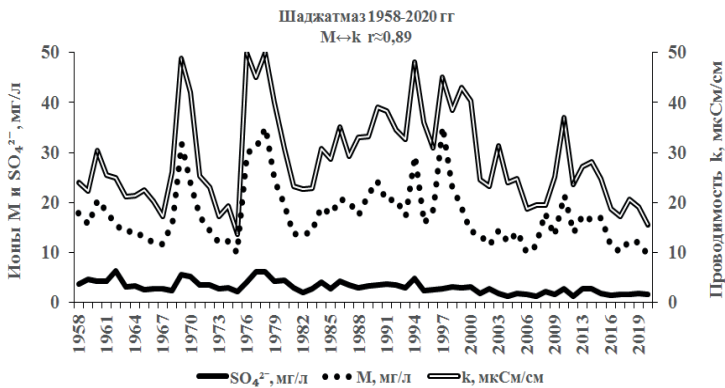


Рис. 217. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Шаджатмаз БЗ.

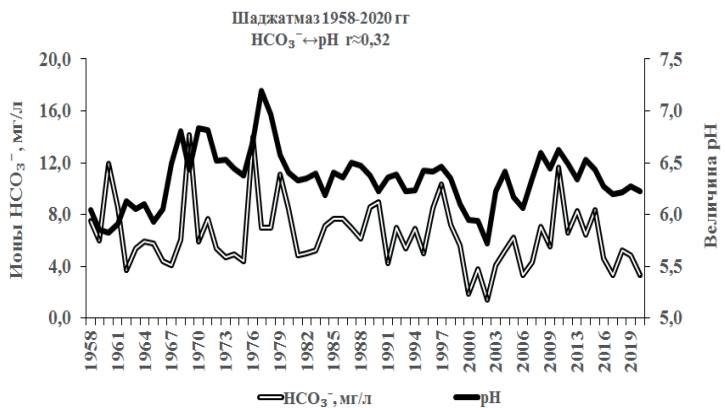


Рис. 218. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Шаджатмаз.

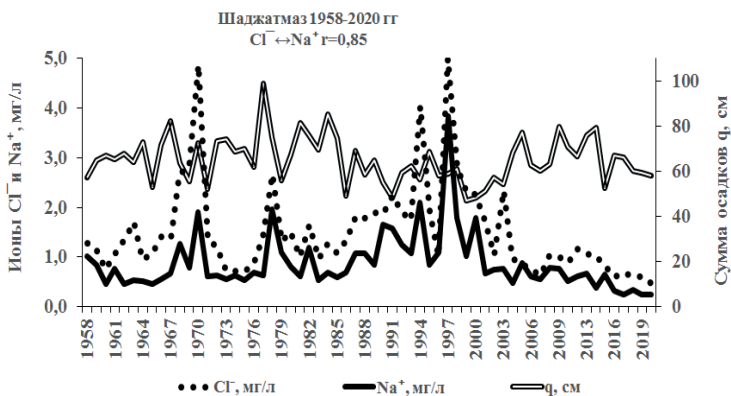


Рис. 219. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Шаджатмаз

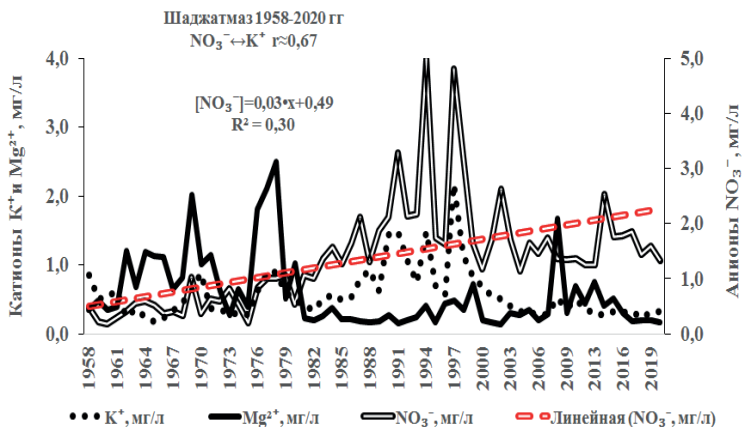


Рис. 220. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-иона NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Шаджатмаз.

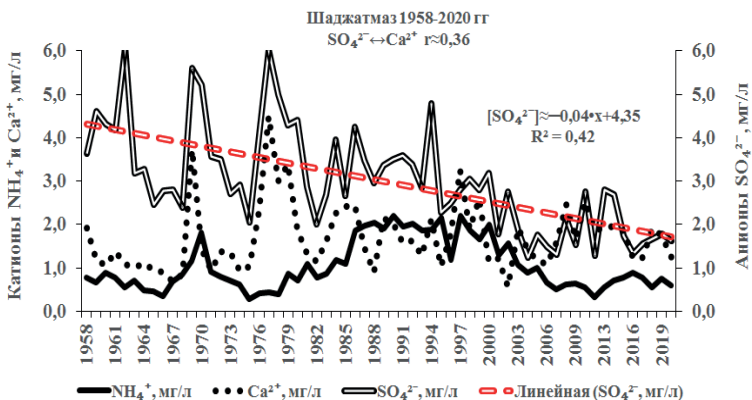


Рис.221. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Шаджатмаз.

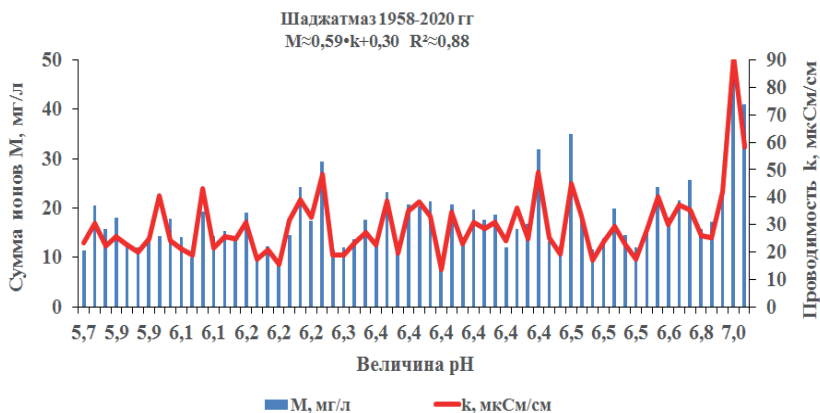


Рис.222. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Шаджатмаз

Таблица 64. Описательная статистика средних за год значений на м/с Шаджатмаз, 1958-1987 гг

| Показатели | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 686,6 | 19,1 | 6,4 | 29,9 |
| Стандартная ошибка | 19,4 | 1,7 | 0,1 | 2,7 |
| Медиана | 688,7 | 16,5 | 6,4 | 25,4 |
| Мода | — | — | 5,9 | — |
| Стандартное отклонение | 106,4 | 9,3 | 0,3 | 15,0 |
| Дисперсия выборки | 11325 | 86,0 | 0,1 | 225,9 |
| Эксцесс | 1,1 | 7,0 | -0,2 | 9,1 |
| Асимметричность | 0,5 | 2,5 | 0,3 | 2,7 |
| Интервал | 499,5 | 44,3 | 1,4 | 77,3 |
| Минимум | 489,9 | 9,9 | 5,8 | 13,7 |
| Максимум | 989,4 | 54,2 | 7,2 | 91,0 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95%) | 39,7 | 3,5 | 0,1 | 5,6 |

Таблица 65. Описательная статистика средних за год значений на м/с Шаджатмаз, 1988-2020 гг

| Показатели | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 617,9 | 16,9 | 6,3 | 29,9 |
| Стандартная ошибка | 14,9 | 1,0 | 0,0 | 1,5 |
| Медиана | 601,9 | 16,4 | 6,4 | 30,0 |
| Стандартное отклонение | 85,3 | 5,7 | 0,2 | 8,9 |
| Дисперсия выборки | 7280 | 32,7 | 0,0 | 78,8 |
| Эксцесс | -0,1 | 2,1 | 1,1 | -1,0 |
| Асимметричность | 0,4 | 1,2 | -0,8 | 0,2 |
| Интервал | 327,0 | 25,7 | 0,9 | 32,6 |
| Минимум | 469,9 | 9,4 | 5,7 | 15,6 |
| Максимум | 796,9 | 35,1 | 6,6 | 48,1 |
| Счет | 33 | 33 | 33 | 33 |
| Уровень надежности (95%) | 30,3 | 2,0 | 0,1 | 3,1 |

Азиатская территория РФ

Памятная

Таблица 66. Описательная статистика средних за год значений на м/с Памятная, 1980-2020 гг

| Параметры | q, мм | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 373,9 | 17,0 | 5,9 | 31,1 |
| Стандартная ошибка | 13,8 | 1,1 | 0,05 | 1,4 |
| Медиана | 362,0 | 15,7 | 6,0 | 30,7 |
| Стандартное отклонение | 80,4 | 6,2 | 0,3 | 8,2 |
| Дисперсия выборки | 6457,4 | 38,5 | 0,1 | 66,7 |
| Экссесс | -0,1 | 5,3 | -0,3 | 0,02 |
| Асимметричность | 0,6 | 1,9 | 0,1 | 0,6 |
| Интервал | 323,1 | 30,3 | 1,1 | 31,9 |
| Минимум | 251,8 | 10,4 | 5,4 | 19,2 |
| Максимум | 574,9 | 40,7 | 6,5 | 51,1 |
| Счет | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Уровень надежности (95%) | 28,0 | 2,2 | 0,1 | 2,8 |

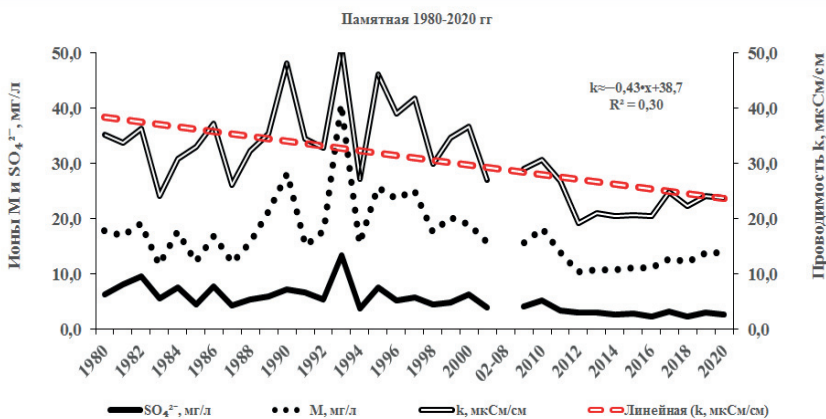


Рис. 223. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Памятная

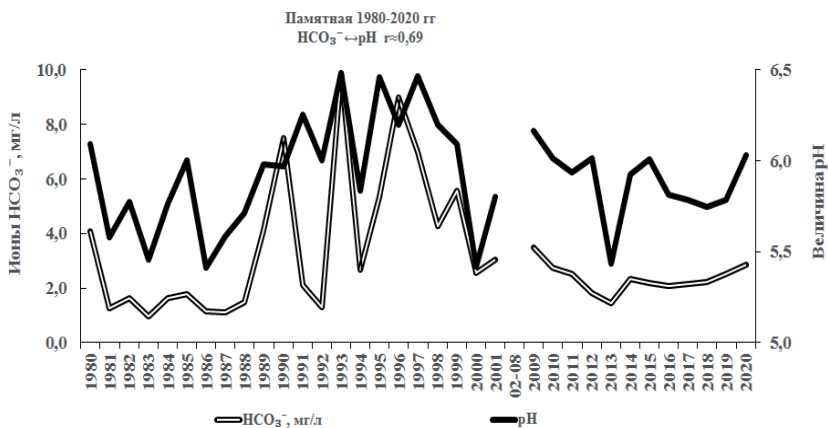


Рис. 224. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с **Памятная**

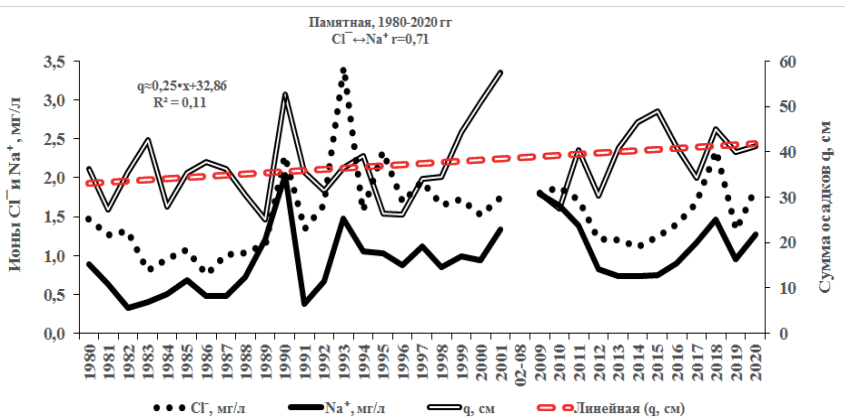


Рис. 225. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с **Памятная**

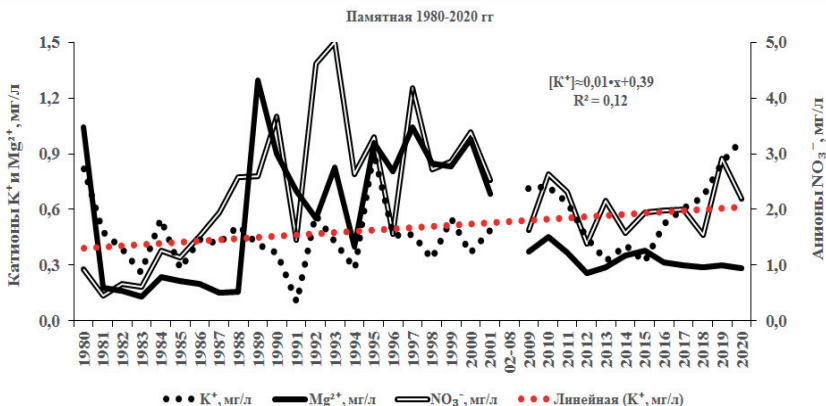


Рис. 226. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Памятная

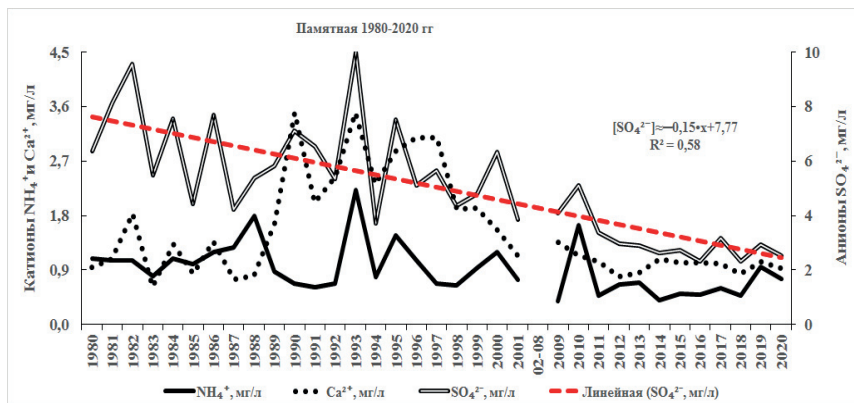


Рис. 227. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Памятная

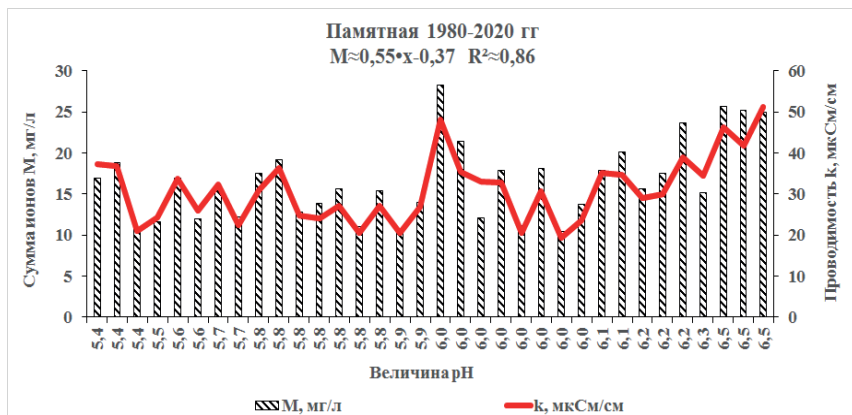


Рис. 228. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Памятная

Хужир

Таблица 67. Описательная статистика средних за год значений на м/с Хужир, 1978-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | рН | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 273,3 | 13,3 | 6,3 | 25,1 |
| Стандартная ошибка | 20,9 | 0,9 | 0,03 | 1,7 |
| Медиана | 236,2 | 11,9 | 6,3 | 24,0 |
| Мода | — | — | 6,3 | 20,0 |
| Стандартное отклонение | 137,0 | 6,1 | 0,2 | 10,9 |
| Дисперсия выборки | 18774 | 37,3 | 0,05 | 118,6 |
| Экссесс | 2,2 | 8,7 | -0,6 | 4,2 |
| Асимметричность | 1,4 | 2,4 | -0,3 | 1,7 |
| Интервал | 638,6 | 33,9 | 0,8 | 52,3 |
| Минимум | 110,0 | 6,9 | 5,8 | 11,6 |
| Максимум | 748,6 | 40,8 | 6,7 | 63,9 |
| Счет | 43 | 43 | 43 | 43 |
| Уровень надежности (95%) | 42,2 | 1,9 | 0,1 | 3,4 |

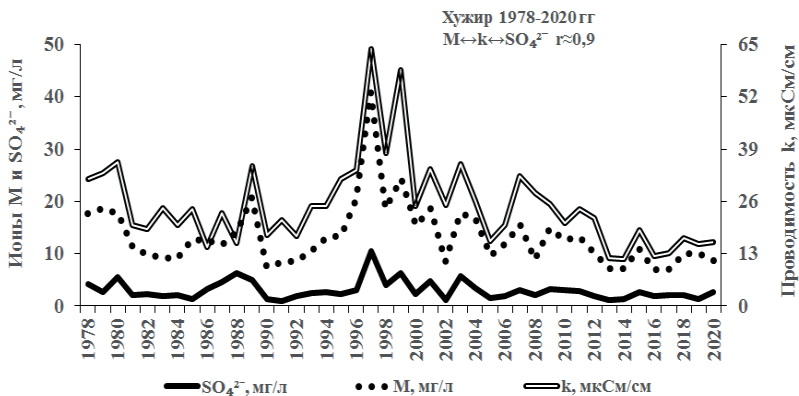


Рис. 229. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Хужир

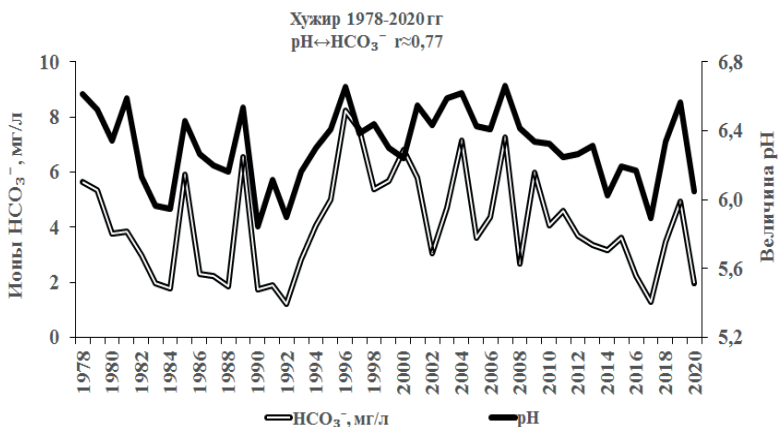


Рис. 230. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Хужир

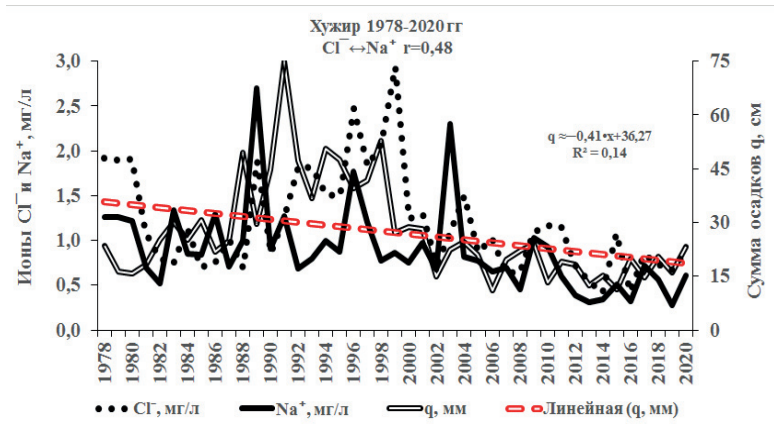


Рис. 231. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Хужир

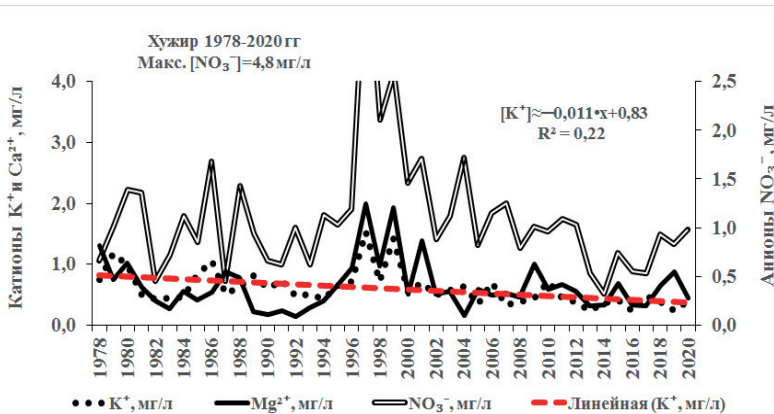


Рис. 232. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Хужир

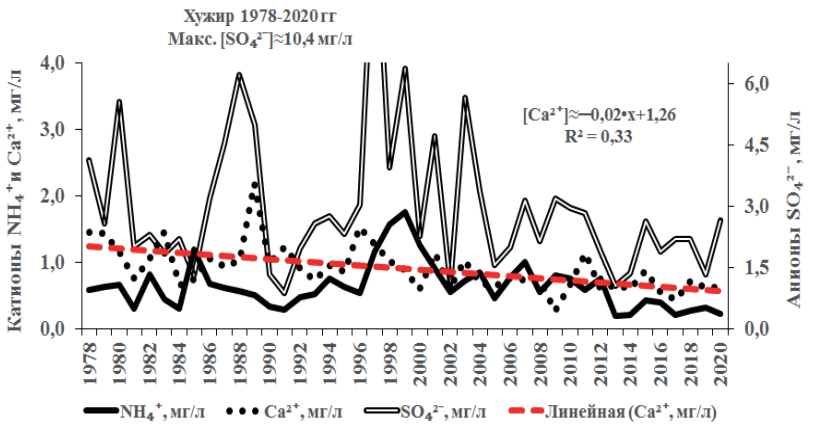


Рис. 233. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO₄²⁻, ионов аммония NH₄⁺ и кальция Ca²⁺ на м/с Хужир

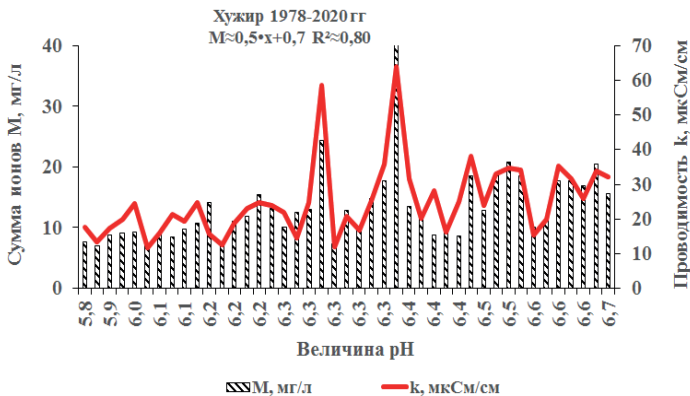


Рис. 234. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M, величиной pH и проводимостью k на м/с Хужир

Яйлю

Таблица 68. Описательная статистика средних за год значений на м/с Яйлю, 1992-2020 гг

| Параметры | q, см | М, мг/л | pH | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 89,1 | 10,8 | 6,2 | 18,7 |
| Стандартная ошибка | 2,4 | 0,6 | 0,0 | 1,0 |
| Медиана | 89,1 | 11,2 | 6,1 | 18,9 |
| Стандартное отклонение | 11,9 | 2,7 | 0,2 | 4,7 |
| Дисперсия выборки | 142,0 | 7,4 | 0,0 | 22,2 |
| Экссес | -0,6 | -0,3 | -1,1 | 1,9 |
| Асимметричность | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 1,2 |
| Интервал | 44,7 | 10,4 | 0,7 | 20,2 |
| Минимум | 67,4 | 5,9 | 5,8 | 12,2 |
| Максимум | 112,1 | 16,3 | 6,5 | 32,4 |
| Счет | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Уровень надежности (95%) | 5,0 | 1,2 | 0,1 | 2,0 |

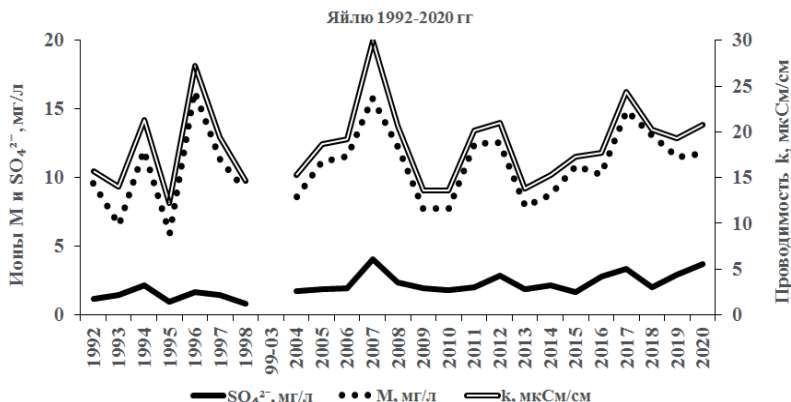


Рис. 235. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации М и проводимости к осадков на м/с Яйлю

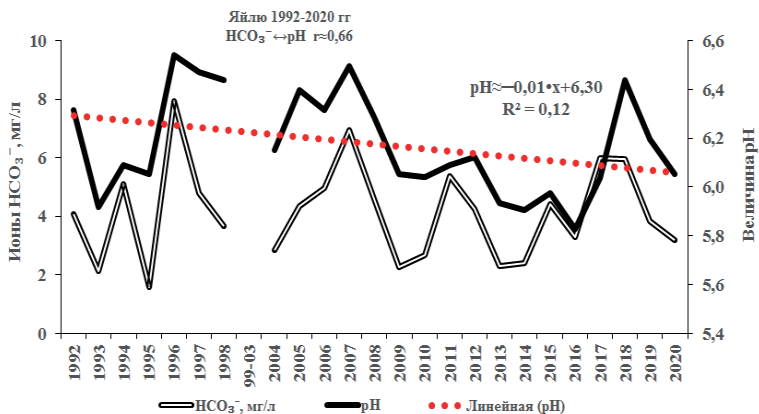


Рис. 236. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Яйлю

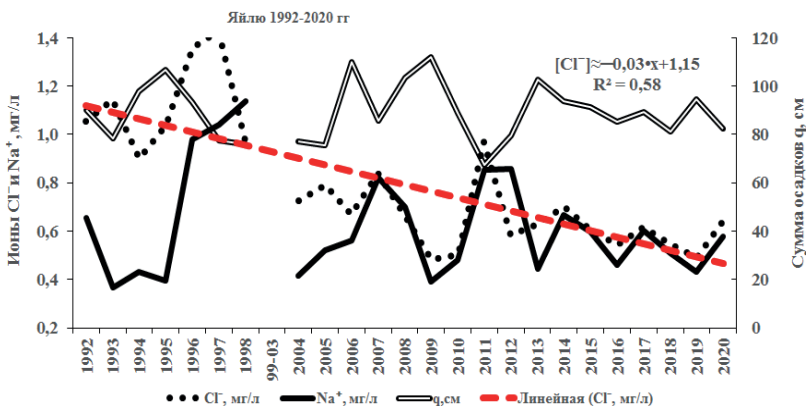


Рис. 237. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Яйлю

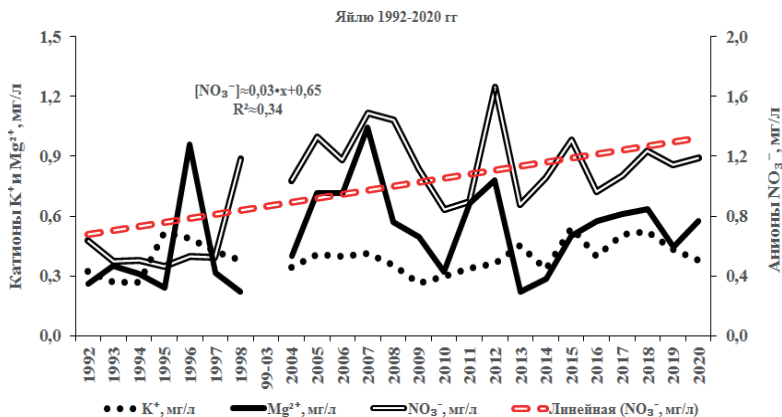


Рис. 238. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Яйлю

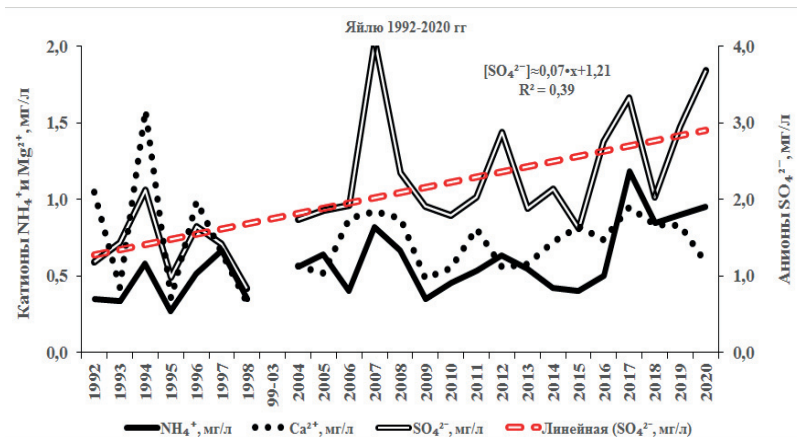


Рис. 239. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Яйлю

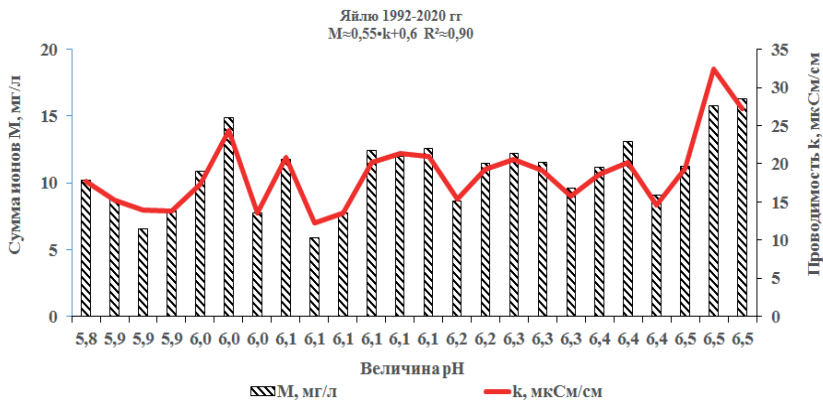


Рис. 240. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Яйлю

Хамар-Дабан

Таблица 69. Описательная статистика средних за год значений на м/с Хамар-Дабан, 1962-2020 гг

| Параметры | q, см | М, мг/л | рН | к, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 135,5 | 13,6 | 6,4 | 22,6 |
| Стандартная ошибка | 2,6 | 0,9 | 0,1 | 1,3 |
| Медиана | 133,2 | 11,4 | 6,5 | 19,6 |
| Мода | — | — | 6,5 | 13,5 |
| Стандартное отклонение | 20,1 | 6,7 | 0,4 | 10,1 |
| Дисперсия выборки | 405,7 | 45,1 | 0,2 | 102,8 |
| Экссесс | 0,2 | 4,5 | -0,7 | 3,5 |
| Асимметричность | 0,7 | 1,5 | -0,6 | 1,3 |
| Интервал | 94,3 | 37,1 | 1,5 | 54,9 |
| Минимум | 99,8 | 5,8 | 5,4 | 10,1 |
| Максимум | 194,0 | 42,9 | 6,9 | 65,0 |
| Счет | 59 | 59 | 59 | 59 |
| Уровень надежности (95%) | 5,3 | 1,8 | 0,1 | 2,6 |

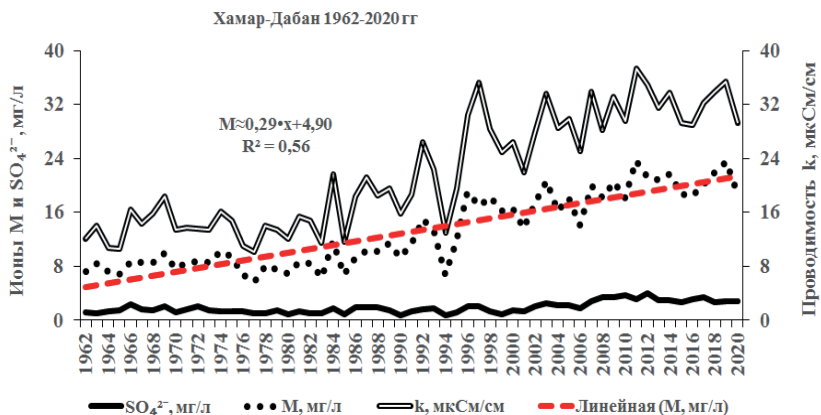


Рис. 241. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Хамар-Дабан

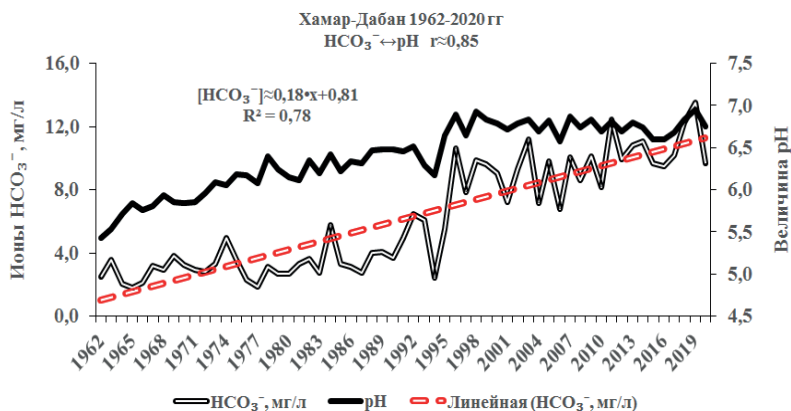


Рис. 242. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Хамар-Дабан

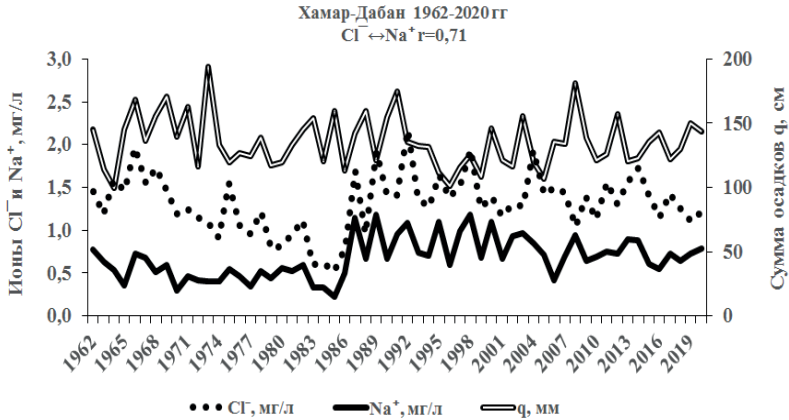


Рис. 243. Временные изменения концентрации ионов натрия Na⁺, хлорид-ионов Cl⁻ и суммы осадков q на м/с Хамар-Дабан

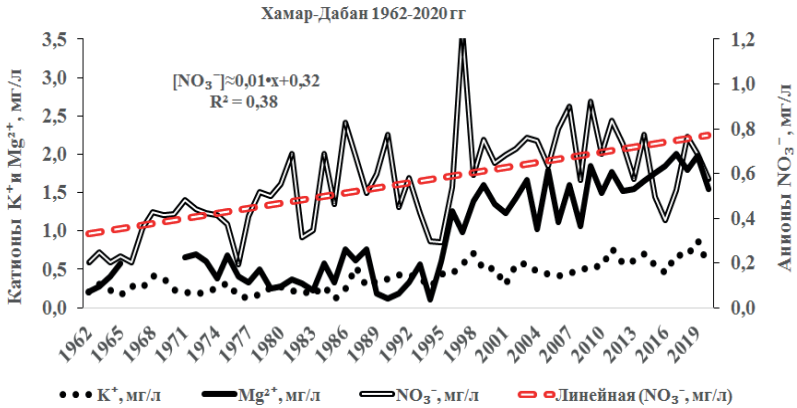


Рис. 244. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO₃⁻, ионов калия K⁺ и магния Mg²⁺ на м/с Хамар-Дабан

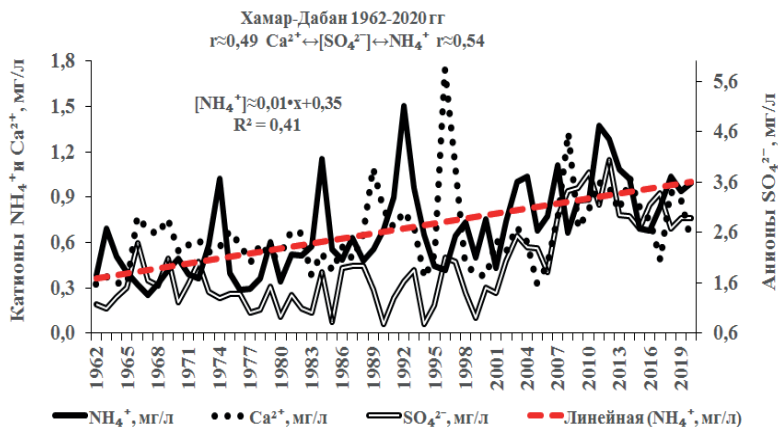


Рис. 245. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Хамар-Дабан

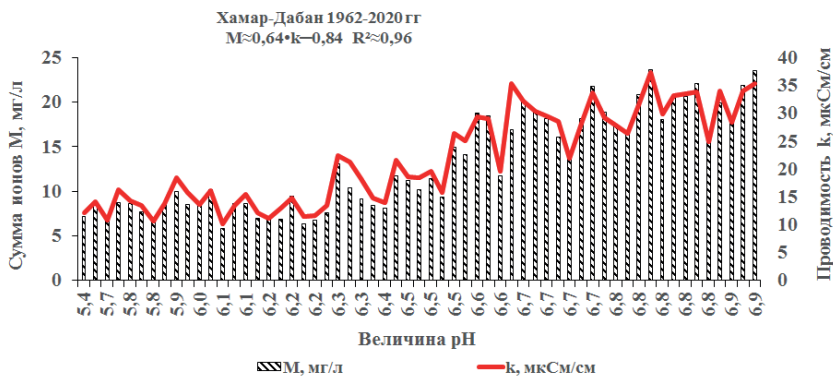


Рис. 246. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной рН и проводимостью k на м/с Хамар-Дабан

**Таблица 70. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Хамар-Дабан, 1962-1991 гг**

| Показатели | q, см | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 140,1 | 8,6 | 6,1 | 14,8 |
| Стандартная ошибка | 4,0 | 0,3 | 0,1 | 0,6 |
| Медиана | 139,1 | 8,6 | 6,1 | 14,2 |
| Мода | — | — | 6,5 | 13,5 |
| Стандартное отклонение | 22,0 | 1,5 | 0,3 | 3,1 |
| Дисперсия выборки | 482,1 | 2,4 | 0,1 | 9,9 |
| Экссесс | -0,2 | -0,5 | -0,5 | -0,4 |
| Асимметричность | 0,4 | 0,3 | -0,5 | 0,5 |
| Интервал | 94,3 | 6,0 | 1,1 | 11,5 |
| Минимум | 99,8 | 5,8 | 5,4 | 10,1 |
| Максимум | 194,0 | 11,7 | 6,5 | 21,6 |
| Счет | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Уровень надежности (95%) | 8,2 | 0,6 | 0,1 | 1,2 |

**Таблица 71. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Хамар-Дабан, 1992-2020 гг**

| Показатели | q, см | M, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|--------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 130,7 | 18,9 | 6,7 | 30,5 |
| Стандартная ошибка | 3,2 | 1,1 | 0,0 | 1,6 |
| Медиана | 130,2 | 18,5 | 6,7 | 29,5 |
| Стандартное отклонение | 17,1 | 5,9 | 0,2 | 8,6 |
| Дисперсия выборки | 294,1 | 35,3 | 0,0 | 73,2 |
| Экссесс | 1,3 | 9,5 | 3,1 | 9,3 |
| Асимметричность | 0,8 | 2,1 | -1,6 | 2,0 |
| Интервал | 79,5 | 36,1 | 0,8 | 52,0 |
| Минимум | 101,6 | 6,8 | 6,2 | 13,0 |
| Максимум | 181,0 | 42,9 | 6,9 | 65,0 |
| Счет | 29 | 29 | 29 | 29 |
| Уровень надежности (95%) | 6,5 | 2,3 | 0,1 | 3,3 |

Терней

**Таблица 72. Описательная статистика средних за год значений
на м/с Терней, 1983-2020 гг**

| Параметры | q, мм | М, мг/л | pH | k, мкСм/см |
|---------------------------|-------|---------|------|------------|
| Среднее | 848,1 | 11,1 | 5,7 | 23,2 |
| Стандартная ошибка | 36,9 | 0,8 | 0,1 | 1,4 |
| Медиана | 806,0 | 9,3 | 5,6 | 20,2 |
| Мода | — | — | — | 24,0 |
| Стандартное отклонение | 227,7 | 4,7 | 0,3 | 8,8 |
| Дисперсия выборки | 51829 | 21,8 | 0,1 | 76,6 |
| Экссесс | 0,4 | 5,0 | 0,01 | 5,3 |
| Асимметричность | 0,4 | 2,0 | 0,7 | 1,9 |
| Интервал | 983,6 | 23,4 | 1,4 | 44,8 |
| Минимум | 389,9 | 5,2 | 5,1 | 11,7 |
| Максимум | 1374 | 28,6 | 6,6 | 56,5 |
| Счет | 38 | 38 | 38 | 38 |
| Уровень надежности, (95%) | 74,8 | 1,5 | 0,1 | 2,9 |

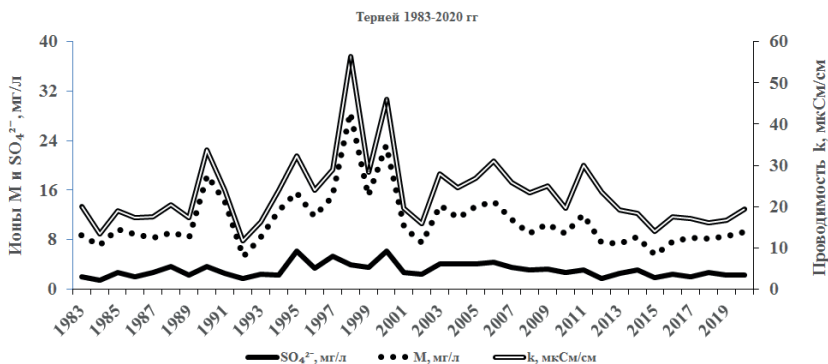


Рис. 247. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации М и проводимости k осадков на м/с Терней

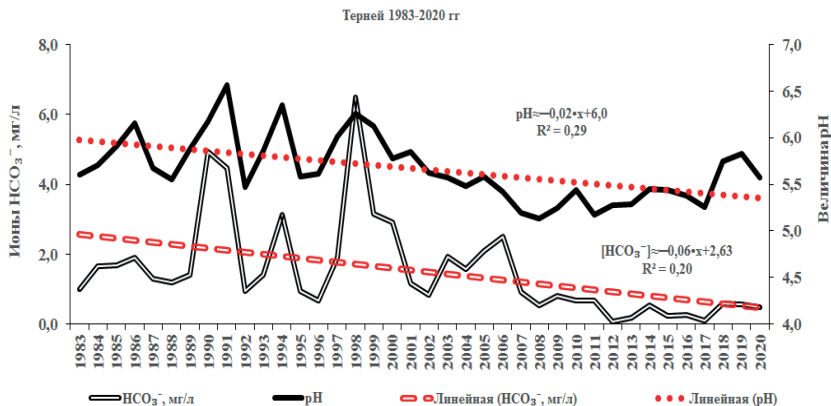


Рис. 248. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Терней

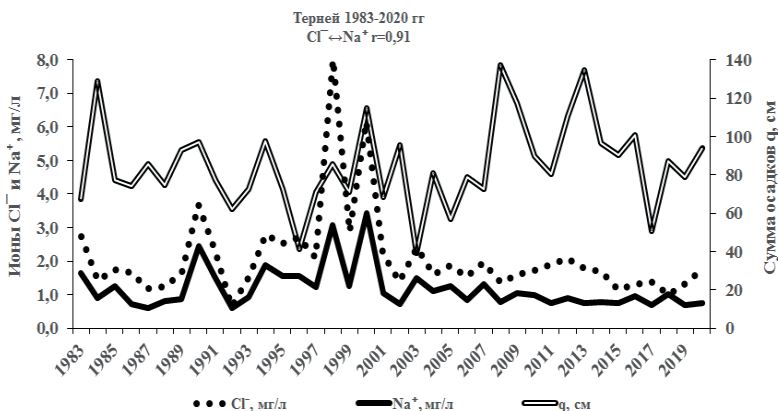


Рис. 249. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Терней

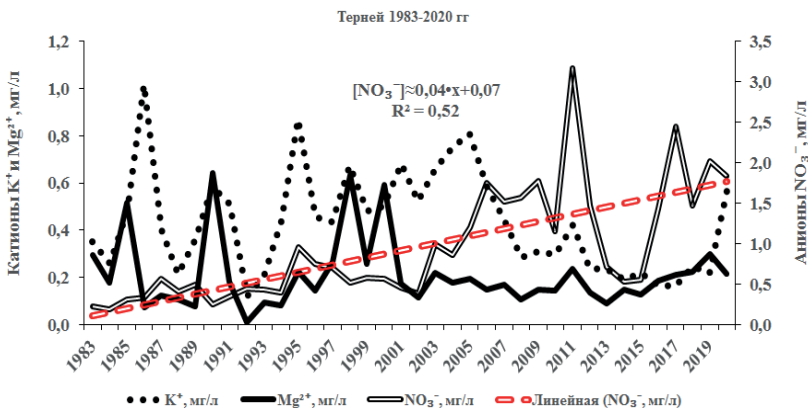


Рис. 250. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Терней

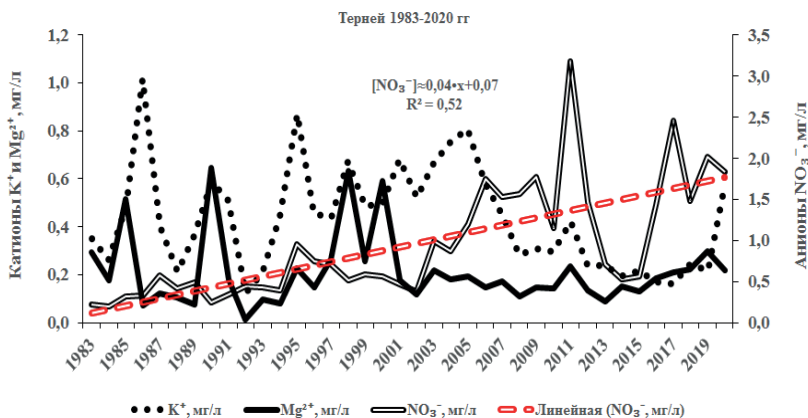


Рис. 251. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Терней

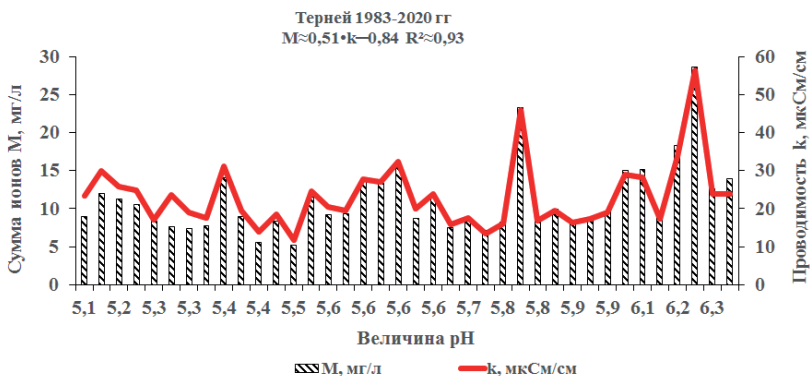


Рис. 252. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов М, величиной рН и проводимостью к на м/с Терней

Приморская

Таблица 73. Описательная статистика средних за год значений на м/с Приморская, 1910-2020 гг

| Параметры | q, мм | М, мг/л | рН | к, мкСм/см |
|---------------------------|--------|---------|------|------------|
| Среднее | 822,6 | 12,5 | 5,8 | 29,4 |
| Стандартная ошибка | 53,6 | 0,8 | 0,1 | 2,5 |
| Медиана | 814,5 | 13,3 | 5,9 | 30,1 |
| Стандартное отклонение | 177,8 | 2,6 | 0,3 | 8,2 |
| Дисперсия выборки | 31610 | 6,6 | 0,1 | 67,4 |
| Экссесс | -0,7 | -1,5 | -1,5 | -1,3 |
| Асимметричность | 0,5 | -0,4 | -0,2 | -0,3 |
| Интервал | 535,5 | 6,9 | 1,0 | 23,5 |
| Минимум | 621,0 | 8,7 | 5,2 | 17,2 |
| Максимум | 1156,5 | 15,6 | 6,2 | 40,7 |
| Счет | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Уровень надежности, (95%) | 119,4 | 1,7 | 0,2 | 5,5 |

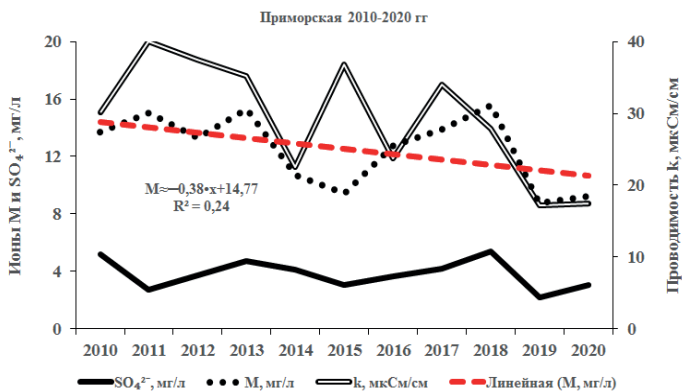


Рис. 253. Временные изменения концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , минерализации M и проводимости k осадков на м/с Приморская

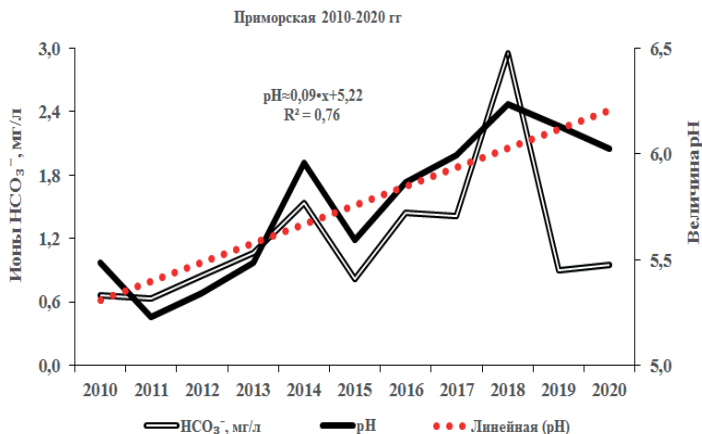


Рис. 254. Временные изменения величины pH и гидрокарбонат-ионов HCO_3^- в осадках на м/с Приморская

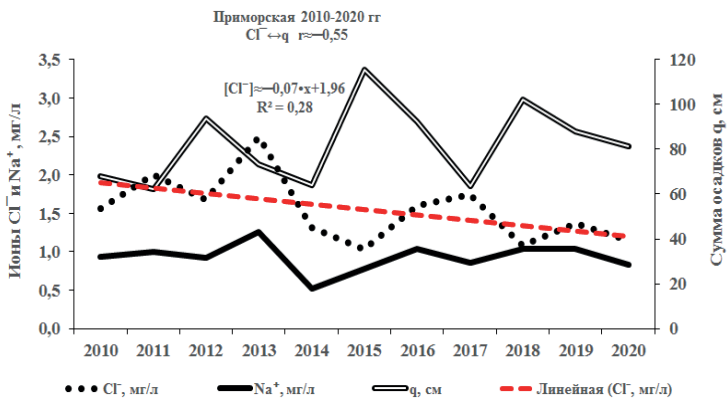


Рис. 255. Временные изменения концентрации ионов натрия Na^+ , хлорид-ионов Cl^- и суммы осадков q на м/с Приморская

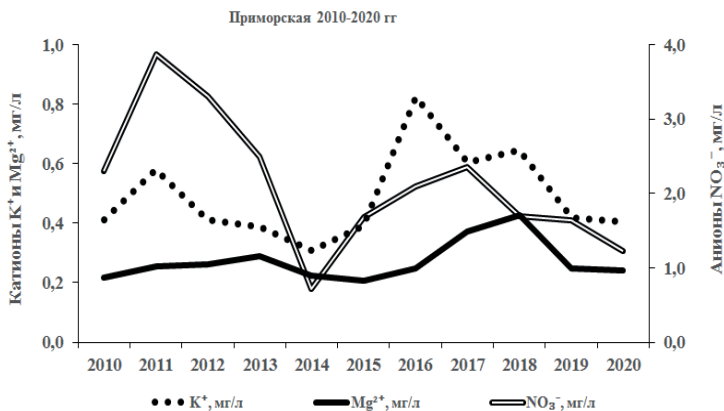


Рис. 256. Временные изменения в осадках концентрации нитрат-ионов NO_3^- , ионов калия K^+ и магния Mg^{2+} на м/с Приморская

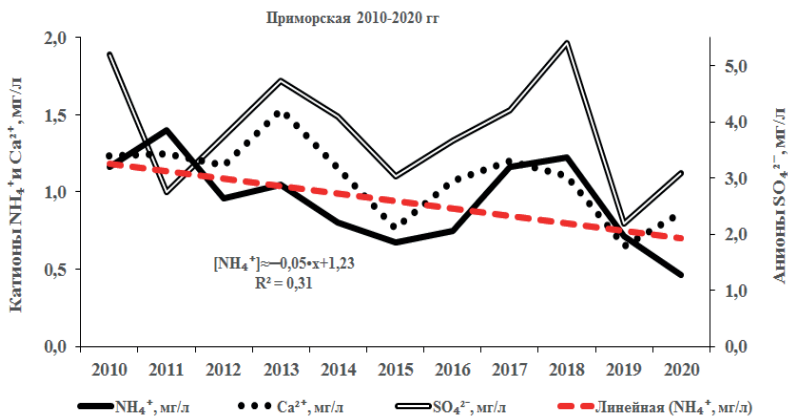


Рис. 257. Временные изменения в осадках концентрации сульфат-ионов SO_4^{2-} , ионов аммония NH_4^+ и кальция Ca^{2+} на м/с Приморская

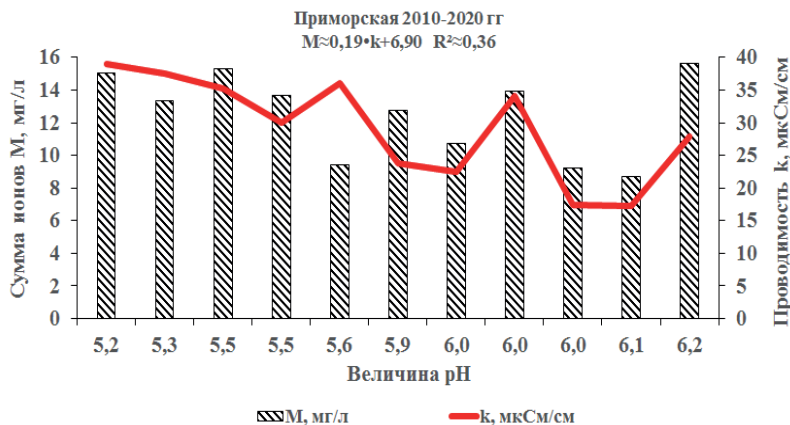


Рис. 258. Соотношение в атмосферных осадках между суммой ионов M , величиной рН и проводимостью k на м/с Приморская

Органические вещества в атмосферных осадках.

Органические вещества в атмосферных осадках более подробно рассмотрены в разделе по заполярным станциям («Общая кислотность атмосферных осадков»).

Таблица 74. Средние и крайние за месяц показатели по тем атмосферным осадкам, в которых присутствует общая кислотность

| Станция | *Величина рН | | Сумма ионов, мг/л | | (Н ⁺ +ΣН), мкг/л | | ΣН, мкг/л | |
|--------------|--------------|------|-------------------|------|-----------------------------|-------|-----------|-------|
| | сред. | мин. | сред. | мин. | сред. | макс. | сред. | макс. |
| Янискоски | 5,2 | 3,2 | 6,2 | 0,6 | 95,7 | 1721 | 145 | 1716 |
| Зареченск | 5,4 | 3,7 | 6,6 | 1,4 | 44,2 | 635 | 66 | 624 |
| Падун | 4,9 | 3,8 | 7,4 | 0,8 | 118,1 | 1660 | 106 | 1600 |
| Краснощелье | 5,4 | 3,3 | 9,5 | 1,3 | 72,7 | 1790 | 129 | 1790 |
| Усть-Вымь | 5,7 | 4,1 | 10,5 | 1,0 | — | 62 | — | 40 |
| Уренгой | 5,9 | 3,5 | 11,6 | 1,5 | — | 145 | — | 50 |
| Пр-Террасный | 5,5 | 4,0 | 7,3 | 0,8 | — | 61 | — | 30 |
| Воронежский | 5,5 | 3,7 | 13,0 | 1,0 | — | 261 | — | 60 |
| Туруханск | 5,8 | 3,5 | 8,4 | 1,4 | — | 354 | — | 195 |

*Величина рН $[-\lg H^+]$ – сред. (средняя) за год активная кислотность по всем измерениям; величина рН – мин. (минимальная) – максимальная активная кислотность в пробах осадков с максимальным значением (Н⁺+ΣН) – общей кислотности осадков, мкг/л; Прочерк обозначает отсутствие или малое число измерений общей кислотности. ΣН – сумма органических кислот, мкг/л.

Повышенные содержания кислотности осадков и органических соединений получены в осадках на всех приведенных станциях Мурманского УГМС. Особенно много их оказалось в Янискоски. Возможно, это как-то связано с относящимся к этому времени проведенными здесь мероприятиями, о которых было сказано в начале этого раздела. Сбор осадков на химический анализ проводится с 1993 г. На других станциях фоновый мониторинг вероятность обнаружения органических кислот составляет около 2-3%.

Заключение

Химический состав атмосферных осадков отражает все основные уровни круговорота веществ в природе: глобальный, региональный и локальный. Глобальный уровень объединяет географические зоны и поступление на сушу циклических (морских) солей. Региональный – включает в себя осадки в природных и экономических регионах. Локальный – это города и промышленные центры.

Специальные экспедиционные измерения на морском побережье, вблизи открытых разработок рудных месторождений, около крупных городов и промышленных центров с использованием самолётного зондирования атмосферы и сбором проб осадков и аэрозолей показывают, что основная масса вещества выпадает с атмосферными осадками и рассеивается в воздухе от 5 до 25 - километровой зоне.

В осадках измеряется концентрация главных ионов - сульфаты, хлориды, нитраты, гидрокарбонаты и общая кислотность, ионы аммония, натрия, калия, кальция, магния, цинка, определяется величина рН и удельная электропроводность, рассчитывается общая минерализация. При необходимости проводится измерение содержания микроэлементов (кадмий, свинец, никель, марганец и др.).

Главные компоненты в порядке убывания концентрации располагаются следующим образом: анионы – сульфаты \geq гидрокарбонаты > хлориды > нитраты; катионы – кальций > натрий > калий > магний. Средние годовые значения общей суммы ионов по регионам РФ изменяются от 5 до 40 мг/л. В географическом изменении хорошо проявляется закономерность: в зонах тундры и тайги интервал средней минерализации осадков наименьший от 5 до 15 мг/л, в степной зоне возрастает до 10 – 30 мг/л. Большое значение имеет положение станции наблюдения по отношению к естественным (берег моря) и промышленным источникам загрязнения воздуха. В связи с этим по преобладающему аниону тип осадков может быть сульфатным, гидрокарбонатным или хлоридным.

Из более чем 50-ти тысяч измерений 40% проб осадков имеют минерализацию меньше 15 мг/л и 26% - ниже 30 мг/л, но больше 15 мг/л. Повышенной минерализацией обладают около 34% проб. Эти соотношения изменяются в пространстве, а иногда и от года к году. Концентрация отдельных компонентов еще более чем их минерализация изменчива в пространстве и времени. Почти в 11% единичных проб (собранных в период выпадения дождя или снега) на станциях фонового уровня содержание одного из анионов или катионов находится близко к пределу обнаружения. Это

обстоятельство следует рассматривать не только как свидетельство неоднородности их распределения в атмосфере, но и как показатель различной способности осадков вбирать весьма значительные количества разнообразных соединений. Можно предполагать, что в глобальном масштабе они не накапливаются в атмосфере, и имеет место сбалансированное состояние в отношении этих примесей.

Хорошо очищенная вода обладает небольшой проводимостью (0,05 мкСм/см). В контакте с атмосферным воздухом она за счет растворения только диоксида углерода приобретает при 18°C удельную электропроводность 0,75–1,0 мкСм/см. Такая равновесная вода содержит 0,3–0,5 мг/л карбонатов, имеет величину рН 5,6–5,7. При понижении температуры концентрация гидрокарбонатов возрастает до 1,0 мг/л, кислотность практически не изменяется. Кроме того, атмосфера содержит постоянно микропримеси аммиака, оксидов серы, азота и хлористоводородной кислоты, концентрация которых в воздухе составляет примерно 10^{-5} – $10^{-7}\%$ (объёмных). При растворении в облачных элементах они могут увеличить сумму ионов, по меньшей мере, до 2 мг/л. *Таким образом, независимо от условий образования облаков и места выпадения, осадки постоянно содержат различные примеси, а их абсолютный минимум в принципе не может быть меньше 0,3 мг/л.* В среднем абсолютным минимальным значениями суммы ионов соответствует интервал 1-3 мг/л, который может рассматриваться в качестве глобального фона минерализации осадков.

Отбор проб облачной воды (с использованием самолета) и осадков по мере их выпадения показывают, что *средняя минимальная концентрация* суммы веществ в зонах тайги, смешанных лесов и лесостепи ЕТР составляет за год примерно 5 - 7 мг/л, в степной, полупустынной зонах и в горах она возрастает до 6 - 10 мг/л. Эта минерализация образуется за счет аэрозолей, захваченных облаками в свободной атмосфере и при вымывании веществ осадками из подоблачного слоя. Это, так называемый региональный фон минерализации осадков. Введение понятия природного фона (глобального и регионального) и его колебаний делает ненужными поиски ПДК.

Предельные уровни загрязнения воздуха и осадков установлены самой природой. Превышение их приводит к заболеваниям, а затем и гибели растений и животных. Специалисты ежегодно отмечают исчезновение сотен видов растений и микроорганизмов. Одной из причин этого явления считается антропогенное загрязнение биосферы.

Определив качественный состав региональных осадков, появляется возможность судить о природе источников загрязнения воздуха. Из

нескольких тысяч проб с региональных станций ниже предела обнаружения составляли в 4% хлориды, в 12% - сульфаты, по 15% - ионы аммония и нитраты. Гидрокарбонаты, источником которых служит почвенная пыль и воздух, присутствовали постоянно во всех пробах с рН больше 5,3. Не было ни одного случая, чтобы в осадках одновременно отсутствовали сульфаты и хлориды с величиной рН в пределах 5,3-5,8. На континентальных станциях фоновые осадки в 64% случаев относятся к сульфатному или гидрокарбонатному типу, тогда как хлориды или нитраты преобладали в 11%. Почти во всех пробах аммиачного азота больше нитратного в 1,5 - 2 раза. По-видимому, в приземном слое воздуха какая-то часть оксидов азота переходит в аммиак, возможно, в процессе образования жидких и твердых аэрозолей. Коэффициент корреляции между концентрациями ионов аммония и нитратов в осадках составляет примерно 0,75.

Доля (приблизительная) фоновых примесей в атмосферных осадках по регионам (% от суммы ионов)

| Регион РФ | Фоновые | | |
|-------------------|------------|--------------|-------|
| | глобальный | региональный | сумма |
| Север ЕТР | 10 | 32 | 42 |
| Центр ЕТР | 8 | 11 | 19 |
| Юг ЕТР и Поволжье | 9 | 29 | 38 |
| Западная Сибирь | 10 | 28 | 38 |

Из таблицы следует, что наибольший антропогенный вклад до 81% приходится на центральную часть Европейской территории России. В общей массе фоновых тропосферных аэрозолей принимается: континентальные составляют 55%, морские ~40%; вклад промышленных аэрозолей, по-видимому, не превышает 5~10% [5, 6].

При максимальном глобальном фоновом уровне суммы загрязняющих веществ в осадках 3 мг/л ежегодно на каждый квадратный километр поверхности Земли поступает 3 тонны различных веществ. В городах и промышленных центрах с высоким уровнем выбросов в атмосферу с осадками может выпадать до 500 т/км² в год. При нормальном давлении и температуре 0°С из воздуха вымывается ежегодно на каждый квадратный километр более 1 тонны диоксида углерода и других парниковых газов.

Выпадение различных соединений с осадками (влажные выпадения) зависит от их концентрации (мг/л) и суммы осадков (мм). Оказывается, чаще всего на Европейскую территорию России выпадает не более 1 тонны на 1

квадратный километр в месяц. Наибольшее количество веществ поступает с осадками в южных районах, хотя сумма осадков здесь примерно в 2 раза ниже, чем в северных. Во всех областных городах России сумма ионов находится в среднем на уровне 20 – 50 мг/л, что естественно свидетельствует о повышенном загрязнении воздуха. Влажные выпадения тогда могут достигать 10 - 20 т/км²•год.

Установлено: в регионах с избыточным увлажнением (Ленинградская обл.) осадки вымывают из воздуха от 85 до 90% растворимых и нерастворимых в воде веществ. В степной зоне (Волгоградская обл.) в среднем за год за все дни с осадками выпадает почти в 10 раз больше различных соединений, чем за все дни без осадков. Следует иметь в виду, что под вымыванием подразумевается не только растворение примесей воздуха в облачных элементах, захват их падающими капельками или снежинками, но и механическое осаждение с потоком, создаваемым осадками. Возможно, последний механизм становится преобладающим, когда осадки попадают в нижние (более сухие) слои атмосферы.

Признаками качественной оценки экологического состояния местности можно считать: общую минерализацию осадков в мг/л (или величину влажного выпадения, т/км²•год) и повторяемость выпадения осадков с минерализацией меньше 15 мг/л. Эти химические характеристики осадков фактически указывают на способность атмосферы к самоочищению. При некоторых условиях даже в городе могут выпадать единичные осадки, имеющие состав, близкий к региональному фону. С другой стороны, при среднезвешенной (многолетней) минерализации больше 50 мг/л, атмосферные осадки ни при каких обстоятельствах не могут справиться с вымыванием из воздуха веществ до фонового уровня.

В РФ к таким городам (в рассматриваемый период) относятся Норильск, Липецк и Тула. Концентрации могут и не достигать принятых предельно допустимых значений, но они уже таковы, что превышают естественный уровень в 2-3 раза.

Представляют интерес результаты сравнения по России общих *выбросов* в атмосферу загрязняющих веществ (из Статистического сборника за 2008 г.) и суммарных выпадений ионов с осадками. Начиная с 2003 года, ход изменения этих параметров происходит синхронно. Резкое снижение выпадений в предыдущие годы увязывается с переходом промышленных предприятий на газовое топливо. В любом случае последние три года (из периода 1995-2007 гг) по всей территории РФ на каждый квадратный километр выпадало примерно в 2,5-3 раза больше веществ, чем выбрасывалось от стационарных источников в атмосферу с 1 км². Выбросы

можно примерно удвоить за счет поступления их от автотранспорта. Сравнивая между собой эти два показателя для 2007 г, видим, что выпало веществ с осадками из воздуха примерно в 3 раза больше, чем поступило в атмосферу с антропогенными выбросами. При этом следует учитывать, что режим вымывания отдельных компонентов более существенно, чем выбросы, зависит от метеорологических факторов.

Результаты наблюдений за кислотностью осадков показывают, что в течение 60-ти лет направленных региональных изменений этой величины на территории РФ не произошло. Хотя на каждой станции можно выделить несколько 3-5-летних периодов, когда минерализация или кислотность осадков только возрастали или только падали от года к году. При этом крайние значения могли различаться (в единицах мг/л) от 2 до 10 раз. Пространственное распределение среднемесячного значения рН носит также зональный характер. Кислотность осадков, уменьшаясь с севера на юг и с запада на восток. Характер распределения нарушается при поступлении на ЕТР более кислых осадков с запада и северо-запада, на морском побережье, а также под влиянием крупных городов и промышленных центров, расположенных вблизи пунктов сбора осадков. Регулярные измерения величины рН позволили выделить устойчивые зоны выпадения осадков с повышенной кислотностью: Северо-Запад РФ и особенно Кольский п-ов, Предуралье, восточные районы оз. Байкал, Приморье и акватория Ладожского озера. С частым выпадением кислых осадков в этих регионах связывают прогрессирующее закисление почв и малых водоемов, болезни леса, снижение урожайности или гибель некоторых сельскохозяйственных культур.

1. Выпадающие осадки по величине показателей всегда отличаются от осадков, собранных за месяц, неделю, сутки или выдержанных в течение нескольких суток, поэтому средние за год показатели уменьшаются, возрастают или остаются неизменными со временем. Во многих случаях динамика хода временных изменений исходных и среднегодовых значений различаются.

2. Полезность ХСО относится скорее к проблемам биологии земных микроорганизмов, а вредность химического состава осадков для человека определяются микропримесями радиоактивных веществ, органических кислот и оснований, тяжелыми металлами, бактериями и вирусами [7-9].

3. Мнение о том, возрастает ли вероятность осадков в загрязненной атмосфере, не нашло однозначной поддержки, хотя бесспорным считается увеличение повторяемости дымки в городах.

Антропогенность осадков проявляется через несколько факторов, к главным из которых в настоящей работе относятся высокие концентрации

основных ионов и микроэлементов, низкие значения величины рН при высокой минерализации, содержанием и величиной общей кислотности. Многочисленная литература по химии атмосферных осадков и снежного покрова представляет в основном только одну сторону их природы и свойств – равновесную, что позволило авторам – сетевым работникам – обратить внимание на некоторые детали этого явления природы в целом.

Библиографический список:

1. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. 1985. Л., Гидрометеиздат. 208 с.
2. Катцов В.М., Мелешко В.П. Современные приоритеты фундаментальных исследований климата. 2008. Тр. ГГО, вып.557. – С 3-19.
3. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики. 2012. //Арктика: экология и экономика. №2 (6). - С. 66-79.
4. Мусакин А.П. Таблицы и схемы аналитической химии. 1971. Л., Изд. «Химия». - С. 12 и 13.
5. Свистов П.Ф., Шаламянский А.М., Першина Н.А., Талаш А.С., Павлова М.Т., Талаш С.С., Семенец Е.С. Атлас диаграмм кислотности и минерализации влажных выпадений из воздуха в Заполярье (ч.1). Климат и природа, 4 (25), 2017. — С. 17-63; (ч.II), 2 (27), 2018. — С. 3-33.
6. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Талаш С.С., Талаш А.С., Полищук А.И., Семенец Е.С. Органические кислоты в атмосферных осадках северо-западного Заполярья. Климат и природа, 4 (37), 2020. — С. 57-66
7. Слесарев В.И. Основы химии живого. 2005. СПб. Изд. «Химия», 784 с.
8. Фрумин Г.Т. Техногенные системы и экологический риск. 2016. СПб. Изд. «СпецЛит». 136 с.
- 9 Янковский О.Ю. Токсичность кислорода и биологические системы (эволюционные, экологические и медико-биологические аспекты). 2000. СПб. Изд. «Игра». 294 с.

Приложение I

Рис.1. Величина pH растворов солей (гидролиз ионов) [4]. Возможная направленность отклонений от нейтрального значения величины pH осадков в зависимости от состава газов и аэрозолей воздуха. Значению pH=7,0 соответствует нейтральная среда, значению pH=5,6 — среда, равновесная с диоксидом углерода воздуха. Все указанные ионы обнаружены в атмосферных осадках и аэрозолях.

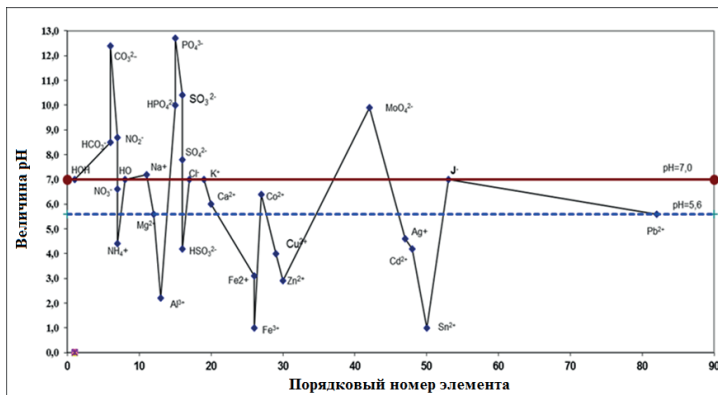
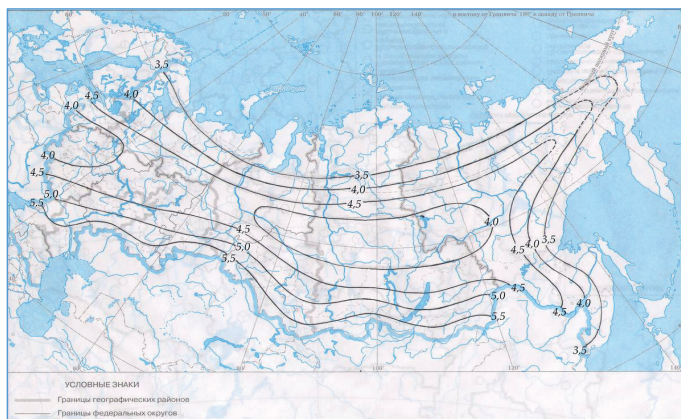


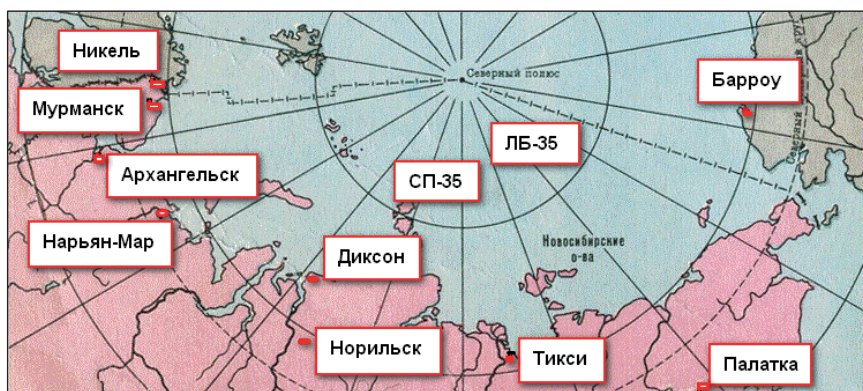
Рис. 2. Установка для сбора осадков на химический анализ, СП-35 [5]



Карта 1. Гипотетическое пространственное распределение по РФ атмосферных осадков с абсолютно максимальной кислотностью, 1958- 2016 гг



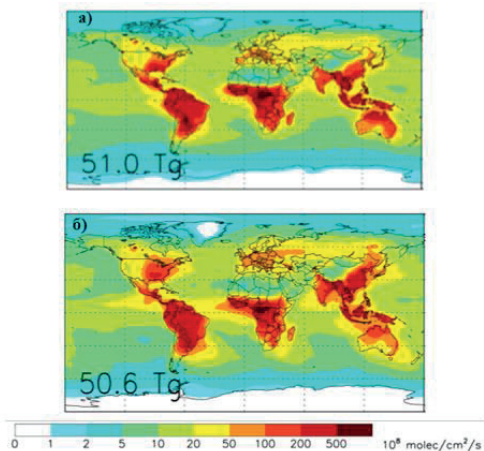
Карта 2. Расположение некоторых российских станций, собирающих регулярно атмосферные осадки на химический анализ, Сп-35 и ЛБ-35. Для каждой континентальной станции Заполярья РФ координаты приводятся в табл. 49. Показано также расположение международной станции фонового мониторинга Барроу на Аляске (США).



Карта 3 (любительская). Схематическая карта основных центров действия атмосферы и преобладающий перенос воздушных масс в холодный (тёмные стрелки) и тёплый (светлые стрелки) периоды года. [URL: <http://otvet.mail.ru/question/82959364>]



Карта 4, а) и б). Глобальное распределение муравьиной кислоты фотохимического происхождения (а); стоки кислоты (б) в результате сухого и влажного выпадений из воздуха ($1\text{Tg} = 10^{12}$ грамм) [Millet D. B., Baasandorj M. and others (total 21). 2015. A large and ubiquitous source of atmospheric formic acid. Atmos. Chem. Phys., 15, 6283–6304]



Приложение II

П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, М.Т. Павлова, Е.С. Семенец,
А.И. Полищук, С.С. Талаш, А.С. Талаш
(1962-2021 гг)

1. Свистов П.Ф. 1962. Спектроаналитическое определение малых количеств редких щелочных элементов в природных образцах, Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР, Удостоверение о регистрации № 13332.

2. Свистов П.Ф. 1962. Методика определения концентрации озона в приземном воздухе. — Труды ГГО, вып. 134, с. 123-125.

3. Дроздова В.М., Петренчук О.П., Свистов П.Ф. 1962. Некоторые данные о составе облачной воды. — Труды ГГО, вып. 134, с. 131-134.

4. Туркин Ю.И., Свистов П.Ф. 1964. Об определении растворимых примесей в атмосферном воздухе. — Труды ГГО, вып. 154, с.99-104.

5. Свистов П.Ф. 1964. Спектральный метод анализа атмосферных осадков. В монографии «Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР». (Под ред. проф. Селезневой Е.С.). - Л.: Гидрометеиздат, с. 54-81.

6. Свистов П.Ф. 1967. Некоторые результаты исследования физико-химической природы атмосферных аэрозолей. —Изв. АН СССР, сер. Физика атмосферы и океана, т.3, №5, с. 40-48.

7. Selezneva E.S., Petrenchuk O.P., Svistov P. Ph. 1967. On the investigation of distribution and chemical composition of natural aerosols over different areas of European USSR. Symposium on tropospheric aerosols and radioactive tracers. - L., MGO, page 1-14

8. Свистов П.Ф. 1967. Участник Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ) СССР. Свидетельство № 252749

9. Свистов П.Ф., Дроздова В.М. 1968. О содержании некоторых микроэлементов в атмосферных осадках. — Труды ГГО, вып. 207, с. 92-97.

10. Селезнева Е.С., Петренчук О.П., Свистов П.Ф. 1968. О распределении и химическом составе естественных аэрозолей над разными районами Европейской территории СССР. - Тр. ГГО, вып. 234, с. 125-130.

11. Свистов П.Ф., Туркин Ю.И. 1973. Атомно-абсорбционный анализ в поглощающих слоях большой протяженности. Сб. «Инструментальные и химические методы анализа» (Ред. проф. К.П. Столяров). Изд. ЛГУ, с. 3-7.

12. Свешников Г.Б., Свистов П.Ф., Туркин Ю.И. 1976. Ртуть в атмосферных осадках и поверхностных водах. — Вестник ЛГУ, сер. Геология и география, №4, с. 20-25.

13. Свистов П.Ф., Немец С.М., Бурчуладзе Н.Н. 1979. О содержании ртути и натрия в твердых осадках. — Труды ГГО, вып. 421, с. 127-132.

14. Никандров В.Я., Свистов П.Ф., Бурчуладзе Н.Н., Туркин Ю.И. 1981. Химический состав и заряды капель при фазовых переходах. — Труды ГГО, вып. 439, с. 49-54.

15. Свешников Г.Б., Свистов П.Ф., Туркин Ю.И., Альтман Э.Л. 1982. Атмохимические методы исследования в экологии и геологии. - Учен. записки ЛГУ, вып. 29, с. 206-213.

16. Немец С.М., Свистов П.Ф. 1984. Кадмий, свинец и марганец в атмосферных осадках. — Труды ГГО, вып. 479, с. 134-137.

17. Свистов П.Ф. (соавтор). 1988. Измерение содержания металлов в атмосферных осадках и аэрозолях атомно-абсорбционным методом. РД°52.04.167-88.

18. Свистов П.Ф., Немец С.М., Першина Н.А., Зуева В.Л. 1989. Содержание свинца, кадмия и цинка в атмосферных осадках на фоновых станциях. — Труды ГГО, вып. 521, с. 55-60.

19. Зайцев А.С., Свистов П.Ф., Першина Н.А. 1991. Приоритетность природоохранных мероприятий по данным о химическом составе атмосферных осадков. — Труды ГГО, вып. 543, с. 96-106.

20. Свистов П.Ф., Першина Н.А. 1991. О тренде химических элементов в атмосферных осадках. — Труды ГГО, вып. 543, с. 57-65.

21. Свистов П.Ф., Зайцев А.С. 1991. Кислотность атмосферных осадков на территории СССР. — Л.: РТП ГГО, 119 с.

22. Selezneva E.S., Svistov P. Ph. 1995. Monitoring of the chemical composition of precipitation in the USSR (Russia). — WMO, Expert Meeting on Chemistry of Aerosols, Clouds and Atmospheric Precipitation in the Former USSR.

23. Свистов П.Ф. 1997. О пространственно-временной изменчивости кислотности атмосферных осадков. — Труды ГГО, вып. 544, с. 176-184.

24. Кондратьев С.А., Ефремова Л.В., Расплетина Г.Ф., Черных О.А., Веселова М.Ф., Кулибаба В.В., Свистов П.Ф. 1997. Основы внешней нагрузки на Ладожское озеро. — Экологическая химия, т. 6(2), с. 73-84.

25. Першина Н.А., Павлова М.Т. 2003 Фоновая составляющая атмосферных осадков. - Труды ГГО, вып. 569, с.224-232

26. Pershina N.A., Polischuk A.I. Svistov P.Ph. AMAP Assessment 2006: Haze, and Acidification in the Arctic. - Oslo, 2006. pp. 17-20.

27. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И. 2009. Фоновый уровень состояния атмосферы по многолетним данным о химическом составе атмосферных осадков. - Труды ГГО, вып. 560, с. 116-142.

28. Свистов П.Ф., Полищук А.И., Першина Н.А. 2010. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков). - Труды ГГО, вып. 562, с. 76-94.

29. Свистов П. Ф., Першина Н. А., Полищук А. И. 2010. Химический состав осадков и его изменения. — СПб, //Монография под ред. проф. Мелешко В.П., «Климат Санкт-Петербурга и его изменения», с. 179-201.

30. Свистов П.Ф. 2011. Антропогенные осадки: происхождение, состав и свойства. «ЭУТ», №1, с. 39-46

31. Свистов П.Ф. 2013. Исследование химического состава и кислотности атмосферных осадков для анализа загрязнения и самоочищения природной среды. «Климат и Природа», №4(9), с. 14-30.

32. Свистов П.Ф., Полищук А.И. 2014. Атмосферные осадки над городами и регионами России. «Природа», №3, с. 28-36.

33. Свистов П.Ф, Павлова М.Т., Семенец Е.С. 2014. Кислотность и химический состав атмосферных осадков в арктической дымке (Эффект Арктики). «Климат и Природа», №3(12), с 20-34.

34. Свистов П.Ф., Павлова М.Т. 2014. Атмосферные осадки и Арктическая дымка. «Природа», №10, с. 18-26.

35. Svistov P.Ph., Pavlova M.T. 2014. The phenomenon of acidity and chemical compound of precipitation in central Arctic. International Journal of Applied and Fundamental Research. № 4. URL: www.science-sd.com/459-24737

36. Свистов П.Ф., Талаш А.С., Павлова И.Д. 2015. Рекомендации по использованию в природоохранной практике данных о химическом составе и кислотности атмосферных осадков. «ЭУТ», №1, с. 57-64.

37. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т. Атмосферные осадки: химический состав и кислотность. «Природа», 2015, №6, с. 28-36.

38. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Полищук А.И., Аблеева⁰В.А. 2015. Кислотность и химический состав атмосферных осадков в Приокско-Террасном биосферном заповеднике. - Труды Приокско-Террас заповедника, вып.6, с. 24-33.

39. Свистов П.Ф., Талаш А.С. 2015. Очерки по кислотности и химическому составу атмосферных осадков. СПб: ООО «КопиСервис», 120 с.

40. Свистов П.Ф, Талаш А.С., Семенец Е.С. 2016. О пространственно-временных изменениях кислотности атмосферных осадков. «Климат и природа», №2(19), с. 14-26.

41. Свистов П.Ф., Павлова М.Т., Талаш А.С. 2016. Оценка состояния урбанизированных территорий по данным о химическом составе атмосферных осадков. - СПб университет ГПС МЧС России (служебное издание), 88 с.

42. Семенец Е.С., Свистов П.Ф., Талаш А.С. 2017. Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья. - Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 328. №3, с. 27-36

43. Свистов П.Ф., Семенец Е.С., Павлова М.Т. 2018. Химия атмосферных осадков: 60 лет регулярных наблюдений. «Природа», №8, с. 51-57.

44. <http://www.ecolife.ru/zhurnal/articles/51855/>

45. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Полищук А.И., Семенец Е.С., Талаш С.С., Талаш А.С. 2018. Атлас диаграмм минерализации влажных выпадений из воздуха и кислотности осадков в Заполярье (1958-2016 гг). – СПб, ООО Издательство «Лема». – 102 с.

46. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Талаш С.С., Семенец Е.С. 2019. Формиаты в атмосферных осадках. Климат и природа, 2(31), с. 22-29.

47. Першина Н.А., Семенец Е.С., Павлова М.Т., Свистов П.Ф. 2021. Влияние погодных условий на химический состав снежного покрова. Климат и природа, 4 (41), с. 26-34

Авторские свидетельства

1. Г.Б. Свешников, Ю.И. Туркин, П.Ф. Свистов, Б.П. Виноградов, Л.П. Козлов и С.Н. Богословский. 1974. Способ поисков месторождений полезных ископаемых. № 457956.

2. П.Ф. Свистов, Ю.И. Туркин, В.Е. Мишарина и Б.П. Виноградов. 1976. Способ определения содержания ртути в растениях. № 524128.

3. П.Ф. Свистов, П.А. Александров, С.М. Немец, Ю.И. Туркин, К. Лопес (Куба), Хесус Рамирес (Куба). 1980. Способ определения озона в воздухе. № 0741552.

4. Г.Б. Свешников, В.И. Касаткин, В.С. Подсветов, А.Я. Дубровин, П.Ф. Свистов, Б.П. Виноградов и Ю.И. Туркин. 1981. Атомно-абсорбционный анализатор. № 873051

5. П.Ф. Свистов, Н.Н. Бурчуладзе, С.М. Немец и Ю.И. Туркин. 1981. Способ определения свинца в воде. № 874633.

**П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, М.Т. Павлова, Е.С. Семенец,
А.И. Полищук, С.С. Талаш, А.С. Талаш**

**АТЛАС ДИАГРАММ
ЗАПОЛЯРЬЯ И СТАНЦИЙ ФОНОВОГО МОНИТОРИНГА
(химический состав атмосферных осадков)**

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29–33, стр. 27, ком. 105
Тел.: (495) 973–72–28, 665–34–36
www.pero-print.ru e-mail: info@pero-print.ru
Подписано в печать 22.12.2022. Формат 60x90/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13,875. Тираж 30 экз. Заказ 1136.
Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»



Свистов Петр Филиппович,
химик-аналитик, к.геогр.н., с.н.с.



Першина Наталья Алексеевна,
химик-аналитик, с.н.с.



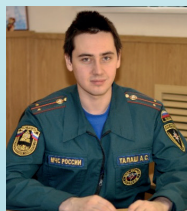
Павлова Маргарита Тихоновна
химик-аналитик, н.с.



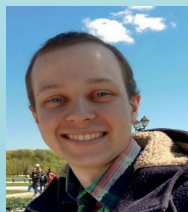
Семенец Елена Сергеевна
эколог, н.с.



Полищук Алла Ильинична,
метеоролог, к.физ-мат.н., с.н.с.



Талаш Александр Сергеевич
сотрудник МЧС



Талаш Сергей Сергеевич
эколог, н.с.

**Научные работники
Главной геофизической
обсерватории
им. А.И. Воейкова
(ФГБУ «ГГО»)
и сотрудник МЧС РФ**

ISBN 978-5-00204-878-6



9 785002 048786