

Начиная с 30-х гг. XX в. в Заонежье наблюдаются процессы запустения; это подтвердили и историко-ландшафтные исследования Великогубского ключевого участка. По ряду социально-экономических причин в регионе за названный период произошли сокращение численности населения на 89 %, уменьшение количества поселений на 80 % и сокращение на 80 % площадей окультуренных земель — пашен и сенокосов. В настоящее время в Заонежье проживает чуть более 5000 чел., главным образом в трех крупных селах — Великой Губе, Шуньге и Толвуе.

В заключение, ведя речь о перспективах дальнейшего освоения Заонежья, можно выделить два основных его направления, во многом слабо совместимых друг с другом: рекреационное и горнопромышленное. Последнее связано с разработкой в регионе месторождения шунгитов и ураново-ванадиевых руд. Оба направления будут развиваться при сопутствующей лесозаготовительной деятельности и общем снижении роли сельского хозяйства, что обусловит дальнейшее увеличение лесопокрытой площади.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Археологические памятники Карелии: Каталог. Научно-справочное издание. Петрозаводск, 2007. 200 с.
- [2] Богданова М. С. Периодизация освоения ландшафтов Заонежья (Южная Карелия) // Историческая география: теория, методы и инновации: материалы III Междунар. научн. конф. СПб., 2007. С. 66—70.
- [3] Витов М. В., Власова И. В. География сельского расселения Западного Поморья в XVI—XVIII веках. М., 1972. 192 с.
- [4] Исаченко Г. А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. СПб., 1998. 112 с.
- [5] Логинов К. К. Являются ли «заонежане» локальной группой русских? // Советская этнография. 1986. № 2. С. 91—95.
- [6] Писцовая книга Обонежской пятины Заонежской половины 1582/83 гг.: Заонежские погосты // История Карелии XVI—XVII вв. в документах. Кн. 3. Йоэнсуу, 1993. 510 с.

Петрозаводск
mari-mb@mail.ru

Поступило в редакцию
26 октября 2010 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 2

© М. Г. ОПЕКУНОВА, Л. С. ЗАХАРЯН, О. В. ВОКУЕВА, А. Ф. КОНСТАНТИНОВА

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВАСИЛЬЕВСКОГО ОСТРОВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA L.*)

Санкт-Петербург входит в число крупнейших промышленных центров России. По уровню загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод и почвогрунтов одним из наиболее неблагополучных участков города считается Василеостровский район [3, 16]. Он характеризуется плотной жилой и промышленной застройкой. На 72 улицах и набережных расположено около 2 тыс. зданий, из них 60 % составляют жилой фонд [19]. Определяющая роль в экономике района принадлежит таким предприятиям, как Балтийский завод, Сталепрокатный завод, «Севкабель», «Полиграфоформление», «Невские берега», завод им. М. И. Калинина, завод им. Козицкого,

«Электроаппарат» и др. Всего в районе расположено более 50 крупных и средних промышленных предприятий. В юго-западной части Васильевского острова по сей день существует промышленная зона. До 1980-х гг. в атмосферном воздухе района наблюдалось высокое содержание многих загрязняющих веществ: диоксида серы, окислов азота, углерода, тяжелых металлов (ТМ) и т. д. Начиная с 1980-х гг. и до второй половины 1990-х гг. отмечалось понижение содержания практически всех атмосферных примесей. Данная устойчивая тенденция связана со снижением суммарных выбросов и с метеорологическим фактором — преобладанием ветров западной четверти. Во второй половине 1990-х гг. отмечены значительные межгодовые колебания среднегодовых концентраций примесей и тенденция их увеличения. И то и другое обусловлено небольшим ростом выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, усилением роли автотранспорта и увеличением повторяемости меридиональных циркуляционных атмосферных процессов [9].

В целом к концу 1990-х гг. состояние окружающей среды в районе, как и в регионе в целом, улучшилось, что обусловлено прежде всего снижением объема промышленного производства в городе и области. Так, например, фактическое сокращение суммарных выбросов загрязняющих веществ к 1998 г. составило 36 % от уровня 1990 г. ($43.6 \cdot 10^4$ т). Более чем в 3 раза сократились выбросы твердых загрязняющих веществ и диоксида серы, в то время как поступление в воздух окислов азота и оксида углерода уменьшилось лишь в 1.2—1.5 раза, что обусловлено ростом численности и интенсивности движения автомобильного транспорта. В начале 2000-х гг. продолжалось снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Санкт-Петербурга от стационарных источников по всем категориям, кроме диоксида серы. Его рост связывается прежде всего с увеличением доли мазута в топливном балансе. Однако выбросы от передвижных источников (автотранспорта) неуклонно возрастали. Так, например, в 2005 г. они увеличились по всем категориям загрязняющих веществ примерно на 4.5 % по сравнению с предыдущим годом. В итоге валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу Санкт-Петербурга и его окрестностей от стационарных и передвижных источников в 2005 г. составил 275.6 тыс. т., выбросы по диоксиду серы выросли на 31.5 %, а по оксиду углерода — на 4.1 % [9]. В последние годы указанная тенденция сохранилась, но при этом резко увеличился общий объем поступления поллютантов. В 2006 г. доля выбросов от автотранспорта в общем валовом выбросе загрязняющих веществ составила 81.4 % при общем объеме выбросов — 275.6 тыс. т. В 2009 г. на долю передвижных источников пришлось уже 91.9 % из 625.3 тыс. т суммарных выбросов. За последний год суммарный выброс увеличился по сравнению с 2008 г. на 9.8 %, диоксида серы — на 16.4 %, оксида углерода — на 26.4 % [10]. В целом за весь рассматриваемый период уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивался как высокий.

Известно, что токсичные газы (SO_x , NO_x , CO_x), содержащиеся в атмосферном воздухе, соединяются с водяным паром и образуют кислоты, выпадающие на поверхность в виде осадков, величина pH которых существенно ниже естественного показателя — 5.5 [4]. Поэтому одним из актуальных вопросов геоэкологических исследований является оценка влияния кислотных дождей на городскую среду.

Помимо эмиссий, поступающих в воздушный бассейн, с выбросами российских предприятий значимый вклад в формирование кислотных осадков имеет трансграничный перенос. Западные ветры увеличивают поступление поллютантов, образованных европейскими предприятиями, в общий уровень загрязнения сульфатами городской среды. По данным Совместной программы наблюдений и оценки переноса загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе (ЕМЕП), представленным в 1999 г. [18], суммарные выпадения подкисляющих веществ на европейскую территорию России (ЕТР) составили более 2 млн т (окисленной серы — 1.5 млн т и окисленного азота — 0.6 млн т), а эвтрофицирующего (восстановленного) азота — 736 тыс. т.

Выпадения окисленной серы на ЕТР от российских источников превысили 751 тыс. т, что составило 49 % суммарных выпадений этой примеси на ЕТР. Трансграничные выпадения от других государств — Сторон Конвенции о трансграничном за-

грязнении воздуха на большие расстояния — превысили 670 тыс. т (43 %), остальное поступило от природных и глобальных антропогенных источников. Наибольший вклад в трансграничный перенос на ЕТР окисленной серы внесли Украина (161 тыс. т), Польша (99.5 тыс. т) и Германия (56.6 тыс. т), доля которых в сумме составила почти 50 % трансграничных выпадений от всех зарубежных стран — участниц Конвенции.

По данным станции автоматической системы мониторинга, расположенной на ул. Весельной, концентрации диоксидов серы в период проведения мониторинговых исследований (с ноября по декабрь 2009 г.) не превышали уровень, установленный гигиеническими нормами. Среднегодовые показатели и максимальные разовые концентрации в последние годы были также ниже ПДК. Так, например, в 2006 г. среднее содержание диоксида серы за год составляло 0.15 ПДК.

Вместе с тем изменение значений кислотности осадков объясняется также влиянием веществ, обладающих подщелачивающим эффектом. Данные о химическом составе осадков часто свидетельствуют о высоком содержании в них ионов калия и кальция и высоком значении рН осадков, что объясняется составом пыли, содержащейся в воздухе. Источниками пыли в воздухе могут быть как естественные процессы выветривания почв, так и антропогенное загрязнение, обусловленное влиянием локальных источников загрязнения (выветривание строительных конструкций, перенос материала с сельскохозяйственных угодий, грунтовые дороги, применение песчано-солевой смеси в зимний период и т. д.).

В состав пыли и аэрозолей атмосферного воздуха входят различные химические элементы и их соединения, в том числе ТМ. Эмиссия их в атмосферный воздух в городах достигает иногда сотен тысяч тонн в год [17]. Поступление ТМ в городскую среду происходит в результате технологических процессов практически всех видов промышленности: машиностроения, металлообработки, стройиндустрии, радиотехники, гальваники, деятельности ТЭЦ и т. д. Автомобильный транспорт также является источником поступления в окружающую среду Pb, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe и др.

Особенность Василеостровского района, как и всех урбанизированных территорий, заключается в наложении полей загрязнения различных производств и видов хозяйственной деятельности, формировании полиэлементных геохимических аномалий в компонентах городского ландшафта. В условиях многофакторного и поликомпонентного загрязнения надежным показателем качества городской среды является состояние зеленых насаждений [6, 17, 15]. Общая площадь всех типов насаждений, по данным на 01.01.97 г., в Василеостровском районе составляла 412 га, в 2009 г. — 206 га. На территории района высажено более 65 тыс. деревьев и 166 тыс. кустарников [10]. Парки и сады, занимающие относительно небольшую площадь в структуре зеленых насаждений Васильевского острова, сложены различными древесными породами с господством дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), липы мелколистной (*Tilia cordata* L.), клена обыкновенного (*Acer platanoides* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и других древесных пород и кустарников. До настоящего времени в озеленении широко используются виды тополя *Populus* sp., которые, как известно, лучше других древесных пород, высаживаемых в городах, сорбируют и накапливают многие загрязняющие вещества. Поэтому при проведении геоэкологических исследований в качестве индикаторного вида был выбран тополь бальзамический *Populus balsamifera* Bieb., имеющий в районе наибольшее распространение и относительно одновозрастные посадки.

Мониторинговые исследования на Васильевском острове проведены в ноябре—декабре 2009 г. В основу натурных изысканий положена сеть пробных площадок, использованная в осенне-зимний период 1998/99 г. при выполнении геоэкологических исследований на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга [8]. Для получения сравнимых результатов и возможности оценки динамики загрязнения за истекшие 11 лет использовались по возможности те же точки или (вследствие вырубки тополей) максимально приближенные к ним. Станции мониторинга (СМ) располагались относительно равномерно по территории (рис. 1). Часть из них находилась вблизи промышленных предприятий и автостанций. Так, например, СМ 12, 17 и 28

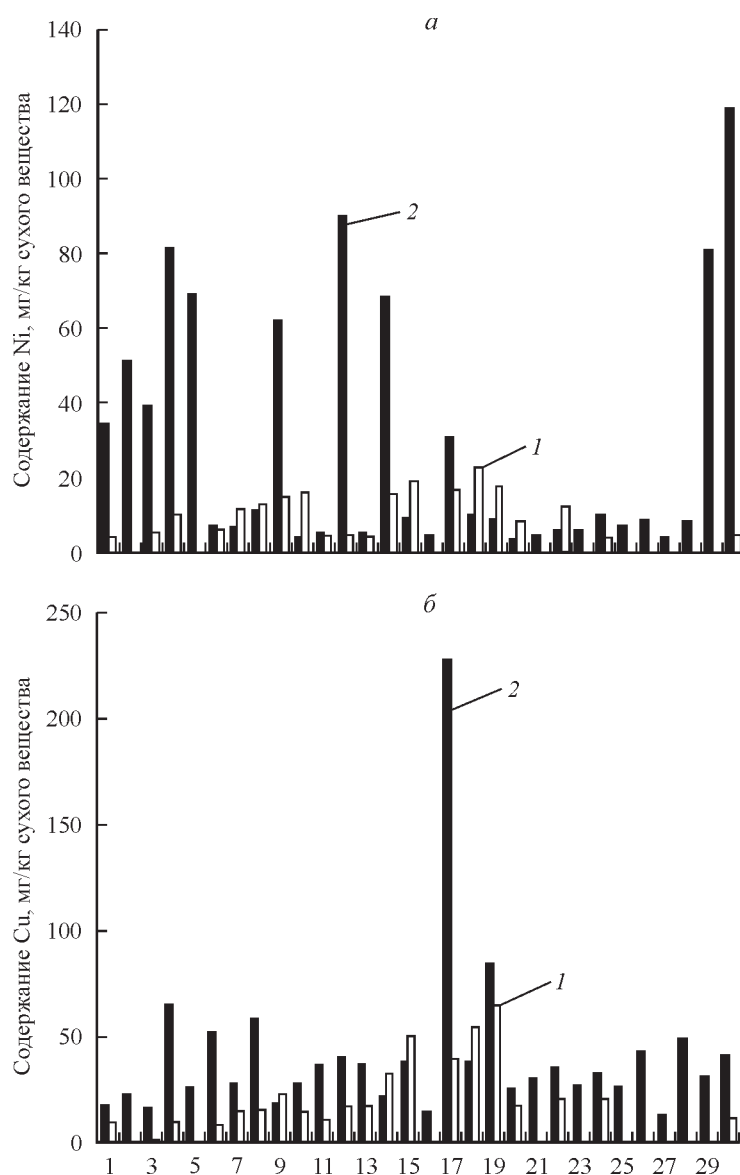


Рис. 1. Изменение содержания Ni (а) и Cu (б) в коре тополя (мг/кг сухого вещества) на Васильевском острове в 1998 (1) и 2009 (2) гг.

Номерами указаны станции мониторинга (СМ): 1 — ул. Кораблестроителей 21; 2 — 11-я линия, д. 33; 3 — 11-я линия, д. 22; 4 — пересечение 7 линии и Большого пр.; 5 — 7-я линия, д. 43; 6 — 2-я линия, д. 13; 7 — 2-я линия, д. 43; 8 — пр. КИМа, д. 26; 9 — ул. Железноводская, д. 7; 10 — ул. Беринга, д. 38; 11 — ул. Беринга, д. 26; 12 — Шкиперский проток, д. 21; 13 — Академический садик (3-я линия, д. 2а); 14 — Опочининский сад; 15 — парк «Василеостровец»; 16 — ДК им. Кирова; 17 — Косая линия, д. 16; 18 — наб. Масляного канала, д. 1; 19 — Наб. Лейтенанта Шмидта, д. 19; 20 — 16-я линия, д. 65; 21 — В. О. Средний пр., д. 69; 22 — пересечение 19-й линии и Среднего пр.; 23 — пересечение 19-й линии и Малого пр.; 24 — 21 линия, д. 16; 25 — 14-я линия, д. 51; 26 — 16-я линия, д. 79; 27 — пер. Декабристов, д. 10; 28 — ул. Уральская, д. 14; 29 — ул. Одоевского, д. 19а; 30 — наб. р. Смоленки, д. 5—7.

(Шкиперский проток, 21; Косая линия, 16; ул. Уральская, д. 14 соответственно) находились вблизи автосалона «Acsel motors», Балтийского завода, Сталепрокатного завода и автосервиса. Часть СМ (4, 22 и 23) была взята на перекрестках дорог с интенсивным автомобильным движением — пересечение 7-й линии и Большого пр., 19-й линии и Среднего пр., 19-й линии и Малого пр. соответственно. Состояние зеленых насаждений у автострад характеризовали СМ, расположенные по адресам: пр. КИМа, 26; ул. Беринга, д. 26; наб. Лейтенанта Шмидта, 19. Несколько станций мониторинга размещались в Академическом и Опочининском садах, парке «Василеостровец» и некоторых закрытых дворах (В. О. 11-я линия, 22; ул. Беринга, д. 38, и др.).

Работа на СМ включала общую характеристику участка и возможных источников антропогенного воздействия, особенности застройки, оценку интенсивности движения, наличие светофоров, состояние почвенного грунта и зеленых насаждений, замусоренность и т. д. На каждой СМ производился отбор проб почвогрунтов (далее — почв) и корки тополя согласно методике [11]. Пробы грунта отбирались из верхнего горизонта методом конверта, пробы корки включали материал по возможности с 2—5 деревьев со средней высоты 1—3 м по всей окружности ствола. Таким образом, в результате полевых исследований на территории Васильевского острова было изучено 30 станций мониторинга и отобрано по 30 проб почвогрунтов и корки тополя (*Populus balsamifera*).

Определение кислотности почв и корки тополя, а также содержания ТМ (Ni, Cu, Pb, Cd, Co, Mn, Zn, Fe) в пробах тополя и их подвижных форм в почвах проведено в Лаборатории геоэкологического мониторинга Санкт-Петербургского государственного университета. Лабораторные анализы выполнены по общепринятым методикам [1, 7].

Лабораторный анализ образцов показал, что величина pH изученных почв изменяется в пределах от 5.29 до 7.83. Нейтральная реакция почвенных растворов объясняется подщелачивающим действием оштукатуренных зданий, содержащих в строительных материалах известь.

Исследованные почвы характеризуются низким содержанием сульфатов, что объясняется выпадением обильных осадков в период пробоотбора и вымыванием ионов SO_4^{2-} из поверхностных слоев почвогрунтов. Так, из 30 отобранных образцов почв только в 9 были определены их значимые концентрации (табл. 1). Показатели варьируются от 300 до 1225 мг/кг сухого вещества. Максимальное содержание (1225 мг/кг сухого вещества) было отмечено на ул. Беринга, 38 (СМ 10) и в Академическом садике (СМ 13). Накопление сульфатов в почвогрунтах на данных точках, вероятно, объясняется высокой сомкнутостью древостоя, что, с одной стороны, способствует биогенному поступлению серы с опадом листвы, а с другой — снижает поступление осадков на поверхность почв и дальнейшее вымывание сульфатов.

В распределении подвижных форм ТМ в почвогрунтах Васильевского острова наблюдаются существенные различия. Как видно из табл. 1, большинство проб характеризуется высоким содержанием подвижных форм Ni, Cu, Pb, Zn и Cd, в несколько раз превосходящим ПДК. Средние концентрации этих металлов в 2—4 раза выше допустимых значений, а максимальные величины подвижных форм Cu и Cd достигают 12 ПДК. Уровень содержания подвижных форм Co и Mn не превышает установленных нормативов.

На общем уровне загрязнения почвогрунтов выделяется несколько СМ. К их числу относятся участки вблизи Балтийского завода (СМ 17, Косая линия, 16), «Acsel motors» (СМ 12, Шкиперский проток, 21), Института Арктики и Антарктики (СМ 10, Беринга, 38) и на набережной Лейтенанта Шмидта, 19 (СМ 19). Так, например, в грунтах на СМ 17 концентрация подвижных форм Ni, Cu, Pb и Zn превышает ПДК соответственно в 4, 8, 2 и 3 раза, на СМ 10 — в 2, 12, 14 и 4 раза. Аномально высокие концентрации подвижных форм Pb и Zn обнаружены в почвах на СМ 27 (пер. Декабристов, 10), достигающие соответственно 37 и 2 ПДК.

Корреляционный анализ выявил высокую достоверную положительную связь в содержании подвижных форм Ni и Co (1.0) и Fe и Mn (0.7), что соответствует имеющимся представлениям о поведении этих ТМ в почвах. Кроме того, намечается положи-

Таблица 1

Содержание подвижных форм ТМ в почве, мг/кг

№ СМ	Местонахождение	Концентрации металлов, мг/кг							
		Ni	Cu	Cd	Co	Mn	Pb	Zn	Fe
1	Ул. Кораблестроителей, 21	8	2	0.4	0.8	20	1	18	9
2	В. О. 11-я линия, 33	2	8	0.2	Н/о	31	29	120	38
3	В. О. 11-я линия, 22	5	10	0.3	0.5	29	17	139	33
4	Пересечение 7-й линии и Большо- го пр. В. О.	8	5	0.4	0.8	21	Н/о	16	40
6	В. О. 2-я линия, д. 13	8	6	0.2	Н/о	65	7	27	228
7	В. О. 2-я линия, д. 43	7	4	0.2	0.7	16	1	16	25
8	Пр. Кима, 26	10	3	0.4	1.0	16	1	64	14
9	Ул. Железноводская, д. 7	2	10	0.2	0.2	25	15	58	19
10	Ул. Беринга, д. 38	8	36	0.4	Н/о	42	86	107	20
11	Ул. Беринга, д. 26	11	8	0.5	0.9	15	8	37	13
12	Шкиперский проток, 21	4	27	0.5	0.3	41	90	145	17
13	Академический садик (В. О. 3-я ли- ния, д. 2а)	11	2	3.0	1.0	22	9	44	13
16	ДК им. С. М. Кирова на В. О.	6	7	0.6	0.6	40	35	95	10
17	В. О. Косая линия, 16	15	26	0.4	Н/о	16	12	64	22
18	Наб. Масляного канала, 1	9	2	1.0	0.9	21	3	82	Н/о
19	Наб. Лейтенанта Шмидта, 19	16	4	0.2	Н/о	29	3	116	81
20	В. О. 16-я линия, д. 65	7	6	0.3	0.6	20	5	47	Н/о
21	В. О. Средний пр., д. 69	10	14	0.3	Н/о	34	13	45	24
22	Пересечение 19-й линии В. О. и Среднего пр. В. О.	11	1	0.4	0.9	45	Н/о	7	105
23	Пересечение 19-й линии В. О. и Ма- лого пр. В. О.	7	2	0.3	0.7	28	11	28	48
24	В. О. 21-я линия, д. 16	3	3	0.2	0.2	10	12	60	15
26	В. О. 16-я линия, д. 79	11	2	0.2	Н/о	34	0	36	99
27	Пер. Декабристов, д. 10	3	2	0.2	»	12	222	37	21
28	Ул. Уральская, д. 14	4	3	0.2	»	38	19	39	208
29	Ул. Одоевского, 19а	12	6	0.6	1.0	18	Н/о	81	17
30	Наб. р. Смоленки, 5—7	13	5	0.5	Н/о	15	30	33	20
ПДК		4	3	0.24	5	80	6	23	—
Максимальное		16	36	3.0	1.0	65	222	145	228
Минимальное		2	1	0.2	0.2	10	1	7	9

тельная связь между накоплением Cu и Zn (0.5) и отрицательная между Pb, Cu, Zn и Co (–0.5).

Расчет коэффициента суммарного загрязнения показал, что почвы Василеостровского района относятся в основном к «допустимой» категории. Исключение составляют образцы с ул. Беринга, 38 (СМ 10, Институт Арктики и Антарктики) и Шкиперского протока, 21 (СМ 12, «Acsele motors»), относящиеся к числу «умеренно опасных», и почва с пер. Декабристов, 10 — к категории «опасная».

Кислотность наружного слоя коры (корки) деревьев является распространенным и легко определяемым фитоиндикационным признаком. Значение pH водной суспензии при соотношении размолотой корки к воде 1 : 25 вне техногенной нагрузки составляет около 5.00 [2]. На величину pH коры влияют как антропогенные, так и естествен-

Таблица 2

**Содержание сульфатов и величина pH корки тополя на территории
Василеостровского района г. Санкт-Петербурга в 1998 и 2009 гг.**

№ СМ, местонахождение	Показатели 2009 г.		Показатели 1998 г.	
	сульфаты, мг/кг сух. вещества	pH	сульфаты, мг/кг сух. вещества	pH
СМ 1. Ул. Кораблестроителей, д. 21	1225	6.7	3246	5.67
СМ 2. 11-я линия, д. 36	563	5.45	1380	5.87
СМ 3. 11-я линия, 22	300	6.56	4620	5.39
СМ 4. Большой пр., Андреевская церковь	1680	4.52	980	5.28
СМ 5. 7-я линия, д. 43	563	5.97	4620	5.39
СМ 6. Двор философского факультета СПбГУ	1650	4.94	2975	5.67
СМ 7. Малый пр., школа № 7	875	5.5	312	5.82
СМ 8. Пр. Кима, 26	575	6.76	5784	4.94
СМ 9. Ул. Железноводская, 32	875	6.39	1140	6.64
СМ 10. Ул. Беринга, д. 38, Институт Арктики и Антарктики	1225	6.41	1630	5.86
СМ 11. Ул. Беринга, д. 38, автостоянка у Смоленского кладбища	1100	6.19	6344	7.47
СМ 12. Шкиперский проток, «Acsel motors»	1650	5.35	1200	3.95
СМ 13. Академический садик (3-я линия, д. 2а)	1113	5.84	2975	5.67
СМ 14. Опочининский парк, ул. Опочинина	1375	6.3	225	4.6
СМ 15. Парк «Василеостровец», ул. Карташихина	1375	6.61	1087	5.24
СМ 16. Большой пр., ДК им. С. М. Кирова	1100	6.02	349	4.92
СМ 17. Косая линия, 16	1100	5.3	3412	4.8
СМ 18. Наб. Невы, 25—26-я линии	1100	6.64	6410	4.85
СМ 19. Наб. Лейтенанта Шмидта	1375	5.47	450	5.75
СМ 20. 21-я линия, 16	1113	6.67	1337	4.98
СМ 21. Средний пр., д. 69	1375	4.74	Н/о	Н/о
СМ 22. Пересечение 19-й линии и Среднего пр.	850	7.01	5930	6.18
СМ 23. Малый пр., 18—19-я линии	1375	5.6	6512	5.32
СМ 24. 21-я линия, д. 16 / Средний пр., 19—20-я линии	1375	7.17	5930	6.18
СМ 25. 14-я линия, д. 51	1375	5.41	Н/о	Н/о
СМ 26. 16-я линия, д. 79	1650	5.82	»	»
СМ 27. Пер. Декабристов, д. 10	1375	5.4	»	»
СМ 28. Ул. Уральская, д. 14	1925	6.65	»	»
СМ 29. Ул. Одоевского, 19а	1375	5.54	»	»
СМ 30. Берег р. Смоленки, завод Коммунар	563	6.65	4030	5.18
Пос. Овсяное	Н/о	Н/о	812	4.69

ные факторы. К естественным причинам ее снижения относится процесс подкисления атмосферных осадков при прохождении их через кроны деревьев. При выпадении кислотных дождей наблюдается снижение величины pH корки деревьев до 3.50—4.00 и менее. Как показали проведенные исследования на Васильевском острове, величина pH корки тополя изменяется в пределах от 3.95 до 7.47 и составляет в среднем 4.69. Самое низкое значение pH отмечено в районе Шкиперского протока; наиболее высокие показатели, имеющие нейтральную реакцию, приурочены к микрорайонам жилой застройки, где сказывается подщелачивающее влияние оштукатуренных построек (табл. 2).

Многочисленные исследования, проведенные в естественных природно-территориальных комплексах ЕТР [12–14, 18], свидетельствуют о том, что фоновое содержание сульфатов в корке сосны не превышает 300 мг/кг сухого вещества: на о-ве Валаам оно составляет 197 ± 11 мг/кг, в районе Приладожской учебно-научной станции (ПУНС) — 130 ± 40 мг/кг. В государственном заповеднике «Костомукшский» за фоновые показатели также приняты значения, не превышающие 300 мг/кг. Содержание сульфатов в корке тополя на фоновых территориях несколько выше, что обусловлено главным образом межвидовыми различиями минерального обмена растений. Для сравнения содержание сульфатов в корке тополя на условно фоновом участке в пос. Овсяное (Ленинградская область) достигает 850 мг/кг.

Как показали полученные результаты, на территории Васильевского острова концентрация сульфатов в корке тополя характеризуется значительным разбросом значений от 300 до 1925 мг/кг со средним показателем по всему району — 1162 мг/кг сухого вещества. В большинстве проб наблюдается превышение условно фоновых значений в 1.5–2 раза. Высокие содержания приурочены в основном к центральной части района, что объясняется переносом загрязненных воздушных масс с промышленной зоны, расположенной на юго-западе острова. При этом необходимо отметить, что содержания сульфатов в корке тополя, полученные при мониторинговых работах в 2009 г., существенно ниже данных 1998 г.: среднее значение по району тогда составляло 2820 мг/кг при варьировании от 225 до 6512 мг/кг сухого вещества. Максимальные показатели сульфатов в корке тополя уменьшились в 4 раза — с 6410–6512 мг/кг сухого вещества в 1998 г. до 1650–1680 мг/кг сухого вещества в 2009 г., что указывает на снижение интенсивности выпадения кислотных дождей. Это может быть обусловлено уменьшением загрязнения атмосферного воздуха оксидами серы как за счет снижения выбросов промышленными предприятиями, так и за счет уменьшения поступления с трансграничным переносом.

Выпадение кислотных дождей приводит к накоплению в растительной биомассе сульфатов и снижению величины pH. Наиболее отчетливо эта закономерность проявляется в слабонарушенных ПТК гумидной зоны с однородным антропогенным воздействием. Проведенный корреляционный анализ не выявил достоверной зависимости между накоплением сульфатов и pH корки тополя ($r = -0.34$), характерной при выпадении кислотных дождей [2, 17]. Это объясняется многокомпонентностью загрязнений и сглаживанием этой функции под влиянием подщелачивающих воздействий. Сходная ситуация наблюдалась и при геоэкологическом опробовании в 1998 г. Однако, как было показано на примере этих исследований, в структуре факторного анализа четко выделился парагенезис, указывающий на выпадение кислотных дождей. В него вошли только показатель pH и, в противовес ему, содержание сульфатов. На его долю приходится 8.3 % всех корреляционных связей, что указывает на сравнительно небольшой вклад трансграничного поступления поллютантов в общий уровень загрязнения городской среды.

Таким образом, несмотря на значительное сокращение выбросов диоксида серы в воздушное пространство Санкт-Петербурга, процесс формирования и выпадения кислотных осадков остается важной проблемой региона и требует контроля со стороны природоохранных организаций.

Результаты мониторинговых исследований показали, что отобранные пробы корки тополя отличаются высоким уровнем содержания большинства ТМ (табл. 3, 4), значительно превышающим кларк, по В. В. Добровольскому (1998), и фоновые показатели, полученные на примере некоторых малонаселенных пунктов Ленинградской области. Сравнительный анализ химического состава корки тополя свидетельствует о различных тенденциях его изменения за истекшие 11 лет. Рассмотрим основные закономерности накопления ТМ в корке тополя на территории Васильевского острова.

Содержание Ni в корке тополя варьируется от 3.4 до 118.5 мг/кг сухого вещества, при среднем значении 28.3. Минимальная, максимальная и средняя величины превышают кларк, по В. В. Добровольскому, соответственно в 1.7, 59 и 14 раз. В целом сле-

Таблица 3

Статистические показатели величины pH, содержания сульфатов и ТМ
(мг/кг сухого вещества) в коре тополя *Populus balsamifera* Bieb. (1998 г.)

Показатель	Среднее	Max	Min	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Кларк, по В. В. Добровольскому, 1998
pH	5.50	7.14	3.95	0.8	14.78	—
SO ₄ ²⁻	2657	6410	225	2056.9	77.40	—
Cu	21	64	1	15.4	72.84	8
Ni	9.9	22.6	3.8	5.5	55.57	2
Pb	80	215	16	48.4	60.38	1.25
Cd	2.45	7.7	0.01	2.8	115.50	0.035
Zn	449	1043	138	198.2	44.10	30
Mn	31	59	7	12.0	39.34	205
Sr	86	274	30	51.2	59.85	35
Co	1.8	3.1	1	0.5	30.60	0.5
Sc	1	5	0.5	1.1	85.17	—
Zr	9	17	2.6	3.5	39.71	7.5
Ti	109	188	39	39.1	35.83	32.5
Y	7.3	12.1	1	3.7	50.45	0.8
V	12	29	4	6.9	55.93	1.5
Ba	63	92	24	21.2	33.34	22.5
Cr	7.4	28.2	1.5	5.8	78.77	1.8
Ga	0.91	1.61	0.23	0.4	39.66	0.05

дует отметить, что концентрация Ni в коре тополя в 2009 г. оказалась значительно выше показателей, полученных при проведении геоэкологических исследований в 1998 г. Увеличение загрязнения никелем было отмечено и ранее (в 1998 г.) при сравнении полученных данных с опубликованными результатами исследований, проведенных в 1995 г. [12–14]. Тогда было обнаружено возрастание концентрации этого металла в коре тополя в 2 раза. Как видно из полученных данных, эта тенденция сохранилась. Так, например, среднее содержание этого элемента возросло за истекшие 11 лет почти в 3 раза. Максимальное превышение условно фоновое значения (более чем в 20 раз) отмечено на Шкиперском протоке вблизи «Acsel motors». Такие высокие концентрации могут быть связаны как с выбросами близ расположенных предприятий, так и с загрязнением от автотранспорта, поскольку Ni наряду с Cu и Cr входит в состав многослойных антикоррозийных покрытий современных автомобилей. Вместе с тем на ряде СМ отмечено уменьшение концентрации Ni в коре тополя, что может быть обусловлено как снижением антропогенной нагрузки от локальных источников воздействия, так и выносом загрязняющих веществ с хорошо продуваемых участков. Большинство этих СМ расположено на набережных и открытых ветрам участках. К ним относятся СМ 7 (2-я линия, д. 43), СМ 8 (пр. КИМа, 26), СМ 10 (ул. Беринга, 38), СМ 15 (Парк «Василеостровец»), СМ 18 (наб. Масляного канала, 1), СМ 19 (наб. Лейтенанта Шмидта, 19), СМ 20 (16-я линия, 65) и СМ 22 (перекресток 19-й линии и Среднего пр.). Однако необходимо отметить, что абсолютные содержания при этом уменьшились незначительно. Так, например, концентрация Ni в пробах корки на СМ 8, 20 и 22 снизилась в 2009 г. по сравнению с 1998 г. с 12, 8 и 12 мг/кг сухого вещества соответственно до 11, 3 и 6.

Среднее содержание **Сu** в пробах корки тополя составляет 40.3 мг/кг сухого вещества, что превышает кларк, по В. В. Добровольскому, более чем в 5 раз и средние значения в 1995 и 1998 гг. в 3 и 2 раза соответственно. Минимальное значение близко

Таблица 4

Содержание ТМ в корке тополя, мг/кг сухого вещества (2009 г.)

№ СМ	Местонахождение	Концентрации металлов, мг/кг							
		Ni	Cu	Cd	Co	Mn	Pb	Zn	Fe
1	Ул. Кораблестроителей, 21	34	17	0.6	0.8	33	H/o	165	302
2	В. О. 11-я линия, напротив факультета	51	22	0.5	0.9	28	»	154	316
3	В. О. 11-я линия, 22	39	16	0.9	1.0	37	»	241	153
4	Пересечение 7-я линии и Большого пр.	81	65	0.8	1.6	38	»	205	1455
5	В. О. 7 линия, д. 43	69	26	0.5	1.5	32	»	211	943
6	В. О. 2-я линия, д. 13	7	52	1.5	1.4	49	8	272	1110
7	В. О. 2-я линия, д. 43	6	27	0.6	1.3	45	12	246	539
8	Пр. Кима, 26	11	58	0.9	1.1	63	16	287	1855
9	Ул. Железноводская, д. 7	62	18	0.5	1.3	18	H/o	143	298
10	Ул. Беринга, д. 38	4	27	0.8	0.6	33	21	190	678
11	Ул. Беринга, д. 26	5	36	0.8	0.6	37	11	226	587
12	Шкиперский проток, 21	90	40	0.8	1.9	27	H/o	248	1265
13	Академический садик (В. О. 3-я линия, д. 2а)	5	36	4.2	0.9	24	22	131	922
14	Опочининский сад/парк	68	22	0.8	1.3	23	H/o	171	299
15	Парк «Василеостровец»	9	37	0.9	1.5	47	6	239	888
16	ДК им. С. М. Кирова на В. О.	4	14	0.5	1.0	26	5	295	233
17	В. О. Косая линия, 16	31	227	1.0	4.9	65	36	360	2250
18	Наб. Масляного канала, 1	10	38	0.8	1.8	28	27	193	1100
19	Наб. Лейтенанта Шмидта, 19	9	84	0.7	1.4	54	9	385	1250
20	В. О. 16-я линия, д. 65	3	25	0.6	1.1	41	17	210	861
21	В. О. Средний пр., д. 69	5	30	0.4	0.9	49	6	218	893
22	Пересечение 19-й линии и Среднего пр.	6	35	0.3	1.0	44	22	159	1060
23	Пересечение 19-й линии и Малого пр. В. О.	6	26	0.8	1.2	33	21	154	891
24	В. О. 21-я линия, д. 16	10	32	0.6	1.6	29	162	295	530
25	В. О. 14-я линия, д. 51	7	26	0.6	0.8	36	14	216	827
26	В. О. 16-я линия, д. 79	8	43	0.7	1.3	34	18	219	1390
27	Пер. Декабристов, д. 10	4	12	0.5	0.8	15	8	157	320
28	Ул. Уральская, д. 14	8	49	1.5	1.7	76	10	341	1102
29	Ул. Одоевского, 19а	81	31	0.5	1.5	30	H/o	138	1235
30	Наб. р. Смоленки, 5—7	119	40	1.1	1.7	30	»	177	807

к условно фоновому показателю (12 мг/кг сухого вещества, пер. Декабристов, д. 10), а максимальное — более чем в 17 раз превышает его (227 мг/кг сухого вещества, Косая линия вблизи Балтийского завода). Сравнительный анализ изменения концентрации Си в корке тополя за прошедшие 11 лет показывает, что практически на всех СМ концентрации увеличились. Особенно заметный рост количества Си в корке тополя — более чем в 5 и 7 раз — был зафиксирован соответственно на пересечении 7-й линии и Большого пр. (СМ 4) и на Косой линии, 16 (СМ 17). Вместе с тем в 2009 г. в ряде микрорайонов отмечено незначительное уменьшение концентрации Си в корке тополя. Так, например, снижение ее содержания в корке тополей обнаружено на СМ в «Опочининском» парке и на ул. Железноводской, 7. Кроме того, как и в случае с Ni, на наб. Масляного канала и в парке «Василеостровец» обнаружено уменьшение количества Си с 54 и 50 мг/кг сухого вещества до 38 и 37, что подтверждает снижение уровня антропогенного воздействия на этих участках. Однако во всех случаях разница в показателях оказалась не больше чем в 2 раза (рис. 1).

Содержание **Pb** в корке тополя изменяется в широких пределах — от 5.4 мг/кг до 161.5 мг/кг сухого вещества. Среднее значение достигает 22.4, значительно превышая кларк, по В. В. Добровольскому (1.25 мг/кг сухого вещества). Вместе с тем концентрации **Pb** в пробах корки тополя снизились в 2009 г. по сравнению с данными 1998 г. в 3.7 раза. Это связано прежде всего с тем, что для улучшения антидетонационных свойств автомобильных бензинов долгое время использовались присадки на базе соединений **Pb**, органических соединений **Mn** или **Fe** и др. Поскольку современными европейскими требованиями присутствие ТМ в бензине запрещено, широкое применение евротоплива в Санкт-Петербурге способствует медленному самоочищению окружающей среды от свинца.

Концентрация **Zn** в пробах корки тополя довольно высока и изменяется от 136 до 385 мг/кг сухого вещества. Среднее количество его составляет 221 мг/кг сухого вещества, что превышает кларк, по В. В. Добровольскому (1998), более чем в 7 раз. Следует, однако, отметить, что среднее содержание **Zn** в корке тополя в 2009 г. снизилось по сравнению с 1998 г. в 2 раза, причем эта тенденция имеет устойчивый характер — уменьшение концентраций прослеживается на всех станциях мониторинга, кроме одной (СМ 6, 2-я линия, 13). Как известно, **Zn** используется при вулканизации автомобильных покрышек, истирание которых и является одним из основных источников его поступления в окружающую среду урбанизированных территорий. По-видимому, улучшение качества автомобильной резины, используемой в последние годы, а также сокращение выбросов промышленных предприятий явились основной причиной улучшения экологической обстановки в отношении этого элемента (рис. 2).

Содержание **Cd** в пробах варьируется от 0.3 до 4.2 мг/кг сухого вещества при среднем значении — 0.8, что значительно превышает кларк, по В. В. Добровольскому (0.035 мг/кг сухого вещества). Сравнительный анализ изменения его концентраций в пробах за 11 лет не выявил четких закономерностей в аккумуляции этого металла. На СМ, где в 1998 г. концентрации **Cd** в пробах корки превышали 0.01 мг/кг сухого вещества (всего 7 площадок из 20), содержание его в корке тополя значительно снизилось. В то же время на остальных 13 станциях оно увеличилось на несколько порядков.

Содержание **Co** и **Mn** в корке тополя не претерпело сильных трансформаций за рассматриваемый период. Концентрация **Co** в корке тополя изменяется в пределах от 0.6 до 4.9 мг/кг сухого вещества. Средний показатель по данным на 2009 г. составляет 1.3 (превысивший кларк, по В. В. Добровольскому, в более чем в 2 раза), на 1998 г. — 1.8 мг/кг сухого вещества. В целом следует отметить, что на большинстве СМ количество **Co** в корке тополя немного снизилось. Исключение составляет проба, отобранная вблизи Балтийского завода, где концентрация **Co** возросла с 2.1 до 4.9 мг/кг сухого вещества.

Концентрация **Mn** в корке тополя на территории Васильевского острова невелика и варьируется от 15 до 75 мг/кг сухого вещества. Среднее значение, равное 37, ниже кларка, по В. В. Добровольскому, более чем в 5 раз, однако этот показатель оказался выше примерно в 1.2 раза, чем приведенный в исследованиях 1995 г. [13, 14] и 1998 г. [8].

Среднее значение **Fe** в пробах корки тополя составляет 878 мг/кг сухого вещества, минимальное — 153.0 и максимальное — 2250 мг/кг сухого вещества.

Факторный анализ накопления ТМ, содержания сульфатов и величины рН корки тополя подтвердил сложный многокомпонентный характер особенностей аккумуляции химических элементов в городских условиях. Методом главных компонент факторного анализа выявлено 7 факторов, определяющих 85 % всех корреляционных связей. Первый фактор $Co_{78}Ni_{76}Pb_{76}Mn_{70}Zn_{62}Cu_{62}Cd_{56}$ (31.4 %) интерпретируется как антропогенный, обусловленный аэротехногенным загрязнением в результате выбросов выхлопных газов. Максимальные нагрузки этого парагенезиса наблюдаются вблизи автостоянок, вдоль крупных магистралей и оживленных перекрестков улиц. Антропогенный характер этого парагенезиса подтверждает также тот факт, что самая высокая отрицательная нагрузка этого фактора приходится на фоновую территорию, расположенную в 120 км от Санкт-Петербурга вне зоны техногенного воздействия. Корреля-

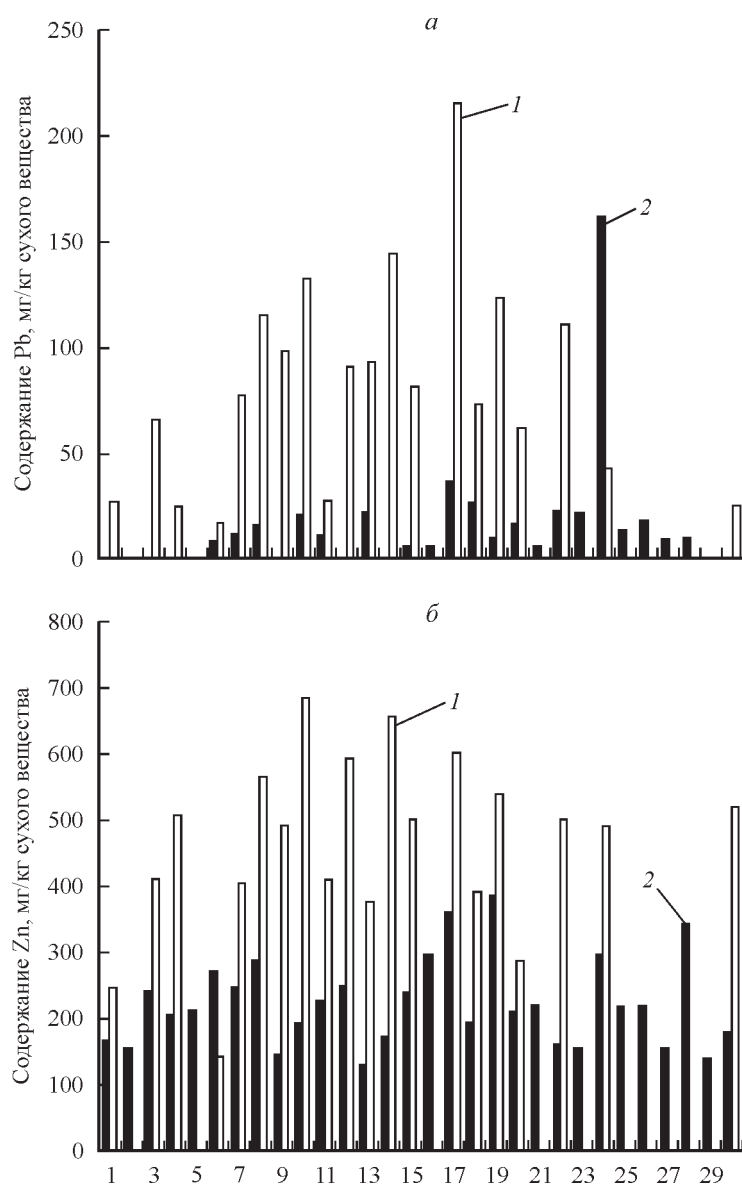


Рис. 2. Изменение содержания Pb (а) и Zn (б) в коре тополя (мг/кг сухого вещества) на Васильевском острове в 1998 (1) и 2009 (2) гг.

Условные обозначения см. рис. 1.

ционный анализ подтвердил ведущую роль этого фактора в формировании химического состава коры тополя в 2009 г. Наблюдается достоверная тесная связь в аккумуляции Cu и Co (0.9), Cu и Fe (0.8), Mn и Zn (0.7), Mn и Fe (0.6).

Второй фактор, ответственный за 14.4 % корреляционных связей, характеризует увеличение аккумуляции Cu и Ni при подкислении pH и уменьшении накопления при этом Sr и Mn. Антагонизм накопления в растениях Cu и Mn отмечается многими исследователями [5] и может являться отличительным признаком корневого поглощения ТМ. Анализ пространственного распределения нагрузок фактора позволяет интерпретировать его как локальное загрязнение почвогрунтов района.

Третьим фактором по значимости вклада в суммарное загрязнение окружающей среды являются выбросы серосодержащих соединений от местных источников загрязнения. На этот фактор приходится 12,8 % всех корреляционных связей, максимальные нагрузки обнаружены вблизи жилых зданий, а также автостоянки, насосной станции и завода «Коммунар».

Пятый и седьмой факторы отличаются локальным распространением и приурочены к точечным источникам антропогенного воздействия. Шестой фактор имеет положительные значения преимущественно в парках и скверах, где проводилась подсыпка плодородного грунта, что позволяет рассматривать его как природно-антропогенный. Следует отметить, что на фоновой территории в пос. Овсяное Ленинградской области только этот фактор имеет положительное значение.

Таким образом, мониторинговые исследования на территории Васильевского острова показали, что сохраняется высокий уровень загрязнения окружающей среды ТМ. Сравнительный анализ изменения химического состава корки тополя за 11-летний период свидетельствует о нарастании загрязнения Ni и Cu, обусловленного прежде всего нагрузкой со стороны автотранспорта. Вместе с тем отмечается заметное снижение концентраций Zn и Pb, а содержание Co и Mn в корке тополя либо незначительно уменьшилось, либо сохранилось на прежнем уровне. Применение метода главных компонент факторного анализа позволило выявить основные факторы, влияющие на экологическое состояние окружающей среды в районе исследований, и определить их вклад в общий уровень загрязнения территории.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- [2] Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 348 с.
- [3] *Донченко В.К.* Трансграничные взаимодействия по вредным и опасным факторам через Северо-Западную границу России // Экологические проблемы Северо-Запада России и пути их решения. СПб., 1997. С. 383—438.
- [4] *Израэль Ю. А., Цыбань А. В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 528 с.
- [5] *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях / Пер. с англ. Д. В. Гринчука и Е. П. Янина / Под ред. Ю. Е. Саета. М.: Мир, 1989. 439 с.
- [6] *Мовчан В. Н., Опекунова М. Г.* Биогеохимические аспекты геоэкологических исследований // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. 2002. Вып. 3 (№ 23). С. 93—103.
- [7] *Опекунова М. Г., Арестова И. Ю., Елсукова Е. Ю.* Методы физико-химического анализа почв и растений: методические указания. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 68 с.
- [8] *Опекунова М. Г., Константинова А. Ф.* Применение биоиндикации для оценки состояния окружающей среды в г. Санкт-Петербурге. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Экология фундаментальная и прикладная», Екатеринбург, 3—4 февраля 2005 г. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2005. С. 255—257.
- [9] Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2005 году // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности / Под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. СПб., 2006. 492 с.
- [10] Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности / Под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина, СПб., 2010. 440 с.
- [11] *Сенькин О.В., Опекунова М. Г., Щербаков В. М.* Ландшафтно-экологическое картографирование и экологическая оценка нарушенных территорий с применением методов биоиндикации: Учебно-метод. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 68 с.
- [12] *Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Терехина Н. В.* Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 338 с.
- [13] *Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Терехина Н. В.* Экспрессный фитоиндикационный метод оценки экологического состояния городской среды: Метод. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 27 с.
- [14] *Терехина Н. В.* Многокритериальная фитоиндикационная оценка экологического состояния городской среды мегаполиса. (На примере Василеостровского района Санкт-Петербурга). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Спец. 11.00.11. С.-Петерб. гос. ун-т. СПб., 1998. 19 с.

- [15] Федорова А. И. Биоиндикация загрязнения городской среды // Изв. РАН. Сер. географическая. 2002. № 1. С. 72—80.
- [16] Дыпленков В. П. Почвы садов и парков Санкт-Петербурга // Жизнь и Безопасность. СПб., 1994. С. 55—59.
- [17] Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н. С. Касимова. М., 1995.
- [18] http://www.nasledie.ru/politvnt/19_28/sess/article.php?art=4НИА-ПРИРОДА. Министерство природных ресурсов Российской Федерации и СНГ, г. Атырау, 6—10 июня 2001 г.
- [19] http://www.gov.spb.ru/gov/admin/terr/reg_vasileostr. Василеостровский район. Официальный портал Администрации Санкт-Петербурга.

Санкт-Петербург
m.opkunova@mail.ru

Поступило в редакцию
5 октября 2010 г.

Изв. РГО. 2011. Т. 143. Вып. 2

© В. П. ПЕТРИЩЕВ, А. А. ЧИБИЛЁВ

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СОЛЯНОКУПОЛЬНОГО ЛАНДШАФТОГЕНЕЗА

Формирование солянокупольных ландшафтов является одним из наиболее ярких примеров воздействия неотектонических (точнее, псевдотектонических) процессов на ландшафтную оболочку. В мире насчитывается около 90 солянокупольных бассейнов, охватывающих почти 5 % площади суши (рис. 1). Поэтому особенности формирования ландшафтов в пределах соляных поднятий играют важную роль как в понимании эндогенных факторов ландшафтообразования, так и в изучении особенностей формирования региональных геосистем. Важная роль солянокупольной тектоники в формировании ландшафтов юго-востока Европейской России и Западного Казахстана отмечалась в работах В. А. Николаева [1], А. А. Чибилева [4, 5], В. П. Петрищева [2, 3] и др.

Сущность солянокупольного ландшафтогенеза заключается в изменении свойств природных геосистем под воздействием соляной тектоники. В зависимости от соотношения между скоростью роста соляного поднятия и процессами осадконакопления, камуфлирующими его выраженность, меняется степень дифференциации геосистем за счет усложнения/упрощения морфологической структуры и повышения/снижения ландшафтного разнообразия.

Ключевым при рассмотрении процесса солянокупольного ландшафтогенеза является понятие о солянокупольном ландшафте. Учитывая его многогранность (с точки зрения изменения морфологической структуры, особенностей межкомпонентных взаимодействий, парадинамической сопряженности элементов), следует подчеркнуть главную черту солянокупольных геосистем — генетическую связь с соляной тектоникой и этапами развития соляных поднятий.

Современные взгляды на эволюцию соляных диапиров исходят из этапности их развития в зависимости от соотношения скорости роста (R) и активности процессов аккумуляции (A). По мнению К. Талбота и М. Джексона [8, 11], в процессе развития соляные поднятия испытывают три этапа взаимодействия с экзогенными и ландшафтообразующими процессами. На первом этапе, когда скорость роста соляного поднятия (R) низкая и ее соотношение со скоростью аккумулятивных процессов (A) в пределах ландшафта характеризуется как $R/A < 1$, соляная тектоника образует так называемые соляные подушки с контактами конической формы ($80—115^\circ$) и пликативным залеганием надсолевых пород. На втором этапе, когда скорость роста куполов заметно превышает скорость процесса осадконакопления ($R/A > 1$), эвапоритовая толща приобре-