



УДК 550.461+551.311(476)

Н.А. Махнач

ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ВОДА – КАРБОНАТНЫЕ МИНЕРАЛЫ» В ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ТОЛЩЕ БЕЛАРУСИ (ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ХРОНОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Установлена связь между степенью насыщения грунтовых вод относительно кальцита и локализацией аутигенных четвертичных карбонатов. На основании интерпретации соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в кальците нескольких генетических разностей охарактеризован потенциал исследования минерала для индикации климатических изменений в прошлом и особенностей гидрологического режима озерных, почвенных и подземных вод; выделен ряд палеогеографических событий позднеледниковья – голоцена; выявлены признаки хроностратиграфической принадлежности карбонатных осадков; зарегистрированы тенденции антропогенной деградации озер. Очерчены возможности практического приложения результатов исследования.

Введение

Взаимодействие «вода – нестабильные к химическому выветриванию карбонатные породы и минералы» является важной составляющей в комплексе процессов гипергенеза и диагенеза и вызывает интерес специалистов в областях различных геологических дисциплин, который обусловлен несколькими причинами. Растворение – образование карбонатов – во многом обуславливает характеристики природных вод [5] и динамику почвенного плодородия [10], изменяет инженерно-геологические свойства ледниковых и водно-ледниковых отложений, а также их качество как строительного сырья. Работами, проведенными в разных местах планеты, доказана палеоклиматическая, палеогидрологическая, хроностратиграфическая и геоэкологическая информативность морфологических особенностей, химического и изотопного состава карбонатных озерных отложений [11; 12], педогенных карбонатов [6; 9; 10; 14; 16], карбонатов из горизонтов грунтовых и подземных вод [17]. Аутигенные карбонатные минералы имеют определенное утилитарное значение. Они применяются для известкования почв (в целях понижения кислотности и связывания радионуклидов); для создания барьера, устраняющего эмиссию фосфора, железа, марганца из донных осадков гиперэвтрофных озер в воду [18], а также для других целей.

Разумеется, процессы и результаты преобразования карбонатного материала имеют региональную специфику, которая применительно к территории Беларуси и смежных частей Польши раскрывается в настоящей публикации. Ее цель состоит в следующем: выявить потенциал изучения литогенетических продуктов взаимодействия «вода – карбонаты» в четвертичной толще для индикации палеоклиматических и экологических изменений, хроностратиграфической принадлежности горизонтов и слоев отложений, а также очертить практическое значение полученных выводов.

В статье рассматриваются химико-термодинамические особенности системы «грунтовые воды – кальцит» и типоморфные особенности вторичных кальцитов из почв, моренных и флювиогляциальных отложений, озерных осадков.



Фактический материал и методика исследований

Материалом для термодинамического моделирования послужили результаты 2 400 химических анализов грунтовых вод Беларуси. Значительный блок гидрохимических данных был любезно предоставлен В.А. Панасенко и В.И. Пашкевичем, за что автор выражает им свою признательность. Почвенные карбонаты отбирались в 27 пунктах (108 образцов), а аутигенные карбонаты из подпочвенной части (с глубин 3–30 м) сожских четвертичных отложений – в 25 пунктах (131 образец) на территории Беларуси и Польши. Характеристика позднеледниково-голоценовых озерных карбонатов основана на изучении семи залежей.

Расчет термодинамических параметров состояния системы «вода–кальцит» проводился с использованием программы геохимического моделирования SOLMINEQ–88 [15]. Содержания химических макроэлементов в карбонатных образованиях определялись методом рентген – флуоресцентного анализа на установке СРМ-18 (аналитик А.Б. Комаров), а микроэлементов – спектральным методом на анализаторе АИ-1024 (аналитики Б.Е. Островская, С.Л. Трошина, И.Н. Тетерева). Измерения соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ были выполнены И.Л. Колосовым, В.Н. Кулешовым, М. Дулиньским и Т. Куцем на масс-спектрометре МИ-1201Б. Стратиграфическое расчленение разрезов основывалось на радиоуглеродных датировках органического вещества и карбонатной фракции (сцинтилляционным методом в бензоле), проведенных Г.И. Лучиной, Н.Д. Михайловым, В.М. Колковским, В.В. Скрипкиным, Н.Н. Ковалюхом, а также на спорово-пыльцевом зонировании, выполненном В.П. Зерницкой и Г.И. Симаковой.

Химико-термодинамические особенности системы «грунтовые воды – кальцит»

Карта-схема пространственной изменчивости индекса насыщения (I_n) грунтовых вод Беларуси относительно кальцита, на которой выделены ареалы величин $I_n > 0,5$ (максимально перенасыщенные воды); $0,5 - 0$; $0 - -0,5$; $-0,5 - -1,0$; $-1,0 - -1,5$; $< -1,5$ (наиболее агрессивные воды), была ранее предложена Н.А. Махначом и Л.Ф. Гулисом [3]. Было установлено, что среднее значение I_n равно $-0,89$, и воды 32,2 % исследованных проб перенасыщены относительно кальцита. На рисунке 1 (а, б) показаны упрощенные варианты карты-схемы. Величина I_n является косвенным количественным показателем роли аллотигенных кальцита и доломита в четвертичных отложениях, т. е. дает информацию об одной из важнейших литогеохимических характеристик покровных толщ. Вместе с тем приуроченность находок новообразованных карбонатных тел в почве и более глубоких частях зоны гипергенеза к ареалам значений $I_n > -0,5$ доказывает, что именно здесь наиболее вероятны проявления вторичной кальцитовой цементации, которая обуславливает особые (часто неблагоприятные) свойства строительного сырья и инженерно-геологические характеристики грунтов. Пространственно выдержанные сцементированные прослои могут выступать местными водоупорами и щелочными геохимическими барьерами, где, согласно [4], возможно связывание в твердой фазе ряда растворенных химических элементов (Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, U). Ареалы высоких величин I_n являются теми площадями, где грунтовые и подземные воды характеризуются наибольшей жесткостью и где допустимы значительные критические нагрузки кислых атмосферных выпадений, не приводящие к подкислению озерных и речных вод, а также местами максимальной стабильности строительных конструкций (из известняка, доломита, мрамора, портландитового цемента).

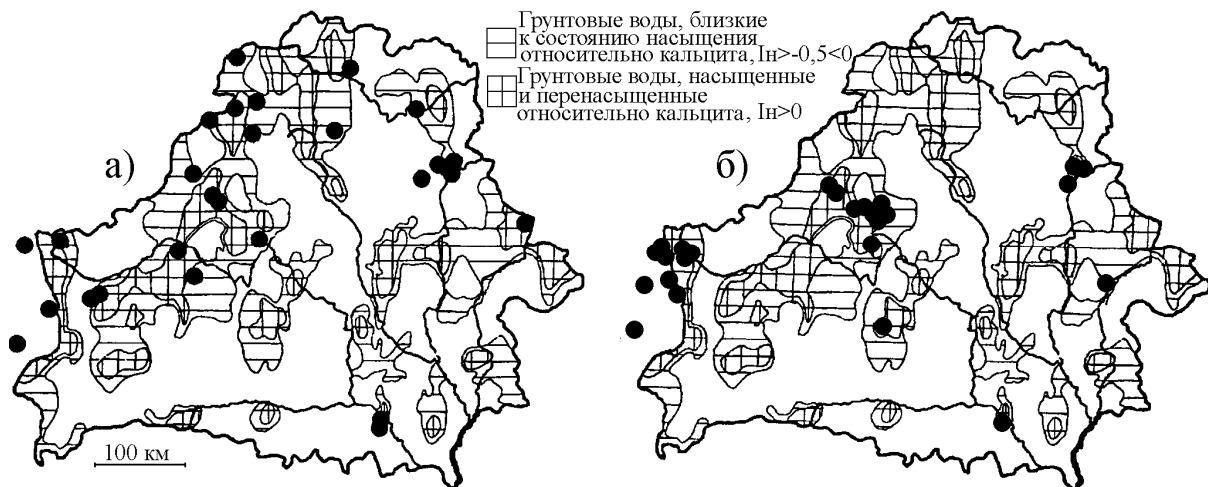


Рисунок 1 – Локализация находок аутигенных карбонатов в почвах (а) и в подпочвенной части моренных и флювиогляциальных отложений (б) на фоне карты-схемы индекса насыщения грунтовых вод относительно кальция

Аутигенные карбонаты в почвах

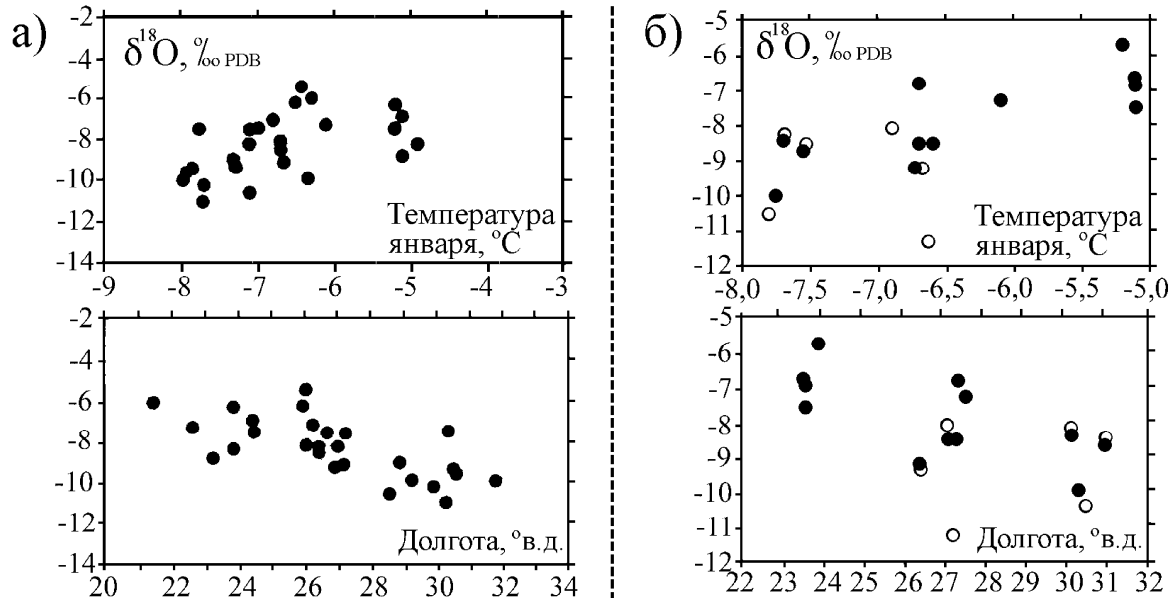
Педогенные карбонаты в Беларуси представлены несколькими морфологическими разновидностями: дисперсным кальцитом; крупными ризоконкрециями (псевдоморфозами по корневым полостям); мелкими ризоконкрециями или чехликами, обволакивающими нитевидные корешки; эллипсоидальными и причудливой формы конкрециями; выполнениями пустот между обломками; кутанами; иногда плотно сцементированными горизонтами (калькретами). Почвенные карбонаты, как правило, локализованы в горизонте В или (в наиболее древних почвах) ниже его. Мелкие ризоконкреции могут присутствовать и за пределами основного горизонта карбонатонакопления, иногда в слое мощностью ~ 80–120 см.

Одной из наиболее информативных типоморфных особенностей педогенных кальцитов является изотопный состав кислорода и углерода. Из рисунка 2 а видно, что осредненные для участков опробования соотношения $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в современных кальцитах коррелируют с температурой января и долготой мест залегания. Таким образом, в изотопном составе кислорода почвенных кальцитов записывается информация о температуре воздуха и степени континентальности климата, и поэтому измерения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов из погребенных почв (например, в лессово-почвенных сериях) могут использоваться для палеоклиматических реконструкций.

Вместе с тем, несмотря на наличие статистической связи « $\delta^{18}\text{O}$ – климат», в вертикальных профилях горизонтов карбонатонакопления выявлена существенная (но закономерная) изменчивость изотопных величин. В дерново-подзолистой почве, развитой на сожской морене близ пос. Красносельского Волковысского района, зарегистрированы следующие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в мелких ризоконкрециях: $-7,7$ и $-8,9\text{‰}$ (гл. 130 см); $-4,8$ и $-7,6\text{‰}$ (гл. 140 см); $-7,3$ и $-8,2\text{‰}$ (гл. 150 см); $-7,2$ и $-8,3\text{‰}$ (гл. 160 см); $-7,1$ и $-8,7\text{‰}$ (гл. 168 см); $-7,6$ и $-9,2\text{‰}$ (гл. 173 см). В дерново-подзолистой почве, развитой на поозерской морене близ д. Воропаево Поставского района получены следующие значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$: $-8,0$ и $-8,7\text{‰}$ (гл. 72 см); $-8,6$ и $-10,5\text{‰}$ (гл. 87 см); $-7,9$ и $-8,5\text{‰}$ (гл. 100 см); $-6,5$ и $-7,2\text{‰}$ (гл. 120 см); $-5,5$ и $-6,9\text{‰}$ (гл. 140 см); $-8,1$ и $-8,6\text{‰}$ (гл. 170 см). Максимумы изотопных величин отчетливо при-



урочиваются к определенному глубинному уровню и, по-видимому, связаны с карбонатонакоплением на испарительном фронте наиболее засушливых летних сезонов.



а – современные педогенные карбонаты; *б* – карбонатные конкреции и цементированные карбонатами прослои из сожских моренных (контурные символы) и флювиогляциальных (закрашенные символы) отложений. Приведены значения, осредненные для участков опробования. Данные по мощным карбонатным конгломератам на рисунке *б* не учтены

Рисунок 2 – Зависимости состава стабильных изотопов кислорода в аутигенных карбонатах Беларуси и соседних частей Польши от средней январской температуры воздуха в пунктах опробования и географической долготы пунктов опробования

Таким образом, вертикальные изотопные профили могут индцировать многолетние характеристики степени испарительной концентрации воды, длительности сохранения талых изотопно-легких вод ($\delta^{18}\text{O}$), темпов корневой респирации и доступности атмосферного воздуха ($\delta^{13}\text{C}$) на разных глубинах в почве и тем самым заменять результаты трудоемких лизиметрических исследований. Как было показано ранее [2], величины $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ имеют существенно более высокие значения в педогенных карбонатах из почв верхних элементов катены, чем из нижних, и могут служить критерием относительного дефицита воды в почвах микроландшафтов.

Аутигенные карбонаты в моренных и флювиогляциальных отложениях

В моренных и флювиогляциальных толщах встречаются эллипсоидальные (с галечным ядром либо без него) и длинные стержневидные конкреции, уплощенные параллельно напластованию тела неправильной геометрии, мощные карбонатные конгломераты.

Есть основания полагать, что конкреции и цементированные слои формировались в течение длительного времени в теплые (межледниковые) фазы геологической истории. Это подтверждается следующими данными. В крупной длинной стержневидной конкреции, извлеченной с четырехметровой глубины из флювиогляциальных песков, залегающих над мореной близ д. Зайцево Оршанского района, в местности, примыкающей



с юга к границе последнего (поозерского) оледенения, доля изотопа ^{14}C составила 1,05% от современной концентрации в атмосфере, что соответствует возрасту в 37700 л.н. (IGSB-1177). Поэтому вмещающая флювиогляциальная толща не могла накопиться на этапе деградации поозерского ледника и должна быть интерпретирована как образование времени отступления сожского ледникового щита. Таким образом, радиоуглеродное датирование карбонатных конкреций дает основание для решения стратиграфических вопросов в местностях спорного проведения границы последнего ледника.

Из графиков, показанных на рисунке 2 б (см.) следует, что значения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов из подпочвенной части сожских четвертичных отложений (так же, как и для современных педогенных карбонатов) увеличиваются с повышением современной январской температуры воздуха и в западном направлении. По-видимому, в муравинском межледниковье пространственная изменчивость климатических характеристик и, в частности температурно обусловленных величин $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках в Восточной Европе, была принципиально подобна той, которая существует в настоящее время.

Среднее значение минимальных для шести пунктов опробования величин $\delta^{18}\text{O}$ (т. е., характеризующих наименее контаминированные обломочными карбонатами образования) в конкрециях из морен сожского возраста оказалась равной $-9,2\text{‰PDB}$. Согласно уравнениям зависимости величины $\delta^{18}\text{O}$ от температуры воздуха для Беларуси и прилегающих регионов [13] и температуры минералообразовательного раствора [8], такой кальцит мог осадиться из воды, не испытавшей испарения, при среднегодовой температуре воздуха в $5,5\text{ °C}$ в толще с такой же температурой (т. е. при условиях, аналогичных современным климатическим условиям центральной Беларуси). Несколько более высокая средняя минимальная величина $\delta^{18}\text{O}$ ($-8,5\text{‰}$) зарегистрирована в карбонатных телах из флювиогляциальных отложений (12 пунктов), вместилищ грунтовых вод, что обуславливается большей долей обломочной примеси и/или большей ролью испарения воды в менее глинистых толщах. Установленные величины указывает на то, что типичный минералообразовательный раствор испытал неожиданно незначительное подземное испарение, масштаб которого не может составлять несколько десятков процентов, что находится в определенном противоречии с оценками, выполняемыми методом гидрологического баланса [1]. Тем не менее, наличие значительно более высоких индивидуальных значений $\delta^{18}\text{O}$ в конкрециях из морен (до $-6,0\text{‰}$) и флювиогляциальных отложений (до $-5,3\text{‰}$) во многом обусловлены именно степенью подземного испарения. Мы высказываем предположение о том, что экспресс-оценки этой величины могут осуществляться путем анализа изотопного состава кислорода подземных вод или внешних частей карбонатных конкреций, извлекаемых из керна скважин. Для этих целей в принципе применима теоретическая модель, связывающая изотопный состав кислорода с долей испарившейся воды [7].

Средние минимальные величины $\delta^{13}\text{C}$ ($-9,6$ и $9,1\text{‰}$) в карбонатных образованиях из моренных и флювиогляциальных толщ свидетельствуют о том, что соотношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в кальцитах (и, следовательно, даже в водах из существенно карбонатных отложений), более близки к равновесию с изотопным составом углерода органического (почвенного) происхождения ($\delta^{13}\text{C}$ в кальците при условии равновесия $\approx -12 - -14\text{‰}$), чем литогенного ($\delta^{13}\text{C}$ кальцита $\approx 0\text{‰}$) и тем более атмосферного ($\delta^{13}\text{C}$ кальцита $\approx +4 - +5\text{‰}$) углерода. Вместе с тем, допустив, что объекты нашего анализа представлены чистой аутигенной фазой и приняв величины $\delta^{13}\text{C}$ при равновесии с литогенным и органогенным углеродом равными 0 и -12‰ соответственно, можем рассчитать, что в типичном аутигенном кальците из морен и флювиогляциальных отложений содер-



жится 20 и 24% атомов углерода, происходящих из аллохтонных морских карбонатов. Учет таких пропорций «мертвого» углерода при радиоуглеродном датировании подземных вод показывает, что нескорректированные даты в 2 200 и 1 800 лет будут соответствовать реальному современному возрасту воды. Точная величина поправки хронологической оценки может быть установлена на основании определения изотопного состава углерода обломочных и аутигенных карбонатов и их весовых долей в конкреции. Аналогичные приемы (выявление пропорции аутигенных и аллотигенных карбонатов и измерение $\delta^{13}\text{C}$ в обеих разностях) могут способствовать решению наиболее сложной методической проблемы, возникающей при расчетах химической денудации, а именно, проблемы расчета доли литогенного иона HCO_3^- в воде карбонатных коллекторов.

Установленное преобладание органического углерода в типичных карбонатных телах из подпочвенной части моренных и водно-ледниковых толщ (80 и 76%) имеет также геоэкологический смысл и свидетельствует о значительных масштабах депонирования углерода органического пула в составе вторичных кальцитовых образований, локализованных на глубинах нескольких метров и даже нескольких десятков метров.

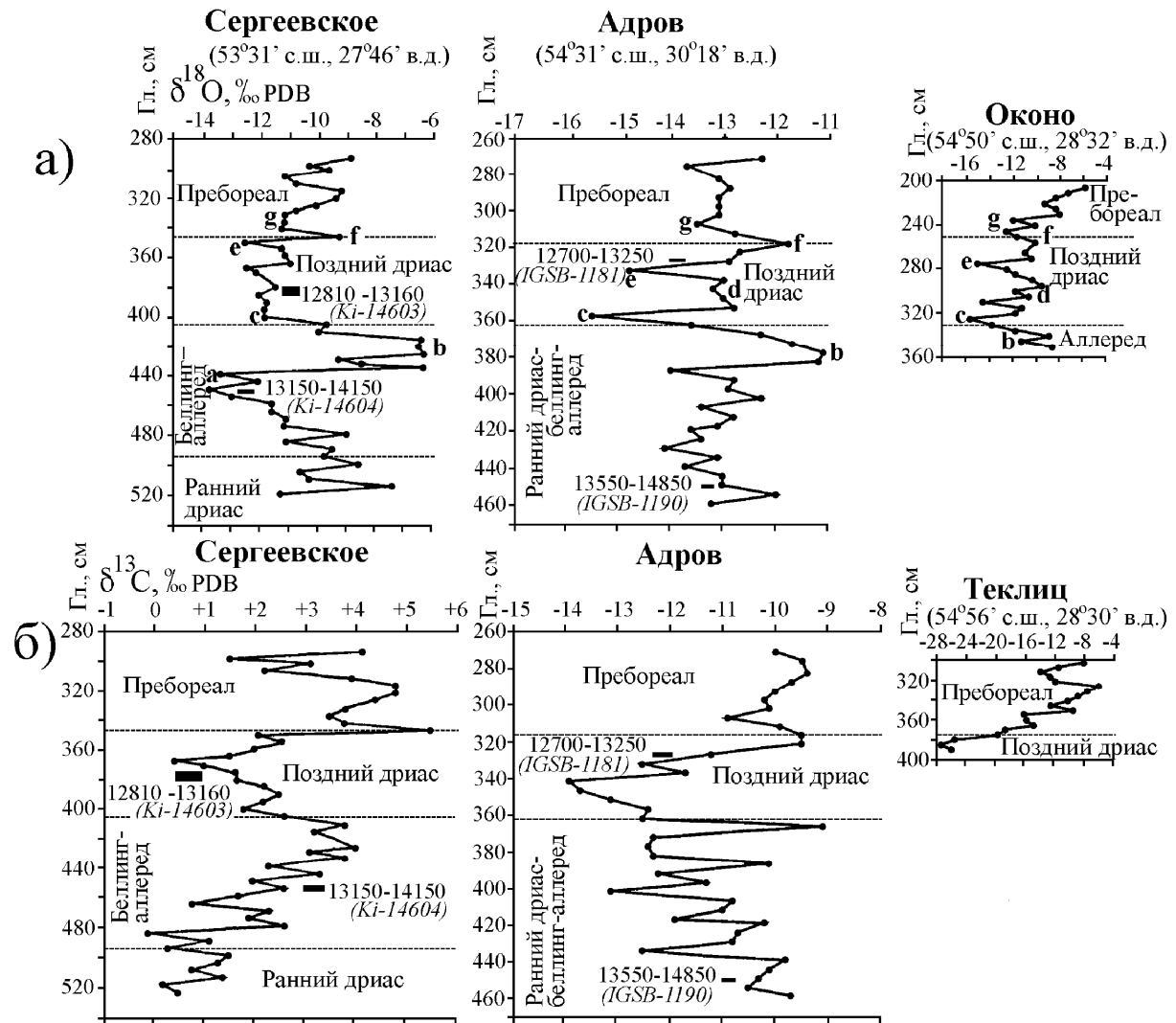
Озерные карбонатные отложения

Как показало нанесение более 160 озер-карбонатонакопителей на карту I_n грунтовых вод относительно кальцита [2], 11% таких озер расположено в ареалах грунтовых вод, насыщенных и перенасыщенных относительно кальцита; больше половины (51,9%) – на площади распространения грунтовых вод, I_n которых по рассматриваемому минералу характеризуется величинами $> -0,5$; и только 12,6 % – там, где I_n ниже $-1,0$. Месторождения пресноводных карбонатных отложений, перекрытых современными торфяниками и пойменными накоплениями, демонстрируют еще более тесную связь с ареалами карбонатных грунтовых вод. Пятая часть (21,4% из 145) таких месторождений находится в ареалах $I_n > 0$, а 63,5% месторождений – в ареалах $I_n > -0,5$. Поэтому неизвестные залежи озерного мела, мергеля, карбонатного сапропеля с наибольшей вероятностью могут быть обнаружены в ареалах высоких значений I_n .

На примере особенно чистых от обломочной компоненты кальцитов, найденных на нескольких глубинных интервалах в ряде залежей, охарактеризована макро- и микроэлементная специализация аутигенных фаз. В карбонатных осадках без очевидной примеси окислов железа ($n = 38$, 4 месторождения) и в железистых разностях ($n=11$, 4 месторождения) в среднем содержится: 0,38 и 1,02% SiO_2 ; 0,31 и 0,26% Al_2O_3 ; 51,1 и 46,4% CaO ; 2,54 и 2,30% MgO ; 0,61 и 5,0% Fe_2O_3 ; 0,07 и 0,57% MnO ; 0,18 и 0,36% P_2O_5 ; 0,25 и 0,25% S ; 5,0 и 7,4 г/т Ni ; 28 и 26 г/т Zr ; 5 и 6 г/т Cu ; 230 и 225 г/т Sr ; 268 и 305 г/т Ba . Аутигенные кальциты содержат в определяемых количествах только несколько микроэлементов: $\text{Ba} > \text{Sr} \gg \text{Zr} > \text{Cu} \sim \text{Ni}$. Железистым разностям присущи несколько повышенные количества MnO , P_2O_5 , Ni , Ba . Приведенные цифры показывают, какие химические элементы наиболее активно выводятся из воды озер-карбонатонакопителей, а также могут поступать в жидкую фазу из озерных карбонатов в случае их использования для известкования почв, создания защитного барьера на дне гиперэвтрофных озер либо в качестве кормовых добавок. Кроме этого, химический состав древних озерных кальцитов может служить тем эталоном, с которым целесообразно сравнивать кальцитовые продукты щелочного геохимического барьера, локализованные в местах техногенного воздействия.



В настоящей работе основное внимание уделено рассмотрению соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. В нескольких разрезах нам удалось увидеть конфигурацию изотопно-кислородных кривых позднеледниковых этапов (рисунок 3 а). В разрезе Сергеевское видимый по особенностям пыльцевых спектров (данные В.П. Зерницкой) горизонт беллинга-аллереда залегает в диапазоне глубин 400–495 см. В его нижней части (430–495 см) относительно мала доля трав (~5%), что говорит о теплом и/или влажном климате.



Наиболее примечательные изотопно-кислородные события обозначены буквами *a-g*. Радиоуглеродные датировки выполнены по органической фракции в разрезе Сергеевское и по карбонатной фракции в разрезе Адров. Возраст выражен в календарных годах

Рисунок 3 – Изотопно-кислородные (а) и изотопно-углеродные (б) кривые, полученные по кальциту позднеледниковых карбонатных озерных отложений Беларуси

Негативный изотопно-кислородный пик *a* может быть соотнесен с кратковременной холодной и, вероятно, влажной фазой среднего дриаса, разделяющей беллинг и аллеред.



В пределах изотопного пика *a* регистрируются неотчетливо выраженные палинологические признаки похолодания (малые “вспышки” *Betula s. fruticosae*, *Selaginella selaginoides*, *Artemisia*, *Betula*, единичные зерна *Picea*). Изотопно-кислородное событие *b* соответствует аллереду. Весьма высокие величины $\delta^{18}\text{O}$, а также пониженные соотношения *Pinus/Betula* и значительная доля *Artemisia* в разрезе Сергеевское указывают на то, что аллередское потепление было относительно аридной климатической фазой. Повидимому, поэтому в отличие от гренландских изотопно-кислородных кривых [19] в нашей изотопной записи аллеред выражен более четко, чем беллинг. Аллередский пик *b* имеет аналог в разрезе Адров.

Позднедриасовый стадиал представлен в Сергеевском широким зубцом с началом в пике *c* и концом в пике *e*. В пределах зубца в палинологических спектрах отмечена максимальная доля трав (до 30%), явный пик *Picea*, постоянное присутствие *Betula s. fruticosae* (до 3,3%) и относительно повышенное соотношение *Pinus/Betula*. В Адрове и Оконо стадиал отражен двумя «холодными» пиками, разделенными более теплым интервалом. Как было замечено ранее [2], пики *c*, *d*, *e*, *f*, *g* имеют соответствия в ряде надежно датированных европейских кривых: GRIP (Гренландский ледник); озерные залежи Хоус Уотерс (Англия), Аммерзее (Германия), Лейсин (Швейцария), Гостенж (Польша). Было высказано предположение о том, что названные пики отражают климатические события, происходившие синхронно в Западной Европе и Польше, с одной стороны, и в Беларуси, с другой стороны. По крайней мере, позднедриасовое похолодание в Беларуси не могло начаться ранее его предпосылки (выброса воды американских приледниковых озер в Атлантический океан). Четкость изотопно-кислородных границ белорусского позднего дриаса дает возможность путем совмещения с кривыми идеально датированных разрезов выделить хроностратиграфические реперы начала и конца позднего дриаса (~12750 – 11500 кал. л.н.), т. е. сместить традиционные хронологические оценки (~12950 – 11950 кал. л.н.) в сторону более молодых дат.

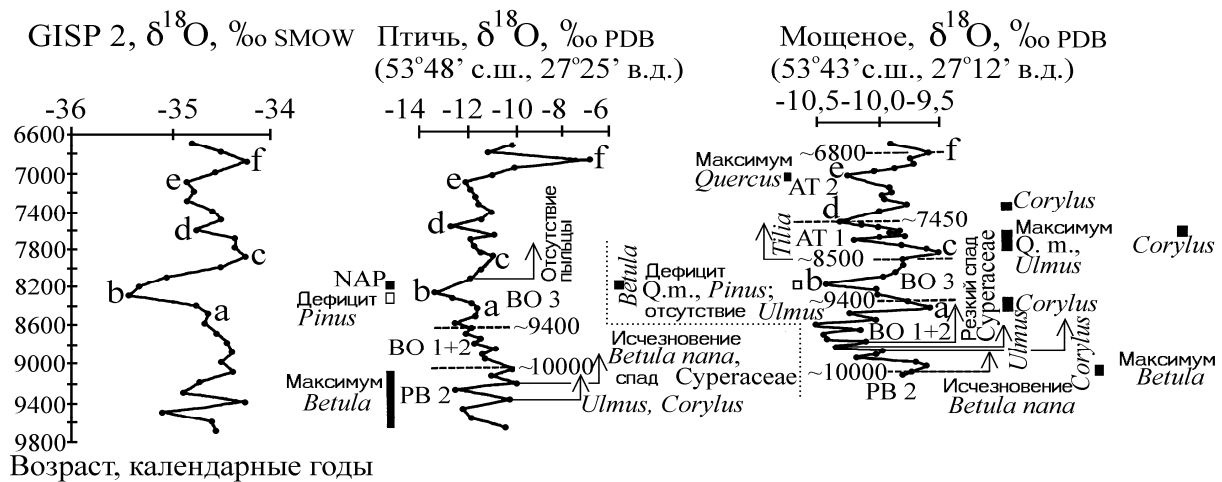
Переход от позднеледниковья к голоцену маркируется также квазисинхронным в пределах Беларуси изотопно-углеродным событием: в Сергеевском, Адрове и Теклиц видны сильные сдвиги от минимальных (для индивидуальных разрезов) значений $\delta^{13}\text{C}$ к максимальным или почти максимальным (рисунок 3 б). Вероятно, в конце позднего дриаса или на границе позднего дриаса и пребореала в связи с деградацией вечной мерзлоты увеличился подземный дренаж, и проточность водоемов резко снизилась.

Изучение озерных карбонатов, накопившихся в раннем и в начале среднего голоцена, позволило высказать предположение о том, что в это время динамика климата Беларуси регулировалась механизмами континентального масштаба. Такая гипотеза основана на подобии изотопно-кислородных кривых, полученных по белорусским залежам и по воде Гренландского ледника (рисунок 4). Совмещение кривых оказывается возможным при допущении удревненности хронологических границ раннего голоцена (как в конкретных обсуждаемых разрезах, так и в традиционной белорусской региональной хронологической схеме). Приведенный график также иллюстрирует возможность проверки синхронности-асинхронности палинологических событий, выявленных в соседних разрезах.

Специальный интерес представляет изотопно-геохимическая характеристика наиболее молодых осадков, в особенностях которых могут быть записаны свидетельства антропогенно-обусловленной деградации ландшафтов и озерных систем. Так, в залежи озера Нарочь от глубины 70 см до поверхности осадка наблюдается в целом выдержанный тренд (14 проб) понижения величины $\delta^{18}\text{O}$ от ~ -1‰ (осаждение из воды, испыты-



вающей сильное испарение) до -10 – $-11,5\%$, минимального для всего разреза значения (осаждение в условиях равновесия с $\delta^{18}\text{O}$ неиспаряющейся воды), и тренд понижения величины $\delta^{13}\text{C}$ от $\sim +4\%$ на гл. 80 см до $-0,5\%$ у поверхности (существенное нарушение равновесия с изотопным составом углерода атмосферного углекислого газа). В осадках Сергеевского озера в диапазоне глубин 75 – 25 см (10 проб) величина $\delta^{18}\text{O}$ уменьшается от ~ -4 до -8% , а величина $\delta^{13}\text{C}$ от $\sim +5,5$ до $\sim -2\%$ (минимум для всего разреза). Сходные тенденции, выявленные в осадках германских озер Арендзее и Балдегерзее [18; 20], объясняются значительным расширением сезона «цветения» воды в связи с ускоренным антропогенным эвтрофированием.



Изотопные данные по гренландской скважине [19] осреднены по 100-летним интервалам. Основные изотопно-кислородные события обозначены буквами *a-f*. Временные границы в Птичи и Мощеном приведены в соответствии с исходными хронологическими моделями, основанными на пыльцевом зонировании (материалы В.П. Зерницкой) и радиоуглеродных датировках. Затусшеванными прямоугольниками обозначены пики, а контурными прямоугольниками – участки дефицита некоторых пыльцевых таксонов. Изотопно-кислородный пик *b* интерпретируется как широко известное «холодное событие 8200 календарных лет назад». Ему соответствуют палинологические события, которые могут быть связанными с холодным эпизодом. В Мощеном положительные пики $\delta^{18}\text{O}$ (кратковременные относительно теплые фазы) соответствуют пикам *Corylus*, а максимум *Quercetum mixtum* наблюдается сразу после изотопно-кислородного события *c* (начала климатического оптимума)

Рисунок 4 – Предположительная корреляция между ранне-среднеголоценовыми отрезками изотопно-кислородных кривых скважины GISP 2 (вода гренландского ледника) и белорусских разрезов Птичь и Мощное (озерный кальцит)

Выводы

На основании выявленной пространственной изменчивости индекса насыщения грунтовых вод Беларуси относительно кальцита возможно оценивать карбонатность покровных четвертичных отложений, выявлять места карбонатного засоления почв, участки кальцитовой цементации моренных и водно-ледниковых отложений, неизвестные залежи карбонатных озерных осадков, локализацию щелочного геохимического барьера в зоне гипергенеза, ареалы ландшафтов, наиболее толерантных к кислотным атмосферным выпадениям.



В вариациях величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ нескольких разностей аутигенных кальцитов (локализованных в почве, подпочвенной части моренных и флювиогляциальных отложений, озерных залежах) записаны особенности условий и среды их образования: температура воздуха, влажность климата, степень проточности озер, величина испарения минералообразовательного раствора и доля литогенного углерода в составе его гидрокарбонат-иона.

Измерения концентрации изотопа ^{14}C в конкрециях из подпочвенной части толщ дают возможность различать поозерские и сожские вмещающие ледниковые и водноледниковые отложения.

По изотопной специализации педогенного кальцита возможно оценивать гидрологический режим на разных глубинах в почвенном профиле и изменчивость влагообеспеченности почв в микроландшафтах; восстанавливать динамику климата прошлого (в частности по карбонатам датированных погребенных почв).

Изотопно-кислородные и изотопно-углеродные кривые, полученные по озерным толщам, позволяют распознавать палеоклиматические и палеогеографические события познеледниковья-голоцена Беларуси (средне-дриасовое и позднее-дриасовое похолодания, потепление в аллереде, холодное событие 8200 кал. л.н. и др.), выделять хронологические реперы путем сопоставления с известными идеально датированными изотопно-кислородными профилями Европы, осуществлять корреляцию разрезов на локальном, региональном и надрегиональном уровнях, регистрировать явления антропогенной деградации озер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жогло, В.Г. Закономерности формирования подземных вод верхнего этажа гидrolитосферы в условиях техногенеза (на примере юго-востока Беларуси) : автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук / В.Г. Жогло. – Минск, 2002. – 40 с.
2. Махнач, Н.А. Аутигенные карбонатные минералы в четвертичных отложениях Беларуси / Н.А. Махнач. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 215 с.
3. Махнач, Н.А. Пространственное распределение показателя насыщенности грунтовых вод Беларуси по кальциту / Н.А. Махнач, Л.Ф. Гулис // ДАН Беларуси. – 1997. – Т. 41, № 2. – С. 114–118.
4. Перельман, А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1989. – 528 с.
5. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – М. : Недра, 1978. – 278 с.
6. Cerling, T.E. Stable carbon and oxygen isotopes in soil carbonates / T.E. Cerling, J. Quade // P.K. Swart, K. C. Lohmann, J. McKenzie, S. Savin (eds). – Climate Change in Continental Isotopic Records. Geophys. Monograph 78, 1993. – P. 217–231.
7. Gilath, C. Lake dynamics / C. Gilath, R. Gonfiantini // Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology., Tech. Rep. – Ser. 91, Int. Atomic Energy Agency, Vienna, 1983. – P. 129–161.
8. Hays, P.D. Oxygen isotopes in meteoric calcite cements as indicators of continental palaeoclimate / P.D. Hays, F.I. Grossman // Geology. – 1991. – V. 19. – P. 441–444.
9. Khokhlova, O.S. Records of climatic changes in the carbonate profiles of Russian Chernozems / O.S. Khokhlova [et al.] // Catena. – 2001. – V. 43. – P. 203–215.
10. Landi, A. Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada / A. Landi [et al.] // Geoderma. – 2003. – V. 117. – P. 143–156.



11. Leng, M.J. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives / M.J. Leng, J.D. Marshall // *Quaternary Science Reviews*. – 2004. – V. 23. – P. 811–831.
12. Lowe, J.J. Inter-regional correlation of palaeoclimatic records for the Last Glacial-Interglacial Transition: a protocol for improved precision recommended by INTIMATE project group / J.J. Lowe [et al.] // *Quaternary Science Reviews*. – 2001. – V. 20. – P. 1175–1187.
13. Makhnach, N. Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene fresh-water carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications / N. Makhnach [et al.] // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2004. – V. 209. – P. 73–101.
14. Nordt, L.C. Quantifying pedogenic carbonate accumulation using stable carbon isotopes / L.C. Nordt [et al.] // *Geoderma*. – 1998. – V. 82. – Is. 1–3. – P. 115–136.
15. Perkins, E.H. Geochemical modeling of water–rock interactions using SOLMINEQ–88 / E.H. Perkins [et al.] // *ACS Symposium Series*. – 1990. – № 416. – P. 117–127.
16. Pustovoytov, K.E. Pedogenic carbonate cutans on clasts in soils as a record of history of grassland ecosystems / K.E. Pustovoytov // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2002. – V. 177. – P. 199–214.
17. Quade, J. The stable isotope composition of early ground-water cements from sandstone in palaeoecological reconstruction / J. Quade, L.J. Roe // *Journal of Sedimentary Research*. – 1999. – V. 69, № 3. – P. 667–674.
18. Stuben, D. Application of lake marls at Lake Arendsee, NE Germany: First results of a geochemical monitoring during the restoration experiment / D. Stuben [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 1998. – № 218. – P. 33–44.
19. Stuiver, M. The GISP2 d18O climate record of the past 16.500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes / M. Stuiver [et al.] // *Quaternary Research*. – 1995. – V. 44. – P. 341–354.
20. Teranes, J.L. Stable isotope response to lake eutrophication: Calibration of a high-resolution lacustrine sequence from Baldeggersee, Switzerland / J.L. Teranes [et al.] // *Limnol. Oceanogr.* – 1999. – V. 44. – P. 320–333.

N.A. Makhnach. Lithogenetic Results of the «Water-Carbonate Minerals» Interaction in Quaternary Deposits in Belarus (Palaeogeographic, Chronostratigraphic, Geoenvironmental and Practical Implications of the Investigation)

The connection between the degree of ground water saturation with respect to calcite controls Quaternary authigenic carbonates location is determined. The $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in calcites of some genetic varieties are interpreted. On this basis, calcites investigation potential for indication of past climate changes, as well as of lake, soil, and ground water hydrological regimes is characterized; several Late Glacial – Holocene palaeogeographical events are recognized; markers of carbonate sediments chronostratigraphic belonging are revealed; trends of anthropogenic degradation of lakes are registered. The possibilities of practical application of the study results are discussed.