

УДК 504.064

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДА ДУБНЫ**Андреев А.И., Каплина С.П., Каманина И.З., Макаров О.А.***ГБОУ ВО «Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна,
e-mail: d0k@bk.ru, sv_kap@mail.ru, kamanina@uni-dubna.ru, oa_makarov@mail.ru*

Работа посвящена изучению источников загрязнения атмосферного воздуха на основе геохимических показателей состояния снежного покрова на территории города Дубны Московской области. В исследованиях 2010 г. проведена площадная снеговая съемка всей территории города, на основе коэффициента суммарного загрязнения (Z_c) с использованием местных фоновых значений проведено районирование территории города по уровню загрязнения. В 2013 г. проведены более детальные исследования с целью установления степени влияния конкретных источников загрязнения атмосферного воздуха, в частности котельных и некоторых промышленных предприятий. Также были рассчитаны суммарный показатель загрязнения (Z_c) и суммарный показатель нагрузки (Z_p) для каждого источника. Исследования показали, что в зоне влияния котельных и других производственных объектов отмечаются более высокие значения среднесуточной пылевой нагрузки и среднесуточных выпадений тяжелых металлов по сравнению со средними значениями, полученными в ходе площадной съемки. В результате выявлены источники загрязнения, дающие наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха.

Ключевые слова: снежный покров, тяжелые металлы, суммарный показатель загрязнения, город**RESEARCH EXPERIENCE OF SNOW COVER IN DUBNA****Andreev A.I., Kaplina S.P., Kamanina I.Z., Makarov O.A.***¹Dubna International University, Dubna,
e-mail: d0k@bk.ru, sv_kap@mail.ru, kamanina@uni-dubna.ru, oa_makarov@mail.ru*

This paper is dedicated to the study of air pollution sources, based on geochemical condition indicators of the snow cover in Dubna town, Moscow Region. In the studies of 2010 areal snow survey of entire town territory was undertaken; on the basis of total pollution indicator (Z_c) and local background values the territorial zoning by pollution level was made. More detailed study was carried out in 2013 in order to determine the impact degree of specific air pollution sources, such as boiler houses and industrial enterprises. Also the total pollution indicator (Z_c) and the total load indicator (Z_p) were calculated. The research has found that average daily values of dust load and heavy metals fallout are higher in the area of boiler houses and industrial facilities influence than average daily values received in the course of areal survey. As a result, the study revealed the pollution sources with the major contribution to the air pollution.

Keywords: snow cover, heavy metals, total pollution index snowpack, town

Основными источниками загрязнения окружающей среды в городах являются промышленные предприятия, предприятия энергетического комплекса и транспорт, в первую очередь автомобильный. Все виды источников загрязнения содержат широкую группу загрязняющих веществ полиэлементного состава. Сочетание химических элементов характеризует специфические индивидуальные особенности источников загрязнения. Характеристики ореолов и потоков рассеяния – состав, степень концентрации, формы нахождения элементов, интенсивность биологического поглощения – определяют качество окружающей среды [5].

В городах многочисленные источники загрязнения обычно расположены неравномерно, и их выбросы часто не могут быть точно учтены прямыми методами исследования состояния атмосферы. Также, из-за трудоемкости отбора проб воздуха и сложности их анализа на широкой спектр химических элементов в городах, как правило, металлы в атмосферном воздухе не

контролируются. Вместе с тем опыт геохимических исследований показывает, что существует функциональная связь между выбросами и твердофазными выпадениями из атмосферы на земную поверхность [3, 5]. В связи с этим особый интерес представляют собой природные индикаторы.

Особенно интересно оценить состояние снежного покрова в малых и средних городах, где влияние источников загрязнения окружающей среды, близко расположенных друг к другу, нередко перекрывается [2].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования был выбран город Дубна, расположенный на севере Московской области в 128 км от г. Москвы. Среди промышленных предприятий преобладает машиностроение, приборостроение, деревообработка, производство строительных материалов. Все предприятия характеризуются небольшими объемами производства. В атмосферный воздух от стационарных источников выбрасывается > 80 вредных веществ; суммарный объем валовых выбросов в среднем составляет ~ 1500 т/год. Основным стационарным источником загрязнения

атмосферы являются котельные, на которые приходится 60–70% общего объема выбросов стационарными источниками. На долю автотранспорта приходится около 60% от общего загрязнения атмосферного воздуха города, что составляет ~ 2000 т/год [1].

Исследования проводились в 2010 и в 2013 гг. Отбор проб снежного покрова проводился в период максимального запаса снега на всю толщину снежного покрова в соответствии с [4]. Пробы снежного покрова в 2010 г. были отобраны по равномерной случайно-упорядоченной сетке с охватом всех функциональных зон города (34 пробы). В 2013 г. образцы снега отбирались вблизи котельных и других стационарных источников эмиссий загрязняющих веществ в атмосферу. При проведении отбора проб учитывались климатические особенности, высота источника эмиссий, а также расстояние от точки выброса загрязняющих веществ до площадки отбора проб. Образцы снега отбирались таким образом, чтобы максимально исключить влияние автотранспорта. В качестве фонового был выбран район «Ратмино», расположенный на окраине г. Дубны и испытывающий минимальное антропогенное влияние. Подготовка проб твердой фазы снега проводилась в автоклавном модуле, после чего полученные образцы были проанализированы методом атомной абсорбции на содержание тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni). Все определения проводились в аккредитованной лаборатории Эколого-аналитического центра Международного университета природы, общества и человека «Дубна» по стандартным методикам.

Состояние снежного покрова оценивалось по общепринятым геохимическим показателям: коэффициент концентрации химических элементов (K_c); суммарный показатель загрязнения (Z_c); общая масса пыли в снеговой пробе (P_n); общая нагрузка загрязнения ($P_{общ}$); коэффициент относительного увеличения общей нагрузки элемента (K_p); суммарный показатель нагрузки (Z_p) в соответствии с [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования снежного покрова в 2010 году

Результаты измерений, выполненных в 2010 году, показывают значительное варьирование в содержании тяжелых металлов в твердой фазе снежного покрова (табл. 1). Средняя пылевая нагрузка по городу составляет 40 мг/(м²·сут). Максимальная среднесуточная пылевая нагрузка 156 мг/м² (в 2,4 раза выше фоновой) отмечается в правобережной части города в районе пересечения Нового шоссе и дороги, ведущей на полигон ТБО. Повышенное содержание пыли отмечается западнее промплощадки ОАО ПК «Тензор», среднесуточное содержание пыли составляет 80,3 мг/м². В левобережной части города (Восточный переулоч) среднесуточная пылевая нагрузка составляет 78,9 мг/м².

Самым неблагоприятным районом по среднесуточной нагрузке всех исследованных тяжелых металлов является район въезда на плотину, приуроченный к единственному транспортному сообщению между левобережной и правобережной частями города (Pb – 16,3 мкг/(м²·сут), Zn – 20,7 мкг/(м²·сут), Cd – 0,32 мкг/(м²·сут)).

По суммарному показателю загрязнения снежного покрова большая часть территории г. Дубны относится к *низкому уровню* загрязнения (Z_c 32–64) (рис. 1).

Таблица 1

Статистические показатели содержания тяжелых металлов в твердой фазе снежного покрова и среднесуточной нагрузки ($n = 34$, $P = 0,95$) г. Дубны (2010 г.)

Элемент	\bar{X}	med	min	max	D	σ	$S\bar{x}$	Ka	E
мг/кг									
Pb	368	58	17	5750	1081114	1040	178	5	23
Zn	2661	507	213	38750	51018816	7143	1225	4	21
Cd	10,39	1,50	0,41	113,0	696,56	26,4	5,28	3,30	10,76
Cu	243	48	20	2500	361894	602	103	3	11
Ni	276	32	14	3300	596931	773	133	4	13
мкг/(м ² ·сут)									
Pb	2,8	2,3	0,6	16,3	9,2	3,0	0,5	3,2	12,3
Zn	4,7	1,1	0,1	80,2	193,4	13,9	2,4	5,2	28,3
Cd	0,09	0,04	0,03	0,77	0,02	0,15	0,03	4,09	17,65
Cu	1,8	1,8	0,7	3,0	0,4	0,6	0,1	0,4	-0,3
Ni	2,1	1,3	0,5	12,0	7,2	2,7	0,5	3,2	10,1

Примечание. Среднее значение (\bar{X}), медиана (med), минимум (min), максимум (max), дисперсия (D), стандартное отклонение (σ), ошибка среднего ($S\bar{x}$), асимметрии (Ka), эксцесса (E)

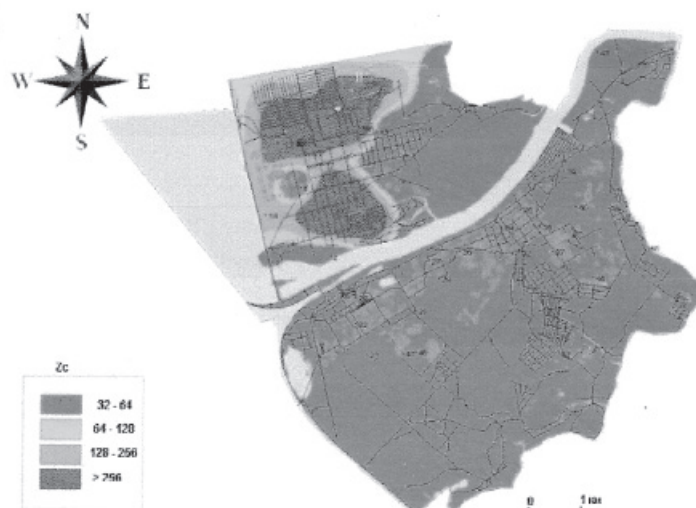


Рис 1. Пространственное распределение величины суммарного показателя загрязнения Z_c снежного покрова на территории города Дубны (2010 г.)

Районы с *очень высоким* и *высоким* уровнем загрязнения выделяются только в левобережной части города. Районы с *высоким* уровнем загрязнения (Z_c 128–256) выделяются южнее промзоны и в зоне селитебной застройки, основной вклад вносят Cd, Pb, Zn. Районы с *очень высоким* уровнем загрязнения ($Z_c > 256$) выделяются в зоне частной застройки, основной вклад вносят Pb, Zn, Cd и на северо-востоке от промзоны – Cd, Pb, Cu, Zn. По суммарному показателю на-

грузки ТМ (Z_p) вся территория г. Дубны относится к *низкому* уровню загрязнения.

Результаты исследования снежного покрова в 2013 году

В 2013 году проводилась оценка степени загрязнения атмосферного воздуха с целью установления степени влияния котельных и других производственных объектов на территорию города Дубны (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в твердой фазе снежного покрова на территории г. Дубны (2013 г.)

Номер пробы	Местоположение	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni
		мг/кг				
Левый берег						
1	ОАО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Фёдорова» + котельная (ул. Жуковского, 2)	94,7 ± 0,7	388,8 ± 0,6	0,13 ± 0,02	60,0 ± 0,2	95,0 ± 0,5
2	ООО «Каменный век» (ул. Тверская, 28)	69,5 ± 0,5	86,9 ± 0,5	2,04 ± 0,05	17,8 ± 0,1	55,9 ± 0,4
3	Котельная № 3 «ПТО ГХ» (ул. Тверская, 20а)	239,6 ± 1,0	265,9 ± 0,6	0,18 ± 0,02	60,5 ± 0,3	0,18 ± 0,01
Правый берег						
4	Котельная № 1 «Энергия-Тензор» (ул. Промышленная, 6)	208,7 ± 0,9	1002,6 ± 2,8	0,43 ± 0,03	266,1 ± 0,4	706,1 ± 2,0
5	Котельная № 5 «Восточная» (ул. Дружбы, 31)	738,0 ± 1,8	1155,3 ± 2,9	0,67 ± 0,02	110,7 ± 0,4	453,3 ± 1,0
6	Котельная № 4 «Центральная» (ул. Сахарова, 6)	135,5 ± 0,8	586,9 ± 0,7	3,61 ± 0,04	217,5 ± 0,1	408,0 ± 1,0
7	ООО «Экомебель» (ул. Приборостроителей, 5)	84,7 ± 0,6	263,7 ± 0,5	2,50 ± 0,10	50,3 ± 0,2	85,0 ± 0,5

Содержание свинца и цинка во всех исследованных пробах превышает фоновое значение. Максимальная концентрация свинца отмечается в зоне влияния Восточной котельной – 738,0 мг/кг, что выше фона в 29 раз, повышенные значения 239,6 и 208,7 мг/кг отмечаются в районе котельной № 3 «ПТО ГХ» и котельной № 1 «Энергия-Тензор», что выше фона в 9 и 8 раз соответственно. Максимальные концентрации цинка наблюдаются в районе Восточной котельной и котельной № 1 «Энергия-Тензор» – 1155,3 мг/кг (в 23 раза выше фона) и 1002,6 мг/кг (в 20 раз выше фона) соответственно. Повышенное значение цинка 586,9 мг/кг, что в 12 раз выше фона, отмечается в районе Центральной котельной. В левобережной части города в районе промзоны содержание цинка составляет 388,8 мг/кг, что в 8 раз выше фона. Максимальное содержание кадмия 3,61 мг/кг, что в 12 раз выше фона, отмечается в районе центральной котельной. Повышенные значения кадмия 2,50 и 2,04 мг/кг отмечаются в районе промышленных предприятий ООО «Экомебель» и ООО «Каменный век», что в 8 и 6,8 раз выше фона соответственно. Высокое содержание меди 266,1 и 217,5 мг/кг отмечается в районе котельной № 1 «Энергия-Тензор» и Центральной котельной, что выше фона в 10 и 8 раз соответственно. Максимальное содержание никеля отмечается в районе котельной № 1 «Энергия-Тензор» (706,1 мг/кг, что в 35 раз выше фона), повышенные значения 453,3 и 408,0 мг/кг отмечаются в районе Восточной и Центральной котельных, что в 22 и 20 раз выше фона соответственно. Таким образом, более высокие абсолютные концентрации тяжелых металлов в снежном покрове отмечаются в правобережной части

города в районе котельных. Однако для урбанизированных территорий важным является не абсолютное значение концентрации ТМ в снежном покрове, а показатель массы элемента с выпадениями пыли на снежный покров, учитывающий пылевую нагрузку мкг/(м²·сут). Данный показатель наиболее точно отражает степень загрязнения атмосферного воздуха (табл. 3).

В пробах 2013 года в ряде случаев отмечаются более высокие значения среднесуточных выпадений тяжелых металлов.

Наибольшее среднесуточное выпадение свинца в 2013 году зафиксировано в районе ООО «Каменный век» (ул. Тверская, 28) – 16,1 мкг/м², цинка – 32,4 мкг/м² – в районе ОАО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Фёдорова» (ул. Жуковского, 2). Максимум среднесуточного выпадения кадмия составил 0,474 мкг/м² (ООО «Каменный век», ул. Тверская, 28), также высокое содержание кадмия в атмосферных выпадениях 0,203 мкг/(м²·сут) отмечается в районе Восточной котельной (ул. Дружбы, 31). Максимальное выпадение меди зафиксировано в районе котельной № 1 «Энергия-тензор» (ул. Промышленная, 6) – 6,9 мкг/(м²·сут), что больше полученного ранее результата в 2 раза. Относительно высокое значение 5,0 мкг/(м²·сут) отмечается в районе ОАО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Фёдорова» (ул. Жуковского, 2). Максимальное среднесуточное выпадение никеля также отмечается в районе котельной № 1 «Энергия-Тензор» и составляет 18,3 мкг/м², что выше среднесуточных выпадений, полученных в предыдущих исследованиях. Высокое значение отмечается также в районе ООО «Каменный век» – 13,0 мкг/(м²·сут).

Таблица 3

Среднесуточное выпадение тяжелых металлов и общая пылевая нагрузка на территории г. Дубны (2013 г.)

Номер пробы	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Пылевая нагрузка
	мкг/(м ² ·сут)					
Левый берег						
1	7,9	32,4	0,011	5,0	7,9	83
2	16,1	20,2	0,474	4,1	13,0	232
3	7,5	8,4	0,006	1,9	0,01	63
Правый берег						
4	5,4	26,0	0,011	6,9	18,3	26
5	6,9	21,4	0,203	4,1	6,9	81
6	6,2	9,8	0,006	0,9	3,8	16
7	1,8	7,9	0,049	2,9	5,5	40

Для более детальной оценки воздействия котельных и других производственных объектов были рассчитаны суммарный показатель загрязнения (Z_c) и суммарный показатель нагрузки (Z_p) (табл. 4).

По суммарному показателю загрязнения Z_c в левобережной части города к *высокому уровню* загрязнения (Z_c 128–256) относятся территории в зоне влияния ОАО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Фёдорова» вместе с котельной (ул. Жуковского, 2) и ООО «Каменный век» (ул. Тверская, 28), в правобережной части – район Восточной котельной (ул. Дружбы, 31). В остальных точках обследования отмечается *очень высокий уровень* загрязнения ($Z_c > 256$) (табл. 4; рис. 2).

В соответствии с суммарным показателем нагрузки Z_p большинство обследо-

ванных площадок относится к *низкому уровню* нагрузки, *средний уровень* нагрузки отмечается только в левобережной части города в районе ООО «Каменный век» (ул. Тверская, 28) (рис. 3).

Анализ состояния снежного покрова города Дубны показал, что в зоне влияния котельных и других производственных объектов отмечаются более высокие значения среднесуточной пылевой нагрузки и среднесуточных выпадений тяжелых металлов по сравнению со средними значениями, полученными в ходе площадной съемки.

Основной вклад вносят ООО «Каменный век» и ОАО «Дубненский машиностроительный завод им. Н.П. Фёдорова» вместе с котельной, расположенной на территории завода.

Таблица 4

Значения показателей Z_p и Z_c снежного покрова на территории г. Дубны (2013 г.)

Показатель состояния снежного покрова	Номер пробы						
	1	2	3	4	5	6	7
Z_c	189	142	477	421	173	1477	279
Z_p	801	1696	751	555	730	620	191

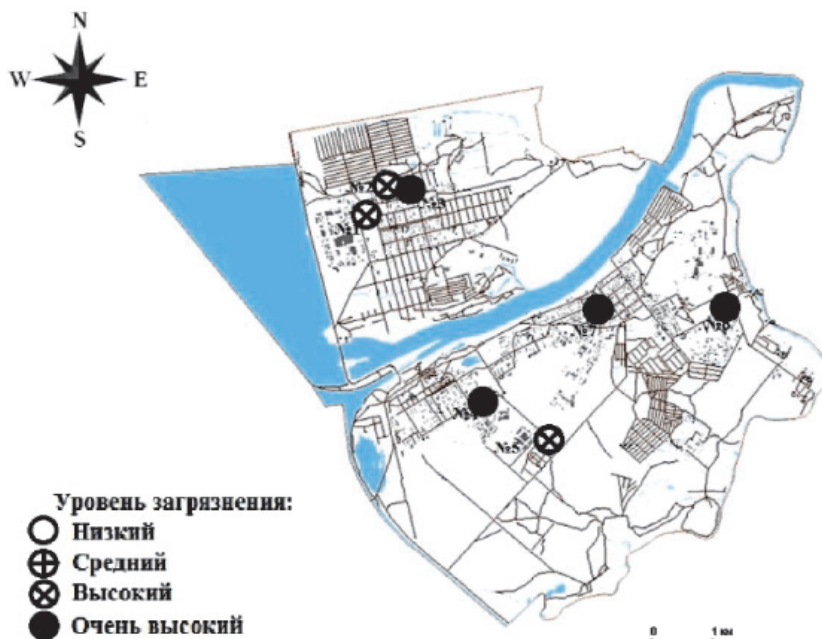


Рис. 2. Пространственное распределение величины суммарного показателя загрязнения Z_c снежного покрова на территории города Дубны (2013 г.)

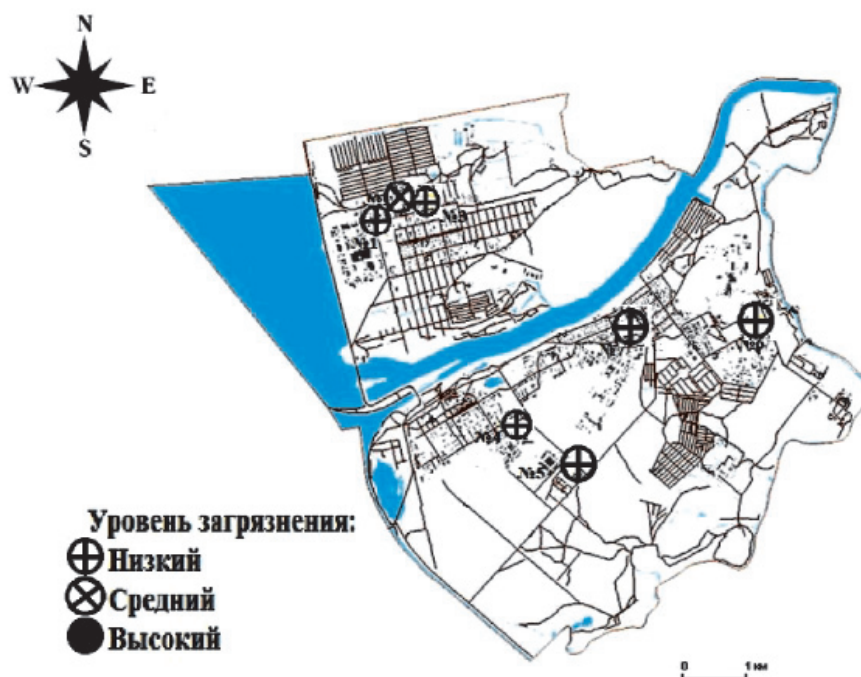


Рис. 3. Пространственное распределение величины суммарного показателя нагрузки Z_p на снежный покров на территории города Дубны (2013 г.)

Список литературы

1. Годовой отчет об экологической обстановке на территории г. Дубна за 2009 г. – Дубна: РЭЦ «Дубна», 2010. – 51 с.
2. Каплина С.П., Каманина И.З. Экологическое состояние окружающей среды урбанизированных территорий // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6. – С. 760–764.
3. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – № 5174–90 (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15.05.1990). – М., 1990. – 16 с.
4. РД 52.04.186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Министерство здравоохранения СССР. – М.: Гидрометеоздат, 1991. – 319 с.
5. Сагт Ю.Е., Ревич Е.П. Янин и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

References

1. Godovoj otchet ob jekologicheskoj obstanovke na territorii g. Dubna za 2009 g. Dubna: RJeC «Dubna», 2010. 51 p.

2. Kaplina S.P., Kamanina I.Z. Jekologicheskoe sostojanie okruzhajushhej sredy urbanizirovannyh territorij // *Fundamental'nye issledovanija*. 2014. no. 6. pp. 760–764.

3. Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagraznenija atmosfernogo vozduha naselennyh punktov metallami po ih sodержaniju v snezhnom pokrove i pochve. no. 5174–90 (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom SSSR 15.05.1990). M., 1990. 16 p.

4. RD 52.04.186-89. Rukovodjashhij dokument. Rukovodstvo po kontrolju zagraznenija atmosfery. Gosudarstvennyj komitet SSSR po gidrometeorologii. Ministerstvo zdorooхранения SSSR. M.: Gidrometeoizdat, 1991. 319 p.

5. Saet Ju. E., Revich E. P. Janin i dr. Geohimija okruzhajushhej sredy. M.: Nedra, 1990. 335 p.

Рецензенты:

Балабко П.Н., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой общего земледелия и агроэкологии, факультет почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва;

Чеснокова И.В., д.г.-м.н., главный научный сотрудник, Институт водных проблем РАН, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 01.04.2015.