

Мелиорация и рекультивация, экология

УДК 502/504:911.2:550.47

В. П. УЧВАТОВ

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

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИРОДНЫХ ФОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

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, антропогенное воздействие.

The paper describes biogeochemical flows and balances of typical background forest and forest-agricultural landscapes as well as territories suffering from various kinds and scales of industrial attacks in the center of the European Russia. It is demonstrated that the differences in the values of landscape incoming and outgoing geochemical flows of elements serve as a determining factor of their accumulation in the top-soil, as an indicator of stability and resistance of the landscape to anthropogenic affects and of its ability for self-purification.

Heavy metals, pollution of the environment, geochemical landscape, elementary landscapes, man-caused landscape, geochemical flows, biochemical balance, the environment, anthropogenic affect.

Основным показателем интенсивности движения масс элементов ландшафта и круговорота веществ служит биогеохимический баланс территории,

позволяющий оценить реальное состояние ландшафта, степень устойчивости (по соотношению приходной и расходной частей баланса), выявить тенден-

ции его развития под влиянием природных и антропогенных факторов. Вопросы устойчивости ландшафта к техногенным нагрузкам, способность почвы как его компонента к самоочищению последовательно и поэтапно разрабатываются с начала 60-х гг. XX века.

Существует ряд методических подходов к оценке биогеохимического баланса разных территорий в зависимости от методологии научных исследований, научных традиций и концепций, сложившихся в процессе балансовых исследований, при определении количественной значимости того или иного показателя баланса, размера изучаемой территории и т.д. Однако до сего времени отсутствует единая методика оценки геохимических параметров, необходимых для прогноза развития территории как в условиях увеличения антропогенного воздействия, так и при его снижении.

При биогеоценотических исследованиях в лесных и лесоаграрных экосистемах, изучением баланса которых в 50–70 гг. занимались многие исследователи, расчеты проводили на уровне одного древостоя или агроценоза с учетом только его растительной части. На ландшафтном уровне, учитывающем совокупность всех природных факторов и особенностей строения территории, куда входят различные древостои и агроценозы, исследований не проводили из-за их трудоемкости и отсутствия методической базы. Основные подходы к решению перечисленных вопросов сформулированы в работах М. А. Глазовской, Н. П. Солнцевой [1, 2] и др. В ряде работ определен главный методический прием прогноза скорости самоочищения почв, оценки их устойчивости и ландшафта в целом к техногенным нагрузкам — расчет баланса элементов, мигрирующих в геохимическом ландшафте [3, 4].

В течение ряда лет на различных природных ландшафтах и их антропогенных аналогах автором проводились комплексные исследования в системе «атмосферные осадки — атмосферные

осадки, трансформированные древесной и сельскохозяйственной растительностью — растительность — почва — почвообразующие породы — почвенные, грунтовые, речные воды — твердый речной сток — донные отложения» (рисунки). Это позволило проследить пути миграции и движение масс элементов в ландшафте, рассчитать их геохимические потоки и биогеохимический баланс территории. Именно это явилось целью работы, направленной на изучение закономерностей индикации антропогенного воздействия загрязнителей окружающей среды, в частности тяжелых металлов, на почвы и ландшафт в целом.

Применение комплексного подхода для изучения различных ландшафтов, новых методических подходов при учете составляющих геохимического баланса, развитие существующих методов исследований в этой области знания — все это позволило детально рассчитать геохимические потоки и балансы фоновых природных ландшафтов и их антропогенных аналогов, подверженных сельскохозяйственному и различным видам промышленного антропогенного воздействия, учитывающих многие тонкие физико-химические процессы, происходящие в природных ландшафтах и ландшафтах, подверженных антропогенным нагрузкам.

Оценить антропогенное воздействие на экосистемы можно по следующей формуле:

$$K_{\text{ТТ}} = \frac{C'}{C} \cdot \frac{M'}{M} \cdot \frac{P'}{P} \cdot \frac{J'}{J} \cdot \frac{T'}{T} \cdot \frac{B'}{B},$$

где C — концентрация элемента в компонентах окружающей среды; M — минерализация природных вод; P — поступление вещества из атмосферы (P_e — за год; P_x — за холодный период); J — ионный речной сток; T — твердый речной сток; B — донные отложения; C_t и C_x — концентрация элемента в теплый и холодный периоды года соответственно.

Многолетние комплексные исследования проводили, исходя из поставленной цели и вытекающих из нее задач. В качестве методологической основы исследований было принято учение, разработанное в 30–60 гг. XX века Б. Б. Польшовым, А. И. Перельманом,

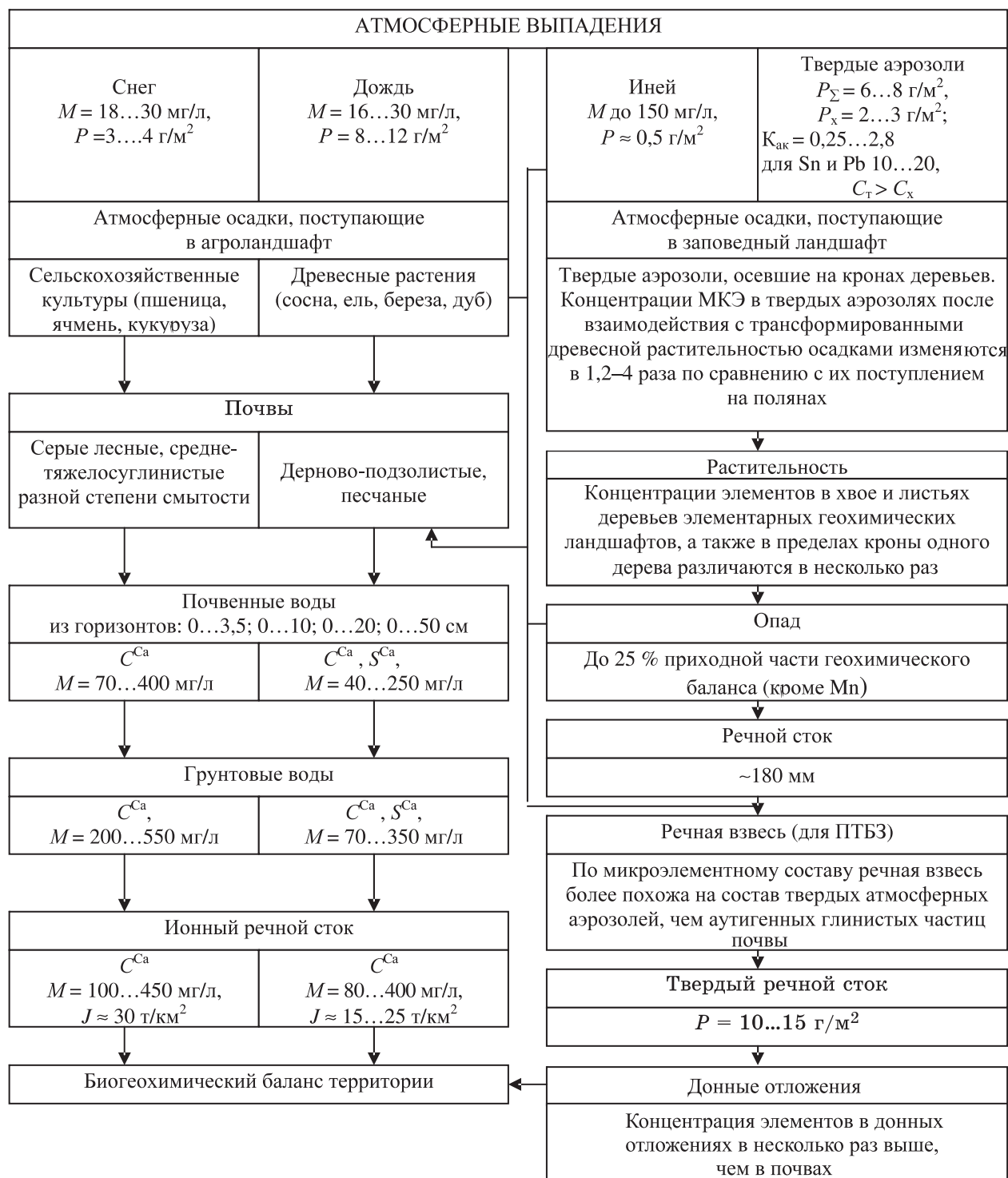


Схема изучения, геохимические связи и некоторые геохимические параметры природных и антропогенно-нарушенных экосистем Русской равнины. Химический тип вод: С — гидрокарбонатный; S — сульфатный; К — калиевый; Ca — кальциевый. $K_{ак}$ — коэффициент аэрозольной концентрации; $K_{тт}$ — коэффициент техногенной трансформации элемента

М. А. Глазовской, о геохимическом ландшафте как парагенетической ассоциации сопряженных элементарных ландшафтов, объединенных движением вещества и энергии в единой каскадной ландшафтно-геохимической системе, приводящей к концентрированию

или рассеиванию химических элементов в окружающей среде [5–8]. Исследования проводились на лесном фоне ландшафте Приокско-террасного биосферного заповедника, на заповедных территориях тульских и калужских заповедников, в бассейне реки Ялмы

Восточного Подмосковья, на ландшафте Южного Подмосковья и в Тульской промышленной агломерации в центре Европейской России. Первые три ландшафта могут быть отнесены к фоновым, поскольку они удалены от источников крупного промышленного воздействия на расстояние 60...80 км и находятся в основном под влиянием глобального антропогенного воздействия при минимальном воздействии локального антропогенного фактора.

За ландшафтную основу был принят бассейн малых рек площадью 15...30 км², которые по геологическому строению, почвам и растительности, гидрологическому и гидрохимическому режимам являются типичными для более крупных географических зон и районов. Поэтому при оценке степени антропогенного (техногенного и сельскохозяйственного) воздействия на речные системы, а также для расчетов биогеохимических балансов они могут рассматриваться в качестве полигонов геохимического мониторинга.

Для отбора проб атмосферных осадков (снега и дождя, в том числе под пологом сельскохозяйственной и древесной растительности), донных отложений, лизиметрических вод были изготовлены специальные приспособления из химически нейтрального материала — винипласта.

В компонентах среды — основных носителях массоэлементообмена и массоэлементопереноса в ландшафте, т. е. составляющих геохимического баланса — атмосферных осадках, природных водах, растительности, речной взвеси, удобрениях, известковой муке определяли макроэлементы Ca, Mg, Na, K, Cl⁻, SO₄²⁻ по традиционным методикам, микроэлементы Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Pb, Cd — на атомно-абсорбционном спектрофотометре методом мокрого разложения проб почв, речной взвеси и илов кислотами HF, HNO₃ и HCl, растительности — разложением проб кислотами HNO₃ и HClO₄.

Входящие геохимические потоки элементов на лесных и лесостепных ландшафтах рассчитывали с учетом осо-

бенностей и масштабов трансформации химического состава жидких и твердых атмосферных осадков и формируемых ими геохимических потоков под пологом различной древесной и сельскохозяйственной растительности, принимая во внимание лесистость, площадь сельскохозяйственных культур и древостоев, а также полноту последних. При расчете учитывали особенности изменения химического состава атмосферных осадков и геохимического потока макро- и микроэлементов в пределах подкоронового пространства отдельного дерева в каждом древостое. Детальное описание геологического строения и микроэлементного состава почв и почвообразующих пород, донных отложений изученных территорий, включая характерные особенности, свойственные элементарным ландшафтам, дано в [9, 10].

В задачу исследований почвенной части входило следующее: показать, что недоучет некоторых составляющих геохимического баланса приводит к неадекватным научным и практическим выводам, а поэтому только максимально возможный учет движения масс элементов в приходной и расходной частях биогеохимического баланса может дать реальную картину баланса элементов в агроландшафте и его функционирования.

В качестве антропогенных ландшафтов — аналогов природным фоновым — были изучены водосборы реки Упы и ее левого притока — реки Воронки, дренирующих территорию, подверженную антропогенному воздействию, и крупный промышленный город центра Европейской России — Тулу, а также водосборы реки Нары — левого притока Оки, дренирующей средний по промышленному производству город Серпухов. Оба эти города по промышленному воздействию на окружающую среду являются типичными областными и районными городами центра Европейской России.

Многолетними исследованиями установлен ряд специфических геохимических закономерностей концент-

рирования тяжелых металлов в различных частях геохимического ландшафта, древостоях и агроценозах, необходимых для расчета суммарного геохимического потока в ландшафте. Все фоновые территории региона расположены относительно недалеко друг от друга — не далее 100 км, но различия в геохимических параметрах по некоторым элементам достигают 1,5–2,5 раза, хотя многолетняя вариабельность в каждом из них не превышает 15...25 %. Это связано с количеством выпадающих осадков и концентрациями в них элементов, рельефом территории и ее литологическим строением, а также метеоусловиями формирования атмосферы в данных трех районах, которые, хотя и расположены в одной природной зоне, но имеют некоторые межрайонные отличия, обуславливающие приходную и расходную части геохимического баланса. Установлена значительная вариативность концентраций тяжелых металлов в почвах центрального региона Европейской России (Московская, Тульская, Калужская области). Эти различия проявляются между видами почв (серые лесные и дерново-подзолистые), а также внутри вида почвы, обусловленного механическим составом и подстилающими почвообразующими породами. Повсеместно концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах подчиненных супераквальных ландшафтов в 1,5–2,5 раза выше по сравнению с почвами автономных элювиальных, а также трансэлювиальных ландшафтов, что связано с выносом из повышенных элементов рельефа в пониженные наиболее тонкой илистой фракции почв, обогащенной практически всеми элементами, в том числе и тяжелыми металлами. Почвы под лесом и задернованные целинные имеют концентрации в 1,5–2,5 раза выше по сравнению с пахотными, несмотря на внесение в последние минеральных удобрений. Последний факт подчеркивает некомпенсированность внесенных доз удобрений в почву агроценозов по сравнению с воздействием многотысячелетнего при-

родного фактора, под влиянием которого формировались и функционировали почвы под лесом (табл. 1). Отсюда вывод: в зависимости от того, где взята проба для определения фонового показателя ландшафта, степень антропогенного воздействия на ландшафт может варьировать в разы.

Установлено также, что концентрация практически всех изученных элементов в листьях и хвое древесных растений в 1,2–4 раза выше аналогичной концентрации для одного и того же вида деревьев, произрастающих в пределах супераквальных и нижней части трансэлювиальных элементарных геохимических ландшафтов по сравнению с элювиальным. Для таких элементов, как В и Мо отмеченная закономерность выражена более явно, достигая 9 и 5 раз (соответственно для В — 9, для Мо — 5). Подобная закономерность отражает описанную общую биогеохимическую зависимость латеральной миграции вещества в ландшафте от его элювиальной фации к супераквальной, приводящей к концентрированию элементов в почвах, залегающих гипсометрически ниже, что соответственно приводит к увеличению коэффициента биологического поглощения элементов питания растительностью. Таким образом, отмечена прямая корреляция между концентрацией тяжелых металлов в почвах и растительности. В пределах изученных древостоев установлена весьма значительная (до 30 %) внутригодовая и годичная вариабельность концентрации элементов, что определяется гидротермическими метеоусловиями, фенологической фазой роста деревьев, а также физиологическими особенностями разновозрастных деревьев, а для хвойных — и возрастом хвои. Кроме того, на концентрацию элементов в растительности существенное влияние оказывает литогеохимическая основа ландшафта. Так, растительность, произрастающая на почвах, развитых на делювии известняков, имеет концентрации тяжелых металлов в 1,3–3,3 раза выше по сравнению с аналогичной

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов в почвах (0...20 см)
фоновых районов центра Европейской России, 10⁻⁴ %**

Место отбора проб	Fe, %	Cu	Mn	Zn	Co	Ni	Cr	Pb	Cd
	Ландшафт 1. Южное Подмосковье, почвы серые лесные, среднетяжелосуглинистые								
Элювиальный ландшафт									
Дубрава		39	800	120	16	27	39	21	0,57
Пахотные почвы		<u>27</u> 2,4	<u>712</u> 1,1	<u>112</u> 1,1	<u>15</u> 1,1	<u>22</u> 1,2	<u>28</u> 1,4	<u>16</u> 1,3	<u>0,30</u> 1,9
Трансэлювиальный ландшафт									
Задернованные целинные почвы		<u>25</u> 1,6	<u>600</u> 1,3	<u>110</u> 1,1	<u>15</u> 1,1	<u>25</u> 1,1	<u>25</u> 1,4	<u>10</u> 2,1	<u>0,23</u> 2,0
Пахотные почвы		<u>21</u> 1,9	<u>520</u> 1,5	<u>78</u> 1,5	<u>12</u> 1,3	<u>20</u> 1,4	<u>22</u> 1,6	<u>8</u> 2,6	<u>0,19</u> 2,5
Ландшафт 2. Тульские засеки, почвы серые лесные, среднетяжелосуглинистые									
Элювиальный ландшафт									
Дубрава	1,6	16	980	25	22	30	50	7,0	0,40
Супераквальный ландшафт									
Липа с дубом	<u>2,5</u> 1,6	<u>20</u> 1,3	<u>1250</u> 1,3	<u>50</u> 2	<u>50</u> 2,3	<u>80</u> 2,7	<u>70</u> 1,4	<u>8,5</u> 1,2	<u>0,35</u> 0,9
Ландшафт 3. Калужские засеки, почвы дерново-подзолистые, среднетяжелосуглинистые									
Элювиальный ландшафт									
Дубрава	1,0	15	1200	45	30	50	15	3,5	0,16
Трансэлювиальный ландшафт									
Липово-березовый лес с дубом	0,8	15	600	20	40	30	15	2,5	0,15
Супераквальный ландшафт									
Пойма малой реки Чичеры, безлесная	1,6	20	800	42	50	40	30	3,0	0,17
Ландшафт 4. Бассейн реки Ялмы, почвы песчаные дерново-подзолистые									
Элювиальный ландшафт									
Сосняк	—	<u>13</u> 2,8	<u>880</u> 205	<u>46</u> 3,5	<u>25</u> 1,2	<u>26</u> 1,7	<u>32</u> 1,9	2,4	0,12
Пахотные земли (кукуруза)	—	<u>4,0</u> 2,1	<u>600</u> 145	<u>32</u> 0,8	<u>20</u> 2,0	<u>18</u> 1,4	<u>24</u> 1,5	1,5	0,05
Трансэлювиальный ландшафт									
Естественный	—	<u>11</u> 1,4	<u>370</u> 82	<u>31</u> 1,6	<u>14</u> 0,3	<u>17</u> 0,9	<u>22</u> 1,0	1,5	0,1
Пахотные земли (клевер)	—	<u>9</u> 1,0	<u>170</u> 70	<u>2,7</u> 1,2	<u>8</u> 0,2	<u>14</u> 0,5	<u>11</u> 0,7	1,0	0,05
Супераквальный ландшафт									
Естественный	—	<u>15</u> 3,2	<u>560</u> 170	<u>45</u> 2,4	<u>25</u> 1,8	<u>38</u> 2,4	<u>44</u> 3,3	2,5	0,3
Пахотные земли (травы)	—	<u>12</u> 1,8	<u>280</u> 90	<u>40</u> 1,4	<u>18</u> 0,6	<u>28</u> 1,0	<u>30</u> 1,6	1,0	0,12

Примечание: числитель — содержание тяжелых металлов в почве; знаменатель — коэффициенты: для ландшафта 1 — агрогенной деградации почв; для ландшафтов 2, 3 — латеральной миграции; для ландшафта 4 — концентрации подвижных форм элементов.

растительностью, функционирующей на песчаных почвах, развитых на легких аллювиально-флювиогляциальных отложениях речных террас Приокско-террасного биосферного заповедника.

Поступление элементов в лесные экосистемы с опадом хвои и листьев деревьев полностью отражает перечисленные особенности формирования их вещественного состава в различных

ландшафтно-геохимических условиях. Надо отметить, что именно эта масса тяжелых металлов, составляющая до 60...70 % элементов, поступающих с годичной биомассой опада и отпада древостоев, активно участвует в биогеохимическом круговороте вещества в лесных экосистемах, в отличие от элементов, содержащихся в биомассе отмерших стволов и крупных ветвей деревьев, время разложения древесной массы которых составляет десятки лет.

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что от 60 до 85 % тяжелых металлов (кроме магния) поступает в лесные экосистемы за счет атмосферных осадков, при этом основная масса — за счет жидких. Баланс всех изученных элементов Приокско-террасного биосферного заповедника положительный, что характерно для экосистем, находящихся в стадии развития, а не стабилизации или деградации (табл. 3).

Представляет интерес рассмотрение геохимических балансов фоновых территорий Приокско-террасного биосферного заповедника и заповедного ландшафта Тульских засек, имеющих ландшафтно-геохимическую структуру, близкую изучаемому агроландшафту Южного Подмосковья (табл. 4). Характерно, что при взаимодействии атмосферных осадков с растительностью концентрация всех элементов возрастает в 3–7, нередко в 10–20 и более раз, что приводит к увеличению геохимического потока элементов под древесной и сельскохозяйственной растительностью в 1,5–5 раз (табл. 5) [11, 14, 15].

Другим процессом, приводящим к трансформации химического состава атмосферных осадков в лесных экосистемах, является процесс инееобразования на деревьях различных древостоев в зимний период. Исследованиями установлено, что концентрация практически всех элементов в ряду «свежевыпавший снег — снежный покров — иней с березы — иней с сосны — иней с ели» возрастает в инее по сравнению

со свежевыпавшим снегом в $n-n^{10}$ раз (табл. 6), что, вероятно, определяется взаимодействием относительно более теплого потока воздуха, «выдыхаемого» растительностью, с холодным атмосферным воздухом, обуславливающим кристаллообразование на ветвях и хвое деревьев. Такой процесс приводит к биогенной трансформации химического состава атмосферной пыли, осевшей на деревьях в холодный период. При этом концентрация элементов в пыли из инея в целом в 1,5–10 раз выше по сравнению со свежевыпавшим снегом. Очевидно, что перечисленные два процесса — взаимодействие свежевыпавшего снега с накопившимися в нем твердыми пылевыми аэрозолями под влиянием процесса снеготаяния вследствие оттепелей и последующего замерзания, а также поступление на поверхность снега инея с высокой концентрацией элементов — приводят к существенно увеличенной концентрации элементов в снежном покрове в конце холодного периода по сравнению с начальным составом осадков, поступающих в ландшафт. Определенно можно говорить о глобальном влиянии инееобразования, а соответственно и древесной растительности на химический состав снежного покрова и накопившейся в нем пыли, хотя поступление инея на поверхность земли составляет за холодный период всего 1...2 % от приходной части водного баланса. Таким образом, роль растительности в формировании атмосферных геохимических потоков вещества, поступающего в почву лесных экосистем в холодное и теплое время года, совершенно очевидна, что необходимо учитывать при расчете балансов фоновых территорий и территорий, подверженных антропогенной нагрузке.

Однако потери большинства микроэлементов на фоновом ландшафте Приокско-террасного биосферного заповедника в 3–12 раз (до 20 раз для меди, цинка) не меньше, чем на агроландшафте. Этот факт, с учетом положительного баланса элементов в Приокско-террасном

Таблица 2

Геохимический поток элементов, поступающих в почву в различных древостоях

Древостой	Поток*	Макроэлементы, кг/га в год								Микроэлементы, г/га в год			
		S	Ca	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd			
Березняк	АО	15,5	23,3	2,9	4,2	0,1...0,3	200...500	30...80	30...40	2,5...4,0			
	П	-	4,4	26,4	5,3	0,4	100...300	5...15	22...26	0,05...0,10			
	О	1,0	20...50	5...7	1...3	0,3...1,2	100...400	6...15	1...3	0,3...0,9			
Сосняк	АО	15,0	23,5	3,9	4,2	0,15	300...700	30...120	40...60	2,5...4,0			
	П	-	3,8	25,9	5,1	0,2	100...300	5...16	35...40	0,05...0,11			
	О	0,5...1,0	8...13	1...5	1,4	1...3	70...220	5...15	2...5	0,5...1,4			
Ельник	АО	15,3	22,9	3,8	4,3	0,2...0,4	350...900	30...140	45...70	3,5...5,0			
	П	-	4,0	40	8,1	0,35	120...350	6...18	8...12	0,07...0,15			
	О	1...2	16...36	9...18 (20...90)	0,5...4	2,0...4,0	70...200	5...16	2...5	0,19...0,57			
Поляна	АО	8...10	8...17	1,5...2,5	0,5...2,0	0,03...0,2	150...300	15...40	20...30	2,0...3,5			
	О	-	1,7...2,4	15...22	1,4...4,2	0,03...0,1	60...170	3...7	3...20	0,03...0,06			

Примечания: *АО — атмосферные осадки; П — пыль; О — опад (собственные и литературные данные). Геохимический поток элементов, поступающих в почву в древостой с атмосферными осадками, в разные годы может отличаться от приведенных значений на ±10...20 %.

Таблица 3

Среднемноголетний геохимический баланс лесного ландшафта (лесистость около 90 %) Приокско-террасного биосферного заповедника, мг.м⁻² (кг.км⁻²) в год

Элемент	Поступление элемента в ландшафт			Вынос элемента из ландшафта			Разбалансированность ландшафта	
	С жидкими атмосферными осадками	С пылью	С опадом	С ионным речным стоком	С твердым речным стоком	Сумма		
Fe	360...380	380...590	115...252	855...1222	0,25...0,45	205...460	205,3...460,5	+650...+762
Cu	4,2...7,2	0,08...1,2	1,1...2,9	5,4...11,3	0,25...0,45	0,2...0,4	0,45...0,78	+4,95...+10,5
Mn	13...20	2,1...3,2	120...180	135...232	0,26...0,58	10,6...28,0	10,9...28,6	+124...+203
Zn	32...47	1,5...2,2	20...64	53,5...133	0,7...1,6	0,5...1,2	1,2...2,8	+52...+130
Co	0,3...0,5	0,35...0,5	~0,2	0,9...1,2	0,7...1,6	0,1...0,3	0,8...1,9	+0,1...-0,7
Ni	1,4...2,0	1,4...2,0	1,1...3,1	3,9...7,1	0,7...1,1	0,6...1,5	1,3...2,6	+2,6...+4,3
Cr	1,1...1,7	2,5...4,0	1,5...2,7	5,1...8,4	0,23...0,45	0,8...2,1	1...2,6	+4,1...+5,8
Pb	3,0...6,0	2,0...3,0	0,2...0,4	5,2...9,4	0,08...0,15	1,5...3,0	1,6...3,2	+3,6...+6,2
Cd	0,25...0,37	-0,01	-0,07	0,33...0,45	0,01...0,02	0,004...0,01	0,01...0,03	+0,32...+0,42

Таблица 4
Среднемноголетний геохимический баланс территории заповедных тульских засек (лесистость около 80%),
мг·м⁻² (кг·км⁻²) в год

Элемент	Поступление элементов в ландшафт			Вынос элементов из ландшафта			Разбалансированность ландшафта
	С жидкими атмосферными осадками	С пылью	С опадом	Сумма	С ионным речным стоком	С твердым речным стоком	
Fe	100...140	300...400	20...35	420...575	2,8...3,5	1050...2670	1053...2674
Cu	17...24	0,3...0,5	1,2...1,8	18,5...26,3	0,7...1,1	1,3...3,3	2,0...4,4
Mn	34...134	2...3	40...60	76...197	7,2...10,1	70...240	77...250
Zn	55...68	0,7...1,0	20...30	75,7...99	1,4...2,2	37...110	38...112
Co	1,5...1,9	0,1...0,2	0,15...0,3	1,75...2,4	0,5...1,3	2,5...6,5	3...8
Ni	3,5...6,8	0,5...0,7	0,4...0,6	4,4...8,1	0,7...1,3	4,8...13,8	5,5...19,1
Cr	2,6...3,7	0,8...1,1	2,5...3,5	5,9...8,3	0,05...0,15	5,0...14,4	5,0...14,6
Pb	1,9...2,4	0,8...1,1	0,3...0,6	3,0...4,1	0,04...0,11	0,4...1,5	0,44...1,61
Cd	0,12...0,15	~ 0,025	~ 0,025	0,17...0,2	0,01...0,03	0,02...0,05	0,03...0,08

Таблица 5
Природно-антропогенные нагрузки, определяющие концентрации элементов в ландшафте

Место отбора проб	Содержание элементов в атмосферных осадках											
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сорг	Zn	Cu	Mn	Fe	Pb
Поляна	7,5	6,9	3,3	0,6	0,7	1,1	4,8	50	6	20	260	0,32
Под дубом	8,4	8,6	4,8	1,8	0,6	3,6	11,7	120	30	100	450	0,37
Под березой	9,5	32,4	9,1	3,0	0,9	7,3	24,7	80	65	300	1300	0,42
Под сосной	9,6	17,1	8,2	2,4	1,0	3,8	22,4	230	9	90	900	0,44
Под елью	13,2	79,4	20,9	4,5	2,0	11,3	50,3	300	90	200	1500	0,57
Тула	11,2	20,0	8,5	2,2	2,6	1,3	-	270	12	196	376	6,7

Примечание: прочерк — элемент не определялся.

Таблица 6
Среднее содержание макроэлементов (мг·л⁻¹) и микроэлементов (мкг·л⁻¹) в талой воде

Вид пробы	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Si	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Pb	Cd
Свежий снег	5,4	4,9	5,9	2,0	1,2 1,7	0,9 0,7	0,3	0,2	- 27,3	- 11,1	22 13	40 70	15 50	90 4,8	2,8 310	0,21 0,36
Снежный покров	5,7	9,7	7,9	3,3	1,8 6,9	1,9 1,1	0,8	0,5	- 17,9	- 12,2	41 17	90 800-1400	39 40	170 5,2	3,6 310	0,41 0,5-0,6
Иней с березы	6,3	48,8	14,2	32,1	22,4 4,0	2,4 1,2	8,6	7,1	- 25,9	- 13,8	60 25	130 660	100 85	210 6,2	5,7 330	0,78 0,56
Иней с ели	6,4	22,0	13,3	26,9	12,8 1,7	1,9 0,9	5,0	2,3	- 23,0	- 13,0	80 35	140 890	140 70	260 5,7	6,6 390	0,92 0,67
Иней с сосны	6,2	19,0	12,8	19,6	14,1 2,4	2,1 1,1	4,2	1,8	- 24,0	- 15,2	70 30	110 690	120 80	200 5,9	5,3 350	0,64 0,51

Примечание: числитель — среднее содержание компонентов в талой воде, полученной из свежевыпавшего снега; знаменатель — среднее содержание элементов в пыли из тех же проб (макроэлементов — %, микроэлементов — $n \cdot 10^{-4}$ %); прочерк — элемент не определялся.

биосферном заповеднике за все годы исследований, говорит о стабильности функционирования ландшафта и накоплении элементов. Для агроландшафта 80-х гг. прошлого века был характерен процесс выноса Fe, Cu, Mn и накопления Zn, Co, Cr, Pb, Cd. В 90-е гг. сведение к минимуму или полное отсутствие мелиорантов в почве привело к тому, что геохимический баланс основных элементов питания сельскохозяйственных растений (кроме Zn, Pb, Cd), включая и макроэлементы, стал отрицательным. Произошла дестабилизация ландшафта (стабильность которого обеспечивалась внесением удобрений и известковой муки), что привело к резкому снижению урожайности всех сельскохозяйственных культур в России за последние годы.

Выводы

Воздействие естественных и природных факторов ландшафта — метеоусловий, фенологической фазы растительности, периода года, геологического строения территории, элементарного ландшафта, гидрологических и геологических условий формирования водного режима — приводит к существенным изменениям химического состава его компонентов, определяющих пространственную пестроту геохимических потоков вещества на входе и выходе из экосистемы, и обуславливает различие величин балансов разных территорий. По некоторым показателям, например по концентрации ряда элементов в осадках под пологом древесной и сельскохозяйственной растительности, эти различия для ряда элементов могут достигать 5–15 раз и быть сравнимы (сопоставимы) со слабым атмосферным антропогенным воздействием на ландшафт.

Список литературы

1. Глазовская, М. А. Опыт классификации почв мира по устойчивости к техногенным кислотным воздействиям [Текст] / М. А. Глазовская // Почвоведение. — 1990. — № 9. — С. 82–96.
2. Солнцева, Н. П. Геохимическая устойчивость природных систем к техно-

генным 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. **Кабата-Пендиас, А.** Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Р. Пендиас — М. : Мир, 1989. — 436 с.

4. **Глазовская, М. А.** Методические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям [Текст] : метод. пособие / М. А. Глазовская. — М. : Изд-во МГУ, 1997. — 102 с.

5. **Полынов, Б. Б.** Учение о ландшафтах [Текст] / Б. Б. Полынов. — М. : Изд-во АН СССР, 1956. — 492 с.

6. **Перельман, А. И.** Геохимия биосферы и ноосферы [Текст] / А. И. Перельман // Биогеохимические циклы в биосфере. — М. : Наука, 1976. — С. 86–98.

7. **Глазовская, М. А.** Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов [Текст] / М. А. Глазовская. — М. : Изд-во МГУ, 1964. — 230 с.

8. **Глазовская, М. А.** Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу [Текст] / М. А. Глазовская // Биогеохимические циклы в биосфере. — М. : Наука, 1976. — С. 99–118.

9. **Учватов, В. П.** Геологическое строение и особенности водного режима почвогрунтов пикетов биосферной станции

[Текст] / В. П. Учватов // Экосистемы Южного Подмосковья. — М. : Наука, 1979. — С. 53–69.

10. **Учватов, В. П.** Особенности почвенных и грунтовых вод Приокской зандрово-аллювиальной равнины [Текст] / В. П. Учватов // Почвоведение. — 1985. — № 6. — С. 55–65.

11. **Учватов, В. П.** Микроэлементы в серых лесных почвах и почвообразующих породах Южного Подмосковья [Текст] / В. П. Учватов // Почвоведение. — 1988. — № 11. — С. 54–62.

12. **Учватов, В. П.** Эколого-геохимические и природоохранные аспекты трансформации природных вод в лесных экосистемах [Текст] / В. П. Учватов, Н. Ф. Глазовский // Взаимодействие между лесными экосистемами и атмосферными загрязнителями : труд Первого советско-американского симпозиума. — Таллинн : Изд-во Эстонской АН, — 1982. — С. 137–162.

13. **Учватов, В. П.** Геохимическая экология лесного ландшафта Приокско-террасного биосферного заповедника [Текст] / В. П. Учватов // Экология. — 1995. — № 4. — С. 268–273.

Материал поступил в редакцию 27.01.09.

Учватов Валерий Петрович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Безопасность ГТС»
Тел. 8 (4967) 73-34-90

E-mail: NSUchvatova@ya.ru