

ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА СВЯЗИ КЛИМАТ – ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ ДЛЯ ОЗЕР БЕЛАРУСИ В ГОЛОЦЕНЕ

Use of hydrothermal parameters for comparison of stages vegetative succession and accumulation of deposits in Belarus lakes during lateglacial and Holocene is considered. Specified sedimentation indicators of climatic phase changes are described. For data formalization dependences of characteristic genetic types of deposits of accumulation on climatic parameters changes are certain.

Анализ и обобщение палеогеографических данных изучения поозерского позднеледниковья и голоцена позволяют проводить сопоставление изменений основных климатических и седиментационных характеристик территории Беларуси с привлечением палинологического и стратиграфического методов. Для статистической обработки данных о климате, осадконакоплении и растительных сукцессиях привлечены числовые значения поступающих тепла и влаги, поскольку среднегодовые температуры и среднее количество атмосферных осадков определяют как характер седиментации, так и процесс смены и распространения зональной растительности [1]. Для маркирования климатического влияния на сукцессии фитоценозов и смену типов осадков в озерах может быть использован гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова:

$$\text{ГТК} = 10\Sigma r/\Sigma t,$$

где Σr – сумма осадков за период с температурой воздуха выше +5 °С; Σt – сумма суточных температур за этот же период.

Применение коэффициента Селянинова не вполне отвечает поставленной задаче из-за того, что определение моментов наступления положительных температур в позднеледниковье и голоцене имеет большие погрешности, однако расчет численных соотношений тепла и влаги может быть продуктивным, поскольку использование при подсчете более простого гидротермического показателя (ГТП) позволяет конкретизировать и упростить механизм этого процесса [2]:

$$\text{ГТП} = 1000\Sigma r/\Sigma t,$$

где Σr – сумма осадков за год; Σt – сумма температур за год.

По материалам определения изменения средних температур и сумм осадков за год для всех этапов позднеледниковья и голоцена [3] можно допустить $\Sigma t = 12t_{\text{cp}}$. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Пространственно-временные особенности изменения гидротермического показателя на территории Беларуси

Хроносрез	Зона		
	северная	центральная	южная
SA-3	1,61	1,08	0,79
SA-2	1,57	1,04	0,75
SA-1	1,47	0,94	0,65
SB-3	–	–	–
SB-2	1,82	1,13	0,72
SB-1	1,92	1,23	0,82
AT-3	1,89	1,08	0,79
AT-2	2,01	1,20	0,91
AT-1	1,86	1,05	0,76
BO-3	1,31	0,92	0,68
BO-2	1,14	0,75	–
BO-1	1,69	1,30	1,07
PB-2	2,41	1,20	0,72
PB-1	2,62	1,42	0,93
DR-III	3,37	1,51	0,94
AL	–	1,80	0,92
DR-II	–	1,70	0,86
BL	–	2,35	0,97
DR-I	3,71	1,43	0,84
RN	–	2,28	0,97

Хронологический анализ смены эдификаторов в голоцене в пределах северной, центральной и южной частей территории Беларуси позволяет установить сукцессии растительности [3]. Согласно последовательности садки озерных илов различного генезиса выделены типы осадконакопления [4]. Все исследованные осадки хорошо согласуются с фоном растительности представленных природных зон [5]. Нивелирование шумов осадконакопления проведено путем осреднения показателей для сравнения с типичными осадками географических зон или в нашем случае – фазами развития растительности [6, 7].

С учетом средних и максимальных мощностей осадков на каждом хронологическом этапе, средних и максимальных скоростей садки, а также вещественного состава отложений удалось выделить подтипы осадконакопления, сменяющие друг друга через 400–600 лет.

Выделено три типа осадконакопления: терригенный, органогенный и смешанный. Терригенный тип осадконакопления (подтипы песчаный и глинистый) представлен кластогенным материалом, органогенный (подтипы сапропелевый и иловый) – аутигенным материалом, который преобладает над кластогенным. В смешанном типе осадконакопления присутствуют подтипы сапропелевый, иловый и минеральный.

Изменение состава осадков в ранге подтипа фиксируется сменой климатической тенденции по температуре или количеству выпадавших атмосферных осадков, что отражалось и на формировании растительности. Возможности индикации протекавших в голоцене процессов с помощью седиментации определяются ее зависимостью от климатических параметров и значительной инертностью по отношению к климатической тенденции и динамике растительности [6, 7] из-за детерминации составом покровного материала на водосборах. Седиментационные показатели более устойчивы, а потому проще интерпретируются, в особенности состав аутигенного материала. Изменения генезиса и скорости накопления осадков по климатическим этапам позднеледниковья и голоцена могут быть соотнесены с фазами развития растительности и стадиями эволюции водоемов, описанными в ранге седиментационного ритма (табл. 2).

Категория «тип осадконакопления» значительно отличается от общепринятого представления о цикле седиментации в пресных водоемах, поскольку в нашем понимании выступает комплексным параметром развития прилегающих территорий, а на хронологической основе может служить целям палеогеографических реконструкций. Определение типа осадконакопления востребовано при анализе естественной и нарушенной ритмики развития системы озеро – водосбор, а также озерно-речных и озерно-болотных систем [8–10]. Познание ритмики наземных аквальных геосистем позволяет обосновать стадию цикла осадконакопления конкретного водоема, а следовательно, оценить процесс его эволюции за определенный хронологический срез и уточнить прогноз дальнейшего развития [4].

Сопоставимость озерной седиментации и сукцессий растительности водосбора

Хронорез	Этап сукцессии			Тип седиментогенеза		
	1	2	3	1	2	3
SA-3	(С, С+Б) ш	(С+Б) ш	С б+ш	О и+с	О с	О с
SA-2	(Е, Б+С) ш	(Б+С) ш	(С+Б) е+ш	О с	СМ и	СМ и
SA-1	(С+Б) ш	С б+ш	С б+ш	О и+с	О с	СМ с
SB-3	(С, Б) ш	(С+Б) ш	С б+ш	О с	О и	О с
SB-2	(Е, С, Б) ш	(Е, С, Б) ш	(С+Б) е+ш	О с	О с	О и+с
SB-1	С б+ш	С б+ш	С б+ш	О с	СМ и	СМ и
AT-3	(С+Е+Ш)	(С+Ш) е	(С+Ш)	О с	СМ с	О и+с
AT-2	(Е+Ш) с	(Ш+С) е	Ш+С	О и+с	О и	СМ с
AT-1	Е+Ш	(Е+С) ш	Ш+С	О с	СМ с	О с
BO-3	(Б+С) ш	(С+Б) ш	(С, С+Б) ш	СМ с	О с	О с
BO-2	(С+Е) ш	(Е+С) ш	(С+Б) ш	СМ т	СМ и	СМ и
BO-1	Б+С	С б+ш	(С+Б) ш	СМ с	СМ т	СМ с
PB-2	(Б, С+Б) е	С б	С е+ш	СМ и	СМ и	СМ и
PB-1	Б с	С б	(С, С+Б)	Т	СМ т	СМ т
DR-III	Б с	Б с	Б с	Т	Т	СМ т
AL	(С+Б) ш+е	(С+Б) ш+е	(С+Б) ш	СМ и	СМ и	Т
DR-II	Б	Б с	С+Б	Т	Т	Т
BL	(Б+С) е	(Б+С) е	(С, С+Б) е	СМ и	Т	Т
DR-I	Б+С	Б+С	С, Б+С	Т	Т	Т
RN	Б с	Б с	Б+С	Т	Т	Т

Примечание. 1 – Северная Беларусь – Белорусское Поозерье; 2 – Центральная Беларусь – Белорусская гряда и прилегающие равнины; 3 – Южная Беларусь – Белорусское Полесье; растительность: С – сосна, Е – ель, Б – береза, Ш – широколиственные породы; седиментогенез: О – органогенный (и – илестый, с – сапропелевый), СМ – смешанный, Т – терригенный.

Седиментация в озерах Беларуси отражает прохождение этапов, фиксируемых изменением ГТП и сменой фаз развития растительности (по палинологическим данным). Колебание ГТП на небольшом отрезке времени фиксирует переход в характеристиках накопления озерных осадков. Максимумы средних мощностей осадков в позднеледниковье и раннем голоцене соответствуют максимумам ГТП Северной Беларуси, а в среднем и позднем голоцене – минимумам ГТП Южной Беларуси.

Частая смена и разнообразие обстановок осадконакопления связаны со стадиями развития лесных ландшафтов на водосборах в пред- и постоптимальное время [6, 7]. Пространственная однородность и дискретная схожесть ландшафтно-климатических условий водосборов в оптимуме голоцена привела к накоплению схожих осадков. Неоднородность обстановок в предоптимальное время и дифференциация условий в постоптимальное время повлекли увеличение отличий в осадконакоплении [5].

Анализ типов осадков в пределах 400÷600-летних интервалов указывает, что темпы осадконакопления росли, предшествуя изменению увлажнения и растительным сукцессиям. Такая тенденция отмечена для всех зон Беларуси при анализе изменений климата и характера седиментации в результате сопоставления ГТП со скоростью накопления и мощностью осадков различного генезиса. Чрезвычайно малые и чрезвычайно большие средние мощности осадков отражают значительные изменения в поступлении тепла. На всех этапах позднеледниковья и голоцена для разных частей территории Беларуси выявлены как прямые, так и обратные зависимости между максимумами и минимумами теплообеспеченности и накоплением генетически несхожих осадков.

Обратная зависимость между средней мощностью осадков и ростом ГТП была установлена с привлечением данных о мощностях осадков из палинологически изученных и датированных по ¹⁴C разрезов северной, центральной и южной частей Беларуси. Преобладающая толща озерных осадков была сформирована в умеренно теплом и прохладном достаточно влажном и влажном климате (PB-2, BO-2, SB-2, SA-2) со средней мощностью вида осадков 0,8÷1,0 м.

Детализация процесса осадконакопления потребовала предположения о наличии климатически детерминированной обратной зависимости в изменении накопления кластогенного (внешнего, приносимого с прилегающей территории) и аутигенного (внутреннего, формируемого в водоеме) материала. Ранжирование хронологических этапов позднеледниковья и голоцена по средней мощности

осадков свидетельствует о существовании схожей зависимости. Максимальные и минимальные мощности кластогенного материала соответствуют ГТП от 1,6 до 2,4. Повышенное накопление аутигенного материала в сравнении с кластогенным наблюдается при ГТП от 0,8 до 1,6 (АТ-1, SB-2). Отмечены и некоторые другие особенности. Во-первых, средние мощности осадков отражают общую тенденцию накопления аутигенного материала в водоемах из-за малой амплитуды колебаний в накоплении органических илов. Во-вторых, накопление кластогенного материала имеет ритмический характер, слабо отражающий условия развития водоема и его водосборной территории. В-третьих, линейные тренды накопления аутигенного и кластогенного материала не всегда совпадают по амплитуде. В-четвертых, ранжирование позволило доказать соответствие общего направления роста средних мощностей осадков и линейного тренда ГТП.

В то же время климатические отличия, выраженные в ГТП, при построении нелинейного тренда выявили общность этапов конца предоптимального, оптимального и начала постоптимального времени голоцена с максимумами аутигенного осадконакопления. Они обозначили ровный ход седиментации в пределах фазы умеренно теплого и умеренно влажного климата (ВО-2, АТ-2, SB-2) со средней скоростью накопления $0,4 \div 0,6$ см в год при увеличенной доле кластогенного сноса. Позднеледниковье и начало голоцена, а также этап SA-3 были отнесены в группу со значительным ГТП и равным соотношением в отложениях аутигенного и кластогенного материала, что говорит о резкой трансформации осадконакопления в условиях перестройки водосборных территорий. Такие перестройки фиксируются закономерными колебаниями значений ГТП на протяжении раннего, среднего и позднего голоцена. Они не совпадают во времени для северной, центральной и южной частей Беларуси.

Во всех исследованных голоценовых разрезах на территории региона фоном осадконакопления являлись кластогенные осадки, составлявшие основу терригенного материала (пески, супесь, суглинки, глины). Поскольку покровные отложения ледникового комплекса господствовали на водосборах озер, то именно их смыв определял естественный фон осадконакопления. В основании большинства разрезов озерных осадков лежит песок. Его доля в средней мощности $10 \div 20$ %. В целом его средняя мощность в озерах составляет 0,35 м, а глин – $0,3 \div 0,5$ м. Пески и глины накапливались в условиях открытых водосборов при среднегодовых температурах $2-3$ °С (DR-II, AL, DR-III). На более поздних этапах их вынос был значительно стимулирован эрозией. Для песка не характерен рост накопления при увеличении температур или степени освоения территории. Это связано с хорошей инфильтрацией вод на песчаных водосборах и их выборочным освоением. Садка глин значительно возрасла в условиях мягкого климата, интенсивного освоения водосбора. Мощности глин, осевших в голоцене в интервале среднегодовой температуры $4 \div 5$ °С, составляют 0,5 м (ВО-1, ВО-2), в интервале $5 \div 6$ °С – 0,7 м (SB-2, SA-1), а в интервале $6 \div 7$ °С – около 1 м (АТ-1, АТ-3). Понятно, что мощность отложений определяется комплексом внешних воздействий на водоем, но и в нем все начинается с температуры, связь с которой прослеживается наиболее четко.

Аутигенное осадконакопление имеет нелинейную связь с ГТП, поскольку данный показатель увязывает климатические параметры тепло – влага, а аутигенное осадконакопление в большей мере зависит от уровня и температуры водоема, а также от стадии его эволюции на начальный момент развития [4]. Мощности аутигенного материала чаще всего составляли $0,3 \div 0,6$ м при ГТП от 1,0 до 1,5, что свойственно теплоумеренному и прохладному умеренно влажному климату (PB-2, ВО-2, SB-2, SA-1, SA-2).

На всех этапах голоцена, кроме SB-2, максимальные мощности аутигенных отложений были больше, чем максимальные мощности кластогенных осадков. При росте ГТП мощности аутигенных осадков значительно снижались. Небольшие колебания ГТП в 400–600-летнем ритме практически не сказывались на накоплении аутигенных осадков. В то же время хронология отложения кластогенного материала мало соответствовала тренду изменения ГТП, а в большей мере отражала его короткопериодические колебания. Это связано с однородностью, буферностью внутренней водной среды водоема как среды аутигенной садки и тем, что поступление внешнего материала вызвано выносом вещества с водосбора, чутко откликающегося на изменение климата и увеличение безлесных земель.

Смена генетических разностей осадков в пределах одного выделенного подтипа осадконакопления определялась климатическими параметрами. Умеренное количество осадков и поступающего тепла обуславливало приблизительно равные возможности для накопления в озере как тонкодетритового (ВО-2, АТ-1, АТ-3, SB-1, SA-1), так и грубодетритового сапропеля (ВО-2, АТ-2, SA-3). Их

мощности могли составлять $0,4 \div 0,5$ м за 400–600 лет, а ГТП – $1,0 \div 1,5$. Экстремально большой или экстремально малый ГТП приводил к преобладанию в осадках грубодетритового сапропеля. Последнее указывает на возможность торфонакопления в водоемах при перестройке климатических параметров, отражаемой в изменении ГТП. Такие выводы не могли быть получены при общем анализе отложения сапропелей вне численной интерпретации, поскольку кривая связи средней мощности органических сапропелей и ГТП отражает их взаимную обратную зависимость.

Смешанный сапропель является индикатором позднеледниковых обстановок, согласно нашим данным, в постоптимальное время он может служить маркером при переходе к холодным условиям конца межледниковья. Сопряженный анализ распределения максимальных мощностей смешанного и кремнеземистого сапропеля позволил установить, что в условиях относительно влажного климата с количеством выпадавших осадков $550 \div 650$ мм в год средние мощности кремнеземистого сапропеля достигали $0,4 \div 0,5$ м (PB-2, SB-1, SA-1, SA-3), смешанного сапропеля – $0,3 \div 0,4$ м (AL, PB-2, BO-2, SA-3). В условиях экстремально большого или экстремально малого ($650 \div 750$ и $450 \div 550$ мм в год соответственно) количества выпадавших осадков мощность кремнеземистого сапропеля была на $0,1 \div 0,2$ м меньше, чем смешанного сапропеля (BL, BO-2). Уменьшение атмосферных осадков вызвало резкое снижение накопления кремнеземистого сапропеля в результате сокращения сноса с водосбора и лишь некоторый спад накопления смешанного сапропеля, более устойчивого к смене условий увлажнения.

В условиях умеренно теплого и прохладного климата со среднегодовыми температурами $+4,5$ °... $+5,5$ °С кремнеземистый и смешанный сапропели накапливались с равной вероятностью и имели мощность $0,3 \div 0,4$ м (BO-2, SA-1). В зависимости от увеличения или уменьшения температур в допустимых пределах для нормы умеренного (суббореального и бореального) климата отложение кремнеземистого и смешанного сапропелей на всех этапах голоцена шло в соответствии с таковым для количества выпадавших осадков. Таким образом, на всех этапах голоцена для условий умеренного климата изменение в накоплении кремнеземистого и смешанного сапропелей отразило климатический тренд и позволило идентифицировать тенденции его смены. Однако выявление подобного тренда с помощью ГТП снижает индикаторные функции указанных отложений, что не позволяет использовать ГТП для анализа климатических трендов.

Численный показатель ГТП может служить целям формализации данных при моделировании палеогеографических процессов. Для их анализа применяется географическая типизация и интерпретация данных об условиях водосборов. Следовательно, ГТП в сопоставлении с современными ареалами развития лесов [1] позволяет оценить климатическую обусловленность растительных сукцессий и типов осадконакопления, а при сравнении с обобщенными трендами накопления генетически различных осадков способствует формированию целостной картины развития природы Беларуси в голоцене.

Наращение теплообеспеченности с позднеледниковья по климатический оптимум голоцена на фоне преобладания кластогенного материала в суммарной мощности отложений в озерах определяло прямое совпадение климатических детерминант и максимальной садки. Постепенное снижение ГТП, повышение устойчивости озер как геосистем, заполнение котловины осадками, смена преобладающего материала с кластогенного на аутигенный привели к перестройке динамики осадконакопления, когда максимумам ГТП соответствуют минимумы в скорости садки, т. е. накопление определяет комфортность, степень инертности развития водоема и отложение органогенного материала.

Максимальные скорости отложения, характеризующие динамику природных условий, свидетельствуют о том, что процесс осадконакопления на территории Беларуси менялся поэтапно. Такими этапами перехода осадконакопления южной, центральной и северной частей Беларуси от позднеледникового состояния к межледниковому являются соответственно PB-2, BO-1 и BO-2. Наибольшей общности изменение ГТП и скорости осадконакопления по всей территории Беларуси достигли в PB-1. Однако вплоть до BO-1 пики скоростей осадконакопления отражали умеренно холодные условия раннего голоцена, что вызвано активным сносом кластогенного материала. В последующем максимальные скорости садки все менее соответствуют пикам ГТП, а сами ГТП, начиная с BO-1, разнятся только численно при сохранении общего тренда, что говорит об однородном умеренном климате и позволяет четко дифференцировать локальные условия водосбора как фактора осадконакопления.

1. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М., 1993.

2. Халиль И. М., Околелова А. А. // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 8. С. 14.

3. Еловичева Я. К. Палинология позднеледниковья и голоцена Белоруссии. Мн., 1993.
4. Жуховицкая А. Л., Власов Б. П., Курзо Б. В., Кузнецов В. А. Озерный седиментогенез Беларуси. Геохимические и биологические аспекты. Мн., 1998.
5. Якушко О. Ф., Богдель И. И., Калечиц В. А. и др. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 1978. № 2. С. 50.
6. Кожаринов А. В. Динамика растительного покрова Восточной Европы в позднеледниковье-голоцене. М., 1994.
7. Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. М., 1977.
8. Еловичева Я. К. // Динамика современных экосистем в голоцене: Материалы рос. науч. конф. М., 2006. С. 72.
9. Кожаринов А. В., Пузаченко Ю. Г. // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Материалы XI Междунар. ландшафт. конф. М., 2006. С. 78.
10. Смирнова О. В. // Динамика современных экосистем в голоцене: Материалы Рос. науч. конф. М., 2006. С. 217.

Поступила в редакцию 02.12.09.

Евгений Анатольевич Козлов – ассистент кафедры физической географии материков и океанов и методики преподавания географии.