

Мелиорация и рекультивация, экология

УДК 502/504: 911.2: 631.4: 550.47

В. П. УЧВАТОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В работе рассмотрены биогеохимические потоки и балансы типичных фоновых лесных и лесоаграрных ландшафтов, а также территорий, подверженных разным типам и масштабам промышленного воздействия в центре Европейской России. Показано, что различия в величинах поступающего в ландшафт и исходящего геохимических потоков элементов служат определяющим фактором в их накоплении в почвенном покрове, показателем стабильности и устойчивости ландшафта к антропогенным воздействиям и его способности к самоочищению.

Тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды, геохимический ландшафт, элементарные ландшафты, техногенный ландшафт, геохимические потоки, биогеохимический баланс, окружающая среда.

This article considers biochemical flows and balances of typical background forest and forestry agricultural landscapes as well as territories subjected to different types and scales of industrial effect in the centre of the European Russia. It is shown that differences in sizes of the incoming into the landscape and outgoing geochemical flows of elements are the determining factor in their accumulation in the soil cover, stability and steadiness factor of the landscape to man's actions and its capability to self-cleaning.

Heavy metals, environmental pollution, geochemical landscape, elementary landscapes, man-caused landscape, geochemical flows, biochemical balance, environment.

Все антропогенные воздействия можно разделить по методам производства на промышленные и сельскохозяйственные. В [1] были освещены основ-

ные биогеохимические процессы, происходящие в природных фоновых ландшафтах, к которым в целом можно отнести лесные либо, с известной

оговоркой, лесоаграрные территории. Среди этого множества природных территорий, не подверженных либо слабо подверженных антропогенному воздействию, расположены такие компоненты среды, как крупные и средние города, промышленные агломерации. Это типичная ситуация природообустройства, сложившаяся в течение многих столетий развития любого государства, в том числе и России. Другое дело, что соотношение площадей этих трех компонентов окружающей среды для развитых стран существенно различается. Поэтому главная цель данной статьи — дать оценку геохимическим параметрам природных и антропогенных процессов для одного из регионов центральной части Европейской России, исходя из характерных для нее антропогенных воздействий.

Известно, что основными источниками антропогенного воздействия являются промышленные предприятия, производящие и перерабатывающие черные и цветные металлы. В первую очередь это продукты, которые выбрасывают данные предприятия в атмосферу, что формирует атмосферные техногенные геохимические потоки, и сбрасываемые в речные системы плохо очищенные отходы производства. И то и другое является следствием несовершенства технологии промышленного производства.

Еще один вид антропогенного загрязнения окружающей среды — производство цемента и переработка нефти. Автору пришлось заниматься исследованиями в районе, где поступление тяжелых металлов на поверхность земли от выбросов цементного производства гораздо выше, чем от комбинатов, производящих этот металл.

Для территорий, подверженных интенсивному техногенному воздействию, где поступление тяжелых металлов из атмосферы за счет антропогенного фактора в среднем в 5–40 и более раз выше региональных фоновых значений (табл. 1), были рассчитаны геохимические балансы крупной Тульской промышленной агломерации и

среднего промышленного города Серпухова центра Европейской России, которые показывают значительное накопление тяжелых металлов в почвах, растительности, грунтовых, речных водах, донных отложениях, превышающие фоновые параметры в десятки раз. Это определяется значительными выбросами различных промышленных предприятий в атмосферу и речные системы, что формирует техногенные атмосферные и водные потоки, обуславливающие загрязнение природной среды. Геохимический баланс этих территорий для всех элементов практически всегда положителен, что приводит к увеличению концентраций тяжелых металлов в почвах изученных районов Тульской промышленной агломерации в $1n-10n$ раз (для магния в ряде почвенных разрезов города Тулы в 20–40 раз) за исторический период примерно в 300–400 лет от начала развития черной металлургии в городе Туле, а для города Серпухова в 3–19 раз за период 150–300 лет (табл. 2). Очевидно, что увеличение выбросов большинства микроэлементов в атмосферу и гидросферу и накопление их в почвах, растительности и особенно в донных отложениях происходило в последние 100–150 лет — период наиболее интенсивного развития промышленности региона, когда микроэлементы начали применяться в качестве добавок в черной металлургии при производстве оружия, ибо Тула — родина оружия.

Анализ таблиц 1...3 доказывает различную степень атмосферного воздействия металлов на ландшафт в изученных районах и неоднозначную поглощаемость их почвами, что приводит к их концентрированию в верхнем горизонте почв. Приводимые результаты показывают, что степень накопления тяжелых металлов в почвах и ландшафтах, подверженных антропогенному воздействию, далеко не всегда сопоставима с величинами техногенных атмосферных геохимических потоков. Чаще всего отношение техногенного

Таблица 1

Суммарные атмосферные геохимические потоки тяжелых металлов, поступающих с жидкими атмосферными осадками и пылью, для ряда фоновых и антропогенных районов Верхнеокского бассейна, мг·м⁻² в год

Элемент	Фоновые районы				Районы, подверженные различному антропогенному воздействию							
	Приокско-террасный биосферный заповедник	Юг-Подмосковья	Тульские засеки	Угледобы- вающий район	Черная метал- лургия	Тула, центр	Щекино	Советск	Ясная поляна	Косая гора	Среднее значение по Тульской промышлен- ной агломе- рации	Серпухов
Fe	427	201	235	1160	12020	9219	3147	7326	1483	12282	6734	1210
				4,9	51,1	39,2	15,9	31,2	6,3	52,3	28,7	2,8
Mn	9,6	10,5	43,2	78	210	130	114,7	340,9	93,5	203,3	160,1	97,5
				1,8	4,9	3,0	2,7	7,9	2,2	4,7	3,7	10,2
Cu	3,2	1,6	10,4	11,4	20,1	50,9	70,6	57,8	43,4	88,6	49,1	40,7
				1,1	1,6	4,6	6,8	5,6	4,2	8,8	4,7	12,4
Zn	20,7	17,0	31,2	100,6	276,5	220,8	185,2	231,3	130,1	319,3	209,1	92,0
				3,2	8,9	7,1	5,9	7,4	4,2	10,3	6,7	4,4
Ni	1,7	1,7	2,8	9,3	31,5	22,6	16,0	19,8	10,6	40,0	31,2	10,7
				3,3	11,3	8,1	5,7	7,1	3,8	14,3	11,1	6,3
Cr	2,3	1,9	2,1	12,1	39,9	36,9	23,9	23,4	14,3	53,4	29,1	11,5
				5,8	19	17,6	11,4	11,1	6,8	25,4	13,9	5,0
Co	0,41	0,35	0,9	3,65	13,8	12,0	5,9	5,6	3,2	17,7	8,8	3,4
				4,1	15,3	13,3	6,5	6,2	3,6	19,7	9,8	13,2
Pb	3,5	3,8	1,6	16,4	39,2	35,0	28,2	52,4	14,5	49,5	33,5	14,0
				10,2	24,5	21,9	17,6	32,8	9,1	30,9	20,9	4,9
Cd	0,16	0,15	0,14	1,82	4,85	9,84	8,43	5,7	2,14	13,4	6,54	3,0
				13,0	34,6	70,3	60,2	40,6	15,3	95,3	46,7	12,5

Примечание: знаменатель — коэффициент техногенной трансформации вещества $K_{тг}$ относительно фона района.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах (0...20 см) ряда районов Тульской промышленной агломерации и города Серпухова, подверженных разным видам антропогенного воздействия, 10⁻⁴ %

Привязка	Fe, %	Cu	Mn	Zn	Co	Ni	Cr	Pb	Cd
	Фоновый ландшафт Тульских засек, серая лесная почва								
Эловальный ландшафт	1,6	16	980	25	22	30	50	7,0	0,4
Супераквальный ландшафт	2,5	20	1250	50	56	80	70	8,5	0,35
Антропогенные ландшафты									
Угледобывающий район	1,8 1,1	27 1,7	1040 1,1	63 2,5	27 1,2	41 1,4	63 1,3	9,8 1,4	0,61 1,5
Тула, Косая гора, воздействие черной металлургии	3,8 2,4	100 6,3	5...8 % 50...80	260...400 10,4...16,0	50 2,2	150 5	190 3,8	37 5,3	0,8 2,0
Тула, центр	4,9 3,1	150 9,4	2...4 % 20...40	450 18,0	30 1,4	170 5,7	280 5,6	46 6,6	1,3 3,0
Щекино	1,9 1,2	22 1,4	960 1,0	44 1,8	24 1,2	36 1,2	60 1,2	8,3 1,4	0,56 1,4
Советск	2,0 1,3	25...45 1,5...2,6	450...640 0,5...0,65	60...85 2,4...3,4	30...40 1,3...2,0	35...60 1,1...2,0	60...90 1,2...1,5	12...30 1,7...4,3	0,4...1,3 1...3,3
Ясная поляна	1,8 1,1	24 1,5	1020 1,0	36 1,4	22 1,0	33 1,1	58 1,2	9,6 1,4	0,6 1,5
Серпухов	3,6 6,0	130 4	1800 3,3	380 19	45 4	130 6	220 6	50 4	1,6 10

Примечание: знаменатель — коэффициент техногенной трансформации вещества $K_{тг}$ по отношению к фону территории.

атмосферного геохимического потока к фоновому больше отношения концентраций тяжелых металлов в почвах и различных компонентах антропогенных ландшафтов (кроме донных отложений) к соответствующим фоновым характеристикам. Обратная зависимость отражает весьма значительное загрязнение ландшафта, его неустойчивость и неспособность к самоочищению, а также тенденцию к возникновению на этих территориях техногенных новообразований.

Соотношение коэффициентов (степени) техногенного концентрирования элементов атмосферного происхождения и их геохимических потоков и коэффициентов (степени) техногенного концентрирования в почвах, растительности, грунтовых и речных водах и донных отложениях позволяет оценить степень концентрирования (деконцентрирования) вещества в ландшафте, а следовательно, интенсивность и скорость самоочищения как каждого компонента ландшафта, так и ландшафта в целом. Эта зависимость позволяет перейти к балльной оценке устойчивости ландшафта, в том числе его компонента — почвенного покрова.

Приводимый ниже геохимический ряд изменения техногенных атмосферных геохимических потоков тяжелых металлов, полученный на основании изложенных экспериментальных данных и соответствующих расчетов, показывает специфику промышленного производства, а также степень воздействия техногенного атмосферного геохимического фактора на различные районы промышленной агломерации или города и каждого отдельного элемента — загрязнителя в пределах любого района. Благодаря такому анализу возможно проведение мероприятий по уменьшению выбросов тяжелых металлов путем совершенствования технологических процессов или введения новейших технологий.

Геохимический ряд возрастания интенсивности техногенных атмосферных геохимических потоков тяжелых

Таблица 3
Соотношение биогеохимических балансов природной и антропогенной территории центра Европейской России

Элемент	Поступление элементов в ландшафт			Вынос элементов из ландшафта			Разбалансированность ландшафта
	С жидкими атмосферными осадками	С пылью	С опадом	С ионным речным стоком	С твердым речным стоком	Сумма	
Fe	130...260 100...140	1650...18000 300...400	45...80 20...35	1825...18340 420...575	2100...5100 1050...2670	2111...5125 1053...2674	-286 -633
Cu	42...84 17...24	15...78 0,3...0,5	3...7 1,2...1,8	46,5...98,8 18,5...26,3	7...15 1,3...3,3	10,4...36,6 2,0...4,4	+36,1 +16,5
Mn	73...118 34...134	12...92,5 2...3	80...130 40...60	165...340,5 76...197	170...520 70...240	188...592 77...250	-23 -1
Zn	112...189 55...68	3...43 0,7...1,0	42...76 20...30	157...308 75,7...99	28...78 37...110	35...150 38...112	+122 +37,7
Co	2,6...11,4 1,5...1,9	0,3...5,0 0,1...0,2	0,4...0,6 0,15...0,3	3,3...17,0 1,75...2,4	1,5...4,1 2,5...6,5	3,6...18,5 3...8	-0,2 -1,25
Ni	8,4...15,4 3,5...6,8	1...21 0,5...0,7	1,2...1,8 0,4...0,6	10,6...38,2 4,4...8,1	5,1...14,9 4,8...13,8	9,6...32,4 5,5...19,1	+1 -1,1
Cr	8,4...20,3 2,6...3,4	2...33 0,8...1,1	6,3...7,4 2,5...3,5	16,7...60,7 5,9...8,3	10,3...29,5 5,0...14,4	11,9...39,8 5,0...14,6	+4,8 +0,9
Pb	8,4...24,5 1,9...2,4	3...68 0,8...1,1	0,9...1,9 0,3...0,6	12,3...94,4 3,0...4,1	2,0...4,0 0,4...1,5	2,5...6,0 0,44...1,61	+88,4 +2,56
Cd	2,1...19,0 0,12...0,15	0,01...0,2 ~0,025	-0,12 ~0,025	2,2...19,3 0,17...0,2	0,05...0,15 0,02...0,05	0,1...1,3 0,03...0,08	+17,8 +0,14

Примечание: числитель — среднемноголетние показатели биогеохимического баланса территории Тульской промышленной агломерации; знаменатель — среднемноголетние показатели биогеохимического баланса территории заповедных Тульских заповедных территорий; разница между поступлением и выносом элемента из ландшафта.

металлов для ряда районов Тульской промышленной агломерации и города Серпухова.

Угледобывающий район: $\Sigma K_{\text{тт}} = 5,3$
 Cu 1,1 < Mn 1,8 < Zn 3,2 < Ni 3,3 < Co 4,1 < Fe 4,9 < Cr 5,8 < Pb 10,2 < Cd 13,0

Ясная поляна $\Sigma K_{\text{тт}} = 6,2$ (территориально расположена между угледобывающим районом и Щекинским химическим комбинатом):

Mn 2,2 < Co 3,6 < Ni 3,8 < Zn 4,2 < Cu 4,2 < Fe 6,3 < Cr 6,8 < Pb 9,1 < Cd 15,3

Ближайшие окрестности Щекинского химического комбината (воздействие азотно-химической промышленности): $\Sigma K_{\text{тт}} = 14,7$

Mn 2,7 < Ni 5,7 < Zn 5,9 < Co 6,5 < Cu 6,8 < Cr 11,4 < Fe 15,9 < Pb 17,6 < Cd 60,2

Советск (воздействие тепловой электростанции): $\Sigma K_{\text{тт}} = 16,7$

Cu 5,6 < Co 6,2 < Ni 7,1 < Zn 7,4 < Mn 7,9 < Cr 11,1 < Fe 31,2 < Pb 32,8 < Cd 40,6

Локальное воздействие черной

металлургии: $\Sigma K_{\text{тт}} = 19,1$

Cu 1,9 < Mn 4,9 < Zn 8,9 < Ni 11,3 < Co 15,3 < Cr 19,0 < Pb 24,5 < Cd 34,6 < Fe 51,1

Тула (центр) (воздействие главным образом металлообрабатывающей промышленности): $\Sigma K_{\text{тт}} = 20,7$

Mn 3,0 < Cu 4,9 < Zn 7,1 < Ni 8,1 < Co 13,3 < Cr 17,6 < Pb 21,9 < Fe 39,2 < Cd 70,3

Косая гора (воздействие черной металлургии): $\Sigma K_{\text{тт}} = 29,5$

Mn 4,7 < Cu 8,5 < Zn 10,2 < Ni 14,3 < Co 19,7 < Cr 25,4 < Pb 30,9 < Fe 52,3 < Cd 95,3

Среднее значение по Тульской промышленной агломерации: $\Sigma K_{\text{тт}} = 16,2$

Mn 3,9 < Cu 4,7 < Zn 6,7 < Co 9,8 < Ni 11,1 < Cr 13,9 < Pb 20,9 < Fe 28,7 < Cd 46,7

Серпухов (центр) (воздействие металлообрабатывающей промышленности): $\Sigma K_{\text{тт}} = 7,9$

Fe 2,8 < Pb 4,0 < Zn 4,4 < Cr 5,0 < Ni 6,3 < Mn 10,2 < Cd 12,5 < Cu 12,7 < Co 13,2,

где справа от элемента — величина коэффициента техногенной трансформации вещества $K_{\text{тт}}$;

$$\Sigma K_{\text{тт}} = \frac{\Sigma K_{\text{тт}} \text{элементов}}{\text{число элементов}} - \text{среднестатистический суммарный коэффициент техногенной трансформации}$$

$$K_{\text{тт}} = \frac{P \text{ элемента на территории, подверженной антропогенному воздействию}}{P \text{ элемента фоновой территории региона}}$$

где P — поток элемента.

Полученные данные по поступлению вещества из атмосферы — одного из компонентов геохимического баланса — позволяют рассчитать время удвоения концентраций тяжелых металлов для изученных фоновых территорий центра Европейской России, которое является отношением запаса элемента в слое почвы 0...10 см ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$) к модулю техногенного давления ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$ в год). Эта методика, предложенная М. А. Глазовской, опирается на дан-

ные по природным и техногенным эмиссиям микроэлементов в атмосферу, а также на данные по средним глобальным техногенным поступлениям и глобальным модулям техногенного давления, полученным рядом специалистов [1—3]. В табл. 4 приведены результаты расчетов времени удвоения концентраций элементов для разных почв конкретных фоновых территорий, расположенных друг от друга в радиусе 150 км.

Обращает на себя внимание весьма значительная вариабельность

рассчитанных величин, которые для почв различного гранулометрического состава разных районов колеблются в 2–6 раз, хотя для ряда элементов (Cu, Zn, Cr) они существенно меньше и не превышают трех раз. Значительно меньшие различия отмечаются в пределах одного типа почв близкого гранулометрического состава.

Еще одна особенность — существенно меньшие значения времени удвоения концентраций элементов, рассчитанные для почв центра Европейской России, по сравнению с данными, приводимыми М. А. Глазвской для почв мира (рис. 4). Это вполне объяснимая закономерность и связана она с тем, что в целом модули техногенного давления, полученные в проведенных автором исследованиях, несколько выше среднего мирового уровня. Объясняется это так: все фоновые районы представляют собой либо лесные, либо лесоаграрные (юг Подмосковья, бассейн реки Ялмы) территории. Расчет поступления вещества на дневную поверхность проведен с учетом трансформирующего влияния древесной и сельскохозяйственной растительности на химический состав жидких и твердых атмосферных осадков. Как известно [4], это обуславливает увеличение концентраций элементов, в том числе и тяжелых металлов, в атмосферных осадках под пологом растительности в 3–15 раз, а также увеличения поступления элементов в почву лесных экосистем в 1,5–5 раз.

При расчете времени удвоения концентраций элементов для почв мира, исходя из кларковых значений тяжелых металлов в почвах, которые выше значений содержания тяжелых металлов в почвах центра Европейской России (кроме Co), вполне объяснимо расхождение в величинах, порой существенных, во времени удвоения концентраций элементов, приведенных в табл. 4.

Таблица 4
Время удвоения концентрации тяжелых металлов фоновых районов центра Европейской России (слой почвы 0...10 см), лет

Элемент	Суглинистые				Дерново-подзолистые		По данным М. А. Глазвской, для почв мира (1997)
	Серые лесные суглинистые		Калужские засеки	Бассейн реки Сторожка (запад Подмосковья)	Приокско-террасный биосферный заповедник	Песчаные	
	Юг Подмосковья	Тульские засеки					
Fe	7475	4468	3595	5255	1988	2766	
Mn	8202	1614	1008	1345	4594	1315	<9526
Cu	800	780	910	728	361	780	>411
Zn	172	52	119	125	181	92	<683
Ni	2103	840	1120	516	1912	897	<2301
Cr	1688	1585	2854	1585	2854	1585	<4180
Co	6964	1403	2395	2942	5488	1710	
Pb	64	252	252	272	111	96	<233
Cd	267	446	167	297	69	111	<433
По значениям времени удвоения элементы располагаются в следующий ряд:							
Pb < Zn < Cd < Cu < Ni < Cr < Co < Mn < Fe Zn < Cd < Pb < Cu < Ni < Mn < Cr < Co < Fe Cd < Pb < Zn < Cu < Ni < Cr < Fe < Mn < Co							
По сумме показателей для всех почв региона							
Zn < Pb < Cd < Cu < Ni < Cr < Mn < Co < Fe							
По данным М. А. Глазвской (1997), для глобальной экосистемы биосферы							
Pb < Cd < Cu < Zn < Ni < Cr < Mn							

Результат анализа: наиболее токсичные тяжелые металлы — загрязнители окружающей среды — находятся в левой части приводимых геохимических рядов с минимальным временем удвоения.

Однако рассчитанное время удвоения содержания элементов в почвах мира и изученного региона является условным, теоретическим или, как оно названо М. А. Глазовской, «характерным», поскольку при этом не учитывается разномасштабный процесс геохимической эрозии почв, который вносит существенную поправку в расходную часть геохимического баланса территории в сторону ее уменьшения, достигая для ряда элементов и территорий отрицательной величины. Отсюда вывод: говорить о времени удвоения концентраций элементов в почвах и проводить соответствующие расчеты можно лишь с учетом выноса элементов из ландшафта, а реальное время удвоения содержания элементов может увеличиться при этом в десятки, а возможно, и в сотни раз по сравнению с расчетным. В работе [5] показано, что концентрации тяжелых металлов в пыли в 2–3 раза (для свинца более чем на порядок) выше по сравнению с почвами, а взвесь реки лесного водосбора Приокско-террасного биосферного заповедника по микрокомпонентному составу более похожа на атмосферную пыль, чем на глинистую фракцию почв. В связи с этим можно предположить, что склоновыми водами при снеготаянии и ливнях с залесенных и нераспаханных территорий в первую очередь выносятся пылевые частицы атмосферного происхождения, а не аутигенные глинистые частицы почв. В целом для лесной территории Приокско-террасного биосферного заповедника при сложившейся природной ситуации геохимический баланс всех элементов за все годы исследований положительный, для лесоаграрной территории юга Подмосковья (при условии внесения удобрений и известковой муки) по ряду элементов — отрицательный, для территорий, подверженных интенсивному техногенному воз-

действию, — положительный. Из этого можно сделать вывод, что в лесной зоне Центральной России за голоценовое время происходил процесс интенсивного накопления элементов и увеличения их концентраций в почвах. Развитие земледелия в этот период привело к снижению концентраций элементов и гумуса в почвах в 1,1–2,4 раза, что подтверждено исследованиями для серых лесных почв лесоаграрного ландшафта юга Подмосковья, сравниваемых с фоновыми почвами смежной с ним лесной территории [6].

В то же время потери большинства микроэлементов в фоновых ландшафтах Приокско-террасного биосферного заповедника в 3–12 раз (до 20 раз для Cu, Zn) меньше, чем для агроландшафта. Этот факт, с учетом того что баланс элементов в заповеднике во все годы исследований был положительным, говорит о стабильности функционирования ландшафта при преобладающем накоплении микроэлементов. Для агроландшафта в 80-е гг. прошлого века был характерен процесс преимущественного выноса Fe, Cu, Mn и накопления Zn, Co, Cr, Pb, Cd. Сведение к минимуму или полнейшее отсутствие внесения мелиорантов в почву в 90-е гг. привело к тому, что геохимический баланс основных элементов питания сельскохозяйственных растений (кроме Zn, Pb, Cd) становится отрицательным, происходит дестабилизация ландшафта, стабильность которого обеспечивалась внесением удобрений и известковой муки.

Выводы

В результате многолетних комплексных ландшафтных эколого-геохимических исследований установлен ряд новых закономерностей трансформации химического состава почв, почвенных и грунтовых вод в природных и антропогенных ландшафтах. Определена исключительная

роль атмосферных осадков в поступлении вещества как в теплый, так и в холодный периоды года, что свидетельствует о биогеохимической направленности развития жизни в биосфере. Очевидно, что проведенные комплексные ландшафтно-геохимические исследования, если они будут поставлены хотя бы на региональном уровне, позволят проводить практические мероприятия по уменьшению выбросов тяжелых металлов — разрушителей окружающей среды — путем совершенствования технологических процессов или введения новейших технологий в «улавливание металла» при его промышленном производстве.

Список литературы

1. **Глазовская, М. А.** Методические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям [Текст] : метод. пособие / М. А. Глазовская. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 102 с.
2. **Солнцева, Н. П.** Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) [Текст] / Н. П. Солнцева // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. — М. : Наука, 1982. — С. 181–216.
3. **Bowen, H. J. M.** Environmental chemistry of the elements [Text] / H. J. M. Bowen. — New York, 1989. — 333 p.
4. **Учватов, В. П.** Трансформация химического состава природных вод в лесном ландшафте как показатель его биогеохимического функционирования [Текст] / В. П. Учватов, Н. Ф. Глазовский // Известия АН СССР, сер. Геогр. — 1984. — № 1. — С. 101–109
5. **Глазовский, Н. Ф.** Химический состав атмосферной пыли и его изменение после осаждения на кроны деревьев [Текст] / Н. Ф. Глазовский, В. П. Учватов // Труды Первого советско-американского симпозиума: Взаимодействие между лесными экосистемами и атмосферными загрязнителями: Ч. 2. — Таллинн : Изд-во Эстонской АН. — 1982. — С. 67–87.
6. **Учватов, В. П.** Микроэлементы в серых лесных почвах и почвообразующих породах Южного Подмосковья [Текст] / В. П. Учватов // Почвоведение. — 1988. — № 11. — С. 54–62.

Материал поступил в редакцию 20.01.09.

Учватов Валерий Петрович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Безопасность ГТС»

Тел. 8 (4967) 73-34-90

E-mail: NSUchvatova@yandex.ru