



УДК 550.47(476)

Сравнительная характеристика биогеохимии магния в ландшафтах Белорусского Поозерья

В.Л. Федотов

Изучены закономерности миграции и аккумуляции магния в ландшафте на моренно-суглинистых отложениях Белорусского Поозерья. Объектами исследований были породы (карбонатные моренные суглинки), почвы различной типовой принадлежности, природные воды и фитоценозы. Магний – активный мигрант в исследованном ландшафте. Его накопление в исследованных объектах предопределяется содержанием карбонатов в них, степенью гумусированности почв, характером растительности.

Магний принадлежит к числу биологически важных химических элементов. Входит в состав растительных и животных организмов – накапливается в них в тысячных – сотых долях процента. Магний – важная составная часть хлорофилла и фитина, активизирует многие ферменты. Недостаток его в окружающей среде и кормах негативно сказывается на жизнедеятельности биоты. У растений развивается хлороз, животные заболевают тетанией.

Кальций и магний как щелочно-земельные металлы в значительной мере определяют величину суммы поглощенных оснований дерново-подзолистых почв, тем самым активно влияют на физические, физико-химические и биологические свойства почвы [2]. Высокие их концентрации уменьшают поступление в растения радиоактивного стронция из почвы.

В природе встречаются ландшафты, компоненты которых (почвы, воды, растения, породы) могут характеризоваться как высоким, так и низким содержанием магния, а это небезразлично для произрастающих растений, продуктивности животных и здоровья человека. Поэтому вопросы биогеохимии этого щелочно-земельного металла представляют значительный научный и прикладной интерес, позволяют глубже понять сущность природных процессов в конкретном ландшафте, более обоснованно решать вопросы эффективного природопользования.

Объектами биогеохимического изучения магния были два ландшафта. Один из них сформировался на моренно-суглинистых отложениях – Сенненский, Бешенковичский районы. Второй – на озерно-ледниковых песках – Полоцкий район. Массивы моренных суглинков в Белорусском Поозерье имеют значительное распространение – площадь почв на моренных суглинках составляет около 1,5 млн га, а площадь озерно-ледниковых песков составляет примерно 16 тыс. га.

В пределах каждого ландшафта были взяты для анализа образцы почв со всех генетических горизонтов. При этом исследовались автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные почвы. Вблизи почвенных разрезов были взяты пробы фитомассы. Кроме того объектами исследований были и макрофиты местных озер (Сарро, Измок). Во-первых для анализа бралась как из почвенных разрезов и местных колодцев, так и озерная.

В пределах каждого ландшафта были проложены геоморфологические профили, охватывающие элювиальные (водораздел), транзитные (склон), супераквальные (понижения) и аквальные (водные) элементарные [по З] ландшафты, сопряжение которых и составляло геохимический ландшафт конкретной территории.

Таким образом обеспечивался сопряженный комплексный подход к изучению биогеохимии магния в конкретных ландшафтах, что позволило более полно изучить закономерности накопления, миграции и расселения магния в изученных ландшафтах. А это важно, так как имеющиеся отдельные отрывочные сведения по содержанию магния в отдельных компонентах ландшафта [1, 4, 5, 6, 7 и др.] недостаточны для понимания целостной картины закономерностей поведения элемента в конкретном ландшафте.

Содержание магния в исследуемых объектах определялось объемным трилонометрическим методом. Для определения содержания подвижных форм магния использовали различные вытяжки – NH_4Cl , H_2O . Результаты собственных исследований приведены ниже.

Почвообразующие породы. *Моренно-суглинистые отложения* Белорусского Поозерья являются сравнительно молодыми геологическими образованиями – своим происхождением обязаны последнему (валдайскому) оледенению, т.е. по сравнению с аналогичными отложениями остальной части республики для них характерна меньшая проявленность процессов гипергенеза. Это позволяет говорить о их геохимическом своеобразии.

В пределах исследованного региона моренные суглинки (на глубине ~ 2 м) карбонатные – рН в КСl – вытяжке 7,5 – 7,6. По гранулометрическому составу представляют собой средние суглинки, содержащие 31,2–33,7% частиц < 0,01 мм, в том числе 13,8–15,1% ила (< 0,001 мм); в них значительна фракция мелкого песка – 30,0–36,2%. Вариации механического состава связаны с различными фациальными особенностями формирования моренных отложений, а также с различной степенью их гипергенного преобразования.

Как показали наши исследования, валовое содержание магния (Mg^{2+}) в моренных суглинках Белорусского Поозерья изменяется от 1,60 до 1,82%; более высокие показатели были в породе депрессионных форм рельефа (табл. 1). Главнейшими носителями этого элемента в моренных суглинках являются карбонаты, доломит, каинит, полевой шпат и др.

Наряду с общим содержанием магния, мы определяли также обменный (вытяжка 1н NH_4Cl) и воднорастворимый магний; эти показатели несут информацию о формах нахождения магния в породе, о его геохимической подвижности.

По нашим данным, обменного магния содержится в моренных суглинках 0,02–0,05%, что составляет около 15–20% от его общего содержания. Совсем мало в них воднорастворимого магния ~ 0,002%.

Озерно-ледниковые пески широко распространены в Белорусском Поозерье. Встречаются в Полоцком, Верхнедвинском, Россонском и Шарковщинском районах, охватывая площадь около 16 тыс. га. Нами исследовался наиболее крупный массив этих отложений в Полоцком районе, в окрестностях деревни Малое Ситно.

Озерно-ледниковые пески отличаются тонкой сортированностью исходного материала, горизонтальной слоистостью. Минералогический состав их представлен в основном кварцем; в незначительных количествах встречаются также полевые шпаты, слюды, роговые обломки.

Изученный нами гранулометрический состав показал, что озерно-ледниковые пески отличает высокое содержание в них фракции мелкого песка (91%) и низкие количества физической глины (< 4%), мало пылеватых частиц.

Результаты анализов показали, что валовое содержание магния (Mg^{2+}) в исследованных нами песках (на глубине 190–220 см) составляет 0,24–0,25%. Как видно из приведенных данных, разница в показателях содержания магния в моренных суглинках и песках весьма существенна.

Кроме того, данные наших исследований показали, что озерно-ледниковые пески значительно богаче по содержанию магния флювиогляциальных и древнеаллювиальных песков [5].

Содержание подвижных форм магния в песках характеризуется очень низкими показателями обменного < 0,002%, воднорастворенного – следовые количества. Отношение подвижного магния к его общим количествам составляет около 2–5%, что говорит о низкой подвижности Mg в озерно-ледниковых песках.

Природные воды. В условиях ландшафта, формирующегося на моренно-суглинистых отложениях, исследовалась вода озера Сарро, а также вода со дна почвенных разрезов полу- и гидроморфных почв и колодцев (д. Павловичи Сенненского района). Результаты анализа показали, что природные воды исследованного ландшафта имеют слабощелочную реакцию (рН 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%) свидетельствует о значительном содержании в ней органики, по-видимому, в форме гумусовых веществ, принадлежат к среднеминерализованным водам гидрокарбонатно-кальциевого класса [7].

Содержание Mg в воде различно самый низкий показатель оказался в воде оз. Сарро – 14,5 мг/л, а самый высокий – в воде торфяно-глеевой почвы – 131,2 мг/л. Вода колодцев, вода, взятая со дна почвенных разрезов минеральных почв, содержала примерно одинаковые количества магния – 26,0–37 мг/л. Рассчитанные нами коэффициенты водной миграции магния (отношение содержания элемента в сухом остатке воды к содержанию его в почвообразующей породе) изменялись в зависимости от источника воды от 3 до 5, что свидетельствуют о повышенной степени миграции магния в исследуемом ландшафте.

Бедность химического состава озерно-ледниковых песков обуславливает и слабую минерализованность природных вод, дренирующих эти отложения – сухой остаток солей в них (озеро Измок, гидроморфные почвы) составляет 160–220 мг/л, а содержание магния в них 8–11 мг/л; коэффициенты водной миграции в ландшафте на песках оказались более высокими ~ 15.

Почвы являются важнейшим звеном в цепи миграции и аккумуляции химических элементов.

Среднее содержание MgO в почвах северной провинции республики составляет 0,89% [7].

В условиях ландшафта, формирующегося на моренно-суглинистых отложениях, изучались дерново-подзолистые почвы водораздельных участков, а также полугидроморфные и гидроморфные почвы понижений – дерновые почвы различной степени заболоченности и торфяно-глеевые почвы.

Содержание гумуса в перегнойных горизонтах дерново-подзолистых почв 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.

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

Исследованные торфяно-болотные почвы развиваются на низинном гипново-осоковом среднеразложившемся торфе мощностью меньше 1 м.

Таким образом, состав, физические, физико-химические и др. свойства почвенной среды исследованного ландшафта существенно отличаются, что, естественно, не могло не отразиться и на биогеохимии магния.

Как показали результаты анализа, валовое содержание магния в различных генетических горизонтах (A_1 , $A_{\text{пах}}$, A_2 , B) исследованных почв изменяется от 0,28 до 0,84% (табл. 1, 2). Гумусовые горизонты почв водоразделов накапливают этого щелочно-земельного элемента 0,30–0,56%; в подзолистых горизонтах (A_2) отмечается уменьшение показателей почти в два раза, а в иллювиальных – увеличение до 0,60–0,84%, т.е. содержание магния довольно четко дифференцировано по вертикальному профилю как результат проявления элювиально-иллювиального процесса.

Нами выявлено, что дерновые глееватые и глеевые почвы (супераквальный элементарный ландшафт) в своих гумусовых горизонтах (A_1) накапливают примерно в 1,5 раза больше магния по сравнению с почвами водоразделов. Это связано с расположением их в депрессиях рельефа и проявлением процессов биогеохимического сопряжения состава почв, а также с аккумулярующей ролью естественной растительности.

В исследованных торфяно-глеевых почвах аккумулируется 0,2–0,4% магния в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Отношение содержания магния в гумусовых горизонтах (A_1 , $A_{\text{пах}}$) к содержанию его в материнской породе меньше единицы (0,1–0,3), то есть накопление магния в верхней части почв за счет биогенного фактора значительно уступает потере этого элемента за счет выщелачивания.

Теперь о подвижных формах магния. Содержание обменнопоглощенного магния в исследованных почвах колеблется в пределах от 0,01 до 0,03%, воднорастворенного – 0,001–0,003%. Дифференциация показателей подвижных форм в горизонтах минеральных почв отражает проявление элювиально-иллювиального процесса – обеднение подзолистых горизонтов и аккумуляция в горизонтах «B».

Как видно из приведенных цифр, содержание подвижных форм магния составляет около 5% от валовых количеств.

Почвы, развивающиеся на озерно-ледниковых песках, относятся к дерново-подзолиному типу. Бедность минералогического состава породы (явно преобладает кварц), скудная растительность (сосновые боры с произрастанием в напочвенном покрове вереска, мха Шребера, лишайников) обуславливает формирование почв с растянутыми, морфологически невыраженными горизонтами. Содержание гумуса в переходных горизонтах низкое – около 1%, рН солевой вытяжки 3,1–4,2. Вниз по почвенному профилю показатели рН возрастают до 5,2–5,7.

В этих природных условиях биогеохимия магния имеет свои особенности.

Валовое содержание магния в генетических горизонтах различных почв слабо отличается и колеблется от 0,20 до 0,33%. Однако несколько повышенные показатели магния в гумусовых горизонтах отмечаются в почвах пониженных участков (супераквальный элементарный ландшафт), что следует связывать с особенностями биогеохимической ситуации – с привносом подвижных соединений с повышенных участков, с более высокой гумусированностью почв.

Исследовались также торфяно-болотные почвы в условиях песчаных отложений. По типовой принадлежности это были низинные и переходные болота. В последнем случае ботанический состав торфа был древесно-осоковый, характеризовался среднекислотной реакцией (рН 4,8), зольность составляла 7,3%. Низинные торфа по ботаническому составу – осоковые, древесно-осоковые, их рН – 5,0; зольность около 10%.

Результаты анализа показали обедненность исследованных торфов магнием – 0,06–0,12%.

Если говорить о содержании подвижных форм магния в почвах ландшафта на песчаных отложениях, то следует констатировать факт очень низкого экстрагирования этого элемента в солевую (NH_4Cl) и водную вытяжку – $n \cdot 10^{-4-5} \%$.

Растительность. Мощным геохимическим фактором, влияющим на перераспределение химических элементов в ландшафте, являются живые организмы, и в первую очередь растения. Их химический состав является отражением экологического состояния среды обитания и может выступать своеобразным индикатором геохимических процессов в ландшафте.

В условиях ландшафта, сформированного на моренно-суглинистых отложениях, изучалась растительность, пробы фитомассы которой брались из разных мест, отличающихся положением по отношению к рельефу. На водораздельных участках (элювиальный элементарный ландшафт) нами были взяты и исследованы пробы растительной массы листьев и ветвей ольхи черной, различных ассоциаций – злаковой, злако-бобовой, злако-разнотравной и др. Как видно из таблицы 3, среднее содержание магния в пробах фитомассы составляет 0,25% при колебании показателей от 0,11 до 0,40%, обнаружено относительно высокое накопление магния листьями ольхи – до 0,40%. Следует отметить относительно низкую зольность растений водораздельных участков – в среднем 5,2%.

В условиях супераквальных участков (заболоченные почвы понижений) исследовались как пробы фитомассы различных ассоциаций (злаково-осоковая, осоково-

вейниковая, разнотравно-осоковая и др.), так и отдельные виды (гипнум, осока острая, листья и ветви ивы узколистной, ольхи серой).

Установлено, что растительность этого элементарного ландшафта по сравнению с растениями водоразделов отличается большей зольностью (7,0%) и более высоким содержанием магния – в среднем 0,29%. Среди растений заболоченных почв сравнительно повышенным накоплением магния выделяется гипнум, хвощ иловатый, погребок большой.

Нами исследовались также растения аквального элементарного ландшафта на примере макрофитов озера Сарро. Были взяты пробы фитомассы лютика жестколистного, элодеи канадской, рдеста пронзеннолистного, камыша озерного, тростника обыкновенного, харовых водорослей. Прежде всего следует отметить повышенную зольность макрофитов – в среднем 16,1%. Различные виды водных растений существенно отличаются по содержанию магния – мало этого элемента накапливается в тростнике обыкновенном, харовых водорослях (0,04–0,06%); относительно обогащены магнием рдест пронзеннолистный, элодея канадская.

Таким образом, растения различных элементарных ландшафтов в условиях моренно-суглинистых отложений севера Беларуси существенно отличаются по накоплению магния. Это, с одной стороны, результат действия экологического фактора, с другой – различие химического состава растений отдельного элементарного ландшафта связаны в большей мере с видовой принадлежностью растения.

Вычисленные коэффициенты биологического поглощения [по 7] изменяются от 3 до 4, то есть в условиях ландшафта, сформированного на моренно-суглинистых отложениях Белорусского Поозерья, магний – сильно накапливаемый элемент, а значит и велика роль растительности в биогеохимии магния; макрофиты по существу являются своеобразным барьером на пути миграции его в ландшафте.

Растительность ландшафта, сформированного на озерно-ледниковых песках, разнообразная, и ее видовой состав тесно связан с характером рельефа.

В условиях водоразделов растительность довольно скудная и носит характер лишайниково-кустарникового соснового бора. Древостой монодоминантный и состоит из сосны обыкновенной с небольшой примесью березы повислой. В подлеске изредка встречается можжевельник обыкновенный. В нижнем ярусе доминирует олиготрофико-ксерофиты – мох Шребера, вереск обыкновенный, марьянник лесной, ястребинка волосистая и др.

Результаты анализа показали, что в фитомассе растений водоразделов и склонов среднее содержание магния составляет 0,13%, при колебании показателей от 0,04 до 0,44%. Самые низкие цифры (0,04–0,09%) были обнаружены в фитомассе мха Шребера, вереска, хвои сосны, лесной подстилки (A_0), лишайника (кладония). Повышенным содержанием магния выделяется марьянник лесной (0,44%), известного, кстати, как полупаразит.

Осоковая и осоково-разнотравная растительность болотных почв накапливает от 0,14 до 0,44% магния.

Можно уверенно констатировать факт повышенного содержания магния в водных растениях на примере озера Измок – средний показатель составляет 0,67% при

варьировании его от 0,30 до 1,30%. У макрофитов и большая зольность – в среднем 15,2%. Это примерно в два раза выше зольности растений водораздельных участков.

Для макрофитов в значительной мере выражена дифференцированность показателей по магнию в связи с систематическим положением растений. Сравнительно много накапливают магния рдест пронзеннолистный (1,30%), телорез (1,01%), роголистник (0,80%). О первом можно сказать, что это растение не только кальциефил, но и магниефил.

Вычисленные коэффициенты биологического поглощения магния (отношение содержания магния в золе растений к содержанию его в почве) показали, что они в условиях минеральных почв составили около 2, то есть в условиях ландшафта на озерно-ледниковых песках этот показатель сравнительно невысок, хотя и свидетельствует о принадлежности магния к группе элементов высокого биологического захвата.

Выводы

1. Изучена сравнительная характеристика биогеохимии магния в ландшафтах на моренно-суглинистых отложениях и озерно-ледниковых песках с использованием комплексного подхода и применением методов геохимического сопряжения.

2. Почвообразующие породы (на глубине ~ 2м) исследованных ландшафтов, являясь их материальной основой, существенно отличаются своим составом и свойствами. Так, моренные суглинки карбонатны, в них значительные количества физической глины (до 36%), разнообразен их минералогический состав. Все это определило и повышенное содержание в них магния, как валового (до 1,82%), так и подвижного (до 0,03%). Почти на порядок ниже эти показатели в озерно-ледниковых песках.

3. Природные воды, дренирующие моренно-суглинистые отложения, по количеству солей являются средне, или сильноминерализованными (сухой остаток воды 400–700 мг/л) и содержат в своем составе сравнительно высокие количества магния (14,5–131,2 мг/л); для природных вод ландшафта на песках эти показатели уступают в 2–3 раза. Коэффициенты водной миграции магния в исследованных ландшафтах (3–15) свидетельствуют о том, что в изученных природных условиях магний – активный водный мигрант.

4. Почвы, по существу являются зеркалом происходящих в ландшафте геохимических процессов. Гумусовые горизонты почв ландшафта на моренно-суглинистых отложениях накапливают магния в 1,5–2 раза больше почв ландшафта на песках. Распределение магния по вертикальному профилю почв идет по элювиально-иллювиальному типу, в песчаных почвах эта закономерность практически не выражена. Выявлена тенденция большего накопления магния в почвах супераквального элементарного ландшафта. Содержание подвижных форм магния в гумусовых горизонтах 5–10% от его валовых количеств. В песчаных почвах обнаруживаются, по существу, только «следовые» количества подвижного магния.

5. Растительность исследованных ландшафтов разнообразная как по видовому составу, так и по продуцируемой фитомассе – наиболее скудный растительный покров в условиях ландшафта на песках. Растения этого ландшафта (за исключением макрофи-

тов) примерно в два раза меньше накапливают магния по сравнению с растениями почв на моренных суглинках. Коэффициенты биологического накопления (>2) свидетельствуют о принадлежности магния к группе элементов высокого биологического захвата, особенно в условиях ландшафта на моренно-суглинистых отложениях. Макрофиты исследованных озер благодаря их повышенной способности концентрировать в своем составе магний по существу являются своеобразным биогеохимическим барьером на пути миграции этого элемента.

6. Культурные растения с урожаем выносят 12–38 кг магния с одного гектара, а запасы подвижных форм этого элемента в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых суглинистых почвах составляют около 480 кг/га, песчаных – около 24 кг/га, т.е. возделываемые сельскохозяйственные растения будут испытывать магниевое голодание в первую очередь на почвах легкого механического состава, а также на торфяно-болотных почвах. Для оптимизации пищевого режима растений поможет внесение на этих почвах доломитовой муки, каинита, калимагнезии и др.

Таблица 1

Содержание магния в почвах различных ландшафтов

№ почвенного разреза	Горизонт	Глубина взятия образца, см	Магний (Mg^{++}), %		
			валовой	обменный	воднорастворимый
I. На моренных суглинках					
а) элювиальный					
1	A ₁	7–20	0,44	0,012	0,001
		30–40	0,28	0,012	0,001
	A ₂	70–80	0,84	0,023	0,003
	B	120–130	0,98	0,028	0,002
	BC C	190–200	1,82	0,024	0,002
б) супераквальный					
5	A ₁	6–20	0,57	0,02	0,002
	A ₁ B	25–35	0,51	0,01	0,001
	B ₁	45–55	0,60	0,01	0,001
	B _{2q}	85–95	0,58	0,02	—
	C	180–190	1,60	0,02	0,002
II. На озерно-ледниковых песках					
а) элювиальный					
20	A ₁	3–9	0,27	$n \cdot 10^{-3}$ ↓	Следовые количества ↓
	A ₂ B ₁	20–30	0,25		
	B ₂	70–90	0,33		
	B ₃	140–150	0,26		
	C	180–190	0,24		
б) супераквальный					
21	A ₁	3–9	0,31		
	A ₂ B ₁	20–30	0,26		
	B ₂	60–70	0,32		
	B ₃	130–140	0,30		
	C	190–200	0,28		

Таблица 2

Биометрическая характеристика содержания магния в гумусовых горизонтах различных ландшафтов, %

Число проб	Валовой	Обменный	Воднорастворимый
	M±m lim	M±m lim	M±m lim
14	I. На моренных суглинках а) элювиальный		
	0,42±0,02 0,30–0,56	0,02±0,001 0,01–0,03	0,001±0,0002
19	б) супераквальный		
	0,60±0,03 0,42–0,71	0,03±0,001 0,02–0,04	0,002±0,0001
7	II. На озерно-ледниковых песках а) элювиальный		
	0,27±0,04 0,24–0,30	n·10 ⁻³	«следы»
6	б) супераквальный		
	0,31±0,03 0,29–0,33	n·10 ⁻³	—

Таблица 3

Биометрическая характеристика содержания магния в растениях различных ландшафтов $\frac{M \pm m}{\text{lim}}$, %

Число проб	На моренных суглинках			На песках		
	элювиальный	супераквальный	аквальный	элювиальный	супераквальный	аквальный
6–14	0,25±0,04 0,11–0,40	0,29±0,01 0,17–0,34	0,67±0,09 0,47–0,87	0,13±0,03 0,04–0,44	0,11±0,01 0,06–0,13	0,67±0,11 0,30–1,30

Л и т е р а т у р а

1. Беус, А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус. – М., 1976. – С. 248.
2. Возбуждая, А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбуждая. – М., 1968. – С. 420.
3. Глазовская, М.А. Геохимические основы типологии исследований природных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М.: МГУ, 1964. – С. 230.
4. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – М., 1985. – С. 129.
5. Лукашов, К.И. Геохимические провинции покровных отложений БССР / К.И. Лукашов. – Мн., 1969. – С. 430.
6. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т.Н. Кулаковской, П.П. Рогового, М.И. Смяна. – Мн., 1974. – С. 312.
7. Чертко, Н.К. Геохимия ландшафта / Н.К. Чертко. – Мн.: Изд. БГУ, 1981. – С. 255.
8. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье / О.Ф. Якушко. – Мн., 1971. – С. 410.

Поступило 27.12.2007