

УДК 551.577(476)

Г. В. ПИРОГОВСКАЯ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: brissa_pir@mail.ru

(Поступила в редакцию 22.08.2014)

Атмосферные осадки приносят в почву не только влагу, но и различные растворенные химические вещества. Они являются основным фактором очистки атмосферы от различных загрязняющих веществ и, соответственно, одним из источников поступления химических веществ на поверхность суши и Мирового океана.

Изучением химического состава атмосферных осадков занимались многие отечественные и зарубежные ученые, которые установили, что поступление химических элементов с атмосферными осадками не является стабильным во времени и пространстве. На их поступление влияет целый комплекс природных (географические условия, рельеф местности, розы ветров, время года) и антропогенных факторов (наличие промышленных производств, содержание пыли в воздухе, трансграничный перенос и т. д.). Данные литературных источников свидетельствуют о широком диапазоне содержания (мг/л) и количества (кг/га) химических элементов, поступающих с атмосферными осадками в той или другой местности [1–13].

Поступление химических элементов с осадками является одной из приходных статей хозяйственного баланса. Именно поэтому и возникает потребность в изучении и современной оценке химического состава атмосферных осадков как важного звена круговорота химических веществ и определении поступления с ними химических элементов при настоящем уровне антропогенной нагрузки на окружающую среду.

В атмосферных осадках преобладают те же ионы, что и в поверхностных и грунтовых водах: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и др. Общее количество растворенных веществ в осадках не превышает 100 мг/л, но зачастую меньше 50 мг/л. Иногда минерализация осадков повышается до 500 мг/л и более. Кислотность (pH) осадков обычно находится в пределах 5–7. По Г. А. Максиму, минерализация осадков Русской равнины колеблется от 25 до 206 мг/л, причем морские соли составляют только 3–7 мг/л, а континентальные – 23–200 мг/л. Отмечается, что минерализация осадков зависит от времени года: зимой, весной и во влажный летний период она ниже, чем в сухой [14].

Исследования, проведенные в Литве, свидетельствуют, что химический состав атмосферных осадков зависит от преобладающего переноса воздушных масс и содержания пыли в воздухе. За период апрель–ноябрь выпадает от 388 до 477 мм атмосферных осадков при следующем колебании химических элементов: NH_4 – 0,0–9,0 мг/л, NO_3 – 0,0–5,5, PO_4 – 0,0–0,97, K – 0,0–10,95, Ca – 0,0–10,0, Mg – 0,0–3,66, Na – 0,18–1,93, Cl – 2,13–14,45, SO_4 – 1,49–14,94 мг/л, pH – 4,3–7,1, а сумма ионов – от 14,4 до 80,6 мг/л (или 129–888 моль/га) [4].

Основные данные о химическом составе атмосферных выпадений в Беларуси получают на станциях сети мониторинга, проводимого Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Департамента по гидрометеорологии (РЦРКМ). Эта сеть включает 20 станций, расположенных в городах и населенных пунктах страны, а также в Березинском биосферном заповеднике. В пробах атмосферных осадков определяют содержание основных макрокомпонентов – анионов SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- и катионов NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , показатель кислотности pH, удельную электропроводность. Результаты исследований публикуются

в ежегодных информационно-аналитических изданиях [15]. Данные наблюдений за химическим составом атмосферных осадков в Беларуси за 1990–1999 гг. обобщены С. В. Какарека и Т. Б. Евстафьевой [16]. В последние годы экспериментальные исследования химического состава атмосферных осадков в г. Минске обобщены О. Е. Белькович и др. [17, 18].

По данным Гидрометцентра Республики Беларусь, атмосферные осадки в целом характеризуются небольшой минерализацией (до 27 мг/л) с преобладанием сульфатов (26–40 % от суммы ионов), нитратов и ионов аммония (24–36 %), а также гидрокарбонатов (8–20 %). В промышленных городах сумма ионов может достигать до 91 мг/л. С увеличением общей минерализации осадков в них доминируют сульфаты и гидрокарбонаты 54–65 %, а доля соединений азота составляет 7–13 % [5]. В Республике Беларусь в 2007 г. общая минерализация атмосферных осадков (сумма ионов) изменялась от 8,2 мг/дм³ в Березинском заповеднике (региональный фон для территории Беларуси) до 31,6 мг/дм³ в Полоцке. Низкая минерализация атмосферных осадков отмечалась в Могилеве и Мозыре (10,9 и 12,0 мг/дм³), а в остальных пунктах она находилась в пределах 14,4–29,7 мг/дм³. Также отмечалось увеличение суммы ионов в месяцы с малым количеством осадков. В Березинском заповеднике увеличение содержания ионов отмечено в мае, июле и декабре (10,1–10,5 мг/дм³) с наименьшей минерализацией в октябре и ноябре (3,4–4,1 мг/дм³) [19].

Содержание ионов в атмосферных осадках по Республике Беларусь (среднее по областям) следующее: NH₄ – 0,5–2,02 мг/л, NO₃ – 1,28–2,64, К – 0,56–5,22, Са – 2,0–11,6, Mg – 0,44–1,6, Na – 0,63–2,25, Cl – 1,44–4,57, SO₄ – 4,34–30,3 мг/л, pH – 5,84–6,94, при этом сумма атмосферных осадков за год колеблется от 496 мм до 689 мм [5, 20].

По данным Института почвоведения и агрохимии, поступление химических соединений с атмосферными осадками в год составляло в среднем за период 1981–2002 гг.: N – 21,2 кг/га, P₂O₅ – 0,5, K₂O – 10,4, Са – 22,4, Mg – 3,6, Cl – 23,9, SO₄ – 65,2 кг/га. При этом количество просочившихся осадков через слой почв глубиной 1,0–1,5 м достигало 46,4 % в зависимости от гранулометрического состава почв и года исследования [21, 22].

Цель данной работы – оценка изменения химического состава атмосферных осадков в центральной и юго-восточной части Республики Беларусь (по данным результатов на лизиметрических станциях в период 1981–2012 гг.).

Объекты и методы исследований. Исследования проводили на лизиметрических станциях, расположенных в центральной (г. Минск) и юго-восточной (совхоз «Подолесье» Речицкого района Гомельской области, далее г. Речица) части Республики Беларусь, в 1981–2012 гг.

Лизиметрическая станция Института почвоведения и агрохимии расположена в южной части г. Минска (53°51'03" N, 27°30'26" E), введена в эксплуатацию в 1980 г. и функционирует по настоящее время. Лизиметрическая станция в совхозе «Подолесье» Речицкого района Гомельской области располагалась в юго-восточной части республики (52°21'12.26" N, 30°24'35.68" E), исследования на ней осуществлялись в 1991–2000 гг.

Во время исследований на лизиметрических станциях регулярно проводили учет выпавших атмосферных осадков (осадкомером Третьякова), в которых ежемесячно определяли содержание химических элементов (N–NO₃, N–NH₄, N_{общ}, P₂O₅, K₂O, Са, Mg, Na, Cl, S, водорастворимое органическое вещество (ВОВ), гидрокарбонаты, pH).

Анализ осадков выполняли согласно методикам Е. В. Аринушкиной, О. А. Алекина, и Ю. В. Новикова, К. О. Ласточкиной и З. Н. Болдина [23]. В атмосферных осадках определяли следующие показатели: pH – потенциометрически, ГОСТ 26423–85, п. 4, п. 4.1, п. 4.3; N–NO₃ – потенциометрический, ГОСТ 18826–73; N–NH₄ – ГОСТ 4192–82; фосфор – спектрометрический метод, СТБ ИСО 6878–2005; калий и натрий – на пламенном фотометре, ГОСТ 26427–85; кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрофотометре, ГОСТ 26428–85; хлориды – ГОСТ 4245–72; сульфаты – ГОСТ 4389–72; гидрокарбонаты – по ГОСТ Р 52963–2008, ГОСТ Р 31957–2012, ВОВ – по методу Тюрина (бихроматная окисляемость), ГОСТ Р 52991–2008.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по формуле Г. Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = \Sigma X / \Sigma T / 10,$$

где ΣX – сумма осадков за период, а ΣT – сумма температур воздуха ($T > 10^\circ\text{C}$) за тот же период.

Результаты и их обсуждение. Известно, что в г. Минске среднемноголетнее годовое количество осадков за 30-летний период (1961–1990 гг.) составило 696 мм, большее количество осадков выпало в летний период (254 мм, или 36,5 % от годового количества) и меньшее – в зимний период (18,0 %), а в юго-восточной части республики – среднемноголетнее количество осадков составило 655 мм, т. е. было несколько ниже (на 41 мм) по сравнению с г. Минском [24, 25].

Результаты исследований на лизиметрической станции (г. Минск) в течение 1981–2012 гг. показали, что среднегодовое количество осадков (январь–декабрь) изменялось в широких пределах – от 453,6 (1984 г.) до 828,1 (2009 г.) мм при среднем за 32-летний период 597,6 мм. За указанный период, по сравнению с 1961–1990 гг., в центральной части Республики Беларусь количество атмосферных осадков уменьшилось в целом за год на 92 мм (на 13,2 %), за весенний период – на 21, летний – 50, осенний – 18, зимний – на 3 мм, в том числе за теплый период (IV–X месяц) – на 16,5 %, за летний период (VI–VIII) – на 19,7 %, холодный период (XI–III) – на 2 %. При оценке количества выпадающих осадков наиболее важным является период (V–IX месяцы), осадки которого оказывают существенное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур, а следовательно, и их продуктивность. За этот период выпадало от 176,8 мм (36,1 % от годового количества, 1983 г.) до 454,5 мм (59,2 % от годового количества, 1998 г.) при среднем за 1981–2012 гг. – 311,1 мм, среднемноголетнем (1961–1990 гг.) – 374 мм [26].

Результаты наблюдений за атмосферными осадками в юго-восточной части Республики Беларусь показывают, что их годовое количество (1981–2012 гг.) изменялось в пределах 335,0 (1992 г.) – 852,3 (2012 г.) мм при среднем за этот период 623,4 мм и среднемноголетнем (1961–1990 гг.) – 655,0 мм. Количество осадков уменьшилось в среднем за год на 30 мм (на 4,8 %), весной – на 15, летом осталось на прежнем уровне, осенью – на 9 и зимой – на 7 мм, за теплый период – на 4,0 %, холодный период – на 6,3 %. Осадки за V–IX месяцы находились в пределах 116,0 (34,6 % от годового количества, 1992 г.) – 467,2 мм (68,2 %, 1985 г.) при среднем (1981–2012 гг.) – 349,6 мм [26].

Установлено, что содержание химических элементов и показатель величины pH в атмосферных осадках значительно различались по годам и по сезонам года (табл. 1–4).

Кислотность осадков. Кислотность осадков (дождь, снег, дождь со снегом) обусловлена распределением вклада основных кислотообразующих ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- и HCO_3^-). Незагрязненная дождевая вода имеет pH 5,65. Чистая вода имеет нейтральную реакцию (pH 7,0). Кислотными называют осадки с pH менее 5,65. Возникают они главным образом из-за выбросов оксидов серы и азота в атмосферу при сжигании ископаемого топлива (угля, нефти и природного газа), которые, растворяясь в атмосферной влаге, образуют слабые растворы серной и азотной кислот и выпадают в виде кислотных дождей.

Реакция среды атмосферных осадков в г. Минске за 1981–2012 гг. находилась в пределах от среднекислой (pH 4,92–4,97, октябрь–декабрь 2012 г.) до сильнощелочной (pH 8,36, январь 1994 г.), а в среднем за годы исследований составила 7,14. За период 1981–1990 гг. кислотность осадков составила 7,08, 1991–2000 гг. – 7,28 и за 2001–2010 гг. – 7,09. Экспериментальные данные свидетельствуют, что среднегодовые величины pH в 28,1 % лет (9 из 32 лет) находились в пределах 6,52–6,96, а в 71,9 % лет – 7,01–7,63. Сильнощелочные осадки с pH более 8 зафиксированы только один раз (январь 1994 г.), а кислые с pH менее 5,65 только в октябре–декабре 2012 г.

Оценка показателя кислотности (pH) атмосферных осадков в центральной части Республики Беларусь (г. Минск, 1981–2012 гг.) по сезонам года свидетельствует, что в весенний и зимний период она была нейтральной – 7,08 и 7,09, а в летний и, в большей степени, осенний периоды подщелачивалась – 7,17 и 7,23. Аналогичная закономерность прослеживалась и в 1981–1990 гг. Что касается последних двух десятилетий (1991–2000 и 2001–2010 гг.), то подщелачивание осадков больше всего наблюдалось в осенний период (табл. 1).

Сравнительная оценка величины pH атмосферных осадков в юго-восточной части Республики Беларусь за период 1991–2000 гг. показала, что среднегодовой показатель в целом за этот период, да и по месяцам, был ниже в 1,01–1,05 раза по сравнению с величинами кислотности за аналогичный период на лизиметрической станции (г. Минск). Величина pH в летний и осенний периоды была в 1,03 раза, а в весенний и зимний – в 1,02 раза ниже, чем в г. Минске (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Кислотность атмосферных осадков в зависимости от сезонов года в Республике Беларусь, 1981–2012 гг.

Сезон года	г. Минск				г. Речица
	1981–2012 гг.	1981–1990 гг.	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	1991–2000 гг.
Весенний (март–май)	7,08	7,05	7,24	7,00	7,07
Летний (июнь–август)	7,17	7,17	7,23	7,09	6,99
Осенний (сентябрь–ноябрь)	7,23	7,19	7,33	7,17	7,15
Зимний (декабрь–февраль*)	7,09	6,90	7,31	7,08	7,16
Среднее за год	7,14	7,08	7,28	7,09	7,09

*Январь–февраль последующего года.

Сульфаты. Из основных компонентов химического состава атмосферных осадков в наибольшей степени изучены сульфаты [12, 27–31], однако, анализа изменения их состава за длительный период, в том числе за 30-летний, в литературных источниках не приводится.

В годы исследований в центральной и в юго-восточной части Беларуси не наблюдалось превышения содержания сульфатов выше предельно допустимой концентрации (500 мг/л) (табл. 2). Среднегодовое (1981–2012 гг.) содержание сульфатов в атмосферных осадках в г. Минске составило 11,13 мг/л, за 1981–1990 гг. – 14,40 (при минимальном их содержании 5,4 мг/л (1989 г.) и максимальном (1982 г.) – 24,0 мг/л), за 1991–2000 гг. – 11,03 (от 6,9 (1998 г.) до 13,8 (1995 г.) мг/л) и за 2001–2010 гг. – 8,15 мг/л (от 1,7 (2007 г.) до 20,5 (2010 г.) мг/л). В последнее десятилетие содержание сульфатов в атмосферных осадках снизилось, что, по-видимому, свидетельствует о сокращении выбросов соединений серы в атмосферу, это отмечено и другими исследователями [15, 32–34].

Т а б л и ц а 2. Содержание химических элементов в атмосферных осадках и их распределение по сезонам года в Республике Беларусь, 1981–2012 гг., мг/л

Сезон года	г. Минск				г. Речица
	1981–2012 гг.	1981–1990 гг.	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	1991–2000 гг.
SO₄²⁻					
Весенний (март–май)	13,10	17,80	12,30	8,90	12,40
Летний (июнь–август)	7,70	8,10	9,00	6,00	6,00
Осенний (сентябрь–ноябрь)	9,50	12,00	8,90	8,70	8,70
Зимний (декабрь–февраль)	14,20	19,70	13,90	9,00	18,60
Среднее за год	11,13	14,40	11,03	8,15	11,55
NO₃⁻					
Весенний (март–май)	1,98	1,60	2,55	1,99	4,10
Летний (июнь–август)	2,35	0,94	4,24	2,07	4,31
Осенний (сентябрь–ноябрь)	1,55	1,18	1,92	1,64	3,64
Зимний (декабрь–февраль)	1,50	1,49	1,61	1,57	3,78
Среднее за год	1,84	1,30	2,58	1,82	3,96
NH₄⁺					
Весенний (март–май)	2,73	2,67	2,36	3,12	1,31
Летний (июнь–август)	2,58	1,92	2,12	2,98	1,02
Осенний (сентябрь–ноябрь)	2,70	1,66	2,19	3,39	1,14
Зимний (декабрь–февраль)	2,39	1,35	2,07	3,86	2,33
Среднее за год	2,60	1,90	2,19	3,34	1,45
Фосфаты (PO₄³⁻)					
Весенний (март–май)	0,091	0,07	0,10	0,10	0,17
Летний (июнь–август)	0,144	0,04	0,16	0,18	0,32
Осенний (сентябрь–ноябрь)	0,098	0,06	0,08	0,13	0,17
Зимний (декабрь–февраль)	0,081	0,03	0,08	0,11	0,19
Среднее за год	0,104	0,05	0,10	0,13	0,21

Сезон года (месяцы)	г. Минск				г. Речица
	1981–2012 гг.	1981–1990 гг.	1991–2000 гг.	2001–2010 гг.	1991–2000 гг.
K⁺					
Весенний (март–май)	1,71	2,07	2,23	1,01	1,72
Летний (июнь–август)	1,57	1,44	2,62	0,88	2,43
Осенний (сентябрь–ноябрь)	1,78	1,61	2,64	0,88	1,88
Зимний (декабрь–февраль)	1,34	1,16	2,01	0,84	3,37
Среднее за год	1,60	1,57	2,38	0,90	2,35
Ca²⁺					
Весенний (март–май)	6,25	5,68	3,52	10,28	6,56
Летний (июнь–август)	5,69	3,71	4,24	9,45	4,81
Осенний (сентябрь–ноябрь)	4,72	4,11	2,26	8,34	6,74
Зимний (декабрь–февраль)	5,10	4,84	2,96	8,32	6,49
Среднее за год	5,44	4,59	3,25	9,10	6,15
Mg²⁺					
Весенний (март–май)	0,89	0,93	0,58	1,18	1,40
Летний (июнь–август)	0,69	0,78	0,52	0,72	1,04
Осенний (сентябрь–ноябрь)	0,59	0,57	0,48	0,73	0,76
Зимний (декабрь–февраль)	0,91	1,07	0,70	1,04	0,98
Среднее за год	0,77	0,84	0,57	0,92	1,05
Na⁺					
Весенний (март–май)	1,12	1,20	0,89	1,22	0,96
Летний (июнь–август)	0,84	0,57	1,28	0,79	1,04
Осенний (сентябрь–ноябрь)	0,99	0,61	1,37	0,73	0,76
Зимний (декабрь–февраль)	1,34	1,08	1,27	1,70	1,94
Среднее за год	1,07	0,87	1,15	1,11	1,18
Cl⁻					
Весенний (март–май)	8,55	6,49	5,17	13,91	3,64
Летний (июнь–август)	6,33	3,45	4,04	11,37	3,70
Осенний (сентябрь–ноябрь)	5,00	4,85	3,72	6,43	4,56
Зимний (декабрь–февраль)	7,28	7,29	5,58	8,97	6,82
Среднее за год	6,79	5,52	4,63	10,17	4,68

Концентрация сульфатов в атмосферных осадках в Речицком районе за 1991–2000 гг. в среднем составила 11,55 мг/л, при этом минимальное ее значение (3,8 мг/л) было во влажном 1998 г., а максимальное (20,5 мг/л) – в очень засушливом 1992 г.

Следует также отметить, что как в целом за 1981–2012 гг., так и по десятилетиям на исследуемых объектах наибольшее содержание сульфатов наблюдалось в зимний период, затем в весенний и осенний и меньше всего в летний период.

Не выявлено превышения среднегодового содержания сульфатов в г. Минске за период 1991–2000 гг. по сравнению с юго-восточной частью Беларуси. Их концентрация в осадках была на одном уровне (11,03 и 11,55 мг/л). Разница наблюдалась только в их перераспределении по сезонам года. Так, в юго-восточной части республики в летний период этот показатель был в 1,33 раза ниже, а в зимний период – в 1,34 раза выше по сравнению с аналогичными периодами в г. Минске.

Азот нитратный и аммонийный. В литературных источниках недостаточно внимания уделяется соединениям азота как основным закисляющим компонентам атмосферных осадков. Проблема остается актуальной как для городских условий, так и в целом для окружающей среды, так как постоянно возрастает количество автомобильного транспорта, являющегося главным источником оксидов азота в атмосфере. Определение концентрации ионов NH_4^+ и NO_3^- в атмосферных осадках имеет значение для решения практических задач сельскохозяйственного производства.

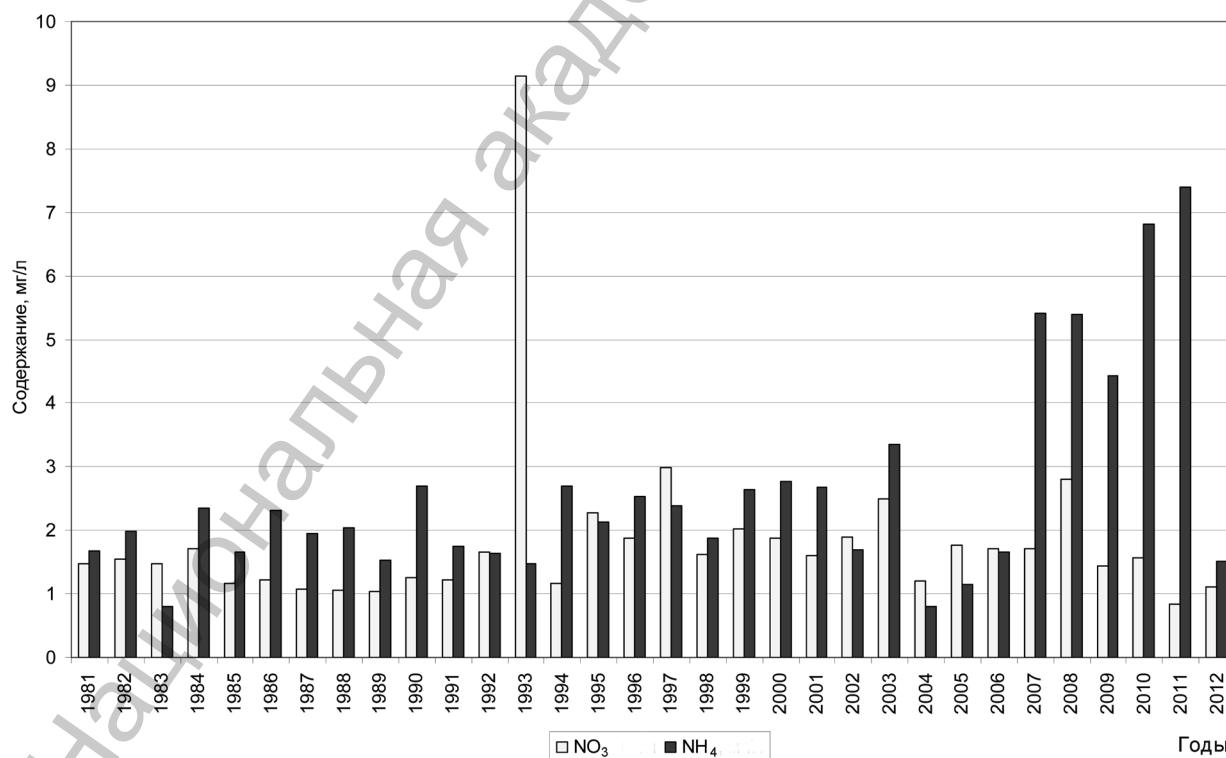
Известно, что предельно допустимая концентрация нитратов в воде водоемов составляет 45 мг/л (или 10 мг/л по азоту), аммиака и ионов аммония – 2 мг/л по азоту (или 2,6 мг/л в виде иона NH_4^+) [23], по азоту аммонийному – 5,0 мг/л [35].

Установлено, что в г. Минске среднегодовое (1981–2012 гг.) содержание нитратного азота в атмосферных осадках составило 1,84 мг/л, за период 1981–1990 гг. – 1,30 мг/л (при минимальном его значении 1,03 мг/л (1989 г.) и максимальном 1,71 в 1984 г.), за 1991–2000 гг. – 2,58 мг/л (от 1,17 (1994 г.) до 9,14 (1993 г.) мг/л) и за 2001–2010 гг. – 1,82 мг/л (от 1,21 (2004 г.) до 2,80 (2008 г.) мг/л). Ни в один год исследований содержание нитратов в атмосферных осадках не превышало 45 мг/л (см. табл. 2).

Среднегодовое (1981–2012 гг.) содержание ионов аммония в атмосферных осадках в центральной части Республики Беларусь составило 2,60 мг/л, за период 1981–1990 гг. – 1,90 мг/л (при минимальном его значении 0,81 мг/л (1983 г.) и максимальном 2,69 (1990 г.)), за 1991–2000 гг. – 2,19 мг/л (от 1,47 (1993 г.) до 2,76 (2000 г.) мг/л) и за 2001–2010 гг. – 3,34 мг/л (от 0,80 (2004 г.) до 6,82 (2010 г.) мг/л). Самые высокие его концентрации отмечались в весенний период (2,73 мг/л), затем в осенний (2,70 мг/л), летний (2,58 мг/л) и зимний (2,39 мг/л) периоды. При этом следует отметить, что превышение содержания ионов аммония в атмосферных осадках выше 5,0 мг/л наблюдалось в 1986 г. (март, май), 1990 г. (май, август), 2000 г. (сентябрь, октябрь), 2003 г. (август), 2006 г. (апрель), 2007 г. (сентябрь–декабрь), 2008 г. (январь–апрель, октябрь–декабрь), 2009 г. (январь–март, май–июнь), 2010 г. (январь–апрель, июль–декабрь), 2011 г. (май–декабрь), 2012 г. (апрель). Если сравнивать поступление аммонийного азота с атмосферными осадками по десятилетиям, то следует отметить, что за последние два десятилетия отмечалось его увеличение (в 1,15–1,76 раза) по сравнению с предыдущим периодом.

Динамика изменения нитратного и аммонийного азота в атмосферных осадках по годам исследований более наглядно представлена на рисунке.

Сравнительная оценка содержания нитратного и аммонийного азота в атмосферных осадках за период 1991–2000 гг. в г. Минске и в Речицком районе (см. табл. 2) свидетельствует, что среднегодовое количество нитратов в атмосферных осадках в юго-восточной части Республики



Среднегодовые концентрации нитратного и аммонийного азота в атмосферных осадках на лизиметрической станции, г. Минск, 1981–2012 гг.

Беларусь за этот период составило 3,96 мг/л, в г. Минске – 2,58 мг/л, аммонийного азота – 1,45 и 2,19 мг/л соответственно. Во все годы исследований в Речицком районе за указанный десятилетний период не наблюдалось превышения содержания нитратов в атмосферных осадках больше допустимых значений (45 мг/л), а по аммонийному азоту – его содержание выше 5,0 мг/л отмечалось только в 1991 г. в сентябре (5,03 мг/л) и в 1993 г. в декабре (5,03 мг/л).

Максимальные концентрации нитратов в атмосферных осадках в среднем за 32-летний период наблюдались в центральной части Республики Беларусь в летний период (2,35 мг/л), далее – в весенний (1,98 мг/л) и осенне-зимний периоды (1,55 и 1,50 мг/л). Аналогичная закономерность по распределению содержания нитратов в атмосферных осадках наблюдалась и за периоды 1991–2000 и 2001–2010 гг., а за период 1981–1990 гг. максимальные концентрации этого показателя (1,60 мг/л) отмечены в весенний период, далее – в зимний (1,49 мг/л), осенний (1,18 мг/л) и летний (0,94 мг/л).

В Речицком районе и в г. Минске (1991–2000 гг.) максимальная среднегодовая концентрация нитратов отмечалась в летний период, далее – в весенний. Близкие значения концентрации нитратов наблюдались в осенний и зимний периоды. Также установлено, что концентрации аммонийного азота в атмосферных осадках, выпадающих в Речицком районе, были в целом за 1991–2000 гг. ниже в 1,51 раза, а в весенний, летний и осенний – в 1,80, 2,08 и 1,92 раза соответственно по сравнению с аналогичным периодом и сезонами года в г. Минске. В зимний период их концентрации на обеих точках наблюдений находились в близких пределах (2,07 и 2,33 мг/л).

Фосфаты (PO_4^{3-}), калий (K^+), кальций (Ca^{++}) и магний (Mg^{++}). Предельно допустимая концентрация (ПДК) фосфатов для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, а также атмосферных осадков не установлена, в них нормируется только содержание полифосфатов. ПДК полифосфатов в воде составляет 3,5 мг/л в пересчете на PO_4^{3-} [23] и 1,1 мг/дм³ в пересчете на фосфор. ПДК веществ в атмосферных осадках по калию составляет 300 мг/л, кальцию – 200 мг/л, по магнию – 50 мг/л.

Наблюдения за содержанием фосфатов в атмосферных осадках в течение 32-летнего периода в г. Минске свидетельствуют, что их среднегодовое содержание было очень низким и находилось в пределах 0,01 (1986 г.) – 0,24 (2011 и 2012 гг.) мг/л. По сравнению с другими химическими элементами их концентрации были минимальными. При этом следует отметить, что в отдельные месяцы их в атмосферных осадках вовсе не отмечалось. В целом за 1981–1990 гг. содержание фосфатов составило 0,05 мг/л, за 1991–2000 гг. – 0,10 и за 2001–2010 гг. – 0,13 мг/л. В последние два года их содержание несколько увеличилось и в 2011–2012 гг. находилось на уровне 0,24 мг/л.

Если сравнивать поступление фосфатов с атмосферными осадками по сезонам года, то по средним данным за 1981–2012 гг. максимальное их количество отмечалось в летний период (0,144 мг/л), далее – в осенний (0,098 мг/л), а в последние два десятилетия – в летний (0,16–0,18 мг/л). Следует также отметить, что в юго-восточной части Республики Беларусь за период 1991–2000 гг. наблюдались более высокие среднегодовые концентрации фосфатов в атмосферных осадках как в целом за год (0,21 мг/л), так и по сезонам года (0,17–0,32 мг/л) по сравнению с аналогичными периодами в г. Минске (0,10 и 0,08–0,16 мг/л) (см. табл. 2).

Основными катионами щелочных и щелочно-земельных металлов, представленными в атмосферных осадках, являются катионы K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ . Известно, что источником ионов калия, кальция и магния в осадках являются минеральные компоненты аэрозолей, поступающих из почвы. Кальций может попадать в атмосферу также в виде карбонатной или гипсовой пыли.

Среднегодовая концентрация K^+ в г. Минске за период 1981–2012 гг. составила 1,60 мг/л (при минимальном значении – 0,37 (2007 г.) и максимальном – 7,28 (1997 г.) мг/л), за 1981–1990 гг. – 1,57, 1991–2000 гг. – 2,38 и 2001–2010 гг. – 0,90 мг/л (см. табл. 2).

Концентрация Ca^{2+} в атмосферных осадках в среднем за 1981–2012 гг. была значительно выше, чем концентрация калия, и составляла 5,44 мг/л (при минимальном значении – 0,57 (2000 г.) и максимальном – 21,11 (2003 г.) мг/л), за 1981–1990 гг. – 4,59, 1991–2000 гг. – 3,25 и 2001–2010 гг. – 9,10 мг/л (см. табл. 2).

Концентрация Mg^{2+} в атмосферных осадках в среднем за 1981–2012 гг. составила 0,77 мг/л и была в 2,1 раза ниже калия и в 7,0 раз ниже кальция. Минимальные ее значения находились на уровне 0,04 мг/л (1988 г.), максимальные – 2,55 (1982 г.) мг/л, за 1981–1990 гг. – 0,84, 1991–2000 гг. – 0,57 и 2001–2010 гг. – 0,92 мг/л (см. табл.2).

По средним данным за 1981–2012 гг. в г. Минске максимумы по содержанию калия в атмосферных осадках наблюдались в осенний (1,78 мг/л) и весенний (1,71 мг/л), далее – летний (1,57 мг/л) и зимний (1,34 мг/л) периоды. По кальцию отмечались несколько другие закономерности: максимум – в весенний (6,25 мг/л), далее – летний (5,69 мг/л), зимний (5,10 мг/л) и осенний (4,72 мг/л); по магнию – зимний (0,91 мг/л), весенний (0,89 мг/л), летний (0,69 мг/л) и осенний (0,59 мг/л). Необходимо также отметить, что наибольшие концентрации калия в осадках отмечались за период 1991–2000 гг., кальция и магния – за 2001–2010 гг.

В юго-восточной части Беларуси среднегодовая концентрация калия за период 1991–2000 гг. составила 2,35 мг/л (с максимумом в зимний (3,37 мг/л), далее – летний (2,43 мг/л), осенний (1,88 мг/л) и весенний (1,72 мг/л) периоды; кальция – 6,15 мг/л (максимум – весенний и осенне-зимний); магния – 1,05 мг/л (максимум – весенний, далее – летний и зимний). Сравнительная оценка данных показателей за период 1991–2000 гг. в центральной части и юго-восточной части республики свидетельствует, что концентрация калия в атмосферных осадках на обеих точках исследований находилась в близких пределах (2,38 и 2,35 мг/л), кальция и магния значительно различалась и составила: по кальцию – 3,25 и 6,15, по магнию – 0,57 и 1,05 мг/л соответственно (см. табл. 2).

Натрий и хлориды. Многолетними исследованиями показано, что концентрации хлор-иона в атмосферных осадках изменяются в зависимости от географического положения местности, сезонности года, количества выпавших осадков и других антропогенных факторов. Показано, что зимой наблюдается повышение концентрации натрия и хлоридов в атмосфере, обусловленное ухудшением метеорологических условий рассеяния примесей, увеличением количества промышленных выбросов, замедлением химических процессов трансформации веществ, при низкой температуре воздуха. По этим причинам в снежном покрове городов накапливается основная масса атмосферных поллютантов. Снежный покров обладает высокой сорбционной способностью и является наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения атмосферы. Он аккумулирует и сохраняет в себе все загрязняющие атмосферу компоненты. Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов твердых пылеватых частиц, оседающих из атмосферы, поглощения снежным покровом газов, водорастворимых аэрозолей и других элементов [36–37].

Согласно гигиеническим нормативам (2.1.5.10–21–2003), ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, величина ПДК по натрию составляет 200,0 мг/л, по хлоридам – 300 мг/л.

Среднегодовая концентрация натрия на лизиметрической станции г. Минск за период 1981–2012 гг. составила 1,07 мг/л (при минимальном значении – 0,25 (2008 г.) и максимальном – 3,00–2,98 (2010 и 1996 гг.) мг/л), за 1981–1990 гг. – 0,87, 1991–2000 гг. – 1,15 и 2001–2010 гг. – 1,11 мг/л.

Концентрация хлоридов в атмосферных осадках в среднем за 1981–2010 гг. составила 6,79 мг/л и была в 6,3 раза выше натрия. Минимальные его значения находились на уровне 1,34 (2001 г.), максимальные – 11,44 (2006 г.) мг/л, за 1981–1990 гг. – 5,52, 1991–2000 гг. – 4,63 и 2001–2010 гг. – 10,17 мг/л (см. табл. 2).

Сравнительная оценка данных показателей за период 1991–2000 гг. в г. Минске и Речицком районе свидетельствует, что концентрация натрия на первом объекте составила 1,15, на втором – 1,18 мг/л, хлоридов – 4,63 и 4,68 мг/л соответственно.

Проведенный анализ сезонного изменения содержания натрия (1981–2012 гг.) и хлоридов (1981–2010 гг.) в атмосферных осадках позволяет заключить, что максимальное содержание водорастворимых соединений натрия отмечалось в зимний (1,34 мг/л) и в весенний периоды (1,12 мг/л), а хлоридов – в весенний (8,55 мг/л) и зимний (7,28 мг/л). При этом наиболее высокие среднегодовые концентрации натрия в г. Минске характерны для периода 1991–2000 гг. (1,15 мг/л). За этот же период в Речицком районе этот показатель составил 1,18 мг/л с максимумом в зимний период.

Среднегодовые концентрации хлоридов в г. Минске были самые высокие (10,17 мг/л) в 2001–2010 гг., при этом максимальные их значения отмечались в весенний (13,91 мг/л) и летний (11,37 мг/л), далее – в зимний (8,97 мг/л) и осенний (6,43 мг/л) периоды (см. табл. 2).

Общая щелочность (гидрокарбонаты). Под щелочностью понимают способность некоторых компонентов, содержащихся в воде, связывать эквивалентное количество сильной кислоты. В атмосферных осадках щелочность зависит в основном от присутствия гидрокарбонатов щелочноземельных металлов и в меньшей степени от щелочных. Щелочность атмосферных осадков изменяется от количества выпадающих осадков и их интенсивности, сезонности года, географических условий местности, антропогенных факторов и т.д. Известно, например, что максимальные концентрации гидрокарбонатных ионов в атмосферных осадках в России на ст. Ухта (2005 г.) в сентябре составляли 73,77 мг/л, ст. Сыктывкар в январе – 25,38 мг/л, ст. Троицко-Печорск в марте – 24,84 мг/л [38]. В Республике Беларусь в 2007 г. гидрокарбонаты (HCO_3^-) в атмосферных осадках составляли: в Березинском заповеднике – 2,37 мг/дм³ (мг/л), г. Минске – 5,93, Березино – 3,09, Бобруйске – 10,83, Браславе – 15,01, Бресте – 4,42, Гомеле – 5,60, Гродно – 7,90, Жлобине – 8,68, Могилеве – 4,71, Мозыре – 2,75, Мстиславле – 5,23, Нарочи – 2,24, Новогрудке – 7,77, Орше – 6,47, Пинске – 7,29, Полоцке – 9,81 и Пружанах – 4,18 мг/дм³ [39].

В наших исследованиях среднегодовое за 12 лет (1989–2000 гг.) содержание гидрокарбонатов (HCO_3^-) в г. Минске на лизиметрической станции изменялось в пределах 2,69 (1996 г.) – 17,67 (1990 г.) мг/л, а в среднем за 1989–2000 гг. составило 10,44 мг/л (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Концентрация HCO_3^- в атмосферных осадках за 1989–2012 гг., лизиметрическая станция «Минск», мг/л

Месяц	1989 г.	1990 г.	1991 г.	1992 г.	1993 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	Среднее
Январь	19,40	24,73	21,30	1,06	19,65	6,17	10,34	1,55	1,55	4,65	1,06	1,25	9,39
Февраль	8,57	29,03	9,59	3,17	4,92	8,76	6,20	0,52	0,89	6,21	3,17	3,08	7,47
Март	13,44	37,63	35,15	6,34	7,06	9,30	8,27	1,55	1,85	1,03	6,34	6,21	12,03
Апрель	7,24	33,33	1,07	11,61	5,61	4,14	12,41	1,46	1,74	5,60	11,61	10,45	9,50
Май	20,09	3,75	6,58	14,77	20,10	2,07	2,56	1,03	1,52	20,10	14,77	14,18	11,63
Июнь	17,92	20,04	13,16	18,28	11,34	3,10	5,17	3,62	3,62	11,32	18,28	17,35	11,93
Июль	19,55	6,34	17,93	17,20	6,91	4,14	9,30	5,69	2,07	6,91	17,20	17,15	10,87
Август	16,83	12,64	24,26	8,27	2,12	6,20	9,1	11,12	5,17	2,12	8,27	8,11	9,52
Сентябрь	4,88	3,70	24,26	33,60	14,84	5,85	12,92	2,58	6,20	14,84	33,60	25,16	15,20
Октябрь	1,09	7,39	14,78	12,41	12,16	6,20	4,14	0,56	2,58	12,21	12,41	10,13	8,01
Ноябрь	33,67	13,72	11,61	16,53	6,36	14,47	1,55	1,55	2,75	6,46	16,53	15,45	12,54
Декабрь	11,94	5,79	6,33	5,17	17,01	6,20	1,03	1,03	3,10	17,00	5,17	6,01	7,15
Среднее	15,10	17,67	15,50	12,37	10,67	6,38	6,92	2,69	3,47	9,04	12,37	11,21	10,44

Водорастворимое органическое вещество. По данным ряда исследователей, водорастворимые комплексы органических веществ обладают высокой миграционной способностью и оказывают существенное влияние на рост и развитие растений. Они способствуют переводу элементов питания в доступное для растений состояние, влияют на молекулярно-массовое распределение химических элементов в почвенных растворах и питательных смесях, регулируют поступление в растения органических и минеральных компонентов, оказывают прямое физиологическое действие на продуктивность растений, влияют на дыхательную активность почв и растений, участвуют в фотосинтезе, осуществляют фиксацию молекулярного азота, выполняют защитные функции почв и растений от загрязнения пестицидами, радиоактивными веществами и тяжелыми металлами [40–43]. Данные по содержанию водорастворимых органических веществ в атмосферных осадках в литературных источниках практически отсутствуют.

Изучение поступления соединений водорастворимых органических веществ (ВОВ) с атмосферными осадками проводили только в центральной части Республики Беларусь на лизиметрической станции Института почвоведения и агрохимии в период 1989–2012 гг. Установлено, что среднегодовое содержание водорастворимого органического вещества за годы исследований изменялось от 2,82 (1996 г.) до 17,60 (1990 г.) мг/л, а в среднем за 1989–2012 гг. составило 9,99 мг/л.

Среднегодовое поступление ВОВ за этот период составило 59,2 кг/га. Анализ сезонного изменения (1989–2012 гг.) содержания ВОВ в атмосферных осадках свидетельствует, что их концентрация в весенний, летний и осенний период была близкой и находилась в пределах 10,13–10,82 мг/л и снижалась в зимний период (8,77 мг/л). Наибольшее количество ВОВ поступало с атмосферными осадками в летний период (21,9 кг/га), далее – в осенний (14,7), а в зимний и весенний периоды его поступление было наименьшим и находилось в пределах 11,2–11,5 кг/га.

Если сравнивать последние два десятилетия (1991–2000 и 2001–2010 гг.), то следует отметить, что за период 2001–2010 гг. среднегодовая концентрация ВОВ была в 1,36 раза ниже (8,36 мг/л) по сравнению с 1991–2000 гг. (11,34 мг/л). Наибольшее количество ВОВ поступало с атмосферными осадками (1991–2000 гг.) в осенний период (18,3 кг/га), далее – летний (17,0), в зимний и весенний периоды – 10,8–10,9 кг/га, а в среднем за год составило 56,9 кг/га. Соответственно, за период 2001–2010 гг. максимальное количество ВОВ поступало с атмосферными осадками в летний период (22,9 кг/га), далее – в осенний (11,9), а в весенний и зимний периоды – 10,2–10,6 кг/га, в сумме составило 55,6 кг/га (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Содержание водорастворимого органического вещества в атмосферных осадках в зависимости от сезонов года в центральной части Республики Беларусь (г. Минск), 1989–2012 гг., мг/л

Сезон года	1989–2012 гг.		1991–2000 гг.		2001–2010 гг.	
	мг/л	кг/га	мг/л	кг/га	мг/л	кг/га
Весенний (март–май)	10,25	11,5	11,23	10,9	8,85	10,2
Летний (июнь–август)	10,82	21,9	11,45	17,0	9,58	22,9
Осенний (сентябрь–ноябрь)	10,13	14,7	12,84	18,3	7,50	11,9
Зимний (декабрь–февраль)	8,77	11,2	9,82	10,8	7,50	10,6
Среднее за год	9,99	59,2	11,34	56,9	8,36	55,6

Выводы

1. Химический состав атмосферных осадков в центральной части Республики Беларусь (г. Минск) значительно различался по годам исследований (1981–2012 гг.), а в среднем за эти годы был следующего состава: кислотность осадков (рН) – 7,14 ед., SO_4 – 11,13 мг/л, NO_3 – 1,84, NH_4 – 2,60, К – 1,60, Са – 5,44, Mg – 0,77, Na – 1,07, PO_4 – 0,104, Cl – 6,79 мг/л, ВОВ (1989–2012 гг.) – 9,99 мг/л.

2. Химический состав атмосферных осадков в юго-восточной части Республики Беларусь (Речицкий район, Гомельской области) в среднем за годы исследований (1991–2000 гг.) был следующего состава: кислотность осадков (рН) – 7,09 ед., SO_4 – 11,55 мг/л, NO_3 – 3,96, NH_4 – 1,45, К – 2,35, Са – 6,15, Mg – 1,05, Na – 1,18, PO_4 – 0,21, Cl – 4,68 мг/л. Для сравнения за этот период в г. Минске: кислотность осадков (рН) – 7,28 ед., SO_4 – 11,03 мг/л, NO_3 – 2,58, NH_4 – 2,19, К – 2,38, Са – 3,25, Mg – 0,57, Na – 1,15, PO_4 – 0,10 и Cl – 4,63 мг/л.

3. Минерализация атмосферных осадков в г. Минске в среднем за 1981–2012 гг. зависит от времени года:

наибольшее содержание сульфатов наблюдалось в зимний период, далее – в весенний и осенний и меньше всего в летний период;

максимальные концентрации нитратов – в летний период, далее – в весенний и осенне-зимний периоды;

аммонийного азота – в весенний период, далее – в осенний, летний и зимний;

калия – максимумы отмечались в осенний и весенний, далее – летний и зимний;

кальция – максимум в весенний, далее – летний, зимний и осенний;

магния – зимний, весенний, летний и осенний;

водорастворимых соединений натрия – максимальное содержание в зимний и весенний, а хлоридов – в весенний и зимний;

наибольшее количество ВОВ поступало с осадками в летний и осенний периоды.

4. В центральной и юго-восточной части Республики Беларусь не отмечено превышения ПДК по содержанию NO_3 , К, Са, Mg, Na, SO_4 , PO_4 , Cl, за исключением NH_4 , концентрация которого в отдельные годы была выше ПДК.

Литература

1. Джанботаев, Р. Поступление азота с атмосферными осадками и поливными водами на посевах хлопчатника / Р. Джанботаев // Тез. докл. – Пушино, 1989. – 19 с.
2. Лопатовская, О. Г. Химический состав атмосферных осадков г. Иркутска / О. Г. Лопатовская, М. А. Тугарина, О. В. Колтунова // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф., Москва, 24–25 апр. 2002 г. / Рос. акад. с.-х. наук. – М., 2002. – С. 167–168.
3. Кондратьев, И. И. Сихотэ-Алинь как фактор, определяющий химический состав атмосферных выпадений в Сихотэ-алинском биосферном заповеднике / И. И. Кондратьев // 5-я Дальневост. конф. по заповедному делу: материалы конф., Владивосток, 12–15 окт. 2001 г. / ДВО РАН, Тихоокеан. ин-т географии. – Владивосток, 2001. – С. 148.
4. Гульбинас, З. Сравнительная характеристика химического состава атмосферных осадков на открытом месте и под лесной растительностью / З. Гульбинас // Regionine hidrometeorologija. – 1991. – N 14. – С. 80–85.
5. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 1992 г. / под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1994. – С. 30–31.
6. Ruszkowska, M. Bilans składników pokarmowych w doswiadczeniu lizymetrycznym (1985–1989). Bilans wapni, magnezu i siarki / M. Ruszkowska, S. Sykut, Z. Rebowska // Pamietnik pulawski. – Pulawy, 1993. – Z. 103. – S. 79–97.
7. Gregson, S. Cycling of Atmospheric Sulphur Between Crops and Soil / S. Gregson, D. Crawford // J. Sc. Food Agr. – 1985. – Vol. 36, N 4. – P. 265–266.
8. Janek, M. Wplyw drzewostanow iglastych na jakosc wod opadowych. 3. Dplyw depozytu do dna lasu w drzewostanach iglastych puszczy Augustowskiej / M. Janek // Prace inctytutu badawczego lesnictwa, Seria A. – 2002. – N 3. – S. 97–107.
9. Kissevich, H. K. Nitrogen migration in soils and water / Horvath K. Kissevich // 14th Intern. congr. on irrigation and drainage. – 1990. – T. 1-A. – P. 123–136.
10. Interactions of atmospheric deposition with a mixed hardwood and a coniferous forest canopy at the Lake Clair Watershed (Duchessnay, Quebec) / D. Houle [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. – 1999. – N 29. – P. 1944–1957.
11. Сазоненко, О. П. Состав и поступление химических веществ в почву с атмосферными осадками / О. П. Сазоненко, Г. В. Пироговская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 89–100.
12. Санец, Е. В. Многолетняя динамика содержания сульфатов в атмосферных осадках в Беларуси / Е. В. Санец // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2009. – Вып. 15. – С. 50–59.
13. Санец, Е. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске / Е. В. Санец, Е. П. Овчарова, О. Е. Белькович // Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 39–48.
14. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://hl.mail.ru/su/gcached>. – Дата доступа : 27.07.2012.
15. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2007 / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2008. – 376 с.
16. Какарека, С. В. Химический состав атмосферных осадков / С. В. Какарека, Т. Б. Евстафьева // Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2002. – С. 118–123.
17. Белькевич, О. Е. Исследование динамики атмосферных выпадений в городе Минске / О. Е. Белькович, В. Н. Чудук, Г. М. Бокая // Региональные проблемы экологии: пути решения: материалы IV Междунар. эколог. конф. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 15–18.
18. Изучение динамики химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на территории города Минска / С. В. Какарека [и др.] // Сахаровские чтения 2007 года: Экологические проблемы XXI века: материалы 7-й Междунар. науч. конф. – Минск, 2007. – С. 197.
19. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://hl.mail.ru/su/gcached>. – Дата доступа : 16.08.2012.
20. Состояние природной среды Беларуси: эколог. бюл. 2003 г. / под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2003. – С. 52–53.
21. Динамика осадков, влагообеспеченность и урожайность сельскохозяйственных культур (на примере лизиметрической станции «Минск») / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2004. – Вып. 33. – С. 53–63.
22. Осадки центральной части Республики Беларусь и потери питательных веществ из почв при возделывании сельскохозяйственных культур в севообороте (на примере лизиметрической станции «Минск») / Г. В. Пироговская [и др.] // География в XXI веке: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф., посвященной 70-летию географ. фак-та БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. – Минск, 2004. – С. 241–243.
23. Новиков, Ю. В. Методы исследования качества воды водоемов / Ю. В. Новиков, К. О. Ласточкина, З. Н. Болдина; под ред. А. П. Шицковой. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
24. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: Ин-т геол. наук АН Беларуси. – 1996. – 360 с.
25. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 495 с.
26. Пироговская, Г. В. Изменение климатических условий и их влияние на продуктивность сельхозкультур в Беларуси / Г. В. Пироговская // Наука и инновации. – 2013. – № 12 (130). – С. 61–65.
27. Лавриненко, Р. Ф. О содержании серы в атмосферных осадках / Р. Ф. Лавриненко // Труды ГГО. – Минск, 1968. – Вып. 2. – С. 87–91.
28. Первунина, Р. И. Кислотность атмосферных осадков и сульфаты / Р. И. Первунина, Т. И. Хромова, С. Г. Малахов // Загрязнение почв и сопредельных сред. – Минск, 1988. – Вып. 16 (133). – С. 20–24.
29. Санец, Е. В. Аэротехногенные потоки серы как фактор геохимической трансформации геосистем Беларуси: дис. ... канд. геогр. наук. / Е. В. Санец. – Минск, 2005. – 16 с.

30. Селезнева, Е. С. Вымывание осадками и баланс серы в атмосфере промышленного района / Е. С. Селезнева // Изв. АН СССР. Сер. физика атмосферы и океана. – 1979. – Т. 15. – № 4. – С. 408–417.
31. Kakareka, S. V. Deposition and Emission Fluxes of Acidifying Compounds on the Territory of Belarus / S. V. Kakareka // Water, Air and Soil Pollution. – 2001. – Vol. 130, N 1–4. – P. 523–528.
32. Особенности химического состава снежного покрова в г. Минске в зимний период 2006–2007 гг. / С. В. Какарека [и др.] // Сб. науч. тр. / Природопользование. – Минск, 2008. – Вып. 14: Природопользование и охрана окружающей среды. – С. 57–61.
33. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга / О. П. Негрбов [и др.] // Вест. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 2. – С. 149–153.
34. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик; под ред. В. С. Хомича. – Минск: РУП Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
35. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://hl.mail.ru.su/mcached>. – Дата доступа : 05.05.2014.
36. Пироговская, Г. В. Содержание химических элементов в снежном покрове г. Минска / Г. В. Пироговская, С. С. Хмелевский // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – Вып. № 2 (39). – С. 246–254.
37. Хмелевский, С. С. Оценка загрязнения снежного покрова в городских условиях (на примере г. Минска) / С. С. Хмелевский // Проблемы озеленения крупных городов: материалы междунар. науч. конф., Москва, 28 февр. – 3 марта 2007 г. – Москва, 2007. – С. 205–206.
38. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://hl.mail.ru.su/mcached>. – Дата доступа : 23.08.2013.
39. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://hl.mail.ru.su/gcached>. – Дата доступа : 16.08.2012.
40. Карпухин, А. И. Экологические функции водно-растворимых органических веществ фульвокислотной природы / А. И. Карпухин // Гуминовые вещества в биосфере: Труды IV Всерос. конф., Москва, 19–21 дек. 2007. – СПб., 2007. – С. 30–34.
41. Варша, Г. М. Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов / Г. М. Варша, Т. К. Велюханова, И. Я. Кошечев // Гуминовые вещества в биосфере. – Москва, 1993. – С. 97–117.
42. Карпухин, А. И. Комплексные соединения органических веществ с ионами металлов / А. И. Карпухин, В. Г. Сычев. – Москва: Изд-во ВНИИА, 2005. – 180 с.
43. Карпухин, А. И. Комплексные соединения гумусовых кислот с ионами металлов в генезисе почв и питании растений / А. И. Карпухин, В. А. Касатиков. – Москва: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2007. – 238 с.

G. V. PIRAGOUSKAYA

CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE CENTRAL AND SOUTH-EAST REGIONS OF BELARUS

Summary

The paper presents the results of the research on the changes of the indices of the chemical composition of atmospheric precipitation (acidity, content of sulphate, nitrate, ammonium N, phosphate, potassium, calcium, magnesium, sodium, chloride, hydro carbonate and water soluble organic substance) in the Central (Minsk, 1981–2012) and South-east (“Podolesye” farm of Homel region, 1991–2000) parts of Belarus.

It's established that the chemical composition of atmospheric precipitation and its mineralization status change according to the amount of precipitation and seasons of the year.