ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 491, № 2, с. 89–95

ГЕОХИМИЯ

УДК 628.81

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВОДОСБОРЕ ОЗЕРА В ФОНОВОМ РЕГИОНЕ (ВАЛДАЙСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)

© 2020 г. Н. А. Гашкина[1,*], член-корреспондент РАН Т. И. Моисеенко[1]

Поступило 25.12.2019 г.
После доработки 28.01.2020 г.
Принято к публикации 11.02.2020 г.

Рассмотрено распределение элементов в системе “атмосферные осадки–кроновые воды–почвенные воды” водосбора оз. Гусиного на территории Валдайской возвышенности. Определены особенности химического состава атмосферных осадков, кроновых и почвенных вод, а также почвы. Рассчитан бюджет элементов в исследуемом профиле почв за летне-осенний период. Даны оценки обогащения почв элементами и интенсивности их водной миграции в почвенных водах.

Ключевые слова: элементы, миграция, бюджет, фоновый регион

DOI: 10.31857/S2686739720040040

Рассеивание и миграция элементов в окружающей среде происходит в результате как естественных, так и антропогенно-обусловленных процессов. К последним относятся: промышленное производство, добыча полезных ископаемых, сжигание различного вида топлив. Такой показатель как технофильность элементов, отношение объемов использования к содержанию в литосфере, неукоснительно растет для многих элементов [1].

В процессе техногенного перераспределения элементов обогащается не только верхняя часть литосферы, но и гидросфера. Поверхность Земли (почвы и растительность) является биогеохимическим барьером на пути миграции элементов от источника выбросов в атмосферу и осаждения на поверхности суши – до водного объекта. В лесных биогеоценозах древесные растения являются мощным средообразующим фактором, перераспределяя атмосферное поступление элементов, изменяя свойства почв, их кислотность и режим элементов [2]. В условиях природной по геологическим условиям чувствительности территории к закислению почв и вод может усиливаться миграция и обогащение вод элементами [3].

Исследования целостной системы от выпадений элементов из атмосферы и миграции на водосборе крайне редки. Для оценки эволюции биосферных процессов и рассеивания элементов необходимо понимание их круговорота на фоновых участках, отражающих глобальные процессы поведения элементов в природных условиях.

Целью работы было выявить закономерности трансформации концентрации элементов в системе “атмосферные осадки–кроновые воды–почвенные воды”, дать характеристику процессам обогащения элементами почв и вод в фоновом регионе.

Исследования велись на территории Валдайского национального парка. Для наблюдения за химическим составом почвенных вод, внутрипрофильной миграции элементов, а также трансформации атмосферных осадков, прошедших сквозь полог древостоя, были заложены лизиметры в подкроновом пространстве елей на водосборе оз. Гусиного, которое можно отнести к чувствительным к кислотным выпадениям по геологическим условиям водосбора (отсутствие известняков в тульском горизонте каменноугольных отложений, четвертичные отложения – флювиогляциальные отложения, представленные песками с гравием и галькой). Водосбор оз. Гусиное расположен в зоне южной тайги умеренного климата с избыточным увлажнением. Рельеф водосбора озера холмисто-моренный, значительная часть водосбора заболочена, в древесном ярусе преобладает ель. В районе закладки лизиметров находятся подзолистые почвы, исследовался 30 см слой почвы (0–10 см – органический горизонт, 10–20 см – элювиальный горизонт, 20–30 см – иллювиальный горизонт).

В начале июня были установлены гравитационные с ненарушенным монолитом лизиметры конструкции Джона Дерома [4]. Было заложено 2 лизиметра под элювиальным и иллювиальным

[1] *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия*

**E-mail: ngashkina@gmail.com*

горизонтами. Одновременно на открытом участке местности (осадкомерный полигон Валдайского филиала ГГИ) и на водосборе оз. Гусиного под кроной деревьев (кроновые воды) были установлены осадкоприемники. Наблюдения за химическим составом атмосферных осадков, кроновых и почвенных вод велось ежемесячно с 09.06.2015 по 19.10.2015 г.

Анализы гидрохимических параметров проводились стандартными методами в течение 48 часов после отбора проб. Микроэлементный состав атмосферных осадков, кроновых и почвенных вод, а также в образцах почв после соответствующей пробоподготовки определяли методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (iCAP-6500, "Thermo Scientific", США) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (X-7, "Thermo Scientific", США).

Концентраций элементов в почве нормировали относительно таковых в песчаных осадочных породах [5]. Коэффициенты водной миграции элементов в почвенных водах рассчитывались по А.И. Перельману [6] относительно содержания элементов в исследуемых горизонтах почвы.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ, КРОНОВЫХ, ПОЧВЕННЫХ ВОД

Результаты химического анализа атмосферных осадков (АО), кроновых вод (КВ), почвенных и озерных вод в летне-осенний период 2015 г. приведены в табл. 1.

Максимальные концентрации основных ионов минерализации и большинства микроэлементов наблюдались в более сухие месяцы года (июнь, август, октябрь), тогда как биогенных элементов – смещались на август и сентябрь. Минимальные концентрации наблюдались в дождливые месяцы (июль, август).

Сравнение химического состава КВ с АО показывает значительное их обогащение основными ионами, биогенными элементами и микроэлементами (для таких биофильных элементов, как Zn, Cu, Mn, Rb – на порядок) при более низких значениях pH кроновых вод. Исключения составляют более высокие концентрации таких элементов, как Ni, Co и Pb, в АО на открытой местности. Причем концентрации основных ионов минерализации, углерода, форм азота, Al, Fe в атмосферных выпадениях, а также концентрации ионов водорода могут увеличиваться на порядок: в кроновых водах по сравнению с осадками в межкроновом пространстве и в стволовых водах по сравнению с кроновыми [7].

Ретроспективный анализ современного состояния атмосферных выпадений показал, что средние значения главных ионов и форм азота в АО не сильно изменились с 60-х годов прошлого века по пункту "Валдай" за 1958–1961 гг. [8].

Микроэлементный состав АО и КВ также исследовался на лесном водосборе Таежного лога (Валдай) в 1983–1984 гг. [9]. К 2015 г. произошло снижение концентраций Cr (до значений меньше порога обнаружения), Pb, Fe и Mn, но значительное увеличение Zn и Cu как в атмосферных осадках, так и в кроновых водах.

Почвенные воды гумусового и подзолистого горизонтов обогащались практически всеми элементами и превышали их концентрации в кроновых водах, за исключением Na, Mg, K, Zn, Cu, Mo, а также Rb, Sn, Sb. Почвенные воды иллювиального горизонта отличались меньшими концентрациями элементов от таковых гумусового и подзолистого горизонтов, за исключением в основном сульфатов, Na и Ca (табл. 1). В 1980–1983 гг. исследование химического состава почвенных вод дерново-подзолистых суглинистых почв под ельником велось также в Таежном логе [10]. По сравнению с суглинистыми почвами в почвенных водах песчаной почвы за исключением в некоторой степени Na, Si и Fe содержание остальных сравниваемых показателей ниже, особенно для K и N.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОДНОЙ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЧВЕННЫМИ ВОДАМИ

В профильном распределении содержания большинства элементов закономерно проявляется элювиально-иллювиальный характер (особенно для Ca и Mg). Исключение составляют Fe, Mn, Rb, Pb, Mo, As, V, Sn, Sb, Cs, Bi, W и Tl (табл. 2), которые, по-видимому, закрепляются в органогенном горизонте почв, их биогеохимическая миграция определяется как особенностями биогеоценоза, так и, возможно, усилена процессами современного техногенеза. Нормированные величины концентраций элементов в почвах водосбора оз. Гусиного по сравнению с песчаными осадочными породами показывают обогащение Mn, K, Co, Ba, V, Sb и Cs более чем в 10 раз, а Pb, Ni, Sr и Th – более чем в 2 раза. В органогенном и подзолистом горизонтах происходит концентрирование Mo и As, в иллювиальном горизонте – Zn и U (табл. 2). При росте технофильности Fe, Ti, Sr, Li, Al, Cr, Ni, Co, Nb, Tr, Ga, B, I на протяжении полувека, в последние 20 лет увеличилась технофильность Y, V, In, Pd, Pt, Re, Mo, Bi, Sb, Cu, Zn [1].

В целом для всего исследуемого периода в почвенных водах интенсивность водной миграции элементов (табл. 2), оцениваемая по отношению к их содержанию в бедных песчаных почвах водосбора оз. Гусиного, крайне высока для Zn и Cu, значительна для Hg, Cd, Sb, Pb, As, а также Ca,

Таблица 1. Средние значения и пределы варьирования химического состава атмосферных осадков, кроновых вод, почвенных вод в слое 0–20 см и 0–30 см на водосборе озера Гусиного в летне-осенний период 2015 г.

Параметры	Атмосферные осадки	Кроновые воды	Почвенные воды	
			0–20 см	0–30 см
pH	6.41 (5.44–6.86)	5.71 (5.21–6.34)	5.11 (4.22–6.97)	6.00 (5.72–6.29)
χ, мкСм/см	63.4 (7.50–232)	50.7 (18.6–159)	60.2 (43.1–102)	90.3 (65.0–108)
Ca^{2+}, мг/л	1.60 (0.73–3.16)	2.14 (1.03–6.06)	2.41 (1.28–3.66)	3.44 (3.16–3.86)
Mg^{2+}, мг/л	0.13 (0.06–0.33)	0.45 (0.22–1.12)	0.40 (0.30–0.51)	0.62 (0.56–0.74)
Na^{+}, мг/л	1.47 (0.08–4.80)	1.99 (0.28–8.47)	1.94 (0.43–3.73)	6.15 (4.84–8.16)
K^{+}, мг/л	0.31 (0.08–1.05)	5.75 (1.35–21.1)	5.37 (1.85–18.7)	1.46 (1.34–1.70)
HCO_3^-, мг/л	2.56 (0.63–4.50)	3.13 (0.60–4.50)	5.02 (1.11–8.40)	2.51 (1.20–3.92)
SO_4^{2-}, мг/л	4.29 (0.54–15.5)	5.57 (1.85–18.5)	5.78 (2.86–11.4)	12.0 (8.20–15.0)
Cl^-, мг/л	1.34 (0.10–4.50)	2.12 (0.25–7.65)	3.07 (1.20–7.89)	1.72 (1.10–2.25)
Цв., °Cr-Co	20.3 (3.50–65.0)	96.6 (83.0–140)	244 (115–395)	123 (95.4–153)
$C_{орг}$, мгС/л	7.96 (3.38–20.1)	49.3 (13.8–75.2)	79.1 (28.9–151)	70.5 (35.6–93.7)
PO_4^{3-}, мкгР/л	6.35 (0.05–23.3)	68.6 (0.50–130)	293 (3.80–1260)	117 (103–141)
NO_2^-, мкгN/л	19.8 (0–96.5)	39.5 (0.61–122)	292 (1.83–1080)	60.1 (6.70–152)
NO_3^-, мкгN/л	76.9 (0.23–203)	124 (0–271)	495 (90.3–1547)	670 (497–1016)
NH_4^+, мкгN/л	196 (15.6–684)	228 (11.7–661)	311 (7.78–786)	28.5 (7.78–70.0)
Si, мг/л	0.06 (0.02–0.13)	0.21 (0.08–0.48)	1.87 (1.09–2.47)	3.00 (2.36–3.95)
Al, мкг/л	20.1 (5.92–68.6)	151 (29.9–544)	1515 (1033–1880)	924 (857–996)
Fe, мкг/л	11.1 (<8–25.5)	42.2 (16.7–99.2)	397 (227–451)	159 (141–179)
Mn, мкг/л	4.67 (2.96–7.65)	195 (94.5–329)	386 (298–529)	221 (138–281)
Sr, мкг/л	10.5 (2.51–19.5)	5.45 (2.05–17.1)	11.6 (6.45–14.9)	16.5 (15.3–18.5)
Ba, мкг/л	4.77 (2.12–6.62)	14.0 (5.23–42.7)	48.9 (4.54–68.3)	43.5 (37.2–48.6)
B, мкг/л	2.47 (<0.5–4.65)	13.8 (6.40–27.5)	14.0 (7.02–21.4)	16.9 (15.0–17.9)
Zn, мкг/л	258 (13.0–497)	1875 (1082–3224)	1383 (540–2063)	2472 (1059–2063)
Cu, мкг/л	45.1 (2.80–24.4)	376 (227–548)	353 (210–435)	244 (126–362)
Ni, мкг/л	10.7 (0.76–28.6)	1.63 (0.48–5.33)	4.55 (2.62–10.3)	3.45 (3.06–3.71)
Co, мкг/л	1.56 (0.42–4.29)	0.21 (<0.07–0.61)	1.21 (0.74–1.46)	0.33 (0.30–0.37)
Pb, мкг/л	1.21 (0.35–4.00)	1.06 (0.46–2.88)	3.16 (1.44–7.44)	2.30 (1.38–3.17)
Cd, мкг/л	0.070 (<0.007–0.110)	0.090 (0.030–0.230)	0.200 (0.160–0.230)	0.197 (0.150–0.217)
As, мкг/л	0.22 (<0.07–0.75)	0.19 (<0.07–0.70)	0.56 (0.35–0.84)	0.53 (0.45–0.58)
V, мкг/л	0.08 (<0.07–0.16)	0.26 (<0.07–0.71)	0.55 (0.14–0.89)	0.45 (0.41–0.47)
Mo, мкг/л	0.137 (0.043–0.259)	0.147 (0.066–0.327)	0.087 (0.042–0.167)	0.094 (0.066–0.116)
Hg, мкг/л	<0.01	0.01 (<0.01–0.03)	0.03 (<0.01–0.06)	0.02 (<0.01–0.04)
Be, мкг/л	<0.004 (<0.004–0.007)	0.011 (<0.004–0.037)	0.095 (0.049–0.115)	0.069 (0.056–0.077)
Sn, мкг/л	0.094 (0.018–0.234)	0.178 (0.051–0.310)	0.152 (0.054–0.486)	0.047 (0.035–0.060)
Sb, мкг/л	0.174 (0.068–0.413)	0.227 (0.090–0.688)	0.179 (0.099–0.351)	0.189 (0.144–0.267)

Таблица 1. Окончание

Параметры	Атмосферные осадки	Кроновые воды	Почвенные воды	
			0–20 см	0–30 см
Ti, мкг/л	<0.70 (<0.70–0.77)	1.02 (<0.70–3.21)	4.49 (3.19–5.42)	4.00 (3.50–4.30)
Li, мкг/л	0.194 (0.041–0.387)	0.373 (0.118–0.688)	1.10 (0.102–2.50)	1.63 (1.33–1.97)
Rb, мкг/л	0.611 (0.170–1.43)	19.1 (8.11–41.3)	17.1 (3.67–56.1)	8.51 (6.46–9.24)
Y, мкг/л	0.024 (0.008–0.051)	0.066 (0.020–0.193)	0.813 (0.510–1.04)	0.562 (0.556–0.567)
Zr, мкг/л	0.013 (<0.005–0.055)	0.066 (0.024–0.195)	0.321 (0.218–0.387)	0.324 (0.264–0.400)
Cs, мкг/л	0.026 (0.006–0.049)	0.064 (0.018–0.130)	0.094 (0.015–0.284)	0.054 (0.049–0.059)
Bi, мкг/л	0.002 (<0.001–0.005)	0.013 (0.004–0.033)	0.012 (0.007–0.024)	0.005 (0.004–0.006)
W, мкг/л	0.014 (<0.005–0.028)	0.016 (<0.005–0.043)	0.033 (0.015–0.072)	0.024 (0.019–0.030)
Tl, мкг/л	0.031 (0.006–0.077)	0.070 (0.026–0.202)	0.092 (0.029–0.264)	0.052 (0.050–0.056)
La, мкг/л	0.040 (0.012–0.071)	0.094 (0.027–0.303)	1.35 (0.851–1.72)	0.621 (0.580–0.691)
Ce, мкг/л	0.102 (0.027–0.216)	0.203 (0.049–0.654)	2.97 (1.73–3.20)	1.33 (1.25–1.41)
Th, мкг/л	0.006 (<0.002–0.027)	0.023 (0.004–0.078)	0.173 (0.154–0.206)	0.122 (0.112–0.130)
U, мкг/л	0.005 (0.001–0.011)	0.011 (0.006–0.029)	0.022 (0.015–0.032)	0.028 (0.026–0.033)

Mg, Na. В почвенных водах гумусового и подзолистого горизонтов интенсивность водной миграции значительно усиливается для K, Mn, Co, также отмечается ее некоторое усиление для Rb, Ni, Bi, Sn, Tl по сравнению с иллювиальным горизонтом почв.

БЮДЖЕТ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ

В табл. 3 представлены средние потоки элементов с атмосферными осадками и кроновыми водами, а также рассчитанный бюджет элементов в 30-см слое исследуемых почв в летне-осенний период 2015 г.

Увеличение поступления многих элементов с кроновыми водами по сравнению с атмосферными осадками отмечается многими исследованиями [7, 9, 11]. Данное явление объясняется смывом и выщелачиванием как накопленных продуктов метаболизма, так и сухих выпадений (пыли) с поверхности кроны. Можно сопоставить поступление элементов с атмосферными осадками и кроновыми водами с таковыми в еловых лесах Богемии вдали от индустриальных центров и городов на водосборе, сложенном гранитами [11]. Так, с атмосферными осадками на исследуемую территорию при несколько меньших потоках Al, Fe и Mn, в два раза и более поступает сульфатов, хлоридов, Ca, Mg, Na, K, Rb, Pb, Cd и более чем в 10 раз Zn. Например, по оценкам атмосферное поступление Zn и Cu с пылью может достигать 0.5–30 и 0.07–5 мкг/м^2 сутки в фоновых районах и 7–1400 и 20–600 мкг/м^2 сутки, соответственно, в урбанизированных районах [12]. Поступление Zn и Cu на водосборе оз. Гусиного с атмосферными осадками соответствует уровню их поступления с пылью в урбанизированных районах, а с кроновыми водами даже превосходит. В еловых лесах Богемии кроновые воды значительно обогащаются Rb (в 30 раз), K (в 18 раз) и Mn (в 8 раз). Обогащение кроновых вод этими элементам, по-видимому, связано с большим оборотом в метаболических процессах (крайне необходимого элемента питания K, его гомолога Rb и необходимого для углеводного обмена и фотолиза воды при фотосинтезе Mn). Кроновые воды на водосборе оз. Гусиного в большей степени обогащаются этими элементами, а также в значительной степени не только P, органическим C, Zn, Cu, B, но и Ti, Zr, Al, Be, Th и Bi.

Самыми высокими коэффициентами биологического поглощения у различных растений характеризуются марганец и бор, а у рубидия он больше, чем у цинка и кальция [4]. Хотя, представленное в табл. 3, отношение величин поглощения элемента к его возврату отчасти характеризует и его аккумуляцию в почве, это отношение велико не только для B, K, Mg, Zn, Cu, Mo, но и для Rb, Bi, Sb, Sn.

Не менее интересно соотношение приходных и расходных составляющих бюджета элементов в 30 см слое исследуемых почв. Если вынос фосфора за пределы почвенного профиля превосходил более чем в два раза его поступления с кроновыми водами, то для азота они приблизительно равны.

Таблица 2. Содержание элементов в горизонтах почвы и их нормированные величины, а также коэффициенты водной миграции элементов в почвенных водах

Элемент	Содержание в почве		Нормированные величины концентраций элементов в почве		Коэффициенты водной миграции в почвенных водах	
	0–20 см	20–30 см				
	мкг/г		0–20 см	20–30 см	0–20 см	0–30 см
Ca	2442	3101	0.06	0.08	**25.6**	**22.4**
Mg	1329	2076	0.19	0.30	**7.89**	**6.84**
Na	4453	6053	1.67	1.86	**9.13**	**18.6**
K	13278	13627	**12.5**	**12.8**	**10.5**	1.88
Al	27698	31025	1.13	1.26	1.39	0.54
Fe	12260	12132	1.28	1.27	0.82	0.23
Mn	659	538	**x00**	**x00**	**14.9**	**6.04**
Sr	80.3	90.5	**4.01**	**4.53**	3.76	3.42
Ba	376	446	**x0**	**x0**	3.38	1.89
Zn	28.4	37.0	1.78	**2.32**	**1264**	**1367**
Cu	4.36	6.31	0.x	0.x	**2104**	**841**
Ni	5.58	9.74	**2.79**	**4.87**	**21.2**	**8.56**
Co	3.31	4.23	**11.0**	**14.1**	**9.51**	1.60
Pb	16.4	14.9	**2.34**	**2.13**	**5.00**	2.51
Cd	0.068	0.070	x	x	**76.0**	**49.7**
As	2.58	1.16	**2.58**	1.16	**5.61**	4.36
V	30.8	26.5	**15.4**	**13.2**	0.46	0.26
Mo	0.92	0.18	**4.61**	0.91	2.46	2.42
Hg	0.019	0.019	–	–	**35.6**	**15.6**
Be	0.66	1.16	x	x	3.71	1.44
Sn	0.661	0.513	x	x	**5.97**	1.34
Sb	0.210	0.127	**x0**	**x0**	**22.2**	**17.9**
Ti	1400	1536	1.22	1.34	0.06	0.04
Li	7.83	9.75	0.52	0.65	3.66	3.32
Rb	52.3	51.1	0.87	0.85	**8.50**	2.83
Y	6.87	7.70	0.17	0.19	3.07	1.36
Zr	98.5	110	0.44	0.50	0.09	0.06
Cs	1.18	1.16	**x0**	**x0**	2.06	0.80
Bi	0.097	0.080	–	–	3.30	0.97
W	0.383	0.348	0.24	0.22	2.26	1.10
Tl	0.344	0.324	–	–	**6.95**	2.68
La	13.6	15.3	0.45	0.51	2.57	0.76
Ce	27.2	28.4	0.30	0.31	2.83	0.83
Th	3.53	4.15	**2.07**	**2.44**	1.27	0.56
U	0.850	0.933	1.89	**2.07**	0.67	0.54

Примечания. Нормированные величины концентраций приведены относительно песчаных осадочных пород [5]. Жирным шрифтом выделены значения более 2 для нормированных величин концентраций и более 5 для коэффициентов водной миграции.

Например, показано, что продуктивность озер в тундре и тайге больше лимитируется поступлением азота, чем фосфора, в отличие от смешанных лесов и степей [13]. В 80-х годах прошлого столетия в суглинистых почвах ельников Валдайской возвышенности баланс минеральных веществ был отрицательным за исключением аммонийного азота [14]. Даже окультуривание песчаных подзо-

Таблица 3. Поступление элементов с атмосферными осадками (АО) и кроновыми водами (КВ), поглощение, возврат в слое почвы 0–30 см, вынос за пределы почвенного профиля (мкг/м^2 сут) в летне-осенний период 2015 г.

Элемент	Поступление с АО	Поступление с КВ	Поглощение	Возврат	Вынос за пределы почвенного профиля	Отношение КВ/АО	Отношение поглощение/возврат
Ca	1760	2337	1220	782	1899	1.32	1.56
Mg	133	518	251	59.5	327	3.87	**4.23**
Na	816	1368	398	1664	**2634**	1.72	0.24
K	256	4793	2300	543	3036	**18.7**	**4.24**
$C_{неорг}$	669	955	636	392	711	1.43	1.62
S	671	1729	699	1187	**2217**	1.76	0.59
Cl	1039	1758	1485	1443	1716	1.69	1.03
$C_{орг}$	12247	90529	79365	34245	45409	**7.34**	2.32
$P(PO_4^{3-})$	19.4	85.2	66.5	187	**206**	**4.39**	0.36
N(ΣNмин)	681	655	1037	1060	**678**	0.96	0.98
Si	71.7	285	1278	2453	**1460**	3.97	0.52
Al	29.6	143	1286	1935	**792**	**4.78**	0.67
Fe	22.4	54.1	378	491	**167**	2.34	0.77
Mn	7.44	261	260	217	218	**34.6**	1.20
Sr	9.97	5.45	0	20.2	**25.5**	0.54	0
Ba	8.99	13.8	37.3	56.9	**33.4**	1.50	0.66
B	3.23	19.1	10.6	0.68	9.18	**5.84**	**9.33**
Zn	411	2757	2144	134	747	**6.72**	**16.1**
Cu	70.6	603	529	55.2	129	**8.66**	**9.59**
Ni	14.1	1.67	2.05	3.32	**2.94**	0.12	0.62
Co	2.32	0.232	1.22	1.43	0.442	0.10	0.85
Pb	3.81	1.28	1.64	2.15	**1.79**	0.33	0.76
Cd	0.120	0.108	0.129	0.144	**0.123**	0.89	0.89
As	0.100	0.180	0.326	0.520	**0.374**	1.80	0.63
V	0.107	0.323	0.402	0.364	0.285	3.00	1.10
Mo	0.173	0.233	0.182	0.011	0.062	1.39	**16.0**
Hg	0	0.027	0.027	0.013	0.013	–	2.08
Be	0.001	0.014	0.078	0.117	**0.053**	14.0	0.67
Sn	0.128	0.236	0.193	0.032	0.075	1.84	**6.03**
Sb	0.212	0.245	0.145	0.015	0.115	1.16	**9.67**
Ti	0.053	1.23	3.36	4.87	**2.74**	**23.2**	0.69
Li	0.192	0.363	0.958	1.57	0.973	1.89	0.61
Rb	0.601	25.3	18.2	3.24	10.3	**42.1**	**5.62**
Y	0.037	0.077	0.703	1.05	**0.427**	2.08	0.67
Zr	0.006	0.072	0.234	0.370	**0.208**	**12.0**	0.63
Cs	0.029	0.084	0.052	0.024	0.056	2.90	2.17
Bi	0.003	0.016	0.012	0.002	0.006	**5.33**	**6.00**
W	0.018	0.021	0.019	0.016	0.018	1.17	1.19
Tl	0.034	0.078	0.044	0.020	0.054	2.29	2.20
La	0.055	0.098	1.27	1.77	**0.598**	1.78	0.72
Ce	0.124	0.217	2.85	3.92	**1.29**	1.75	0.73
Th	0.002	0.024	0.126	0.201	**0.099**	12.0	0.63
U	0.007	0.013	0.013	0.015	**0.015**	1.86	0.87

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения выноса тех элементов за пределы почвенного профиля, которые больше поступления с КВ, а в представленных отношениях – значения более 4.

листых и дерново-подзолистых почв незначительно сказывается на содержании в них минеральных соединений азота, в отличие от фосфора, а также калия [15]. Превалирующий вынос характерен для сульфатов и Na, также превалирующе выщелачиваются не только Si, Al, Fe, Sr, Ba, Ti, Y, Zr, La, Ce, Be, Th, но и Cd, Pb, As, Ni. Несмотря на крайне высокие коэффициенты водной миграции в почвенных водах у Zn и Cu и отмеченное увеличение их поступления с АО и КВ по сравнению с предыдущими десятилетиями, превалирующего выноса их за пределы почвенного профиля не происходит, что может свидетельствовать об удержании и рециркуляции меди и цинка в экосистеме водосбора оз. Гусиного. Также следует отметить, что вынос за пределы почвенного профиля не превосходил поступления с КВ не только для K, Mg, Ca, Mn, Mo, Co, B, Li, но и Rb, Cs, Sb, Sn, W, Bi, V, Tl, Hg аккумулировались в почве.

Таким образом, несмотря на то, что исследованная площадка находилась в фоновом регионе на территории национального парка, возможными причинами антропогенного влияния могут быть: 1) глобальный интенсивный техногенез прошедшего столетия 2) влияние воздушного трансрегионального переноса загрязненных масс из более отдаленных индустриальных регионов; 3) ускорением в целом биологического круговорота в связи с наблюдаемым в прошедшие десятилетия потеплением климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам и администрации Валдайского филиала Государственного гидрологического института и Национального парка «Валдайский» за помощь в проведении работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской. М.: АПР, 2012. 600 с.
2. *Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А.* Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
3. *Моисеенко Т.И, Гашкина Н.А.* // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 1. С. 39–56.
4. Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. 616 с.
5. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72. P. 175–192.
6. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.
7. *Лукина Н.В., Горбачева Т.Т. Горбачева, Никонов В.В., Лукина М.А.* // Почвоведение. 2002. № 2. С. 163–176.
8. *Никоноров А.М.* Гидрохимия. СПб: Гидрометеоиздат, 2001. 444 с.
9. *Алексеенко В.А.* // Вод. ресурсы. 1989. № 6. С. 91–96.
10. *Шитикова Т.Е.* // Почвоведение. 1986. № 4. С. 27–38.
11. *Fišák J., Skřivan P.,Tesař M., Fottová D., Dobešová I., Navrátil T.* // Biologia, Bratislava. 2006. V. 61. № 19. P. S255–S260.
12. *Norra S., Stüben D.* // Environ. Monit. Assess. 2004. V. 93. P. 203–228.
13. *Гашкина Н.А.* // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 3. С. 325–345.
14. *Базилевич Н.И., Шитикова Т.Е.* // Почвоведение.1989. №7. С. 11–23.
15. *Иванов И.А., Иванов А.И., Цыганова Н.А.* // Почвоведение. 2004. № 4. С. 489–499.

BIOGEOCHEMICAL MIGRATION OF ELEMENTS IN CATCHMENT AREA OF LAKE IN THE BACKGROUND REGION (Valdai Elevation)

N. A. Gashkina[a,#] and Corresponding Member of the RAS T. I. Moiseenko[a]

[a] *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analythical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: ngashkina@gmail.com*

The distribution of elements in the system “atmospheric precipitation—crown water—soil water” of the catchment area of Lake Gusinoe on the territory of the Valdai Elevation is considered. The features of the chemical composition of atmospheric precipitation, crown and soil waters, as well as soil, are determined. Budget of elements was summed up in the soil profile under study for the summer-autumn period. The enrichment of soils with elements and the intensity of their water migration in soil water are estimated.

Keywords: elements, migration, budget, background region