

Хабилов И.К.¹, Асылбаев И.Г.¹, Лукманов Н.А.²¹Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

E-mail: ilkhabirov@mail.ru

²Белебеевский колледж механизации и электрификации, г. Белебей

E-mail: bel_sel_tex@mail.ru

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА, МЫШЬЯКА, СВИНЦА И КАДМИЯ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ И ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО УРАЛА

Благодаря живому веществу в почве концентрируются и перераспределяются поступившие из породы, атмосферы и живых организмов химические элементы всей периодической системы, которые разрушаются в свою очередь и образуют новые соединения, т. е. они находятся под постоянным воздействием кинетических и термодинамических сил живой и неживой природы.

В статье представлены материалы по содержанию цинка, мышьяка, свинца и кадмия в почвах Южного Урала. Изучено поведение этих элементов в ретроспективном аспекте. Таких исследований на Южном Урале до сих пор не проводилось. Первые результаты показывают наличие значительных изменений содержания элементов в ретроспективном аспекте. Введены новые понятия, такие как биогеохимическая активность и биогеохимический потенциал элемента в почве. Определены термодинамические показатели образования оксидов: энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

Установлено, что наибольший вклад в почвообразовательный процесс в условиях Южного Урала вносят цинк, мышьяк, в меньшей степени свинец и в незначительной мере кадмий. С точки зрения экологии основными загрязнителями являются цинк и мышьяк. Старопахотная почва по содержанию цинка, мышьяка, свинца и кадмия деградировала почти до уровня светло-серой лесной почвы, об этом свидетельствуют запасы этих элементов по профилю почв и термодинамические константы.

Ключевые слова: ретроспективный анализ, Южный Урал, термодинамика, цинк, мышьяк, свинец, кадмий.

Теоретической базой для проведения ретроспективного мониторинга явились работы В.И. Вернадского [2], [3], Н.Б. Хитрова [10], В.И. Савича и др. [6], И.К. Хабилова, И.М. Габбасовой, Ф.Х. Хазиева [7], Н.В. Старовой [5]. Н.Б. Хитров [10] в своей работе отмечал, что современный этап развития почвоведения приобретает качественно новую особенность – возможность прямой оценки современных тенденций развития почв и геосистем в целом, используя детальные исследования, которые производили квалифицированные специалисты в XX в. [2], [3], [6], [7], [8], [9], [14]. По сути это мониторинг, в частности один из его вариантов – ретроспективный мониторинг состояния объекта. Особенностью его является выбор современного объекта приблизительно в том же самом месте, в котором похожий объект исследовался раньше, и сохранились его привязка и аналитическая характеристика. Именно такой мониторинг позволило нам провести то обстоятельство, что те ученые, которые проводили мультидисциплинарные экологические исследования на территории Республики Башкортостан в 1999–2000 гг. [5] в 2013 г. выдвинули идею об организации экспедиции для повторного обследования почв

проведенных ранее. Результаты исследований: привязки разрезов, морфологическое описание, агрохимическая и геохимическая характеристика почв, полностью опубликованы в монографии [5]. Участники повторной экспедиции И.К. Хабилов и И.Г. Асылбаев, Н.А. Лукманов были членами первой экспедиции и копали почвенные разрезы.

По В.И. Вернадскому [2] жизнь в значительной мере состоит в извлечении из окружающей среды определенных химических элементов, проведении их через соединения или жидкости организма и их выделении вновь в окружающую среду нередко в виде новых соединений. Благодаря этому, всегда в живом организме совместно находятся некоторые химические элементы, и такое совместное нахождение химических элементов в земной коре В.И. Вернадский [3] назвал органогенным парагенезисом, т. к. оно вызвано не химическими свойствами элементов, а свойствами организмов. Однако, гениальная идея В.И. Вернадского об органогенном парагенезисе не получила широкого развития.

Летом 1919 года в Староселье под Киевом В.И. Вернадский написал большую статью «Об участии живого вещества в создании

почв». В этой работе он, в сущности, впервые показал роль биогеохимического круговорота веществ на планете, в частности в почвах, и с убедительностью и научной глубиной обосновал необходимость изучения участия живого вещества в образовании почв, хотя в современной ему науке о почвах господствовало минерало-химическое направление. Здесь им были высказаны многие положения будущей биогеохимии и поставлена такая фундаментальная проблема почвоведения, как концентрационная функция химических элементов живым веществом в почвах. Впоследствии В.И. Вернадский предложил термин биогеохимический цикл (круговорот) веществ, сутью которого является обмен веществом и энергией между различными компонентами природной (или культурной) системы (почвы, экосистемы, биосферы в целом). Понятие биогеохимической цикличности, глубоко разработанное В.И. Вернадским в учении о биосфере и в биогеохимии, относится к числу наиболее фундаментальных понятий наряду с «живым веществом» [3] и «биосферой» [2]. Движущими силами биогеохимического круговорота служат энергия солнца и деятельность живого вещества, приводящая к перемешиванию огромных масс химических элементов и перераспределению фотосинтетически аккумулированной зеленым живым веществом энергии.

Для важнейших биофильных элементов живого вещества (совокупность растительных и животных организмов), таких как углерод, кислород, водород, азот, кремний, фосфор, сера и другие, степень обратимости круговоротов в годичном цикле довольно высока (до 95–98%). Но круговорот не замкнут – часть вещества выходит из биосферного цикла в большой геологический круговорот веществ, продолжительность которого исчисляется десятками и сотнями миллионов лет.

Говоря о повышении продуктивности естественных и культурных сельскохозяйственных угодий, мы должны помнить мудрые мысли В.И. Вернадского о том, что «почва и ее живое вещество оказывают огромное влияние на все геохимические процессы земной коры» и что на Земле нет силы, более могущественной, чем живые организмы, взятые в целом. Сохранить это могущество живого вещества для воспроизвод-

ства почвенного плодородия, а тем самым и для получения большей продукции, более высоких урожаев – первостепенная задача и почвенной науки и практики земледелия [2], [3].

Таким образом, благодаря живому веществу в почве концентрируются и перераспределяются поступившие из породы, атмосферы и живых организмов химические элементы всей периодической системы Д.И. Менделеева, которые разрушаются в свою очередь и образуют новые соединения, т. е. они находятся под постоянным воздействием кинетических и термодинамических сил живой и неживой природы. Ниже попытаемся рассмотреть поведение химических элементов в ретроспективном аспекте. Таких исследований на территории нашего края до сих пор не проводилось. Первые результаты исследований показывают наличие значительных изменений содержания элементов в ретроспективном аспекте. Координаты этих точек зафиксированы и есть возможность через 10 лет опять вернуться к ним и посмотреть, куда идет динамика, и так ли это на самом деле, пока мы можем только удивляться и развести руками со словами, куда девался цинк или же попытаться объяснить это явление биогеохимическим круговоротом химических элементов, в биосфере происходящим по закону концентрации и рассеивания В.И. Вернадского.

Как объяснить такое значительное изменение содержания цинка за столь короткий промежуток времени. Как было отмечено выше, это явление можно объяснить включением цинка в биогеохимический круговорот. Кроме этого, для понимания и объяснения этого феномена необходимо вспомнить понятия гистерезис [6] и петля гистерезиса [7]. Гистерезис в прямом понимании это такое состояние, когда фактор воздействия прекратил свое действие, а объект влияния продолжает функционировать, не снижая активности. Например, при увлажнении сухой почвы происходит вспышка микробиологической деятельности, скорость дыхания резко возрастает. В дальнейшем влажность почвы постепенно снижается, но при этом биологическая активность почвы продолжает оставаться на высоком уровне, т. е. следствие отстает от причины, запаздывает. Вот это есть и гистерезис, он может применяться для интерпретации явлений происходящих в живых и неживых объектах. Если с течением

времени петля гистерезиса остается замкнутой, то это означает, что с объектом наблюдения за это время никаких изменений не произошло, откуда начали туда и пришли, система устойчивая. Если петля гистерезиса не замыкается, как в нашем случае, мы через 13 лет не вернулись в исходное состояние, кольцо не замкнулось, значит, система неустойчива, отток энергии больше чем приток. Следовательно, цинк активно вовлекался в биогеохимический круговорот живыми организмами почвы, какая-то доля рассеялась, другая доля стала составной частью травянистых и деревянистых формаций, микроорганизмов и почвенной фауны, животных, бабочек и птиц и других организмов. Приходная часть, поступающая в результате выветривания горных пород и минералов, оказалась недостаточной, чтобы петля гистерезиса была замкнутой или с минимальным разрывом. В расходной части могут быть и эрозионные потери, передвижение химических элементов с внутрипочвенным движением влаги сверху вниз или боковым стоком, а также потери в результате выдувания частиц почвы воздушными потоками.

Для облегчения интерпретации результатов этих исследований возникает необходимость введения новых понятий как биогеохимическая активность (БГХА) и биогеохимический потенциал (БГХП) элемента в почве. БГХА это скорость изменения концентрации элемента за определенный промежуток времени, в нашем случае мг/год^{-1} (может быть час^{-1} , нед^{-1} , мес^{-1}). Поскольку гистерезис или баланс элемента может быть положительным или отрицательным показатель активности может изменяться в сторону уменьшения, а также в сторону увеличения (например, в случае загрязнения или аккумуляции). БГХП это масса вещества или элемента вовлеченного в биогеохимический круговорот, мг/кг за общий период наблюдений (в данном случае разница в содержании элемента в начале и конце эксперимента за 13 лет). В дальнейшем попытаемся эти понятия использовать для интерпретации результатов поведения химических элементов в ретроспективном аспекте.

Объекты и методы

Объекты исследований – серые лесные почвы, сформированные на Юрюзано-Айской предгорной равнине Южного Урала Республики

Башкортостан. Исследования проводились на стационарах, расположенных в различных экосистемах (лес, луг). Характеристика объектов исследований по геоморфологическим районам и методика химических анализов, приведены в ранних работах авторов [1].

Результаты и обсуждение

1. Цинк

1.1 Стационар Ногуши, Белокатайский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: P11-99 и P6-2012. Разрезы заложены около д. Ногуши. Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 3,57%, в горизонте BC на глубине 50–60 см 0,96%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание цинка уменьшилось почти в 2,5 раза. Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P11-99) содержалось 173 мг/кг цинка (ПДК $Zn = 100 \text{мг/кг}$), то в 2012 г. на том же месте (P6-2012) концентрация цинка составляла 75 мг/кг . В горизонте BC на глубине 50–60 см эта разница за 13 лет составляет почти 3 раза, в 1999 г. содержание цинка было 238 мг/кг (больше ПДК 2,4 раза), а в 2012 г. снизилось до 82 мг/кг (меньше ПДК). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс цинка за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет -98 мг/кг , в горизонте BC - 156 мг/кг , в среднем по профилю - 127 мг/кг , БГХА показывает, что снижение концентрации цинка (C_{Zn}) за 13 лет происходило со скоростью около 10 мг/кг в год^{-1} (табл. 1, рис. 1.1).

По нашим расчетам запасы цинка в профиле P11-99 составили 1318 кг/га , со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^\circ$) в количестве 1911 МДж/моль на га (табл. 2). В целом, нами установлено, что 61% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в цинке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 14 МДж/моль год^{-1} . В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 61 кг цинка со свободной энергией Гиббса 89,7 МДж.

Как видно из таблицы 2 в старопашотной серой лесной почве по сравнению с естественными лугами, находящимися около леса и под сосновыми лесами общие запасы цинка и энергии имеющейся в составе этого элемента

сильно истощены почти в три с лишним раза, и это видно по всем термодинамическим показателям (энтальпия, энергия Гиббса, энтропия и молярная теплоемкость). Как известно, энтропия это мера беспорядка (абсолютный порядок энтропия нуль, смерть), чем меньше энтропия, тем система близка к неустойчивости или краху. Чем больше энтропия, тем больше разнообразия и система более устойчива. Таким образом, антропогенное вмешательство привело к снижению общих запасов цинка [12], энтропии и в конечном итоге к деградации почвы, о чем свидетельствуют количественные показатели массы и энергии накопленной в цинке.

1.2 Стационар Большеустикинское, Мечетлинский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 14-99 и 7-2012. Разрезы заложены около санатория «Сосновый бор». Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 3,79%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание цинка уменьшилось почти в 2 раза (табл.3, рис.1.2). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P14-99) содержалось 124 мг/кг цинка (ПДК $Zn = 100$ мг/кг), то в 2012 г на том же месте (P7-2012) кон-

центрация цинка составляла 61 мг/кг. В горизонте С на глубине 35–50 см эта разница за 13 лет составляет более 3 раз, в 1999 г. содержание цинка было 166 мг/кг (больше ПДК 1,6 раза), а в 2012 г. снизилось до 51 мг/кг (меньше ПДК). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс цинка за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет -63мг/кг, в горизонте С - 115 мг/кг, в среднем по профилю -89 мг/кг, БГХА составляет -6,8 это показывает,

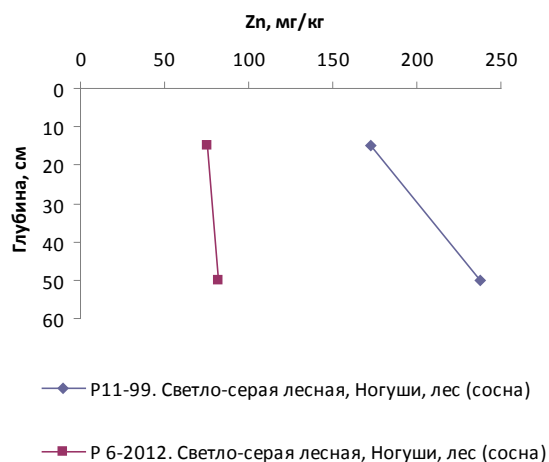


Рисунок 1.1 – Изменение содержания цинка по профилю светло-серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Ногуши

Таблица 1 – Ретроспективный анализ изменения концентрации цинка (CZn) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^\circ$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Ногуши

Показатели	1999 г. P11-99		2012 г. P6-2012	
	A1	BC	A1	BC
CZn, мг/кг	173	238	75	82
$\Delta_f G^\circ$, МДж/моль	242	333	105	115
БГХП, CZn($\Delta_f G^\circ$)			-98(137)	-156(218)
			-127(178)	
БГХА, CZn ($\Delta_f G^\circ$)год-1			10(14)	

Таблица 2 – Потенциальные запасы и термодинамические характеристики цинка на почвах Юрюзано-Айской предгорной равнины

Запасы	$\Delta_f H^0$	$\Delta_f G^0$	So	Сор
кг/га	МДж/моль/га			
Р 4-2000, серая лесная почва, луг				
1346	69000	1951	3,3	0,43
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
1318	68000	1900	3,2	0,4
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
874	45000	1300	2,2	0,3
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг				
350	18000	500	0,86	0,1
$\Delta_f H^0$ – стандартная энтальпия образования; $\Delta_f G^0$ – стандартная энергия Гиббса; So – стандартная энтропия; Сор – молярная теплоемкость при постоянном давлении.				

что снижение концентрации цинка C_{Zn} за 13 лет происходило со скоростью 6,8 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы цинка в профиле P14-99 составили 874 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1268 МДж/моль на га (табл. 2). В целом, нами установлено, что 60% этой энергии, аккумулированной в

течение многих столетий в цинке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 9,5 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 40 кг цинка со свободной энергией Гиббса 58,5 МДж.

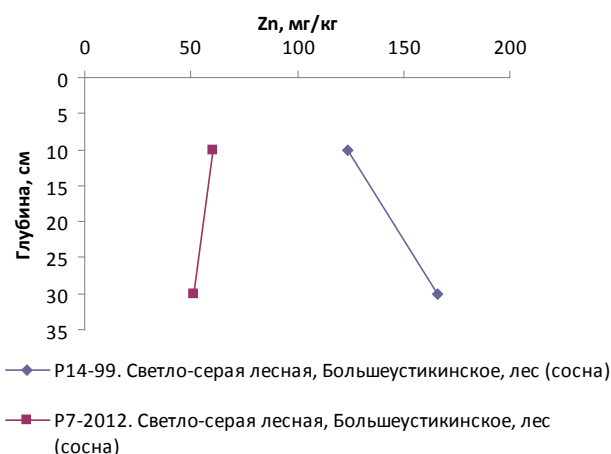


Рисунок 1.2 – Изменение содержания цинка по профилю светло-серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Большеустикинское.

1.3 Стационар Вознесенка, Дуванский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 15-99 и 1-2012. Разрезы заложены на пологом склоне юго-восточной экспозиции. Сеяный луг у леса. Почва: серая лесная на красноцветной пермской глине с содержанием углерода в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 7,94%.

В сеянном лугу на серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание цинка уменьшилось на 17% (табл. 4, рис. 1.3). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P15-99) содержалось 174 мг/кг цинка (ПДК Zn = 100 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P1-2012) концентрация цинка составляла 144 мг/кг. В горизонте B_c на глубине 50–70 см эта разница за 13 лет составляет 8%, в 1999 г. содержание

Таблица 3 – Ретроспективный анализ изменения концентрации цинка (C_{Zn}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Большеустикинское

Показатели	1999 г. P14-99		2012 г. P7-2012	
	A1	C	A1	C
C_{Zn} , мг/кг	124	166	61	51
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	174	232	85	71
БГХП, $C_{Zn}(\Delta_f G^0)$			-63(88)	-115(161)
			-89(125)	
БГХА, $C_{Zn}(\Delta_f G^0)$ год ⁻¹			6,8(9,5)	

Таблица 4 – Ретроспективный анализ изменения концентрации цинка (C_{Zn}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Вознесенка

Показатели	1999 г. P15-99		2012 г. P1-2012	
	A1	C	A1	C
C_{Zn} , мг/кг	174	215	144	198
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	244	301	202	277
БГХП, $C_{Zn}(\Delta_f G^0)$			-30(42)	-17(24)
			Среднее -24(66)	
БГХА, $C_{Zn}(\Delta_f G^0)$ год ⁻¹			1,8(2,5)	

цинка было 215 мг/кг (больше ПДК 1,6 раза), а в 2012 г. снизилось до 198 мг/кг (меньше ПДК). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс цинка за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет 30 мг/кг, в горизонте С 17 мг/кг, в среднем по профилю 23,5 мг/кг, БГХА составляет – 1,8, это показывает, что снижение концентрации цинка C_{zn} за 13 лет происходило со скоростью 1,8 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы цинка в профиле Р15-99 составили 350 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^\theta$) в количестве 508 МДж/моль на га (табл. 2). В целом нами установлено, что 13% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в цинке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 2,5 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 3,5 кг цинка со свободной энергией Гиббса 5,1 МДж.

1.4 Стационар Вознесенка, Малиновая гора. Разрезы: Р4-2000, Р1-2012. Почва: серая лесная каменисто-щебнистая неполноразвитая. На этой горе расположен карьер по добыче известняков в качестве мелиоранта для известкования почв. Из-за повышенного содержания некоторых токсичных химических элементов в 2000 году по нашей рекомендации карьер был закрыт. В 2012 году нами было принято решение провести повторное обследование почв горы Малиновая. Для обследования были взяты образцы почв сформированных на склонах, различной экспозиции. Образцы отбирали и со дна карьера, где на обломках известняка начала формироваться первичная примитивная почва. Также были взяты образцы с той точки, где в 2000 году был заложен почвенный разрез на подножии южного склона. Поскольку карьер не был рекультивирован, оставался открытым всем ветрам и атмосферным осадкам, нам было интересно исследовать, в каком же направлении меняется геохимический состав прилегающих почв и каков результат выветривания коренных известковых пород на вершине горы внутри карьера.

Исследования показали, что через 12 лет в почвах горы Малиновая произошли значительные изменения по содержанию цинка. Если в

горизонте A_1 этой почвы в 2000 г. содержался 232 мг/кг цинка почти в два с лишним раза выше ПДК (по предложенной нами шкале такие почвы относятся к очень сильно загрязненным с очень высокой обеспеченностью цинком почвам), то в прилегающих почвах сформированных в различных склонах горы в этом же горизонте A_1 в 2012 г. обнаружено в среднем 112 мг/кг цинка, чуть выше ПДК, но не намного, по нашей шкале эти почвы относятся к средней обеспеченности и умеренному загрязнению. При этом биогеохимический потенциал, т. е. количество вовлеченного в биогеохимический круговорот цинка наименьшим был для почв северного склона (154 МДж/моль), несколько выше для почв западного склона (161 МДж/моль) и самое высокое для почв южного склона (189 МДж/моль), и чуть ниже на вершине (186 МДж/моль) (табл. 1–3).

По нашим расчетам запасы цинка в профиле Р4-2000 составили 1345,5 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^\theta$) в количестве 1951 МДж/моль на га (это только для цинка) (табл. 2). В целом, нами установлено, что часть этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в цинке, за 12 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 13–16 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 56 кг цинка со свободной энергией Гиббса 81 МДж. Если на северном склоне вовлекается в круговорот 47%, западном склоне 49%, то на южном склоне 58% от общих запасов цинка и свободной энергии Гиббса. Следовательно, на южном склоне биогеохимические процессы протекают с более высокой скоростью, чем на северном склоне. В целом минимальные значения БГХП и БГХА были в сеянном лугу старопахотной почве на стационаре Вознесенка, под естественными растительными сообществами и в сосновом лесу эти показатели были наибольшими. Возможно, в сеянном лугу на старопахотных почвах, запасы легкоразлагающихся соединений уже исчерпаны, остались лишь устойчивые к распаду труднорастворимые соединения, поэтому петля гистерезиса имеет небольшой разрыв, а в луговых и лесных почвах запасы легкоразлагающихся веществ достаточны для активной минерализации и поэтому петля гистерезиса разомкнута, система в целом менее устойчива,

чем старопашотная. Но это доля энергии лишь одного элемента, ниже рассмотрим и другие элементы, и возможно общий их вклад в энергетику почвообразования будет более значимым.

2. Мышьяк

2.1 Стационар Ногуши, Белокатайский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: P11-99 и P6-2012. Разрезы заложены около д. Ногуши. Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 3,57%, в горизонте BC на глубине 50–60 см 0,96%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание мышьяка уменьшилось в 2,8 раза. Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P11-99) содержалось 22 мг/кг мышьяка (ПДК As = 2 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P6-2012) концентрация мышьяка составляла 7,88 мг/кг. В горизонте BC на глубине 50–60 см эта разница за 13 лет составляет 17,5 раза, в 1999 г. содержание мышьяка было 103 мг/кг (больше ПДК 50 раз), а в 2012 г. снизилось до 5,91 мг/кг (меньше ПДК

в три раза). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс мышьяка за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет - 14 мг/кг, в горизонте BC - 97 мг/кг, в среднем по профилю - 56 мг/кг, БГХА показывает, что снижение концентрации мышьяка (C_{As}) за 13 лет происходило со скоростью около 4,3 мг/кг в год⁻¹ (табл. 6, рис. 2.1).

По нашим расчетам запасы мышьяка в профиле P11-99 составили 294 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1024 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 79% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в мышьяке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 14,6 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 18 кг мышьяка со свободной энергией Гиббса 62 МДж.

Как видно из таблицы 7, в старопашотной серой лесной почве по сравнению с естественными лугами, находящимися около леса и под сосновыми лесами общие запасы мышьяка и энергии имеющейся в составе этого элемента

Таблица 5 – Ретроспективный анализ изменения содержания цинка и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 2000–2012 гг. Стационар Вознесенка, Малиновая гора

Показатели	2000 г. P 4-2000		2012 г. P1-2012			
	A1	C	A1, северный склон	A1, западный склон	A1, южный склон	CD, на вершине
CZn, мг/кг	232	215	122	117	97	82
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	324	301	171	136	164	115
БГХП, CZn($\Delta_f G^0$)			-110(154)	-115(161)	-135(189)	-133(186)
БГХА, CZn($\Delta_f G^0$) год-1			-9,2(12,9)	-9,6(13,4)	-11,3(15,8)	-11(15,5)

Таблица 6 – Ретроспективный анализ изменения концентрации мышьяка (C_{As}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Ногуши

Показатели	1999 г. P11-99		2012 г. P6-2012	
	A1	BC	A1	BC
CA _s , мг/кг	22	103	7.88	5.91
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	75	350	27	20
БГХП, CA _s ($\Delta_f G^0$)			-14(48)	-97(330)
			-56(190)	
БГХА, CA _s ($\Delta_f G^0$) год-1			4.3(14,6)	

сильно истощены почти в три с лишним раза, и это видно по всем термодинамическим показателям (энтальпия, энергия Гиббса, энтропия и молярная теплоемкость). Как известно, энтропия это мера беспорядка (абсолютный порядок энтропия нуль, смерть), чем меньше энтропия, тем система близка к неустойчивости или краху. Чем больше энтропия, тем больше разнообразия и система более устойчива. Таким образом, антропогенное вмешательство привело к снижению общих запасов мышьяка, энтропии и в конечном итоге к деградации почвы, о чем свидетельствуют количественные показатели массы и энергии накопленной в мышьяке.

Если сравнивать количественно-энергетические показатели цинка и мышьяка в этой почве, то по общим запасам превышение цинка над мышьяком составляет 4,4 раза, по количеству вовлеченного в круговорот вещества в 3,3 раза, по свободной энергии Гиббса только в 2,1 раза. Таким образом, мышьяк при небольшом содержании и запасах на единицу массы привносит в почвообразовательный процесс больше энергии, чем цинк. При значительно

меньших запасах скорость превращения мышьяка выше, чем цинка. Это связано с тем, что в пересчете на 1 га светло-серой лесной почвы сформированной под сосновым лесом энтальпия образования цинка в 62 раза, стандартная энтропия в 5,3 раза, стандартная энергия Гиббса в 1,9 раза, молярная теплоемкость в 5 раз выше, чем мышьяка. Следовательно затраты энергии на образование оксидов цинка намного больше, чем на образование оксидов мышьяка, о чем свидетельствуют термодинамические показатели этих элементов (рис 2.2).

2.2 Стационар Большеустикинское, Мечетлинский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 14-99 и 7-2012. Разрезы заложены около санатория «Сосновый бор». Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 3,79%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание мышьяка уменьшилось в 4 раза (табл. 8 и рис. 2.3). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P14-99)

Таблица 7 – Потенциальные запасы и термодинамические характеристики мышьяка на почвах Юрюзано-Айской предгорной равнины

Запасы	$\Delta_f H^o$	$\Delta_f G^o$	So	Сор
кг/га	МДж/моль/га			
Р 4-2000, серая лесная почва, луг				
620	2500	2160	1,4	0,17
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг				
572	2310	1990	1,3	0,16
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
294	1190	1020	0,7	0,08
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
252	1020	880	0,6	0,07
$\Delta_f H^o$ – стандартная энтальпия образования; $\Delta_f G^o$ – стандартная энергия Гиббса; So – стандартная энтропия; Сор – молярная теплоемкость при постоянном давлении.				

Таблица 8 – Ретроспективный анализ изменения концентрации мышьяка (C_{As}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Большеустикинское

Показатели	1999 г. P14-99		2012 г. P7-2012	
	A1	C	A1	C
C_{As} , мг/кг	18	93	4,49	5,48
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	61	316	15	19
БГХП, C_{As} ($\Delta_f G^0$)			-13,5(46)	-87,5(298)
			-51(171)	
БГХА, C_{As} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			3,9(13,3)	

содержалось 18 мг/кг мышьяка (ПДК As = 2 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P7-2012) концентрация мышьяка составляла 4,49 мг/кг. В горизонте С на глубине 35–50 см эта разница за 13 лет составляет 17 раз, в 1999 г. содержание мышьяка было 93 мг/кг (больше ПДК в 47 раз), а в 2012 г. снизилось до 5,48 мг/кг (больше ПДК

в 2,7 раза). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс мышьяка за 13 лет отрицательный, в горизонте А1 БГХП составляет – 13,5 мг/кг, в горизонте С – 87 мг/кг, в среднем по профилю – 51 мг/кг, БГХА составляет – 3,9 это показывает, что снижение концентрации мышьяка C_{As} за 13 лет происходило со скоростью 3,9 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы мышьяка в профиле P14-99 составили 252 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1024 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 85% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в мышьяке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 13,3 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 16,5 кг мышьяка со свободной энергией Гиббса 67 МДж.

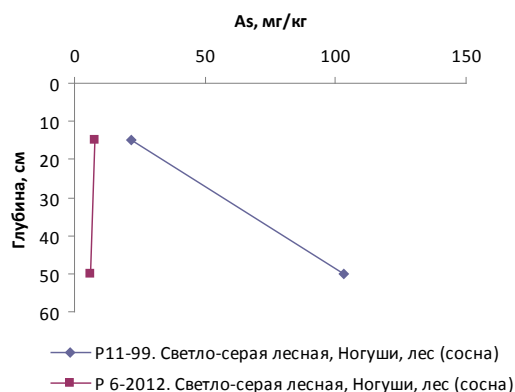


Рисунок 2.1 – Изменение содержания мышьяка по профилю светлосерой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Ногуши

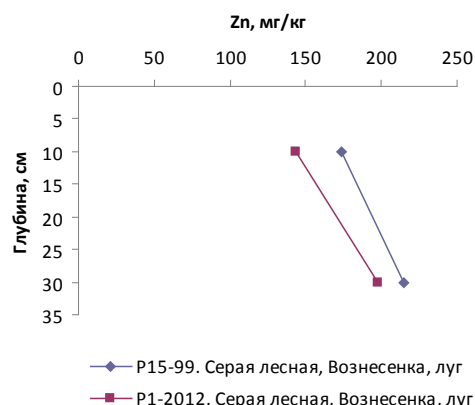


Рисунок 2.2 – Изменение содержания цинка по профилю серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Вознесенка

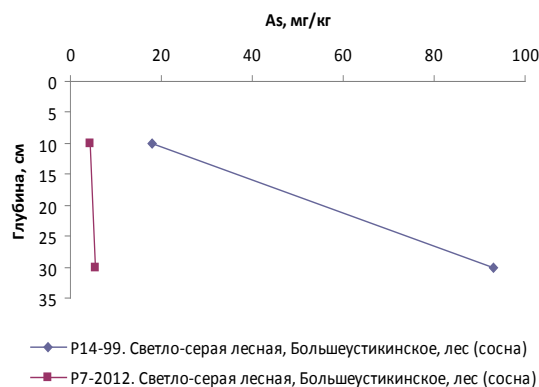


Рисунок 2.3 – Изменение содержания мышьяка по профилю светлосерой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Большеустикинское

Таблица 9 – Ретроспективный анализ изменения концентрации мышьяка (C_{As}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Вознесенка

Показатели	1999 г. P15-99		2012 г. P1-2012	
	A1	C	A1	C
C_{As} , мг/кг	14	249	9.75	184
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	48	847	33	626
БГХП, C_{As} ($\Delta_f G^0$)			-4.25(14.5)	-65(221)
			Среднее -34.6(118)	
БГХА, C_{As} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			2.7(9.0)	

2.3 Стационар Вознесенка, Дуванский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 15-99 и 1-2012. Разрезы заложены на пологом склоне юго-восточной экспозиции. Сеяный луг у леса. Почва: серая лесная на красноцветной пермской глине с содержанием углерода в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 7,94%.

В сеянном лугу на серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание мышьяка уменьшилось на 30% (табл. 9 и рис. 2.4). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P15-99) содержалось 14 мг/кг мышьяка (ПДК $As = 2$ мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P1-2012) концентрация мышьяка составляла 9,75 мг/кг. В горизонте ВС на глубине 50–70 см эта разница за 13 лет составляет 26%, в 1999 г. содержание мышьяка было 249 мг/кг (больше ПДК в 125 раз), а в 2012 г. снизилось до 184 мг/кг (больше ПДК в 92 раза). Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс мышьяка за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет - 4,25 мг/кг, в горизонте С - 65 мг/кг, в среднем по профилю - 34,6 мг/кг, БГХА составляет - 2,7 это показывает, что снижение концентрации мышьяка C_{As} за 13 лет происходило со скоростью 2,7 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы мышьяка в профиле P15-99 составили 572 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1992 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 28% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в мышьяке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 9 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год

вовлекается в биогеохимический круговорот 12,3 кг мышьяка со свободной энергией Гиббса 43 МДж.

2.4 Стационар Вознесенка, Малиновая гора. Разрезы: P4-2000, P1-2012. Почва: серая лесная каменисто-щебнистая неполноразвитая. На этой горе расположен карьер по добыче извести в качестве мелиоранта для известкования почв. Из-за повышенного содержания некоторых токсичных химических элементов в 2000 году по нашей рекомендации карьер был закрыт. В 2012 году нами было принято решение провести повторное обследование почв горы Малиновая. Для обследования были взяты образцы почв сформированных на склонах, различной экспозиции. Образцы отбирали и со дна карьера, где на обломках известняка начала формироваться первичная примитивная почва. Также были взяты образцы с той точки, где в 2000 году был заложен почвенный разрез на подножии южного склона. Поскольку карьер не был рекультивирован, оставался открытым всем ветрам и атмосферным осадкам, нам было интересно исследовать, в каком же направлении меняется геохимический состав прилегающих почв и каков результат выветривания коренных известковых пород на вершине горы внутри карьера.

Исследования показали, что через 12 лет в почвах горы Малиновая произошли значительные изменения по содержанию мышьяка. Если в горизонте A_1 этой почвы в 2000 г. содержался 23 мг/кг мышьяка в 11,5 раз выше ПДК (по предложенной нами шкале такие почвы относятся к очень сильно загрязненным с очень высокой обеспеченностью мышьяком почвам), то в прилегающих почвах сформированных в различных склонах горы в этом же горизонте A_1 в 2012 г. обнаружено в среднем 7,51 мг/кг мышьяка, 3,8 раз выше ПДК, по нашей шкале эти почвы относятся к низкой обеспеченности и слабому загрязнению. При этом биогеохимический потенциал, т. е. количество вовлеченного в биогеохимический круговорот мышьяка наибольшим был для примитивной

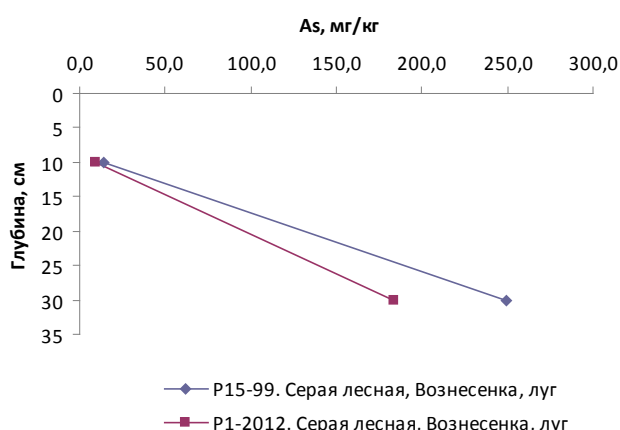


Рисунок 2.4 – Изменение содержания мышьяка по профилю серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Вознесенка

почвы, сформировавшейся на вершине склона (827 МДж/моль) (табл. 10). По нашим расчетам запасы мышьяка в профиле Р4-2000 составили 620 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 2159 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 75% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в мышьяке, за 12 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 3,4–4,9 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 39 кг мышьяка со свободной энергией Гиббса 135 МДж. Если на северном склоне вовлекается в круговорот 76%, западном склоне 53%, то на южном склоне 74%, то на вершине 98% от общих запасов мышьяка и свободной энергии Гиббса. БГХП и БГХА наибольшими были на вершине склона, где шел активный почвообразовательный процесс.

3. Свинец

3.1 Стационар Ногуши, Белокатайский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: Р11-99 и Р6-2012. Разрезы заложены около д. Ногуши. Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте

A₁ на глубине 0–20 см 3,57%, в горизонте ВС на глубине 50–60 см 0,96%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A₁ через 13 лет содержание свинца повысился на 22,7%, а в горизонте ВС наоборот снизился на 0,8%. Так, если в горизонте A₁ в 1999 году (Р11-99) содержался 9,7 мг/кг свинца (ПДК Pb = 32мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (Р6-2012) концентрация свинца составлял 11,9 мг/кг. В горизонте ВС на глубине 50–60 см за 13 лет содержание свинца наоборот несколько снизилось, так в 1999 г. содержание

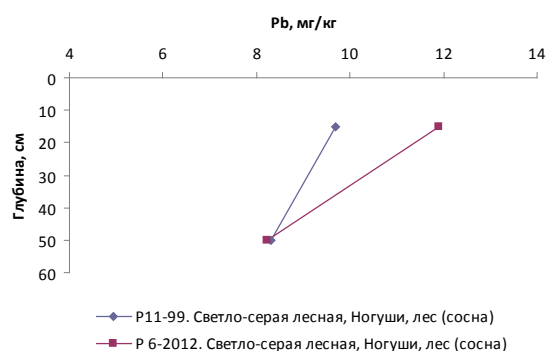


Рисунок 3.1 – Изменение содержания свинца по профилю светло-серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Ногуши

Таблица 10 – Ретроспективный анализ изменения содержания мышьяка и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 2000–2012 гг. Стационар Вознесенка, Малиновая гора

Показатели	2000 г. Р 4-2000		2012 г. Р1-2012			
	A ₁	C	A ₁ , северный склон	A ₁ , западный склон	A ₁ , южный склон	CD, на вершине
C _{As} , мг/кг	23	249	5,58	10,8	6,15	5,54
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	78	847	19	36	21	19
БГХП, C _{As} ($\Delta_f G^0$)			-17,4(59)	-12,2(41)	-16,9(57,3)	-243(827)
БГХА, C _{As} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			-1,45(4,9)	-1,0(3,4)	-1,4(4,7)	-21(69)

Таблица 11 – Ретроспективный анализ изменения концентрации свинца (C_{Pb}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Ногуши.

Показатели	1999 г. Р11-99		2012 г. Р6-2012	
	A1	BC	A1	BC
C _{Pb} , мг/кг	9.7	8.3	11.9	8.23
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	7,6	6,5	9,3	6,4
БГХП, C _{Pb} ($\Delta_f G^0$)			+2.2(1,7)	-0.07(5,5)
БГХА, C _{Pb} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			+1,07(0,8)	
			0.08(0,064)	

свинца было 8,3 мг/кг, а в 2012 г. снизилось до 8,23 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс свинца за 13 лет положительный, в горизонте А1 БГХП составляет +2,2 мг/кг, в горизонте ВС баланс отрицательный - 0,07 мг/кг, в среднем по профилю +2,13 мг/кг, БГХА показывает, что повышение концентрации свинца (C_{pb}) за 13 лет происходило со скоростью около 0,08 мг/кг в год⁻¹ (табл.11.).

По нашим расчетам запасы свинца в профиле P11-99 составили 70 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 54,8 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 11,8% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в свинце, за 13 лет вовлекается в почвообразовательный процесс со скоростью 0,064 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 0,64 кг цинка со свободной энергией Гиббса 0,5 МДж.

3.2 Стационар Большеустикинское, Мечетлинский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 14-99 и 7-2012. Разрезы заложены около санатория «Сосновый бор». Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте А₁ на глубине 0–20 см 3,79%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте А₁ через 13 лет содержание свинца повысился на 4,2% (табл. 12 и рис. 3.2). Так, если в горизонте А₁ в 1999 году (P14-99) содержалось 12,0 мг/кг свинца (ПДК Pb = 32 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P7-2012) концентрация свинца составляла 12,5 мг/кг. В горизонте С на глубине 35–50 см наоборот произошло снижение содержания

свинца за 13 лет на 33,4%. Так в 1999 г. содержание свинца было 15 мг/кг, а в 2012 г. снизилось до 9,95 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс свинца за 13 лет, в горизонте А1 положительный БГХП составляет +0,5 мг/кг, в горизонте С отрицательный - 5,05 мг/кг, в среднем по профилю - 2,3 мг/кг, БГХА составляет - 0,18 это показывает, что снижение концентрации свинца C_{pb} за 13 лет происходило со скоростью 0,18 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы свинца в профиле P14-99 составили 86 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 67,3 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 18,8% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в свинце, за 13 лет вовлекается в почвообразовательный процесс со скоростью 0,14 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 1,25 кг свинца со свободной энергией Гиббса 0,97 МДж.

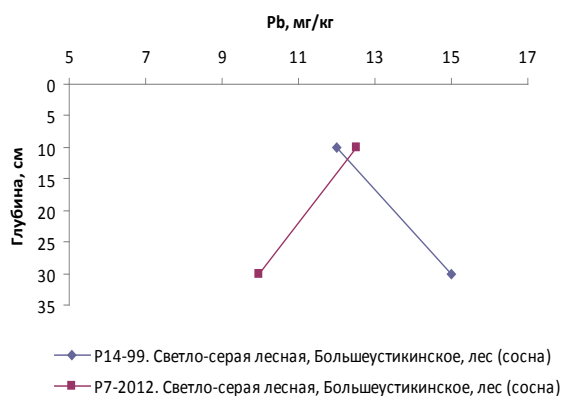


Рисунок 3.2 – Изменение содержания свинца по профилю светло-серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Большеустикинское.

Таблица 12 – Ретроспективный анализ изменения концентрации свинца (C_{pb}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Большеустикинское

Показатели	1999 г. P14-99		2012 г. P7-2012	
	A1	C	A1	C
C_{pb} , мг/кг	12	15	12,5	9,95
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	9,35	11,7	9,7	7,8
БГХП, C_{pb} ($\Delta_f G^0$)			+0,5(0,4)	-5,05(3,9)
			-2,3(1,8)	
БГХА, C_{pb} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			0,18(0,14)	

3.3 Стационар Вознесенка, Дуванский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 15-99 и 1-2012. Разрезы заложены на пологом склоне юго-восточной экспозиции. Сеяный луг у леса. Почва: серая лесная на красноцветной пермской глине с содержанием углерода в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 7,94%.

В сеянном лугу на серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание свинца повысилось на 51% (табл. 13 и рис. 3.3). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P15-99) содержалось 13 мг/кг свинца (ПДК Pb = 32 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P1-2012) концентрация свинца составляла 19,6 мг/кг. В горизонте BC на глубине 50–70 см эта разница за 13 лет составляет 12,5%, в 1999 г. содержание свинца было 16 мг/кг, а в 2012 г. стало 18 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс свинца за 13 лет положительный, в горизонте A_1 БГХП составляет +6,6 мг/кг, в гори-

зонте C +2 мг/кг, в среднем по профилю +4,3 мг/кг, БГХА составляет – 0,33 это показывает, что снижение концентрации цинка C_{Pb} за 13 лет происходило со скоростью 0,33 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы цинка в профиле P15-99 составили 132 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 103 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 31,6% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в цинке, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 0,26 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 3,2 кг свинца со свободной энергией Гиббса 2,5 МДж.

3.4 Стационар Вознесенка, Малиновая гора. Разрезы: P4-2000, P1-2012. Почва: серая лесная каменисто-щебнистая неполноразвитая. На этой горе расположен карьер по добыче извести в качестве мелиоранта для известкования почв. Из-за повышенного содержания некоторых токсичных химических элементов в 2000 году по нашей рекомендации карьер был закрыт. В 2012 году нами было принято решение провести повторное обследование почв горы Малиновая. Для обследования были взяты образцы почв сформированных на склонах, различной экспозиции. Образцы отбирали и со дна карьера, где на обломках известняка начала формироваться первичная примитивная почва. Также были взяты образцы с той точки, где в 2000 году был заложен почвенный разрез на подножии южного склона. Поскольку карьер не был рекультивирован, оставался открытым всем ветрам и атмосферным осадкам, нам было

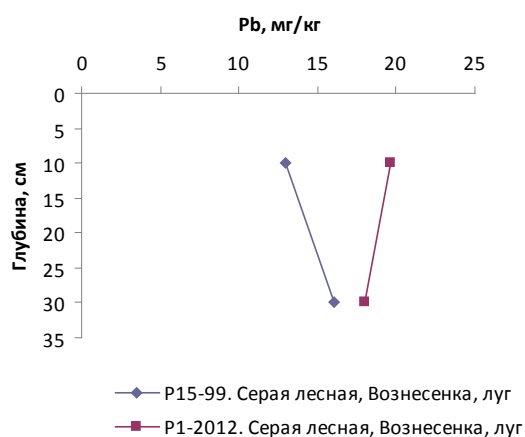


Рисунок 3.3 – Изменение содержания свинца по профилю серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Вознесенка

Таблица 13 – Ретроспективный анализ изменения концентрации свинца (C_{Pb}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Вознесенка

Показатели	1999 г. P15-99		2012 г. P1-2012	
	A1	C	A1	C
C_{Pb} , мг/кг	13	16	19,6	18
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	10,1	12,5	15,3	14,0
БГХП, C_{Pb} ($\Delta_f G^0$)			+6,6(5,14)	+2(1,6)
			Среднее +4,3(3,3)	
БГХА, C_{Pb} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			0,33(0,26)	

интересно исследовать, в каком же направлении меняется геохимический состав прилегающих почв и каков результат выветривания коренных известковых пород на вершине горы внутри карьера.

Исследования показали, что через 12 лет в почвах горы Малиновая произошли значительные изменения по содержанию свинца. Если в горизонте А1 этой почвы в 2000 г. содержался 14 мг/кг свинца (по предложенной нами шкале такие почвы относятся к слабо загрязненным со слабой обеспеченностью свинцом почвам), то в прилегающих почвах сформированных в различных склонах горы в этом же горизонте А1 в 2012 г. обнаружено в среднем 16,7 мг/кг свинца, по нашей шкале эти почвы уже относятся к средней обеспеченности и умеренному загрязнению. При этом биогеохимический потенциал, т. е. количество вовлеченного в биогеохимический круговорот свинца наибольшим был для примитивной почвы, сформировавшейся на вершине склона (5,8 МДж/моль) (табл. 14). По нашим расчетам за-

пасы свинца в профиле Р4-2000 составили 93 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 72,8 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 34,8% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в свинце, за 12 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 0,15–0,54 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 2,7 кг свинца со свободной энергией Гиббса 2,11 МДж. Если на северном склоне вовлекается в круговорот 59,3%, западном склоне 16,4%, то на южном склоне 17,1%, то на вершине 46,3% от общих запасов свинца и свободной энергии Гиббса. БГХП и БГХА наибольшими были на северном склоне и на вершине склона, где шел активный почвообразовательный процесс. Необходимо отметить, что на северном и западном склоне происходило накопление свинца, а на южном склоне и на вершине – уменьшение содержания свинца, т. е. значения БГХП на северном и западном склоне были положительными, а на южном склоне и на вершине отрицательными.

Таблица 14 – Ретроспективный анализ изменения содержания свинца и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 2000–2012 гг. Стационар Вознесенка, Малиновая гора

Показатели	2000 г. Р 4-2000		2012 г. Р1-2012			
	A ₁	C	A ₁ , северный склон	A ₁ , западный склон	A ₁ , южный склон	CD, на вершине
C _{рв} , мг/кг	14	16	22,3	16,3	11,6	8,59
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	10,9	12,5	17,4	12,7	9,0	6,7
БГХП, C _{As} ($\Delta_f G^0$)			+8,3(6,5)	+2,3(1,8)	-2,4(1,9)	-7,4(5,8)
БГХА, C _{As} ($\Delta_f G^0$) год ⁻¹			0,68(0,54)	0,19(0,15)	-0,2(0,16)	-0,61(0,48)

Таблица 15 – Потенциальные запасы и термодинамические характеристики свинца на почвах Юрюзано-Айской предгорной равнины

Запасы	$\Delta_f H^0$	$\Delta_f G^0$	So	Сор
кг/га	МДж/моль/га			
Р 4-2000, серая лесная почва, луг				
93	87	70	0,08	0,009
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг				
132	120	110	0,11	0,013
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
70	66	60	0,06	0,007
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
86	81	70	0,07	0,009
$\Delta_f H^0$ – стандартная энтальпия образования; $\Delta_f G^0$ – стандартная энергия Гиббса; So – стандартная энтропия; Сор – молярная теплоемкость при постоянном давлении.				

Поведение свинца по угожьям несколько отличается от цинка и мышьяка. Как видно из таблицы 15 в старопахотной серой лесной почве по сравнению с естественными лугами, находящимися около леса и под сосновыми лесами общие запасы мышьяка и энергии имеющейся в составе этого элемента максимальны, и это видно по всем термодинамическим показателям (энтальпия, энергия Гиббса, энтропия и молярная теплоемкость). Как известно, энтропия это мера беспорядка (абсолютный порядок энтропия нуль, смерть), чем меньше энтропия, тем система близка к неустойчивости или краху. Чем больше энтропия, тем больше разнообразия и система более устойчива. Таким образом, антропогенное вмешательство привело к повышению общих запасов свинца [11], энтропии и в конечном итоге к загрязнению почвы, о чем свидетельствуют количественные показатели

массы и энергии накопленной в свинце. В естественных лугах и в лесу меньше свинца, чем в сеянном старопахотном лугу.

4. Кадмий

4.1 Стационар Ногуши, Белокатайский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: P11-99 и P6-2012. Разрезы заложены около д. Ногуши. Лес, сосна. Почва: светло-серая лесная с содержанием гумуса в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 3,57%, в горизонте BC на глубине 50–60 см 0,96%.

В сосновом лесу на светло-серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание кадмия снизилось на 12,5%, а в горизонте BC снизилось на 30%. Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P11-99) содержалось 0,16 мг/кг кадмия (ПДК Cd = 3мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P6-2012) концентрация кадмия составляла 0,14 мг/кг. В горизонте BC на глубине 50–60 см в 1999 г. содержание кадмия было 0,20 мг/кг, а в 2012 г. снизилось до 0,14 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс кадмия за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет - 0,02мг/кг, в горизонте BC - 0,06 мг/кг, в среднем по профилю - 0,04 мг/кг, БГХА показывает, что снижение концентрации кадмия (C_{Cd}) за 13 лет происходило со скоростью около 0,003 мг/кг в год⁻¹ (табл.16).

По нашим расчетам запасы кадмия в профиле P11-99 составили 1,9 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1,27 МДж/моль на га. В целом, нами установлен-

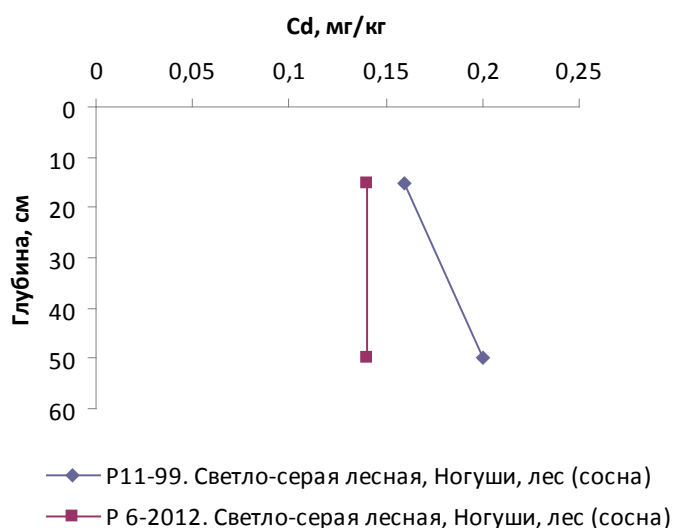


Рисунок 4.1 – Изменение содержания кадмия по профилю светло-серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Ногуши.

Таблица 16 – Ретроспективный анализ изменения концентрации кадмия (C_{Cd}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светло-серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Ногуши

Показатели	1999 г. P11-99		2012 г. P6-2012	
	A_1	BC	A_1	BC
C_{Cd} , мг/кг	0,16	0,2	0,14	0,14
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	0,11	0,13	0,10	0,10
БГХП, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)			-0,02(0,01)	-0,06(0,04)
			-0,04(0,03)	
БГХА, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			0,003(0,002)	

но, что 21,3% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в кадмии, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 0,002 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 0,03 кг кадмия со свободной энергией Гиббса 0,02 МДж.

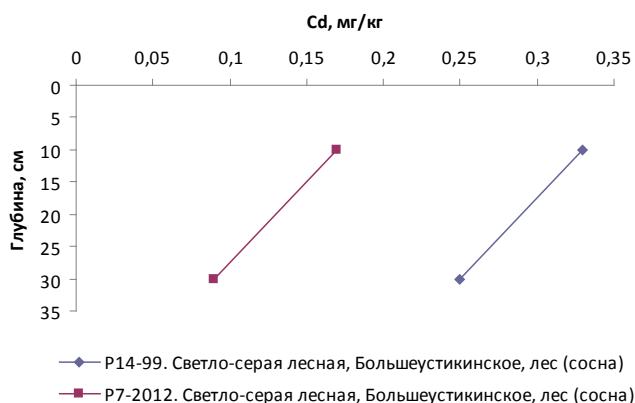


Рисунок 4.2 – Изменение содержания кадмия по профилю светлосерой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Большеустикинское.

4.2 Стационар Большеустикинское, Мечетлинский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 14–99 и 7–2012. Разрезы заложены около санатория «Сосновый бор». Лес, сосна. Почва: светлосерая лесная с содержанием гумуса в горизонте A₁ на глубине 0–20 см 3,79%.

В сосновом лесу на светлосерой лесной почве в горизонте A₁ через 13 лет содержание кадмия снизилось на 48,5% (табл. 17, рис. 4.2). Так, если в горизонте A₁ в 1999 году (P14-99) содержалось 0,33 мг/кг кадмия (ПДК Cd = 3 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P7-2012) концентрация кадмия составляла 0,17 мг/кг. В горизонте C на глубине 35–50 см произошло снижение содержания кадмия за 13 лет на 64%. Так в 1999 г. содержание кадмия было 0,25 мг/кг, а в 2012 г. снизилось до 0,09 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс кадмия за 13 лет, в горизонте A1 отрицательный БГХП составляет - 0,16 мг/кг, в горизонте C столько же - 0,16 мг/кг, в сред-

Таблица 17 – Ретроспективный анализ изменения концентрации кадмия (C_{Cd}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в светлосерой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Большеустикинское

Показатели	1999 г. P14-99		2012 г. P7-2012	
	A1	C	A1	C
C_{Cd} , мг/кг	0,33	0,25	0,17	0,09
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	0,23	0,17	0,12	0,06
БГХП, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)			-0,16(0,11)	-0,16(0,11)
			-0,16(0,11)	
БГХА, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			0,012(0,008)	

Таблица 18 – Ретроспективный анализ изменения концентрации кадмия (C_{Cd}) и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 1999–2012 гг. Стационар Вознесенка

Показатели	1999 г. P15-99		2012 г. P1-2012	
	A1	C	A1	C
C_{Cd} , мг/кг	0,72	0,29	0,35	0,20
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	0,49	0,19	0,24	0,13
БГХП, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)			-0,37(0,25)	-0,09(0,06)
			Среднее -0,23(0,16)	
БГХА, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)год ⁻¹			0,018(0,012)	

нем по профилю - 0,16 мг/кг, БГХА составляет - 0,012 это показывает, что снижение концентрации кадмия C_{Cd} за 13 лет происходило со скоростью 0,012 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы кадмия в профиле P14-99 составили 2,1 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1,44 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 56% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в кадмии, за 13 лет вовлекается в почвообразовательный процесс со скоростью 0,008 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 0,09 кг кадмия со свободной энергией Гиббса 0,06 МДж.

4.3 Стационар Вознесенка, Дуванский район, Юрюзано-Айская предгорная равнина. Разрезы: 15-99 и 1-2012. Разрезы заложены на пологом склоне юго-восточной экспозиции. Сеяный луг у леса. Почва: серая лесная на крас-

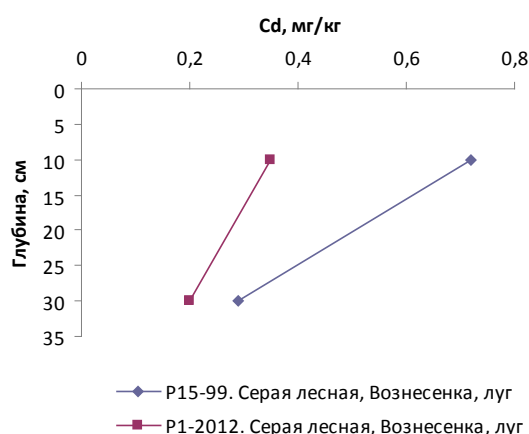


Рисунок 4.3. Изменение содержания кадмия по профилю серой лесной почвы за период 1999–2012 гг. на стационаре Вознесенка

ноцветной пермской глине с содержанием углерода в горизонте A_1 на глубине 0–20 см 7,94%.

В сеяном лугу на серой лесной почве в горизонте A_1 через 13 лет содержание кадмия уменьшилось на 51,4% (табл. 18, рис.4.3). Так, если в горизонте A_1 в 1999 году (P15-99) содержалось 0,72 мг/кг кадмия (ПДК Cd = 3 мг/кг), то в 2012 г. на том же месте (P1-2012) концентрация кадмия составляла 0,35 мг/кг. В горизонте BC на глубине 50–70 см эта разница за 13 лет составляет 31%, в 1999 г. содержание кадмия было 0,29 мг/кг, а в 2012 г. снизилось до 0,20 мг/кг. Таким образом, ретроспективным методом установлено, что баланс кадмия за 13 лет отрицательный, в горизонте A_1 БГХП составляет - 0,37 мг/кг, в горизонте C – 0,09 мг/кг, в среднем по профилю - 0,23 мг/кг, БГХА составляет - 0,018 это показывает, что снижение концентрации кадмия C_{Cd} за 13 лет происходило со скоростью 0,018 мг/кг в год⁻¹.

По нашим расчетам запасы кадмия в профиле P15-99 составили 2,4 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^0$) в количестве 1,65 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что 41,2% этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в кадмии, за 13 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 0,012 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 0,076 кг кадмия со свободной энергией Гиббса 0,052 МДж.

4.4 Стационар Вознесенка, Малиновая гора. Разрезы: P4-2000, P1-2012. Почва: серая лесная каменисто-щебнистая неполноразвитая. На этой горе расположен карьер по добыче извести в качестве мелиоранта для известкования почв. Из-

Таблица 19 – Ретроспективный анализ изменения содержания кадмия и стандартной энергии Гиббса ($\Delta_f G^0$) в серой лесной почве за 2000–2012 гг. Стационар Вознесенка, Малиновая гора

Показатели	2000 г. P4-2000		2012 г. P1-2012			
	A_1	C	A_1 , северный склон	A_1 , западный склон	A_1 , южный склон	CD, на вершине
C_{Cd} , мг/кг	0,83	0,29	0,88	0,88	0,89	1,47
$\Delta_f G^0$, МДж/моль	0,57	0,20	0,60	0,60	0,61	1,01
БГХП, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)			+0,05(0,03)	+0,05(0,03)	+0,06(0,04)	+1,18(0,81)
БГХА, C_{Cd} ($\Delta_f G^0$)			0,004(0,003)	0,004(0,003)	0,005(0,003)	0,098(0,07)
год ⁻¹			Среднее по профилю: 0,027(0,019)			

за повышенного содержания некоторых токсичных химических элементов в 2000 году по нашей рекомендации карьер был закрыт. В 2012 году нами было принято решение провести повторное обследование почв горы Малиновая. Для обследования были взяты образцы почв сформированных на склонах, различной экспозиции. Образцы отбирали и со дна карьера, где на обломках известняка начала формироваться первичная примитивная почва. Также были взяты образцы с той точки, где в 2000 году был заложен почвенный разрез на подножии южного склона. Поскольку карьер не был рекультивирован, оставался открытым всем ветрам и атмосферным осадкам, нам было интересно исследовать, в каком же направлении меняется геохимический состав прилегающих почв и каков результат выветривания коренных известковых пород на вершине горы внутри карьера.

Исследования показали, что через 12 лет в почвах горы Малиновая произошли незначительные изменения по содержанию кадмия. Если в горизонте А1 этой почвы в 2000 г. содержался 0,83 мг/кг кадмия, то в прилегающих почвах сформированных в различных склонах горы в этом же горизонте А1 в 2012 г. обнаружено в среднем 0,88 мг/кг кадмия, т. е. произошла незначительная аккумуляция кадмия (в среднем превышение составляет 6,4%). Значимые изменения обнаружены на вершине, где происходит первичный почвообразовательный процесс в известняках. Если в горизонте С в 2000 году содержался 0,29 мг/кг кадмия, то внутри карьера в СД ее концентрация возросла до 1,47 мг/кг (превышение в 4 раза) (табл. 19).

По нашим расчетам запасы кадмия в профиле Р4-2000 составили 4 кг/га, со свободной энергией Гиббса ($\Delta_f G^\circ$) в количестве 2,73 МДж/моль на га. В целом, нами установлено, что часть этой энергии, аккумулированной в течение многих столетий в кадмии, за 12 лет вовлекается в биогеохимический круговорот со скоростью 0,019 МДж/моль год⁻¹. В пересчете на 1 га за 1 год вовлекается в биогеохимический круговорот 0,02 кг кадмия со свободной энергией Гиббса 0,015 МДж. Если на северном склоне вовлекается в круговорот 6%, западном склоне 6%, то на южном склоне 7,4% от общих запасов кадмия и свободной энергии Гиббса. Следовательно, на южном склоне биогеохимические процессы протекают с более высокой скоростью, чем на северном склоне.

Кадмия больше всего накапливается в луговых экосистемах, под сосновыми лесами запасы кадмия минимальны и вместе с этим минимальны численные показатели термодинамических констант (табл. 20).

Из таблицы 21 видно, что цинк и мышьяк характеризуются наибольшими показателями как по потенциальным запасам этих элементов по профилю почв, так и по кинетическим (активность элемента) и термодинамическим константам. Для свинца характерны средние показатели и самые низкие для кадмия. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наибольший вклад в почвообразовательный процесс из изученных элементов в условиях Юрюзано-Айской предгорной равнины вносят цинк, мышьяк, в меньшей степени свинец и в незначительной мере кадмий. С точки зрения

Таблица 20 – Потенциальные запасы и термодинамические характеристики кадмия на почвах Юрюзано-Айской предгорной равнины

Запасы	$\Delta_f H^0$	$\Delta_f G^0$	S°	C° _p
кг/га	МДж/моль/га			
Р 4-2000, серая лесная почва, луг				
4,0	3,95	2,73	5,92	0,73
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг				
2,4	2,39	1,65	3,59	0,45
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
2,1	2,09	1,44	3,14	0,39
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна				
1,9	1,84	1,27	2,77	0,34
$\Delta_f H^0$ – стандартная энтальпия образования; $\Delta_f G^0$ – стандартная энергия Гиббса; S° – стандартная энтропия; C° _p – молярная теплоемкость при постоянном давлении.				

Таблица 21 – Кинетические характеристики Zn, As, Pb, Cd в почвах различных экосистем

Элемент	Потенциальные запасы, кг/га	$\Delta_f G^0$, МДж	m, кг/га год ⁻¹	Q, МДж год ⁻¹	Q/m	БГХП, мг/кг за 13 лет	БГХА, мг/кг год ⁻¹
Р 4-2000, серая лесная почва, луг							
Zn	1346	1950	56	81	1,45	123	10,3
As	620	2160	39	135	3,46	15,5	1,28
Pb	93	70	2,7	2,11	0,78	5,1	0,43
Cd	4,0	2,7	0,02	0,015	0,75	0,34	0,027
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна							
Zn	1318	1900	61	90	1,48	127	10
As	294	1020	18	62	3,44	56	4,3
Pb	70	60	0,64	0,5	0,78	1,07	0,08
Cd	1,9	1,3	0,03	0,02	0,67	0,04	0,003
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна							
Zn	874	1300	40	59	1,48	89	6,8
As	252	880	16,5	67	4,06	51	3,9
Pb	86	70	1,25	0,97	0,78	2,3	0,18
Cd	2,1	1,4	0,09	0,06	0,67	0,16	0,012
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг							
As	572	1990	12,3	43	3,50	34	2,7
Zn	350	510	3,5	5,1	1,46	24	1,8
Pb	132	10	3,2	2,5	0,78	4,3	0,3
Cd	2,4	1,7	0,076	0,052	0,68	0,23	0,018

Таблица 22 – Термодинамические характеристики Zn, As, Pb, Cd в почвах различных экосистем

Элемент	Потенциальные запасы, кг/га	$\Delta_f H^0$	$\Delta_f G^0$	So	Сор
		МДж/моль/га			
Р 15-99, серая лесная почва, старопахотная, сеяный луг					
Zn	350	18000	500	0,86	0,1
As	572	2310	1990	1,3	0,16
Pb	132	120	110	0,11	0,013
Cd	2,4	2,39	1,65	3,59	0,45
Р 14-99, светло-серая лесная почва, лес сосна					
Zn	874	45000	1300	2,2	0,3
As	294	1190	1020	0,7	0,08
Pb	86	81	70	0,07	0,009
Cd	2,1	2,09	1,44	3,14	0,39
Р 4-2000, серая лесная почва, луг					
Zn	1346	69000	1951	3,3	0,43
As	620	2500	2160	1,4	0,17
Pb	93	87	70	0,08	0,009
Cd	4,0	3,95	2,73	5,92	0,73
Р 11-99, светло-серая лесная почва, лес сосна					
Zn	1318	68000	1900	3,2	0,4
As	252	1020	880	0,6	0,07
Pb	70	66	60	0,06	0,007
Cd	1,9	1,84	1,27	2,77	0,34

$\Delta_f H^0$ – стандартная энтальпия образования; $\Delta_f G^0$ – стандартная энергия Гиббса; So – стандартная энтропия; Сор – молярная теплоемкость при постоянном давлении.

экологии в этом регионе основными загрязнителями являются цинк и мышьяк. Отношение Q/m показывает, сколько энергии Гиббса содержится в 1 кг химического элемента в почвах. Например в 1 кг цинка в почве содержится 3,44 – 4,06 МДж энергии, в кг мышьяка –1,45 – 1,48 МДж, в кг свинца 0,78 МДж, в кг кадмия – 0,67-0,75 МДж. Таким образом, энергонасыщенность цинка в почве в 5,2 раза выше, чем кадмия, в 4,6 раза выше, чем свинца, в 2,5 раза выше, чем мышьяка (табл.21).

Из таблицы 22 видно, что серая лесная старопашотная почва по содержанию цинка, мышьяка, свинца и кадмия деградировала почти до уровня светло-серой лесной почвы, об этом свидетельствуют не только запасы этих элементов по профилю почв, но и термодинамические константы. Они по сравнению с почвами других экосистем самые низкие (P15-99).

Таким образом, антропогенное вмешательство привело к снижению общих запасов цинка, мышьяка, свинца и кадмия, энтропии и в конечном итоге к деградации почвы, о чем свидетельствуют количественные показатели массы и энергии накопленной в этих элементах. Ретроспективный анализ за 12- 13 лет также показал значительное снижение содержания изученных элементов за этот период, они включились в общий биогеохимический круговорот веществ. Наибольший вклад в почвообразовательный процесс из изученных элементов в условиях Южного Урала вносят цинк, мышьяк, в меньшей степени свинец и в незначительной мере кадмий. С точки зрения экологии в этом регионе основными загрязнителями являются цинк и мышьяк. Отношение Q/m показывает, сколько энергии Гиббса содержится в 1 кг химического элемента в почвах.

5.09.2016

Список литературы:

1. Асылбаев, И.Г. Особенности накопления редкоземельных элементов в почвах и породах Южного Урала / И.Г. Асылбаев, И.К. Хабилов // *Агрохимия*. – 2015. – №7. – С. 58–67
2. Вернадский, В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – М.: Наука 1967. – 374 с.
3. Вернадский, В.И. Живое вещество / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1978. – 355 с.
4. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – Москва, 2006. – 15 с.
5. Проблемы экологии: принципы их решения на примере Южного Урала / Под ред. Н.В. Старовой. – М.: Наука, 2003. – 287 с.
6. Гистерезис физико-химических свойств почв / Савич В.И. и др. // *Известия ТСХА*. – 1977. – Вып. 1. – С. 87–98.
7. Хабилов, И.К. Устойчивость почвенных процессов / И.К. Хабилов, И.М. Габбасова, Ф.Х. Хазиев. – Уфа: БГАУ, 2001. – 327 с.
8. Хабилов, И.К. Агроэкологическая оценка плодородия черноземов выщелоченных Предуральской степной зоны Республики Башкортостан и оптимизация азотного питания гречихи и ячменя. Учебное пособие / И.К. Хабилов, Р.А. Якупова, И.Ж. Якупов. – МСХ РФ, Башкирский гос. аграрный ун-т. – Уфа, 2010. – 83 с.
9. Воспроизводство плодородия серых лесных почв / Хазиев, Ф.Х. и др. – АН РБ, Институт биологии УНЦ РАН. – Уфа: Гилем, 1999. – 158 с.
10. Хитров, Н.Б. Подход к ретроспективной оценке изменения состояния почв во времени / Н.Б. Хитров // *Почвоведение*. – 2008. – №8. – С. 899–912.
11. Heavy Metals (Cd, Ni and Pb) Contamination of Soils, Plants and Waters in Madina Town of Faisalabad Metropolitan and Preparation of Gis Based Maps / Ghulam Farid et al. // *Advances in Crop Science and Technology*. – 2015. – Volume 4. – Issue 1.
12. Zinc bioavailability in maize grains in response of phosphorous-zinc interaction / Muhammad Imran // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* – 2015.
13. Zinc-cadmium interactions: Impact on wheat physiology and mineral acquisition / Nadeem Sarwar et al. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2015. – 122. – P. 528–536.
14. Cadmium contamination of soils crops by long use of raw effluent, ground and canal waters in agricultural lands / A. Hussain et al. // *International Journal Agricultural Biology*. – 2010. – Vol. 12. – №6. – P. 851–856.

Сведения об авторах:

Хабилов Ильгиз Кавиевич, профессор кафедры почвоведения, ботаники и физиологии растений Башкирского государственного аграрного университета, доктор биологических наук, профессор 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел. (347) 2785611, e-mail: ilkhabirov@mail.ru

Асылбаев Ильгиз Галлямович, доцент кафедры почвоведения, ботаники и физиологии растений Башкирского государственного аграрного университета, доктор биологических наук, доцент 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел. (347) 2785611, e-mail: ilgiz010@yandex.ru

Лукманов Наиль Альбертович, директор Белебеевского колледжа механизации и электрификации, аспирант кафедры почвоведения, ботаники и физиологии растений Башкирского государственного аграрного университета г.Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел. (347) 2785611, e-mail: bel_sel_tex@mail.ru