

УДК 551.510.04;551.577

Л.Г. Богатырев¹, Н.И. Жилин², В.П. Самсонова³, Н.Л. Якушев⁴, Н.П. Кириллова⁵, А.И. Бенедиктова⁶,
Ф.И. Земсков⁷, М.М. Карпунин⁸, Д.В. Ладонин⁹, А.Н. Варганов¹⁰, В.В. Демин¹¹

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ МОСКВЫ И ПОДМОСКОВЬЯ

Исследована динамика и компонентный состав снежного покрова в системе типичного геохимического ландшафта для условий южно-таежных и урбанизированных ландшафтов в зимние сезоны 2011–2016 гг. Для естественных ландшафтов показано, что максимальные величины высоты и водного эквивалента снежного покрова (ВЭСП) обычно обнаруживаются в условиях поймы и поляны в лесу на первой террасе, тогда как минимальные – в условиях лесных экосистем. В рамках кластерного анализа выявлено, что снега Ботанического сада МГУ и подмосковных ландшафтов по химическому составу образуют близкие группы в отличие от снегов собственно городских ландшафтов.

Ключевые слова: снежный покров, южно-таежные ландшафты, мегаполис Москва, высота снежного покрова, ВЭСП, лизиметры, мониторинг, макроэлементы, микроэлементы.

Введение. Снежный покров в настоящее время широко используется в целях мониторинга окружающей среды, что находит отражение в научной литературе. Современные публикации по этому вопросу подразделяются на несколько направлений. Первое направление связано с изучением распределения снежного покрова и его погодичной динамики, включая моделирование [Калинин с соавт., 2015; Китаев с соавт., 2006, 2007; Попова с соавт., 2015; Kitaev, Varabanova, 1999]. Второе направление связано с выявлением региональных особенностей состава снежного покрова как индикатора загрязнения в условиях промышленного и городского загрязнения [Василенко с соавт., 2007; Григорьев, 2003; Еремина, Григорьев, 2010; Сорокиной с соавт., 2015; Bartels-Rausch et al., 2014; Carmagnola et al., 2013]. Это имеет особое значение для такого крупного мегаполиса как Москва и окружающих ее подмосковных ландшафтов. В связи с этим отметим роль многолетних исследований, выполненных на географическом факультете МГУ имени

М.В. Ломоносова и посвященных изучению снежного покрова Москвы и подмосковных ландшафтов [Еремина, Григорьев, 2010]. Целью настоящей работы явилось изучение закономерностей пространственного распределения высоты и химического состава снежного покрова (ВЭСП) [Фирц, Армстронг с соавт., 2012] в условиях подмосковных экосистем южно-таежной подзоны и собственно городских ландшафтов.

Материалы и методы исследования. Материалом послужили многолетние исследования динамики снежного покрова и его состава, проведенные в пределах бассейна реки Клязьма на территории УОПЭЦ Чашниково – многолетней базы полевых практик факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Объект изучения – геохимический профиль протяженностью 1300 м, охватывающий серию элементарных ландшафтов – от элювиальных, приуроченных к водоразделу реки Клязьма, до супераквальных ландшафтов поймы (рис. 1) с максимальной удаленностью объектов исследо-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, доцент, канд. биол. н.; e-mail: bogatyrev.l.g@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, инженер; e-mail: zhilinnik@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего земледелия, доцент, докт. биол. н.; e-mail: vkbun@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра эрозии почв, инженер; e-mail: nikjakushev@yandex.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, мл. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: npkirillova@yandex.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, научный сотрудник, канд. биол. н.; e-mail: beneanna@yandex.ru

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, инженер; e-mail: philzemskov@mail.ru

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра химии почв, науч. с., канд. биол. н.; e-mail: barmakapa@rambler.ru

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра химии почв, доцент, докт. биол. н.; e-mail: ladonin@inbox.ru

¹⁰ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра общего почвоведения, магистрант; e-mail: anvbox93@mail.ru

¹¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра географии почв, вед. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: vvd.msu@gmail.com

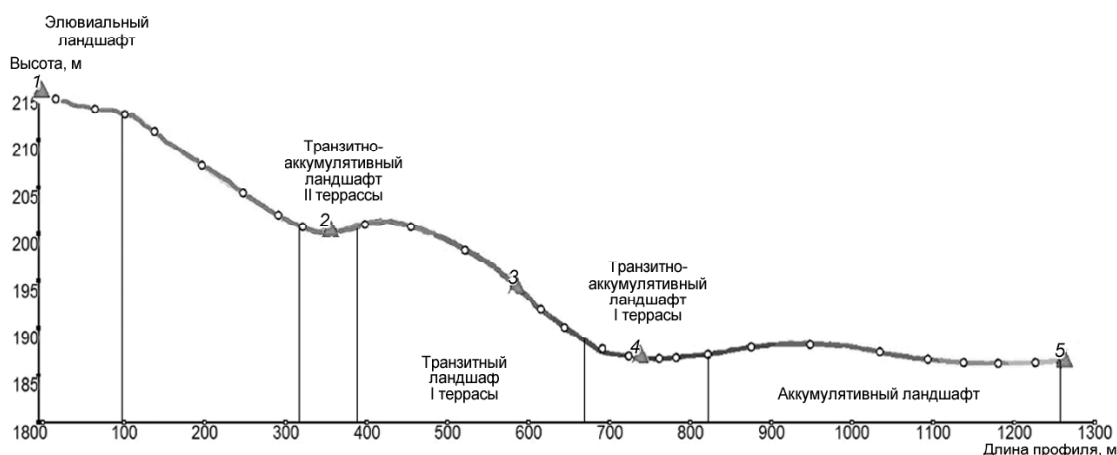


Рис. 1. Положение объектов исследования на геоморфологическом профиле

Fig.1. Location of the objects of study on the geomorphologic section

вания от Ленинградского шоссе, равной 1 км. Основные характеристики элементарных ландшафтов приведены в табл. 1. В условиях Москвы исследовалась территория Ботанического сада МГУ, площадки стационарных почвенных лизиметров и городские ландшафты Гагаринского района.

В Ботаническом саду МГУ исследован снежный покров в ельнике, сосняке, лиственничнике, липняке, тополельнике, грабовом лесу, березово-кленовой защитной полосе, а также на открытых пространствах газонов. Другим объектом послужили площадки стационарных почвенных лизиметров факультета

почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Лизиметры, каждый площадью 9,2 м², заняты еловыми, смешанными и широколиственными насаждениями а также залежью и паром, функционируют с 1967 г. и территориально соседствуют с Ботаническим садом МГУ. В качестве сравнения исследовался снежный покров Гагаринского района г. Москвы в пяти точках в непосредственной близости автомобильных дорог: на улицах Молодежная, Фотиевой, а также на Ленинском и Ломоносовском проспектах.

Методы. Замеры высоты снежного покрова и ВЭСП проводились с декабря по апрель после сне-

Таблица 1

Основные характеристики элементарных ландшафтов геохимического профиля «Клязьма»

№ площади	Тип растительности	Строение профиля почвы	Почва	Координаты
1	Пашня	Элювиальный ландшафт		
		AD-P-EB-BT-BCg-Cg-Dg	Освоенная дерново-слабоподзолистая, глубокопахотная, языковатая, среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемая мореной	56°2'19", 37°10'10"
		Транзитный ландшафт		
		AP-B-BC	Освоенная дерново-слабоподзолистая, глубокопахотная среднесмытая, супесчаная на флювиогляциальных отложениях	56°2'30", 37°10'18"
		Транзитный ландшафт		
3	Ельник-кисличник	O-AD-A1-AE-E-EB-BC-CD	Дерново-глубокоподзолистая, глубокодерновая, легкосуглинистая на покровных суглинках	56°2'37", 37°10'22"
4	Злаково-разнотравный луг	Транзитно-аккумулятивный ландшафт		
		O-A1g-Eg-EBg-Bg.fn-Cg	Болотно-подзолистая, дерново-подзолистая, поверхностно-оглеенная, иллювиально-железистая, глубокоподзолистая, легкосуглинистая на делювии	56°2'42", 37°10'23"
5	Злаково-разнотравный луг	Субаквальный ландшафт (пойма)		
		AD-AHca-ACca-Cg-Cca-Taq	Аллювиальная лугово-болотная, собственно аллювиальная, омергелеванная, перегнойно-торфяная, легкосуглинистая на аллювиальных отложениях	56°2'58", 37°10'14"

гопадов; для расчетов взяты данные, соответствующие месяцу, характеризующемуся наибольшей высотой снежного покрова (это типично для февраля). Задачи исследования включали в себя: 1 – измерение высоты снежного покрова; 2 – расчеты ВЭСП; 3 – изучение химического состава снеговых вод. В подмосковных ландшафтах снежный покров изучался в каждом из элементарных ландшафтов, где для постоянных наблюдений выбраны относительно однотипные участки размером 50×50 м. На каждом из участков выполнены наблюдения за высотой снежного покрова, ВЭСП и химическим составом снежного покрова. Высота снежного покрова определялась с повторностью 25–50 с последующей статистической обработкой. Плотность снега определялась в пятикратной повторности с помощью снегомера ВС–43. Образцы снега оттаивались в лаборатории с последующим отделением твердых частиц на фильтре (синяя лента). В целях анализа анионов использовался ионный хроматограф Dionex ICS–2000 с кондуктометрическим детектором и колонкой Ion Pac AS 17 250 мм×4 мм. Объем вводимой пробы 23 мкл, элюент КОН – вода, режим элюирования – градиентный. Для определения макро- и микроэлементов использовался масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICP–MS Agilent 7500.

Результаты исследований и их обсуждение.
Характеристика снежного покрова подмосковных ландшафтов. В первую очередь следует остановиться на анализе особенностей элементарных ландшафтов и характера распределения в них снега.

Первая площадка характеризует элювиальный ландшафт, занимающий относительно плоский водораздел р. Клязьма, где распространены дерново-подзолистые пахотные почвы с хорошо выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией, с залеганием морены на глубине 70–80 см. Для указанных условий, как и для других элементарных ландшафтов, характерный максимум высоты снежного покрова отмечается в сезоны 2012–2013 гг. Он сравним с максимумом, который был установлен для условий ельника-кисличника. Минимальные уровни высоты снежного покрова также синхронны по времени с другими площадками и приурочены к зимнему сезону 2013–2014 гг. Обращают на себя внимание высокие величины варьирования высоты снежного покрова, что, вероятно, в первую очередь связано с деятельностью ветра, обуславливающего перемещение снежного покрова.

Вторая пробная площадка характеризует транзитно-аккумулятивный ландшафт второй террасы, где развиваются дерново-подзолистые среднесмытые почвы с элементами намытости. Участок непосредственно граничит с небольшим озером. В пределах указанной площадки высота снежного покрова во все изученные сезоны оказалась значительно больше по сравнению с высотой снежного покрова в ельнике-кисличнике. Максимальная высота снежного покрова, как и для других площадок, отмечалась в сезон 2012–2013 гг. Минимальные высоты снежного покрова оказались характерными

для зимних сезонов 2014–2015 и 2015–2016 гг., но с довольно высоким варьированием, особенно в сезон 2014–2015 гг.

Третья пробная площадка заложена в условиях склона северной экспозиции с типичным ельником-кисличником с дерново-подзолистыми почвами на покровных суглинках, подстилаемых мореной. Здесь высота снежного покрова характеризовалась теми же временными закономерностями, которые были отмечены для других ландшафтов. Существенной чертой является то, что здесь во все годы исследования отмечается гораздо меньший уровень высоты снежного покрова. Характерно, что для условий леса установлена наименьшая высота снежного покрова, приуроченная к зимнему сезону 2013–2014 гг. при одновременном существенном увеличении варьирования этого показателя. В целом для снежного покрова в пределах ельника для всех лет наблюдалось, как правило, не только сильное варьирование высоты снежного покрова, но также меньшая плотность снега в сочетании с его засоренностью детритом, представленным хвойным опадом и мелкими веточками.

Четвертая пробная площадка приурочена к суходольному лугу, занимающему транзитно-аккумулятивные позиции относительно ельника-кисличника. Основной чертой этой территории, общей площадью не более 2 га и окаймляемой со всех сторон лесными насаждениями, является то, что снег здесь в очень слабой степени подвергается переносу в смежные ландшафты, чему способствует и незначительный угол наклона этой площадки, не превышающий 1°. Вторая особенность заключается в том, что снег здесь сохраняется значительно дольше по сравнению с другими площадками. Данные табл. 2 показывают, что в сезоны 2010–2012 гг. высота снежного покрова здесь была несколько больше по сравнению с поймой. Сезон 2012–2013 гг., как и для других ландшафтов, характеризовался максимальной высотой снежного покрова из всех изученных сезонов. В сезон 2013–2014 гг. произошло резкое уменьшение высоты снежного покрова при увеличении варьирования этой величины по коэффициенту варьирования. В сезон 2014–2015 гг. наблюдалось существенное увеличение высоты снежного покрова при уменьшении уровня варьирования, не превышающего 10%. В сезон 2015–2016 гг. варьирование высоты снежного покрова продолжало сохраняться на том же уровне, но с явной тенденцией к уменьшению абсолютных высот снежного покрова.

Пятая пробная площадка занимает аккумулятивные позиции в пределах хорошо выраженной выровненной части поймы р. Клязьма. Высота снежного покрова здесь довольно существенно изменяется от сезона к сезону. В период 2010–2012 гг. уровень снежного покрова слабо менялся и в среднем составлял около 47 см. Из всех изученных площадей территория поймы характеризовалась наибольшей выровненностью и протяженностью. Отличительной чертой, несколько осложняющей распределение снежного покрова, являются много-

Таблица 2

**Высота снежного покрова на различных элементах геоморфологического профиля
долины реки Клязьмы**

Год	Повторность	Высота снежного покрова ($M \pm tm$)*	Коэффициент вариации, %	Степень снежности по П.И. Колоскову (1958 г.)
Пойма (луг)				
2010–2011	31	46,5±2,9	17,3	Многоснежная
2011–2012	23	46,9±1,6	8,0	Многоснежная
2012–2013	24	73,0±1,0	3,3	Очень многоснежная
2013–2014	45	20,6±1,0	15,8	Умеренно снежная
2014–2015	50	43,0±1,2	9,6	Многоснежная
2015–2016	50	28,6±0,7	8,4	Умеренно снежная
Первая терраса (поляна в лесу)				
2010–2011	17	50,8±2,5	9,5	Многоснежная
2011–2012	30	50,2±1,9	10,3	Многоснежная
2012–2013	26	76,3±2,7	8,9	Очень многоснежная
2013–2014	38	21,6±1,5	21,4	Умеренно снежная
2014–2015	50	50,6±1,1	7,6	Многоснежная
2015–2016	50	32,2±0,7	7,1	Умеренно снежная
Склон второй террасы (ельник-кисличник)				
2010–2011	17	47,2±2,3	9,3	Многоснежная
2011–2012	35	35,0±1,9	15,4	Умеренно снежная
2012–2013	16	61,1±2,6	8,1	Очень многоснежная
2013–2014	27	11,7±1,8	37,8	Малоснежная
2014–2015	50	20,0±0,7	12,9	Умеренно снежная
2015–2016	50	20,1±0,5	8,6	Умеренно снежная
Вторая терраса (пашня)				
2010–2011	19	54,7±2,9	11,1	Многоснежная
2011–2012	36	36,2±2,0	16,4	Умеренно снежная
2012–2013	25	70,0±1,8	6,2	Очень многоснежная
Снег не отбирался				
2014–2015	50	29,7±1,9	22,4	Умеренно снежная
2015–2016	50	29,1±0,8	9,4	Умеренно снежная
Водораздел (пашня)				
2010–2011	7	53,6±4,4	8,9	Многоснежная
2011–2012	47	31,0±1,3	14,7	Умеренно снежная
2012–2013	18	60,3±1,1	3,8	Очень многоснежная
2013–2014	51	19,2±2,2	40,0	Малоснежная
2014–2015	50	47,3±2,7	20,2	Многоснежная
2015–2016	50	25,9±0,8	10,3	Умеренно снежная
Средняя высота снега для геоморфологического профиля				
2010–2011	91	49,7±1,5	14,1	Многоснежная
2011–2012	171	38,4±1,3	22,9	Умеренно снежная
2012–2013	109	69,3±1,5	11,1	Очень многоснежная
2013–2014	161	18,9±1,0	33,8	Малоснежная
2014–2015	250	38,1±1,6	33,9	Умеренно снежная
2015–2016	250	27,2±0,6	17,3	Умеренно снежная

* ($M \pm tm$), где M – среднее арифметическое, t – критерий Стьюдента при 95% вероятности, m – ошибка среднего.

численные кочки землероев, высотой 20–40 см, которые в малоснежные зимы хорошо диагностируются на общем фоне. Оценка степени варьирования высоты снежного покрова показала, что эта величина в период 2010–2011 гг. оказалась почти в 2 раза больше, чем в зимний период 2011–2012 гг. Довольно резкое, почти в 2 раза, увеличение высоты снежного покрова произошло в зимний период 2012–2013 гг., что сопровождалось существенным уменьшением варьирования этого показателя. Из всех лет последующий сезон 2013–2014 гг. оказался самым малоснежным. В этот период высота снежного покрова в среднем составляла около 20 см, что совпало со значительным возрастанием варьирования этого показателя. В следующие 2014–2015 гг. произошло двойное увеличение высоты снежного покрова по сравнению с предыдущим годом с заметным уменьшением варьирования этого показателя. В 2015–2016 гг. отмечалось некоторое снижение высоты снежного покрова при довольно

слабом варьировании этой величины. За изученный период высота снежного покрова в пределах пойменной территории характеризовалась определенной цикличностью с отдельными существенными максимумами возрастания этой величины, особенно заметной для сезона 2012–2013 гг. и минимальной высоте, обнаруживаемой в зимний период 2013–2014 гг., для каждого из которых характерны собственные черты, обусловленные положением площадей в рельефе и характером растительности. По степени снежности [Колосков, 1958] ландшафты образуют ряд: пойма > лесная поляна – первая терраса > водораздел > пашня – вторая терраса > ельник-кисличник, что детально показано для каждого шестилетнего периода в табл. 2. Установлено, что зимой 2010–2011 гг. по высоте снежного покрова достоверно различались две группы площадей (рис. 2). Первая группа была образована поймой и первой террасой и по высоте снежного покрова была отлична от второй террасы. В зимний сезон 2011–2012 гг. до-

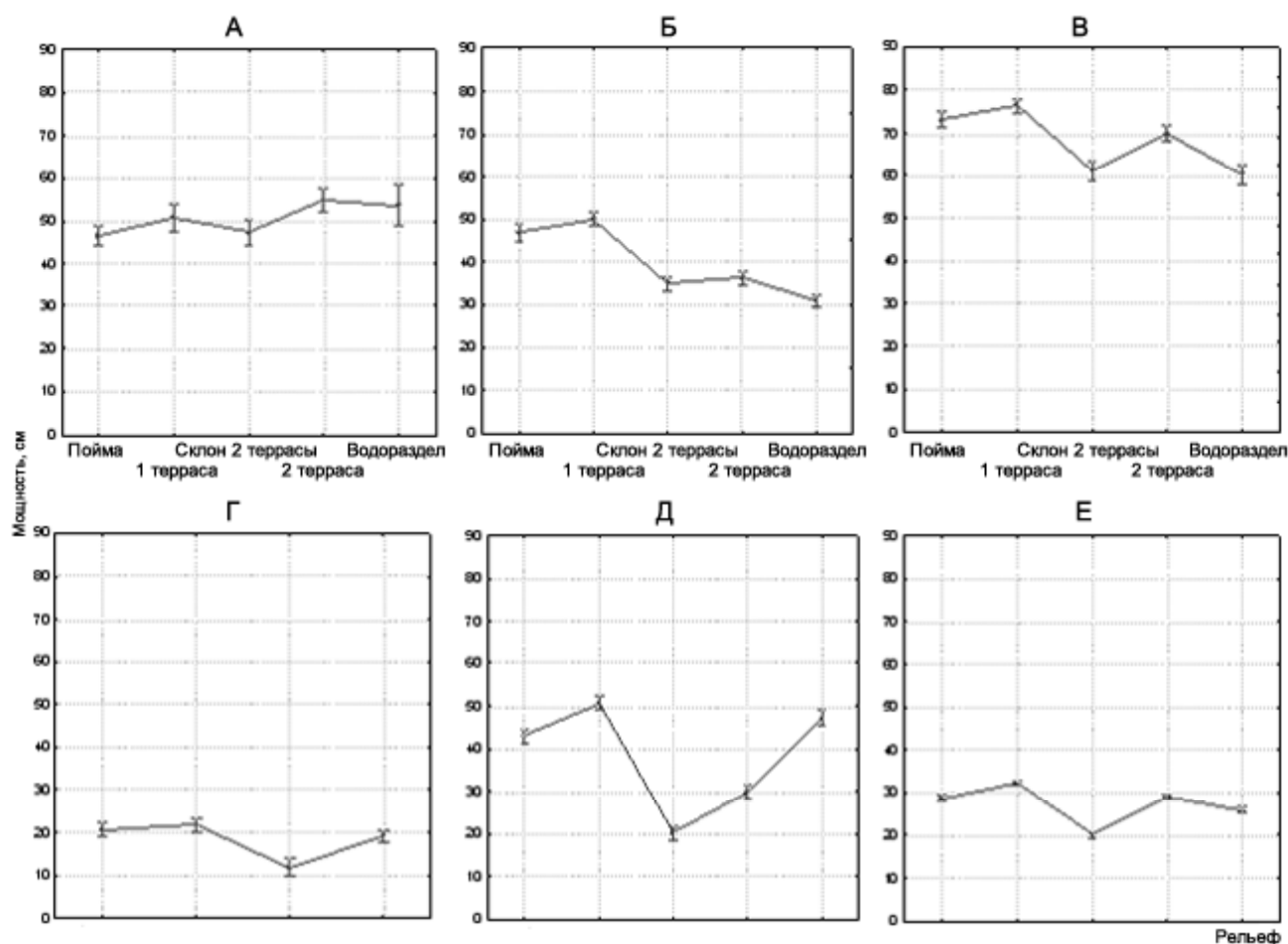


Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа высоты снежного покрова в Чашниково зимой: А – 2010–2011 гг. ($F(4, 86)=6,4209$, $p=0,00014$); Б – 2011–2012 гг. ($F(4, 166)=87,125$, $p=0,0000$); В – 2012–2013 гг. ($F(4, 104)=49,465$, $p=0,0000$); Г – 2013–2014 гг. ($F(3, 157)=19,984$, $p=0,00000$); Д – 2014–2015 гг. ($F(4, 245)=237,55$, $p=0,0000$); Е – 2015–2016 гг. ($F(4, 245)=179,20$, $p=0,0000$); F – критерий Фишера, p – вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы, вертикальные черточки обозначают доверительный интервал 0,95

Fig. 2. Results of dispersive analysis of the height of snow cover in winter: А – 2010–2011 ($F(4, 86)=6,4209$, $p=0,00014$), Б – 2011–2012 ($F(4, 166)=87,125$, $p=0,0000$), В – 2012–2013 ($F(4, 104)=49,465$, $p=0,0000$), Г – 2013–2014 ($F(3, 157)=19,984$, $p=0,00000$), Д – 2014–2015 ($F(4, 245)=237,55$, $p=0,0000$) Е – 2015–2016 ($F(4, 245)=179,20$, $p=0,0000$), F – Fischer's criterion, p – error probability at the deviation of a zero hypothesis, vertical hyphens are for 0,95 confidential interval

Таблица 3

ВЭСР на различных элементах геоморфологического профиля долины р. Клязьмы в 2013–2016 гг., кг/м² (n=55)

Сезон	Пойма (луг)	Первая терраса (суходольный луг)	Склон второй террасы (ельник)	Вторая терраса (пашня)	Водораздел (пашня)
2012–2013	167	233	124	189	143
2014–2015	48	76	23	46	72
2015–2016	53	50	30	46	41

Таблица 4

Химический состав снега, среднее за 2011–2016 гг., n=120

Место отбора пробы	Макроэлементы, мг/л						Анионы, мг/л								Сухой остаток	pH	σ, мкСм/см
	Na	Mg	K	Ca	C	N	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ²⁻			
Естественные ландшафты																	
Чашниково																	
Водораздел, пашня (n=14)	1,27	0,34	0,40	2,70	4,10	0,54	0,04	3,34	Сл.	Сл.	1,48	2,86	0,09	20,13	43,40	5,80	25,00
Водораздел-наст. (n=1)	0,67	0,23	0,07	2,48	0,40	0,50	0,29	3,55	Сл.	Сл.	0,26	2,41	Сл.	21,35	25,60	6,48	60,00
2 терраса, пашня (n=7)	1,04	0,40	0,57	2,39	6,33	0,79	0,07	3,62	0,54	Сл.	1,95	3,47	Сл.	16,78	38,13	6,51	30,83
1 терраса, ельник (n=14)	1,77	0,56	1,44	3,06	2,34	0,72	0,06	3,98	Сл.	Сл.	3,28	5,48	0,06	20,13	53,58	5,86	50,67
1 терраса, луг (n=9)	1,02	0,32	1,13	2,25	1,29	0,59	0,05	3,16	0,58	Сл.	2,02	2,48	0,06	14,03	29,60	6,17	20,22
Пойма, луг (n=15)	1,14	0,72	0,37	3,25	2,06	0,64	0,08	3,48	Сл.	Сл.	1,98	3,33	0,12	23,79	31,37	6,22	20,00
Среднее	1,15	0,43	0,66	2,69	2,75	0,63	0,10	3,52	0,16	Сл.	1,83	3,34	0,05	19,37	36,95	6,17	34,45
Чашниково*	2,01	0,28	0,20	1,85	н/д	н/д	0,08	8,60	н/д	н/д	н/д	7,20	н/д	н/д	н/д	6,30	н/д
Урбанизированные ландшафты																	
Ботанический сад																	
Газон (n=1)	2,63	0,37	0,91	2,01	1,79	0,56	0,02	7,57	Сл.	0,01	2,72	3,22	Сл.	12,20	Сл.	7,07	Сл.
Грабинник (n=1)	1,66	0,82	0,35	6,82	8,12	0,81	0,02	2,96	Сл.	Сл.	3,99	1,64	Сл.	21,35	Сл.	7,01	Сл.
Ельник (n=11)	1,55	0,58	2,87	4,57	1,83	0,66	0,10	4,87	Сл.	Сл.	1,73	2,84	0,37	19,32	51,80	6,72	23,33
Липняк (n=2)	1,45	0,41	0,72	2,34	1,80	0,70	0,09	3,72	Сл.	Сл.	0,93	2,11	0,35	12,20	17,80	6,62	35,00
Лиственничник (n=10)	2,16	0,71	1,31	5,12	1,98	0,79	0,08	5,46	Сл.	Сл.	1,99	2,19	0,02	23,64	39,40	6,30	48,00
Сосняк (n=11)	3,04	0,33	1,75	4,21	2,11	0,96	0,20	6,67	0,02	Сл.	2,84	2,51	0,19	26,69	41,40	6,44	46,00
Топольник (n=1)	3,38	0,29	1,04	2,28	29,38	0,75	0,02	2,78	Сл.	Сл.	3,42	1,72	Сл.	15,25	Сл.	7,15	Сл.
Среднее	2,27	0,50	1,28	3,91	6,72	0,75	0,08	4,86	Сл.	Сл.	2,52	2,32	0,13	18,66	21,49	6,76	36,00
Лизиметры																	
Ельник (n=4)	9,98	1,00	1,61	9,51	3,42	1,93	0,10	14,74	0,24	Сл.	8,85	14,51	0,60	28,98	90,39	6,78	101,50
Залежь (n=2)	3,72	0,53	0,75	7,98	2,17	1,32	0,06	6,82	Сл.	Сл.	3,56	3,90	0,11	12,20	Сл.	5,96	67,00
Смешанный лес (n=4)	4,18	0,72	0,64	7,13	2,15	0,75	0,07	5,69	Сл.	Сл.	2,29	10,97	Сл.	33,55	64,00	6,54	89,33
Черный пар (n=3)	4,39	0,63	0,22	5,59	1,83	0,87	0,04	5,30	0,03	Сл.	2,85	8,97	0,14	32,03	86,67	6,52	96,00
Широколиственный лес (n=5)	3,42	0,61	1,29	4,79	3,36	0,84	0,06	4,94	0,06	Сл.	1,54	6,71	0,05	25,16	72,01	6,29	39,00
Среднее	5,14	0,70	0,90	7,00	2,59	1,14	0,07	7,50	0,07	Сл.	3,82	9,01	0,18	26,38	62,61	6,42	78,57
Москва																	
Гагаринский р-н (n=5)	11,24	1,13	1,05	33,72	2,11	0,56	0,20	21,66	Сл.	Сл.	0,30	49,21	Сл.	69,54	136,93	6,96	286,00

* Карпова, Минеев, 2015.

Примечание. Сл. – следы, н/д – здесь и далее – нет данных.

ственно отличались по высоте снежного покрова две группы: в первую вошли пойма и первая терраса, во вторую группу – все остальные площади. В очень многоснежный сезон 2012–2013 гг. достоверные различия обнаружены по высоте снежного покрова склона второй террасы и водораздела и другими площадями. Зимой 2013–2014 гг. достоверно отличались высоты только для склона второй террасы, тогда как для других площадей обнаружены недостоверные различия между средними величинами высоты снежного покрова. В зимний период 2013–2014 гг. достоверное различие обнаружено только для высоты снежного покрова в условиях склона второй террасы, тогда как остальные площади между собой достоверно не отличались. Наибольшее различие между исследуемыми площадями обнаружено для сезона 2014–2015 гг. В этот период недостоверные отличия обнаружены только для высоты снежного покрова в условиях первой террасы. В сезон 2015–2016 гг. в общую группу по высоте снежного покрова объединялись пойма и пашня второй террасы, тогда как на других площадях эти показатели были отличны как между собой, так и от указанных групп.

В течение всего периода исследования ведущее место по ВЭСП принадлежит транзитно-аккумулятивному ландшафту – поляне в лесу (табл. 3). Значительные величины, колеблющиеся от 143 до 233 кг/м², обусловлены тем, что в зимний сезон 2012–2013 гг. снежный покров характеризовался многоснежностью. Таким образом, высота снежного покрова и ВЭСП находятся в функциональной зависимости не только от многолетних флуктуаций, но и от положения в системе сопряженных элементарных ландшафтов.

О химическом составе снега в условиях подмосковных ландшафтов. Для снежного покрова водораздельных пространств подмосковных ландшафтов характерны низкие содержания важнейших макроэлементов (табл. 4). Единичное определение состава наста показало, что для него характерно увеличение удельной электропроводности и содержания фтора. Для состава снежного покрова второй террасы, приуроченной к понижению, характерно существенное увеличение содержания углерода и азота по сравнению с другими объектами. Для снежного покрова на склоне, занятом ельником, характерна высокая электропроводность в сочетании со значительной величиной сухого остатка при повышенном содержании натрия, калия, а из анионов – нитрат- и сульфат-ионов. Наименьшие концентрации элементов в сочетании с низкой электропроводностью и сухим остатком, обнаружены для суходольного луга первой террасы, что объясняется тем, что он окружен лесной растительностью, препятствующей поступлению загрязняющих агентов. Для снежного покрова пойменных территорий характерны близкие с составом снега суходольного луга величины сухого остатка и удельной электропроводности при некотором увеличении содержания магния, кальция и гидрокарбонат-иона.

Анализ кислотности снега показал, что наименьшие значения pH характерны для условий ельника и водораздельных пространств по сравнению с другими типами ландшафтов.

Анализ состава микроэлементов показал, что в условиях водораздела обнаружено повышенное содержание цинка, что может быть связано с относительной близостью этой территории к Ленинградскому шоссе. Для снега первой террасы установлено повышенное содержание железа. В наибольшей степени увеличение содержания микроэлементов отмечено для снежного покрова, формирующегося под пологом ельника склона первой террасы. Здесь обнаружены сравнительно высокие концентрации таких элементов, как марганец, медь, стронций, ртуть и кадмий, что, возможно, связано с осаждением пыли в условиях лесной растительности и последующим ее поступлением на поверхность снежного покрова. Для снежного покрова суходольного луга первой террасы отмечено некоторое увеличение содержания ванадия и бария. В условиях поймы, занимающей аккумулятивные позиции, характерно некоторое увеличение концентраций алюминия и хрома. Такие элементы, как молибден, свинец, кобальт и мышьяк, характеризуются не только низкими концентрациями в снежном покрове, но и слабой дифференциацией между различными ландшафтами.

Исследование снеговых вод, проведенное дважды за сезон – собственно зимний и ранневесенний период зимнего сезона (табл. 5), показало, что в ранневесенний период 2014–2015 гг. в снеговых водах Чашниково отмечается увеличение общей минерализации и удельной электропроводности за счет существенного возрастания содержания гидрокарбонатного и сульфат-иона, а также кальция на фоне увеличения кислотности. Это не касается таких элементов, как натрий, магний, калий и хлорид-иона. Более контрастно поведение микроэлементов, содержание большей части которых увеличивается также в ранневесенний период.

О химическом составе снега в условиях урбанизированных ландшафтов. Дифференциация водоразвешиваемой части снега хорошо иллюстрирует различный уровень антропогенной нагрузки в условиях города. Наибольшее содержание таких элементов, как кальций, магний и натрий в группе катионов обнаружено в снеговых водах Гагаринского района Москвы. Для снегов той же территории характерны высокие концентрации сульфатов, гидрокарбонатов и хлоридов. Но это не касается магния и калия, а среди анионной части брома, фосфора и нитратов. Для этих же ландшафтов характерны наибольшие величины плотного остатка. Но особенно обращают на себя внимание высокие величины содержания железа и алюминия, хотя концентрация последнего и не максимальна среди всех объектов. Среди группы микроэлементов, обращают на себя внимание стронций и барий, характеризующиеся высокими концентрациями в снеговой воде по сравнению с другими объектами (табл. 6). Вместе с тем, содержание рту-

Таблица 5

Сравнение химического состава снега в зимний и ранневесенний периоды 2014–2016 гг., $n=72$

Сезон отбора	Макроэлементы, мг/л						Анионы, мг/л								Сухой остаток	pH	σ, мкСм/см
	Na	Mg	K	Ca	C	N	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ²⁻			
Чашниково																	
Зима (n=27)	1,33	0,53	0,95	2,46	3,65	0,68	0,06	2,50	0,00	0,00	2,16	0,07	2,02	13,92	21,36	6,4	21,4
Весна (n=20)	1,62	0,51	0,45	4,60	1,06	0,51	0,07	2,54	0,19	0,00	1,84	0,10	4,20	21,55	38,98	6,4	34,7
Лизиметры																	
Зима (n=17)	5,67	0,69	1,49	4,05	3,08	1,38	0,04	8,96	0,02	0,01	5,12	0,23	4,68	16,27	30,57	6,6	31,3
Весна (n=8)	5,64	1,01	0,82	10,95	2,31	0,99	0,10	7,81	0,24	0,00	3,04	0,17	14,61	43,57	77,07	6,2	138,6

Сезон отбора	Мут-ность	Цвет-ность	Макроэлементы, мкг/л			Микроэлементы, мкг/л												
			Al	Mn	Fe	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Cd	Ba	Hg	Pb
Чашниково																		
Зима (n=27)	0,76	11,88	6,67	9,08	4,45	0,19	0,73	0,04	0,53	0,92	40,92	Сл.	4,81	0,08	0,10	2,52	0,05	Сл.
Весна (n=20)	9,75	12,08	18,95	14,47	7,70	0,34	1,30	0,05	0,70	2,71	23,52	0,24	50,91	н/д	0,07	12,41	н/д	0,07
Лизиметры																		
Зима (n=17)	5,09	44,10	17,43	9,64	13,43	0,28	0,86	0,04	1,08	2,63	110,21	0,09	12,84	0,02	0,07	4,51	0,07	Сл.
Весна (n=8)	2,94	12,40	16,36	10,55	28,37	0,56	0,55	0,07	1,06	3,51	12,32	0,24	72,31	0,18	0,10	19,85	0,08	0,06

ти и свинца не превышает величин, характеризующих снега Ботанического сада и территории лизиметров. Таким образом, можно говорить о довольно слабой загрязненности городских снеговых вод тяжелыми металлами, по крайней мере, для исследуемой территории Гагаринского района.

По концентрации большинства элементов, определенных в снеговых водах лизиметрических площадок, таких, как натрий, магний, кальций, железо, алюминий, стронций и кадмий, а также основных анионов – хлоридов, сульфатов, нитратов и гидрокарбонатов, снега лизиметров занимают второе место среди городских ландшафтов. Но, даже и в этом случае, указанные концентрации не превышают ПДК, приводимые для природных вод [Нормативы ..., 2016].

Относительно степени загрязнения снегов Ботанического сада можно сказать, что среди всех исследованных в границах города объектов, они оказались в наименьшей степени загрязненными. В снеговых водах этой территории обнаружены несколько повышенные концентрации только трех элементов – калия и никеля, и, в большей степени, цинка по сравнению с другими объектами. На первый взгляд, это вполне закономерно. В снегах Ботанического сада обнаружены наименьшие концентрации таких тяжелых металлов, как кадмий и ртуть. Это объясняется тем, что здесь хорошо развитые и разнообразные лесные насаждения принимают на себя значительную часть поступающих поллютантов, которые задерживаются пологом леса и ограничено накапливаются в снеговом покрове. В этом отношении явно проигрывают площадки почвенно-

го стационара, где содержание рассматриваемых компонентов в снеговом покрове на целый порядок превышает величины, установленные для условий Ботанического сада. Это объясняется тем, что лизиметры по всей длине расположены на расстоянии 1–2 м от внутренней проезжей дороги, которая служит дополнительным источником загрязнения, особенно зимой, в период использования антигололедных реагентов. Вышесказанное подтверждает тривиальное положение об экологической важности в условиях города значительных площадей, занятых древесными насаждениями, способных к инактивации поступающих поллютантов. Сравнение антропогенных ландшафтов, формирующих в условиях различной нагрузки и собственно подмосковных ландшафтов, показывает, что последние, несомненно, характеризуются наименьшей загрязненностью. Но, вместе с тем, можно говорить о следующих закономерностях. Так, первая группа объединяет элементы, которые содержатся в пределах одного порядка во всех трех сравниваемых группах снеговых вод. В эту группу входят: ванадий, хром, кобальт, цинк, мышьяк, молибден, медь, барий и свинец. Вторая группа элементов характеризуется тем, что в снеговых водах стационарных почвенных лизиметров обнаруживаются наивысшие концентрации по сравнению с аналогичными объектами, исследованными в Ботаническом саду МГУ и Чашниково. Сюда относятся железо, марганец, алюминий, стронций. Сравнение состава снега для условий Гагаринского района показало, что в его пределах содержание таких элементов, как молибден, мышьяк, медь, кобальт, ванадий и хром довольно слабо различается при

Т а б л и ц а 6

Химический состав снега, среднее за 2011–2016 гг., $n=123$

Место отбора пробы	Мут-ность	Цвет-ность	Макроэлементы, мкг/л			Микроэлементы, мкг/л												
			Al	Mn	Fe	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Cd	Ba	Hg	Pb
Естественные ландшафты																		
Чашниково																		
Водораздел, пашня (n=14)	5,59	6,96	4,11	2,39	3,28	0,07	0,66	0,06	0,52	0,91	50,59	Сл.	12,10	0,11	0,12	3,06	0,05	Сл.
Водораздел, наст. (n=1)	0,03	4,28	Сл.	0,59	Сл.	Сл.	0,11	Сл.	0,26	0,07	8,05	Сл.	4,17	0,09	0,12	2,30	0,07	0,06
2 терраса, пашня (n=7)	0,86	6,51	2,47	5,45	4,30	0,11	0,74	0,02	0,24	1,05	24,15	Сл.	12,06	0,04	0,05	3,72	0,02	Сл.
1 терраса, ельник (n=14)	4,97	10,97	16,52	23,48	3,47	0,14	0,49	0,04	0,75	1,87	28,83	0,02	17,98	0,07	0,06	5,00	0,03	Сл.
1 терраса, луг (n=9)	5,59	8,18	11,41	2,02	5,03	0,48	0,69	0,03	0,52	0,88	32,67	0,03	11,34	0,04	0,06	4,43	0,05	Сл.
Пойма, луг (n=15)	0,52	7,62	15,19	0,40	2,50	0,14	1,38	0,03	0,38	1,07	32,92	0,02	13,59	0,05	0,12	3,90	0,02	Сл.
Среднее	2,51	6,36	8,28	5,72	3,10	0,16	0,68	0,03	0,45	0,97	29,54	0,01	11,87	0,06	0,09	3,74	0,04	0,01
Чашниково*	н/д	н/д	36,00	60,10	25,00	н/д	2,90	≤0,3	3,20	1,10	58,00	0,02	28,00	≤1	0,32	15,00	0,02	0,45
Урбанизированные ландшафты																		
Ботанический сад																		
Газон (n=1)	3,74	21,00	Сл.	0,64	9,90	0,10	1,19	0,02	0,87	1,91	58,56	0,06	7,86	Сл.	0,03	2,22	Сл.	0,01
Грабинник (n=1)	1,27	10,97	377,02	7,81	142,23	0,85	1,60	0,06	0,79	2,15	83,68	0,16	12,61	Сл.	0,02	2,44	Сл.	Сл.
Ельник (n=11)	3,12	37,71	12,62	1,72	3,14	0,31	1,06	0,02	0,93	5,23	67,16	Сл.	17,33	0,06	0,22	4,79	0,04	Сл.
Липняк (n=2)	0,32	31,03	0,79	6,19	Сл.	0,16	Сл.	Сл.	0,63	5,25	53,59	Сл.	8,65	0,23	0,06	5,20	0,06	Сл.
Лиственничник (n=10)	6,99	42,73	47,61	1,53	4,13	0,29	0,79	0,01	2,01	5,04	53,03	0,01	23,51	0,08	0,02	6,87	0,03	Сл.
Сосняк (n=13)	3,90	38,55	8,66	2,60	1,45	0,18	0,63	0,10	7,04	4,34	75,50	Сл.	12,16	0,09	0,03	3,39	0,05	Сл.
Топольник (n=2)	0,03	14,31	3,42	0,91	13,40	0,24	1,01	0,02	1,77	3,89	104,65	0,08	10,28	0,00	0,04	3,52	0,00	0,04
Среднее	2,77	28,04	64,30	3,06	24,89	0,30	0,90	0,03	2,01	3,97	70,88	0,04	13,20	0,07	0,06	4,06	0,03	0,01
Лизиметры																		
Ельник (n=4)	8,07	18,49	6,01	19,83	16,92	0,37	0,50	0,05	1,18	3,75	49,69	0,18	32,45	0,09	0,10	13,29	0,15	Сл.
Залежь (n=2)	8,68	39,39	8,77	2,25	10,38	0,25	0,91	0,05	0,95	0,90	106,63	0,17	29,61	Сл.	0,08	3,91	Сл.	0,03
Смешанный лес (n=4)	0,43	16,54	17,26	6,02	16,19	0,27	0,57	0,04	0,65	2,21	56,77	0,08	33,32	0,02	0,05	7,17	0,02	0,01
Черный пар (n=3)	2,81	19,33	105,70	0,16	40,73	0,28	0,51	0,04	0,72	1,24	15,44	0,16	11,61	н/д	0,02	11,24	н/д	0,05
Широколиствен-ный лес (n=5)	1,47	19,88	6,16	7,06	11,90	0,37	0,51	0,04	0,77	2,76	56,66	0,06	27,61	0,08	0,06	10,56	0,05	Сл.
Среднее	4,29	22,72	28,78	7,07	19,23	0,31	0,60	0,04	0,85	2,17	57,04	0,13	26,92	0,05	0,06	9,23	0,05	0,02
Москва																		
Гагаринский р-н (n=5)	1,51	31,70	80,56	12,28	107,25	0,33	0,31	0,22	1,30	5,99	5,11	0,37	137,66	0,66	0,14	25,61	0,03	0,05

* Карпова, Минеев, 2015.

Пр и м е ч а н и е. Сл. – следы, н/д – здесь и далее – нет данных.

сравнении с другими объектами. Пожалуй, наибольшее отличие для снегов собственно городских ландшафтов заключается в максимальном содержании железа, алюминия, стронция и бария. На фоне общей низкой минерализации снеговые воды Ботани-

ческого сада и подмосковных ландшафтов относятся к группе гидрокарбонатно-хлоридных вод, тогда как снеговые воды стационарных почвенных лизиметров и городских ландшафтов Гагаринского района – к группе гидрокарбонатно-сульфатных вод. В

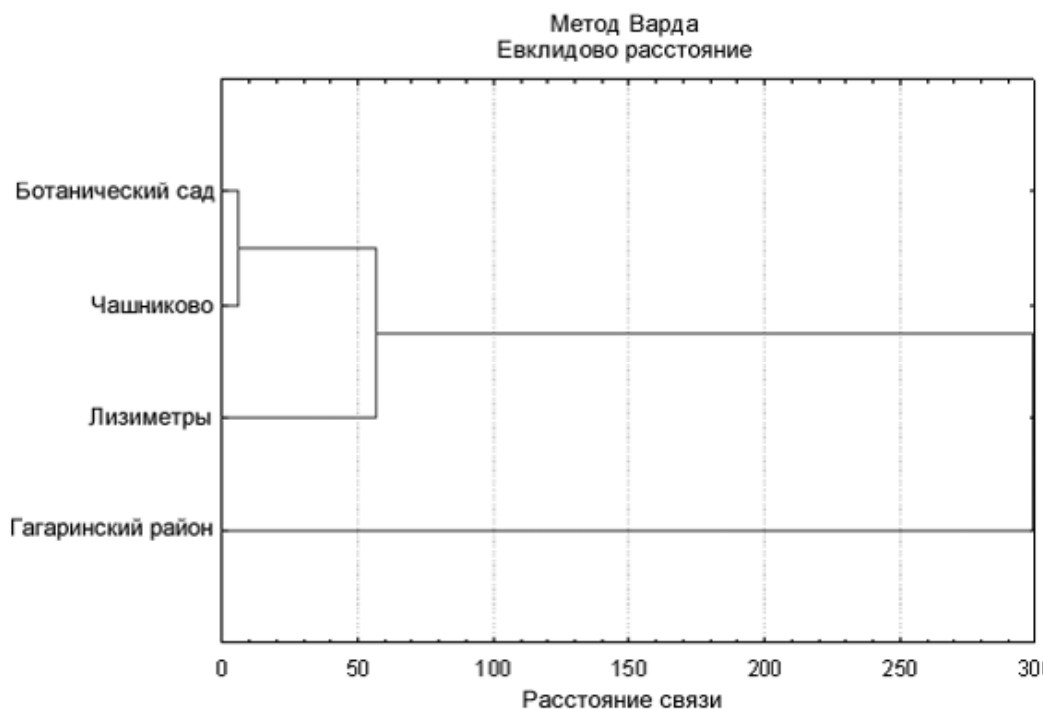


Рис. 3. Кластерный анализ объектов по химическому составу снега

Fig. 3. Cluster analysis of the chemical composition of snow

рамках кластерного анализа [Ward, 1963] показано (рис. 3), что самостоятельную группу (табл. 4, 6) в химическом отношении образуют, с одной стороны, снега Гагаринского района, с другой – снега, выпадающие в пределах стационарных почвенных лизиметров. Интересно, что состав снеговых вод Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова и подмосковных ландшафтов близок друг к другу. Это подтверждает положение о том, что в условиях городских ландшафтов возможно создание условий, при которых загрязнение снега минимально. Это хорошо согласуется с экспериментальными исследованиями, проведенными И.Д. Ереминой [2010] и А.В. Григорьевым [2003, 2010], и работами, проведенными на УОПЭЦ Чашниково [Карпова, Минеев, 2015]. Результаты измерения высоты снежного покрова в пределах описываемого Солнечногорского района хорошо согласуются с данными, приводимыми в ежегодных докладах Росгидромета, характеризующих особенности климата. В частности, максимальные величины высоты снежного покрова,

установленные для зимнего сезона 2012–2013 гг., полностью идентичны данным, приводимым за этот период в официальных документах [Доклад об особенностях климата ..., 2014].

Выводы:

- на основании многолетнего мониторинга обнаружено, что максимальные величины высоты снежного покрова, как правило, характерны для открытых ландшафтов по сравнению ландшафтами, занятыми лесными насаждениями;
- показано, что за период 2010–2016 гг. наблюдений наибольшие величины высоты снежного покрова характерны для зимнего периода 2012–2013 гг., что свойственно всем изученным элементарным ландшафтам независимо от их положения в системе изученного геохимического ландшафта;
- установлено, что состав снеговых вод, изученных в Ботаническом саду МГУ и подмосковных ландшафтах, относительно близок, что подтверждает роль лесных насаждений в инактивации поступающих загрязнителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Василенко В.Н., Артемов И.Е., Беликова Т.В., Успен А.А. Кислотно-щелочные характеристики снежного покрова территории России // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 100–104.
- Григорьев А.В. Особенности пространственного распределения химического состава снега на территории Москвы и Подмосковья // Летопись погоды, климата и экологии Москвы. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. Вып. 2. С. 76–80.

- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2013 год. М., 2014. 110 с.
- Еремينا И.Д., Григорьев А.В. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999–2006 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 3. С. 55–60.
- Калинин Н.А., Шихов А.Н., Свизов Е.М. Моделирование процессов снегонакопления и снеготаяния на водосборе Вот-

кинское водохранилище с использованием модели WRF-ARW // Метеорология и гидрология. 2015. № 11. С. 57–68.

Карпова Е.А., Минеев В.Г. Тяжелые металлы в агроэкосистеме. М.: КДУ, 2015. 252 с.

Китаев Л.М., Володичева Н.А., Олейников А.Д. Многолетняя динамика снежности на северо-западе Русской равнины // Мат-лы гляциологических исследований. 2007. № 102. С. 65–72.

Китаев Л.М., Рузаев В.Н., Хейно Р., Форланд Э. Продолжительность залегания снежного покрова в Северной Европе // Метеорология и гидрология. 2006. № 3. С. 95–100.

Колосков П. И. Вопросы агроклиматического районирования СССР // Тр. Ин-та агроклиматологии. М.: Гидролог-издат, 1958. Вып. 6.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения от 13 декабря 2016 года. 2016. № 552. 153 с.

Попова В.В., Морозова П.А., Туткова Т.Б. и др. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений // Лед и снег. 2015. № 55(4). С. 73–86.

Сорокикова Л.М., Синюкович В.Н., Нецветаева О.Г. и др. Химический состав снеговых и речных вод юго-восточного побережья оз. Байкал // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 71–83.

Фириц Ш., Армстронг Р.Л., Дюран И. и др. Международная классификация для сезонно-выпадающего снега. М.: Институт географии РАН, 2012. 80 с.

Bartels-Rausch T., H.-W. Jacobi, T.F. Kahan et al. A review of air–ice chemical and physical interactions (AICI): liquids, quasi-liquids, and solids in snow // Atmospheric Chemistry and Physics. 2014. V. 14(3). P. 1587–1633.

Carmagnola C.M., Domine F., Dumont M. Et al. Snow spectral albedo at Summit, Greenland: measurements and numerical simulations based on physical and chemical properties of the snowpack // The Cryosphere. 2013. V. 7(4). P. 1139–1160.

Joe H., Ward Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. American Statistical Association. 1963. V. 58. № 301. P. 236–244.

Kitaev L., Barabanova E. Snow cover as an indicator of urban territories condition // Environmental indices: systems analyses, approach. London, EOLSS, 1999. P. 412–418.

Поступила в редакцию 16.02.2017

Принята к публикации 01.11.2017

L.G. Bogatyrev¹, N.I. Zhilin², V.P. Samsonova³, N.L. Yakushev⁴,
N.P. Kirillova⁵, A.I. Benediktova⁶, Ph.I. Zemskov⁷, M.M. Karpuhin⁸,
D.V. Ladonin⁹, A.N. Vartanov¹⁰, V.V. Demin¹¹

LONG-TERM MONITORING OF SNOW COVER WITHIN NATURAL AND URBANIZED LANDSCAPES OF THE MOSCOW REGION

Dynamics and composition of snow cover in the system of a geochemical landscape typical of southern taiga landscapes and the urbanized landscapes were studied during winter seasons of 2011 – 2016. It is shown that the maximum heights and water equivalent of snow cover in natural landscapes are usually found on flood plains and forest openings on the first terrace whereas minimum values are typical of forest ecosystems. The cluster analysis revealed that the chemical composition of snow in the MSU Arboretum and within landscapes in the vicinity of Moscow is closer unlike that of true urban landscapes.

Key words: snow cover, southern taiga landscapes, Moscow megalopolis, height of snow cover, water equivalent of snow cover, lysimeters, monitoring, macro-elements, trace elements.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Associate Professor, PhD. in Biology; e-mail: bogatyrev.l.g@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Engineer; e-mail: zhilinnik@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Agriculture, Associate Professor, PhD. in Biology; e-mail: vkbun@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of Soil Erosion, Engineer; e-mail: nikjakushev@yandex.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: npkirillova@yandex.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: beneanna@yandex.ru

⁷ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Engineer; e-mail: philzemskov@mail.ru

⁸ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of Soil Chemistry, Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: barmakarpa@rambler.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of Soil Chemistry, Associate Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: ladonin@inbox.ru

¹⁰ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of General Soil Science, Master's student; e-mail: anvbox93@mail.ru

¹¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of Soil Geography, Leading Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: vvd.msu@gmail.com

REFERENCES

- Bartels-Rausch T., H.-W. Jacobi, T. F. Kahan et al.* A review of air–ice chemical and physical interactions (AICI): liquids, quasi-liquids, and solids in snow // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2014. V. 14(3). P. 1587–1633.
- Carmagnola C.M., Domine F., Dumont M. Et al.* Snow spectral albedo at Summit, Greenland: measurements and numerical simulations based on physical and chemical properties of the snowpack // *The Cryosphere*. 2013. V. 7(4). P. 1139–1160.
- Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2013 god [Report of climate features within the territory of the Russian Federation in 2013]. M., 2014. 110 s. (in Russian).
- Eremina I.D., Grigor'ev A.V.* Kislotsnost' i himicheskij sostav snezhnogo pokrova v Moskve i Podmoskov'e za period 1999–2006 gg. [Acidity and chemical composition of snow cover in Moscow and the Moscow area during 1999–2006] // *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija*. 2010. № 3. S. 55–60 (in Russian).
- Firc Sh., Armstrong R.L., Djuran I. Et al.* Mezhdunarodnaja klassifikacija dlja sezonno-vypadajushhego snega [International classification for seasonal snow on the ground]. Institut geografii RAN. M., 2012. 80 s. (in Russian).
- Grigor'ev A.V.* Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya himicheskogo sostava snega na territorii Moskvy i Podmoskov'ya [Specific features of spatial distribution of the chemical composition of snow within the territory of Moscow and the Moscow area] // *Letopis' pogody, klimata i ekologii Moskvy*. SPb.: Gidrometeoizdat, 2003. V. 2. S. 76–80 (in Russian).
- Joe H., Ward Jr.* Hierarchical grouping to optimize an objective function // *J. American Statistical Association*. 1963. V. 58. № 301. P. 236–244.
- Kalinin N.A., Shihov A.N., Sviyazov E.M.* Modelirovanie processov snegonakopleniya i snegotayaniya na vodosbore Votkinskogo vodohranilishha s ispol'zovaniem modeli WRF-ARW [Modeling of processes of snow accumulation and snowmelting within the drainage area of the Votkinsk reservoir using the WRF-ARW model] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2015. № 11. S. 57–68 (in Russian).
- Karpova E.A., Mineev V.G.* Tyazhyolye metally v agrosisteme [Heavy metals in agrosystems]. M.: KDU, 2015. 252 s. (in Russian).
- Kitaev L., Barabanova E.* Snow cover as an indicator of urban territories condition // *Environmental indices: systems analyses, approach*. London, EOLSS, 1999. P. 412–418.
- Kitaev L.M., Ruzaev V.N., Hejno R., Forland Je.* Prodolzhitel'nost' zaleganiya snezhnogo pokrova v Severnoj Evrope [Duration of snow cover occurrence in Northern Europe] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2006. № 3. S. 95–100 (in Russian).
- Kitaev L.M., Volodicheva N.A., Olejnikov A.D.* Mnogoletnyaya dinamika snezhnosti na severo-zapade Russkoj ravniny [Long-term dynamics of snowiness in the northwest of East European Plain] // *Materialy glyciologicheskikh issledovanij*. 2007. № 102. S. 65–72 (in Russian).
- Koloskov P.I.* Voprosy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR [Problems of the agroclimatic regionalization of the USSR] Tr. I-ta ajeroklimatologii. M.: Gidrolog-izdat, 1958. Vyp. 6 (in Russian).
- Normativy kachestva vody vodnih obektov rybohozyaistvennogo znacheniya ot 13 dekabrya 2016 goda [Standards of water quality in fishing water bodies of December 13th, 2016]. 2016. № 552. S. 153 (in Russian).
- Popova V.V., Morozova P.A., Titkova T.B. i dr.* Regional'nye osobennosti sovremennyh izmenenij zimnej akkumulyacii snega na severe Evrazii po dannym nablyudenij, reanaliza i sputnikovyh izmerenij [Regional features of modern changes of winter accumulation of snow in Northern Eurasia according to observations, reanalysis and satellite measurements] // *Lyod i Sneg*. 2015. V. 55(4). S. 73–86 (in Russian).
- Sorokovikova L.M., Sinyukovich V.N., Necvetaeva O.G., Tomberg I.V., Sez'ko N.P., Lopatina I.N.* Himicheskij sostav snegovyh i rechnyh vod jugo-vostochnogo poberezh'ya oz. Bajkal [Chemical composition of snowmelt and river waters on the southeast coast of the Baikal Lake] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2015. № 5. S. 71–83 (in Russian).
- Vasilenko V.N., Artemov I.E., Belikova T.V., Uspin A.A.* Kislотно-shhelochnye harakteristiki snezhnogo pokrova territorii Rossii [Acid-alkaline parameters of snow cover of the territory of Russia] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2007. № 4. S. 100–104 (in Russian).

Received 16.02.2017

Accepted 01.11.2017