

В.Л. Федотов

Биогеохимия кальция в ландшафте, сформированном на моренных суглинках Белорусского Поозерья

Кальций стоит в ряду химических элементов, играющих важную биологическую роль, – он необходим человеку, животным и растительным организмам.

В природе встречаются ландшафты, компоненты которых (почвы, воды, растения) могут характеризоваться как высоким, так и низким содержанием кальция, а это небезразлично для роста и развития растений, продуктивности животных и здоровья человека. Поэтому углубленное изучение биогеохимии кальция представляет значительный научный и прикладной интерес.

Особенно важно биогеохимическое изучение кальция в условиях ландшафтов лесной зоны. Господствующие здесь условия промывного водного режима, кислой реакции среды предрасполагают активную миграцию кальция в ландшафте, делают его дефицитным. Велико влияние кальция на геохимическую ситуацию в ландшафтах – его углекислые соли и основания воздействуют на реакцию почвенного раствора на подвижность многих химических элементов в почве, на направленность почвообразовательных процессов.

Поведение кальция в природе во многом зависит от состава и свойств исходной горной породы, на которой сформирован ландшафт, его почвы.

Исследования имели целью – изучить закономерности содержания, миграции и аккумуляции кальция в компонентах (породы, почвы, растения, воды) ландшафта, сформированного на моренносуглинистых отложениях Белорусского Поозерья.

Моренные суглинки последнего (валдайского) оледенения распространены в основном в северной и западной частях Беларуси. Площадь почв, развивающихся на них, составляет 1,5 млн. га.

Вопросы биогеохимии кальция в условиях моренносуглинистого литогенеза Белорусского Поозерья изучены еще слабо, особенно, если говорить об углубленном комплексном подходе с изучением различных форм содержания кальция, с использованием приемов геохимического сопряжения. Отдельные отрывочные сведения по содержанию кальция в природных объектах приведены в [1–4].

Для исследования был выбран наиболее крупный и типичный для севера республики массив моренных суглинков в Сенненском районе, вблизи озера Сарро, д. Павловичи. В указанном месте были проложены геоморфологические профили, охватывающие элювиальные (водораздел), транзитные (склоны), супераквальные (понижения) и аквальные (водные) элементарные [5] ландшафты, сопряжение которых и составляло геохимический ландшафт на моренносуглинистых отложениях. В каждом элементарном ландшафте для химических анализов были взяты пробы фитомассы, почв, природных вод, порода.

Взятие проб перечисленных объектов исследований, подготовка их к химическим анализам, выполнение самих анализов проводились с учетом общеприня-

тых методических требований [5, 6] Для определения кальция в различных вытяжках (NH_4Cl , H_2O) применяли объемный трилонометрический метод.

Ниже приведены результаты собственных исследований биогеохимии кальция в объектах изученного ландшафта.

Моренные суглинки Моренносуглинистые отложения севера республики обязаны своим происхождением последнему (валдайскому) оледенению. Будучи сравнительно молодыми геологическими образованиями моренные суглинки Поозерья по сравнению с аналогичными отложениями остальной части территории Беларуси менее промыты, менее выщелочены, с меньшей проявленностью процессов гипергенеза, т.е. логично предположить и их геохимическое своеобразие.

Проведенное нами изучение гранулометрического состава показало, что моренные суглинки представляют собой закономерное сочетание обломочных частиц различного размера: от тонкодисперсных частиц до крупных валунов. На глубине около 2-х метров моренные суглинки по механическому составу являются среднесуглинистыми образованиями, содержащими 31,2–33,7% частиц $< 0,01$ мм, в т.ч. 13,8–15,1% ила ($< 0,001$ мм). Среди других механических фракций повышенными количествами выделяется фракция мелкого песка – 30,0–36,2%; меньше – крупной пыли – 13,3–18,4%. Вариации состава связаны с различными фаціальными особенностями формирования морен, а также с различной степенью их гипергенного преобразования.

В пределах исследованного нами региона моренные суглинки (на глубине ~ 2 м) карбонатны, обильно вскипают от соляной кислоты; pH солевой вытяжки 7,5–7,6.

Данные наших анализов показали, что валовое содержание кальция (Ca^{++}) в моренных суглинках Белорусского Поозерья изменяется от 7,50 до 10,65% (табл. 1). Главными носителями этого щелочноземельного элемента являются карбонаты. В небольших количествах кальций фиксируется в роговых обманках, эпидотах, пироксенах и в других минералах.

Содержание CaO в моренных отложениях различных районов Беларуси колеблется по [3] от 0,21 до 19,27%, т.е. наши данные входят в указанный предел колебаний кальция в породах.

Наряду с общим содержанием кальция, мы определяли также обменный (вытяжка I н NH_4Cl) и воднорастворимый кальций; эти показатели дают информацию о формах содержания кальция в породах, о его геохимической подвижности.

Обменный кальций – это кальций поглощающего комплекса глинистых минералов. Его, по нашим данным, содержится в моренных суглинках 0,62–0,72% (или это составляет 7–11% от общего содержания кальция в породе).

Очень мало экстрагируется кальция из моренных суглинков дистиллированной водой – от 0,005 до 1,015%; по-видимому, эта форма кальция обязана в основном бикарбонату и хлориду кальция. Нами отмечены высокие количества воднорастворимого кальция в суглинках суперэквальных ландшафтов

Таким образом, соотношение валового, обменного и воднорастворимого кальция в исследованных моренных суглинках Белорусского Поозерья выглядит в среднем как соотношение 100 : 10 : 0,5.

Природные воды. Исследовалась вода озера Сарро, а также вода со дна почвенных разрезов дерновых глееватых и глеевых, а также торфяно-глеевых почв и колодцев (д. Павловичи).

Как показали наши исследования, природные воды в условиях моренно-суглинистых отложений имеют слабощелочную реакцию (pH 7,1–8,0); сухой остаток солей составляет в воде почвенных разрезов 408 – 718 мг/л; в озере Сарро – 185 мг/л. Отношение прокаленного остатка солей к сухому (51–67%)

говорит о значительном содержании в ней органики, по-видимому, в форме гуминовых кислот.

Содержание Ca^{++} в воде оказалось различным: в озере Сарро 37 мг/л, в колодцах – 102–132 мг/л, со дна почвенных разрезов – 73–92 мг/л. Данные свидетельствуют о высоких количествах этого катиона в природных водах, дренирующих моренные суглинки Белорусского Поозерья. Рассчитанные нами коэффициенты водной миграции (они в зависимости от источника воды изменялись от 2 до 4) свидетельствуют о сильной миграции кальция в исследуемом ландшафте [7].

Почвы. В биогеохимической цепи миграции и аккумуляции химических элементов важным звеном являются почвы.

Геоморфологические профили, проложенные нами, охватывали все типы почв, которые закономерно сменяли друг друга, начиная с водораздела и кончая понижением. На плакорных участках были дерново-подзолистые, на склонах – дерново-подзолистые смытые почвы; супераквальный элементарный ландшафт представлен дерновыми почвами различной степени заболоченности, а также торфяно-болотными почвами.

Содержание гумуса в перегнойном горизонте дерново-подзолистых почв элювиального ландшафта составляет 1,36–2,18%, с резким падением показателей в нижерасположенных генетических горизонтах. Реакция этих почв чаще среднекислая, хотя показатели pH колеблются в широком диапазоне – от 4,1 до 6,2. Емкость обменного поглощения катионов описываемых почв чаще 7–9 мг-экв./100 г, а степень насыщенности основаниями (для A_1) меньше 74%.

Ниже по геоморфологическому профилю расположены почвы транзитного ландшафта. Это – почвы склонов со смытым пахотным горизонтом; распаивается иллювиальный горизонт, поэтому пахотный слой содержит мало гумуса и имеет серовато-бурый цвет. Профиль этих почв маломощный – практически с метровой глубины уже идет карбонатный моренный суглинок – материнская порода.

Почвы исследованного нами элементарного супераквального ландшафта – это дерновые заболоченные и торфяно-болотные.

Дерновые заболоченные почвы отличаются повышенной гумусированностью перегнойного горизонта (5,17%), слабокислой реакцией (pH 5,8), значительной емкостью обменного поглощения катионов (до 30,2 мг-экв./100 г) и высокой степенью насыщенности их основаниями (> 85%).

Как составляющую супераквального ландшафта мы изучали и торфяно-болотные почвы. Слой торфа в указанных почвах небольшой, как правило, меньше метра, среднеразложившийся, чаще гипново-осоковый, слабокислый, низинный.

Теперь о содержании кальция в почвах. Как показали результаты наших анализов, валовые количества этого щелочно-земельного элемента в различных генетических горизонтах (A_1 , $A_{\text{пах}}$, A_2 , В, Т) изменяются от 0,45 до 4,0% (табл.1). Перегнойные горизонты почв элювиального ландшафта содержат кальция 0,60–0,81%; в подзолистых горизонтах отмечается уменьшение показателей, а в иллювиальных – их увеличение до 1,0–1,65%, т.е. содержание кальция довольно четко дифференцировано по вертикальному почвенному профилю как результат проявления биогеохимических процессов, вызывающих миграцию кальция из верхней части почвы и накопление его в иллювиальных горизонтах.

Нами выявлено, что почвы супераквального ландшафта в своих перегнойных горизонтах накапливают примерно в 2–3 раза больше кальция по сравнению с почвами водоразделов. Это связано с расположением гидроморфных почв в де-

прессиях рельефа и проявлением процессов геохимического сопряжения состава почв, с аккумулирующей ролью естественной растительности

Отношение содержания кальция в перегнойных горизонтах (элювиальных и супераквальных ландшафтов) к содержанию его в материнской породе составляет 0,1–0,3, то есть накопление кальция в верхней части почв за счет биогенного фактора значительно уступает потери этого элемента за счет выщелачивания.

Содержание обменнопоглощенного кальция в почвах колеблется в довольно широких пределах – от 0,015 до 2,48% и достаточно четко дифференцировано по элементарным ландшафтам и генетическим горизонтам (табл. 1, 2).

Таблица 1

Содержание кальция в почвах различных элементарных ландшафтов

№ почвенно-го разреза	Горизонт	Глубина взятия образца см	Кальций (Ca ⁺⁺), %		
			валовой	обменный	водно- растворимый
а) элювиальный					
I	A ₁	7–20	0,60	0,018	0,0006
"	A ₂	30–40	0,45	0,007	0,0002
"	B	70–80	1,65	0,145	0,0092
"	B _c	120–130	8,30	0,56	0,0100
"	C	190–200	11,25	0,57	0,0090
II	A _{глах}	5–15	0,81	0,043	0,0044
"	A ₂	23–28	0,60	0,031	0,0026
"	B	47–57	0,99	0,037	0,0078
"	B _c	90–100	10,95	0,56	0,0110
"	C	190–200	7,65	–	–
б) транзитный					
12	A _{глах}	3–13	0,81	0,063	0,0052
"	B	37–17	1,20	0,137	0,0066
"	C	160–170	9,00	0,619	0,0155
в) супераквальный					
5	A ₁	6–20	1,74	0,35	0,0076
"	A ₁ B	25–35	1,50	0,21	0,0042
"	B ₁	45–55	1,40	0,09	0,0038
"	B ₂ g	85–98	1,20	0,163	0,0050
"	C	180–190	7,50	0,71	0,0056
14	A ₁	8–18	2,25	0,43	0,0252
"	B ₁ g	40–50	1,35	0,21	0,0070
"	B ₂ g	90–100	10,35	0,75	0,0136
"	C	180–190	10,65	0,72	0,0148
7	T ₁	20–30	3,20	2,48	0,1860
"	T ₂	70–80	4,00	2,48	0,0560
"	G	100–110	9,00	0,22	0,0120

Минимум обменного кальция обнаруживают подзолистые горизонты: отмечается обогащение им иллювиальных горизонтов максимум же – в карбонатных суглинках.

Как видно из таблицы 2, почвы супераквального ландшафта в 4–5 раз больше содержат обменного кальция по сравнению с почвами элювиального и транзитного ландшафтов. Особенно много экстрагируется кальция (до 2,48%) в вытяжку хлористого аммония из торфов.

**Биометрическая характеристика содержания различных форм кальция
в перегнойных горизонтах почв, %**

Элементарный ландшафт	Число проб	Обменнопоглощенный Са			Воднорастворимый Са		
		M lim	± m	Y	M lim	± m	Y
Элювиальный	14	<u>0,053</u> 0,018–0,105	0,004	75	<u>0,002</u> 0,0006–0,0044	0,0002	80
Транзитный	10	<u>0,043</u> 0,015–0,073	0,003	82	<u>0,002</u> 0,0004–0,0052	0,0006	110
Супераквальный	19	<u>0,267</u> 0,025–1,195	0,08	160	<u>0,007</u> 0,0012–0,252	0,0009	140

Показатели содержания воднорастворимого кальция в почвах невелики и составляют в среднем для почв элювиального и транзитного ландшафтов 0,002%. А для почв супераквального ландшафта 0,007% (табл. 2). Отмечается широкое колебание показателей (от 0,0004 до 0,025%). Об этом свидетельствуют и сравнительно высокие коэффициенты варьирования – 80–140%.

Закономерности распределения воднорастворимого кальция по генетическим горизонтам почв в общем аналогичны дифференциации обменного кальция.

Соотношение содержания валового, обменного и воднорастворимого кальция в перегнойных горизонтах почв элювиального ландшафта выглядит как отношение 100:7:0,3; в супераквальных ландшафтах оно несколько уже – 100:12:0,4, что связано с активной миграцией наиболее подвижных форм кальция с водораздельных участков со склонов.

Растительность. Содержание кальция мы изучали в естественной (древесной и травянистой) растительности различных элементарных ландшафтов

В условиях элювиального ландшафта нами были взяты и исследованы пробы растительной массы листьев и ветвей ольхи черной, ассоциаций: злаковой, злаково-бобовой, злаково-разнотравной и др. Как видно из таблицы 3, среднее содержание кальция в пробах фитомассы этого ландшафта составляет 0,15% при колебании показателей от 0,37 до 1,04; обнаружено относительно высокое накопление кальция листьями ольхи – до 1,04%. Средняя зольность растений водоразделительных участков невысокая – 5,2%.

В условиях супераквальных участков исследовались как пробы различных ассоциаций (злаково-осоковая, осоково-вейниковая, разнотравно-осоковая и др.), так и отдельные виды (гипнум, осока острая, листья и ветви ивы пурпурной, ольхи серой).

Установлено, что растительность супераквального ландшафта по сравнению с растениями водоразделов отличается большей зольностью (7,0%) и более высоким содержанием кальция – в среднем 0,68%. Различия статистически достоверны. Среди растений супераквального ландшафта сравнительно повышенным накоплением кальция (> 1,0%) выделяется хвощ болотный, гипнум, погремок.

Следует указать на невысокий коэффициент варьирования показателей накопления кальция в растениях супераквального ландшафта – 41%.

Нами исследовались также растения аквального ландшафта на примере макрофитов озера Сарро. Были взяты пробы фитомассы шелковника жестко-

лиственного, элодеи канадской, рдеста пронзеннолистного, камыша озерного, тростника обыкновенного, харовых водорослей.

Прежде всего следует отметить повышенную зольность макрофитов – в среднем 16,1% (табл. 3).

Таблица 3

Содержание кальция (Ca²⁺) в растениях, % на абсолютно сухое вещество

Элементарный ландшафт	Средняя зольность, %	К-во проб	lim	M	± m	Y, %
Элювиальный	5,2	9	0,37–1,04	0,51	0,02	52
Супераквальный	7,0	23	0,26–1,57	0,68	0,06	41
Аквальный	16,1	8	0,15–7,95	3,2	0,18	135

Различные виды водных растений существенно отличаются по содержанию кальция – мало этого элемента накапливается в тростнике обыкновенном (0,16%); относительно богаты кальцием рдест пронзеннолистный, элодея канадская, но больше всего кальция в харовых водорослях – 9,5%.

Таким образом, растения различных элементарных ландшафтов в условиях моренносуглинистых отложений севера Беларуси существенно отличаются по накоплению кальция. Это следует рассматривать, во-первых, как результат действия экологического фактора. С другой стороны, различия химического состава растений отдельного элементарного ландшафта связаны в большей мере с видовой принадлежностью растения.

Высчитанные коэффициенты биологического поглощения по [7] изменяются от 5 до 15, то есть в условиях геохимического ландшафта, формирующегося на моренносуглинистых отложениях Белорусского Поозерья, кальций – сильно накапливаемый элемент, а значит и велика роль растительности в биогеохимии кальция: макрофиты по существу являются своеобразным барьером на пути миграции кальция в ландшафте.

Таким образом, выполненные исследования по определению содержания кальция в природных объектах ландшафта, сформированного на моренносуглинистых отложениях севера Беларуси, выявили его биогеохимическое своеобразие. Почвообразующая порода являет собой средние пылевато-песчанистые суглинки, карбонатные, с высоким (до 10,65%) содержанием кальция; на долю подвижных форм кальция приходится около 10% от его валовых количеств.

Обогащенность природных вод, дренирующих почвы и моренные суглинки, кальцием следует рассматривать как результат высокой подвижности его в исследованном ландшафте: этот фактор может оказывать блокирующее влияние на поступление в растения таких химических элементов, с которыми кальций антагонистичен – калий, марганец, железо, бор. А использование жестких вод человеком может вызвать развитие мочекаменной болезни.

Содержание кальция (валового и подвижного) в почвах довольно четко дифференцировано как по генетическим горизонтам, так и по элементарным ландшафтам, отражая проявление элювиально-иллювиальных почвообразовательных процессов и процессов геохимического сопряжения состава объектов. Накопление кальция в гумусовых горизонтах почв за счет биогенного фактора значительно уступает потери этого элемента за счет выщелачивания.

Отдельные участки почв элювиального элементарного ландшафта содержат обменного кальция ниже критического порога обеспеченности кальцием (~ 20–30 мг/100 г), т.е. явно нуждаются в химической мелиорации – известковании.

В целом растительность исследованного ландшафта характеризуется повышенным накоплением кальция особенно растения супераквального и аквального элементарного ландшафта, в условиях гомогенности среды произрастания решающее влияние на химический состав оказывает видовая принадлежность растения. Растения депрессионных форм рельефа могут квалифицироваться в качестве своеобразного барьера на пути миграции кальция в ландшафте.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беус А.А. и др.** Геохимия окружающей среды. – М., 1976. – С. 248.
2. **Ильин В.Б.** Элементный химический состав растений. – М., 1985. – С. 129.
3. **Лукашов К.И.** Геохимические провинции покровных отложений БССР. – Мн., 1969. – С. 430.
4. **Почвы Белорусской ССР** / Под ред. **Т.Н. Кулаковской, П.П. Рогового, Н.И. Смеяна.** – Мн., 1974. – С. 312.
5. **Глазовская М.А.** Геохимические основы типологии исследований природных ландшафтов. – М., 1964. – С. 230.
6. **Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв. – М., 1970. – С. 487.
7. **Перельман А.И.** Геохимия ландшафтов. – М., 1975. – С. 341.

S U M M A R Y

This article deals with the quantitative features of calcium content and its migration across the landscape formed in the ice loams.