

Indicators of paleocryogenic processes that disrupt the patterns of peatland autogenic development in the zone of seasonal freezing of rocks of Western Siberia

Short communicationLIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Preis Yu.I.

Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Academicheskoy ave., 10/3, Tomsk, 634005, Russia

ABSTRACT. On the data of detailed studies in 2003-2019 and dating of ^{14}C , AMS, ^{210}Pb and ^{137}Cs peat sections of the zone of seasonal freezing of rocks of Western Siberia indicators of paleocryogenic processes were searched. The functional state of these peatlands was reconstructed as a response to continental climate changes. A system-evolutionary methodological approach to the search for disturbances of autogenic development of peatlands, dating of pairs of neighboring peat samples to identify the peat accumulation stopping, data on peat sections - analogues from the permafrost zone and data on paleoreconstructions of the Holocene climate of Western Siberia were used. This allowed indicators of paleocryogenic processes to be proposed. The use of these indicators will increase the objectivity of studying the climatic paleoreconstructions of the territory.

Keywords: Indicator, cryogenic process, peat deposit, Holocene, zone of seasonal freezing of rocks, Western Siberia

For citation: Preis Yu.I. Indicators of paleocryogenic processes that disrupt the patterns of peatland autogenic development in the zone of seasonal freezing of rocks of Western Siberia // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 562-567. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-562

1. Introduction

Currently, there are several reconstructions of the Holocene climate for the forest zone of Western Siberia based on the spore-pollen spectra of peat deposits. However, they differ not only in detail, but also in age boundaries and extremes of periods of cooling and warming. In our opinion, this is largely due to the underestimation of the regional features of the genesis and dynamics of peatlands - the basic objects of paleoreconstructions, that were formed under continental climate conditions. Despite the repeated findings here of permafrost heaving peat mounds - relics of Holocene cooling events (review in Vasilchuk et al., 2008), climate paleoreconstructions do not take into account the influence of cryogenic processes that disrupt the autogenic course of peatland development and cause the loss of spore-pollen spectra during periods of peat accumulation stopping. This is due to the lack of methods for reconstructing these processes in peat deposits outside the permafrost zone.

The purpose of the study is to search for paleocryogenic processes indicators in peat deposits

in the zone of seasonal freezing of rocks in Western Siberia.

2. Materials and methods

The objects of the study are the peatlands of Western Siberia (from the middle taiga to the forest-steppe), where from 2003 to 2019 studies of peat deposits were carried out to their full depth with a peat sampling step of 2-5 cm. Peat samples were analyzed for botanical composition, degree of decomposition (*DD*, %), ash content (*A*, %, bulk density (*BD*, g dm³) and moisture content (*MC*, %). To determine the age of the peat samples, radiocarbon dating by ^{14}C , AMS, as well as by ^{137}Cs , ^{210}Pb was used. To identify peat accumulation stoppings, pairs of neighboring samples were dated.

Reconstruction of the paleohydrology of the peatlands was carried out by calculating the index of wet (*IW*, point) according to (Elina and Yurkovskaya, 1992) and taking into account the *DD* and *BD* indicators of peat.

*Corresponding author.

E-mail address: preisyui@rambler.ru (Yu.I. Preis)

Received: June 11, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



To search and determine the type of paleocryogenic processes in peat deposits and underlying soils, a system-evolutionary methodological approach to identify disturbances in the peatland autogenic development by external factors and indicators of the influence of cryogenic processes on the dynamics, stratigraphy of peatlands and properties of peats were used. For indicators identification analysis of the peatlands data of the modern permafrost zone of the Holarctic (Vasilchuk et al., 2008), relict palsas of the Western Siberia forest zone (review in Vasilchuk, 2013) and our studies of the Central Siberia northern taiga peatlands (Preis, 2002; 2004) were used. We accepted that during the Holocene cooling periods (Volkova et al., 2002), similar disturbances in the peatlands of Western Siberia outside the permafrost zone were caused by cryogenic processes too.

3. Results and discussion

The following disturbances in the peatlands autogenic have been identified: 1) the pulsating nature of paludification; 2) discrepancy between the paludification type and the richness of the underlying soils; 3) incomplete peatland development cycle - loss of eutrophic or mesotrophic stages; 4) return or pseudo-return to a lower stage of development; 5) sharp changes in the species composition and structure of paleophytocenoses, indicating a severance of successional connections by external factors; 6) the absence of a consistent change in the indicators *IW* and *DD*, *BD*, *MC* along the peat deposit depth, indicating a secondary change in the properties of peat; 7) unreasonably low peat accumulation rates, indicating the presence of stopping its accumulation.

The following indicators of paleocryogenic processes in peat deposits and underlying soils have been proposed.

1. Mesotrophic paludification of carbonate soils. The start cooling, the formation of permafrost or long-term thawing seasonally frozen water-proofs in soils, which favors the appearance of meso- and oligotrophic sphagnum mosses indicates.

2. The pulsating nature of mesotrophic paludification with peat accumulation stopping and a secondary change in the peat properties. A sharp change in the hydrothermal regimes of peatland ecotopes during the directed warming period after global cooling, which caused the formation of a layer of permafrost soil indicates. The influx of water from degrading permafrost promotes the peat accumulation, then a decrease in the groundwater level after complete permafrost degradation causes depaludification, an increase in *DD*, *A*, *BD* and a decrease in the *MC* of peats.

3. Oligotrophic paludification of carbonate soils. The start of warming after global cooling and the start of degradation of permafrost water-proof layer in soil, which had previously isolated rich groundwater indicates. Active transgression of oligotrophic sphagnum mosses is caused by the formation of weakly mineralized over-permafrost water layer from atmospheric precipitation.

Most likely, the paludification type depends on the thickness of the permafrost layer. The climatic conditionality of mesotrophic and oligotrophic types of the paludification and the influence of cryogenic processes is confirmed by inversions and pseudo-inversions in peat deposits, reflecting a return to the lithogen-determined eutrophic stage of development after the permafrost degradation and the death of oligotrophic sphagnum mosses, mainly due to their flooding.

4. The peat accumulation stopping with the formation of the paleostratigraphic boundary (PSB). A sharp change in the hydrothermal regimes of peatland ecotopes and climate it indicates. At the first stage – climate aridization, which causes drying of the peatland surface up to afforestation of even previously highly watered ecotopes and formation of well-decomposed peat - the lower layer of the PSB. At the second stage - cooling, which causes freezing peat deposit and palsa formation, accompanied by ice accumulation due to water migration to the freezing front, and peat accumulation stopping. On the third stage - climate warming, which causes gradual or sharp degradation of palsa. In the first case, the formation of over-permafrost water layer from atmospheric precipitation causes catastrophic oligotrophization of vegetation and formation of the poorly decomposed raised bog peat, fuscum or magellanic - the upper layer of the PSB. With sharp degradation of permafrost, a secondary pool is formed, by the high *MC* and low *BD* of the lower layer of the PSB as evidenced. When it is overgrown, a layer of the poorly decomposed raised bog swamp peat formation usually, but with additional intake of rich water, a layer of low-mire swamp peat formation. Such secondary pools can exist for a long time, up to the present, which excludes the presence of an upper layer PSB. Usually at the bottom of such pools there is a layer of liquefied destructured peat, re-deposited from its sides.

The cryogenic nature of the peat accumulation stopping by their confinement to a period of a certain global cooling, as well as the gradual oligotrophization of vegetation without the formation of PSB and the absence of peat accumulation stopping in peat deposit of other bogs of the region during this period is confirmed. This is also confirmed by the significantly smaller thickness of the lower layer of the PSB compared to the similar layer in the peat deposits of the peatlands of Western and Eastern Europe, as well as Urals, formed in a temperate continental climate, where paleocryogenic processes were absent or less pronounced, and the drying out of the peatlands continued in the subsequent years dry cooling period.

Figure shows a peat section № 1 in the ryam of Bakchar bog with indicators of the cryogenic processes influence during paludification and at later stages of its development.

4. Conclusions

Thus, indicators of paleocryogenic processes have been proposed for peatlands in the seasonal freezing zone of rocks of Western Siberia, the use of which will make it possible to obtain more objective data on paleoclimatic reconstructions.

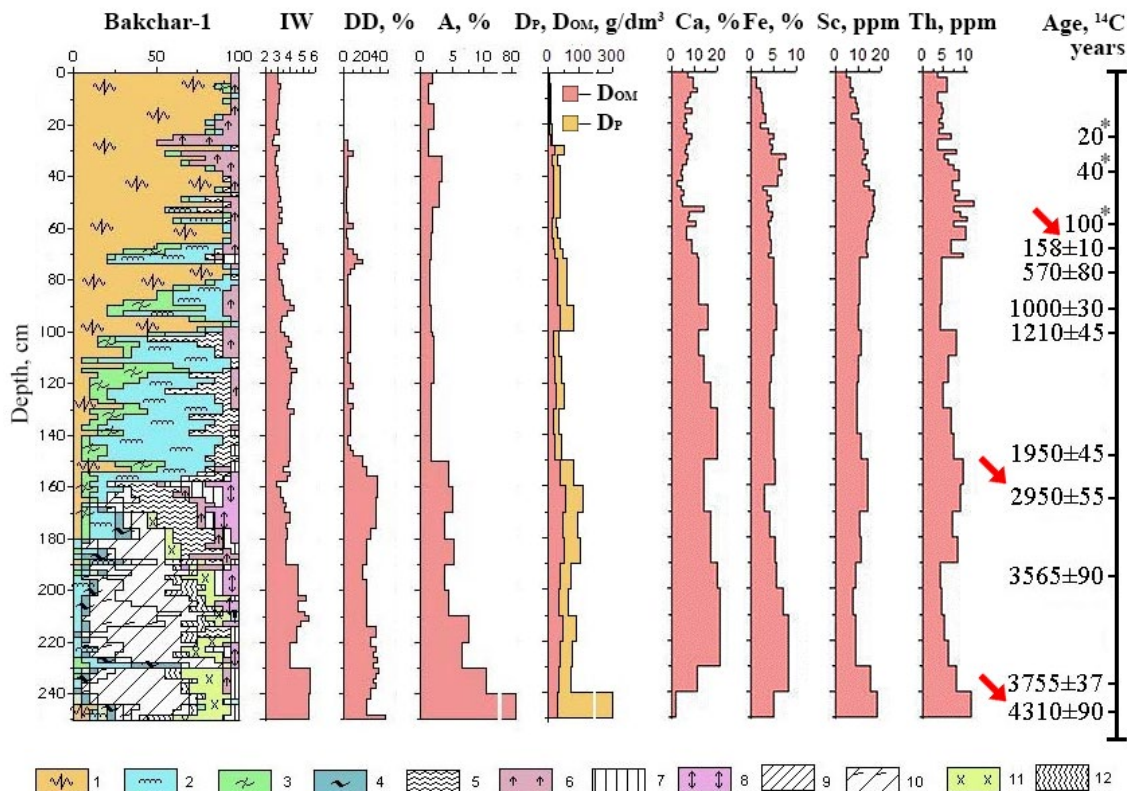


Fig. Botanical composition and peat properties of peat section № 1 in the ryam of Bakchar bog. Peat properties: IW – index of wet index of wet, point; DD – decomposition degree, %; A – ash content, %; *BD* – bulk density of dry peat and organic matter, g/dm³. Plant remains: 1) *Sphagnum fuscum*; 2) *S. magellanicum*; 3) *S. angustifolium*; 4) *S. jensenii*; 5) cotton grass; 6) Ericaceae; 7) wood remains; 8) *Betula nana*; 9) *C. lasiocarpa*; 10) *C. rostrata*; 11) *Equisetum*; 12) reed. * - Dating by ²¹⁰Pb. The red arrow shows the depth of peat accumulation stopping.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

References

Elina G.A., Yurkovskaya T.K. 1992. Methods for determining the paleohydrological regime as the basis for objectifying the causes of succession of swamp vegetation. *Botanical Journal*. 77 (7): 120–124. (in Russian)
 Preis Yu.I. 2002. Ridge-hollow complexes of lowland bogs of the permafrost zone of Central Siberia. *News of Tomsk Polytechnic University*. 305 (6): 89 – 101. (in Russian)
 Preis Yu.I. 2004. Inversion ridge-hollow complexes of lowland bogs of the permafrost zone of Central Siberia. *News of Tomsk Polytechnic University*. 307 (4): 89 – 101. (in Russian)

Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.K., Budantseva N.A., Chizhova Yu.N. 2008. Convex heaving mounds of permafrost peat massifs. M., Publishing house Moskow University. 571. (in Russian)
 Vasilchuk Yu.K. 2013. Current position of the southern border of the permafrost zone of the West Siberian Lowland. *Earth’s Cryosphere XVII* (1): 17–27. (in Russian)
 Volkova V.S., Gnibidenko Z.N., Goryacheva A.A. 2002. Holocene climatic rhythms of the central part of the West Siberian Plain (palynology, magnetism), in: Basic patterns of global and regional changes in climate and natural environment in the Late Cenozoic of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS. 48–57. (in Russian)

Индикаторы палеокриогенных процессов, нарушающих закономерности аутогенного развития болот в зоне сезонного промерзания пород Западной Сибири

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Прейс Ю.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, 10/3, Томск, 634005, Россия

АННОТАЦИЯ. По данным детальных исследований ботанического состава и общетехнических свойств торфяных разрезов и датирования по ^{14}C , AMS, ^{210}Pb и ^{137}Cs выполнена реконструкция функционального состояния болот зоны сезонного промерзания пород Западной Сибири в голоцене, как отклик на изменение континентального климата. Применение системно-эволюционного методического подхода поиска нарушений аутогенного развития болот, датирование пар соседних образцов торфа для выявления прекращений его аккумуляции, использование данных по торфяным разрезам - аналогом из криолитозоны и имеющиеся палеореконструкции климата Западной Сибири позволили предложить индикаторы палеокриогенных процессов, использование которых повысит объективность палеореконструкций климата района исследования.

Ключевые слова: индикаторы, криогенные процессы, торфяные отложения, голоцен, зона сезонного промерзания пород, Западная Сибирь

Для цитирования: Прейс Ю.И. Индикаторы палеокриогенных процессов, нарушающих закономерности аутогенного развития болот в зоне сезонного промерзания пород Западной Сибири // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 562-567. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-562](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-562)

1. Введение

В настоящее время имеются несколько реконструкций климата голоцена для лесной зоны Западной Сибири по спорово-пыльцевым спектрам болотных и озерно-болотных отложений. Однако они различаются не только детальностью, но и возрастными границами и экстремумами периодов похолоданий и потеплений. По нашему мнению, это в значительной степени обусловлено недоучетом региональных особенностей генезиса и динамики болот - базовых объектов палеореконструкций, формировавшихся в условиях континентального климата. Несмотря на неоднократные находки здесь многолетнемерзлых торфяных бугров пучения - реликтов похолоданий голоцена (обзор в Васильчук и др., 2008) при палеореконструкциях климата не учитывается влияние криогенных процессов, нарушающих аутогенный ход развития болот и вызывающих потерю спорово-пыльцевых спектров в периоды прекращений аккумуляции торфа. Это связано с отсутствием методики реконструкции этих про-

цессов в торфяных отложениях вне криолитозоны.

Цель исследования - поиск индикаторов палеокриогенных процессов в торфяных отложениях болот зоны сезонного промерзания пород Западной Сибири для повышения объективности реконструкций климата голоцена.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являются болота Западной Сибири (от средней тайги до лесостепи), на которых с 2003 по 2019 гг. проводились комплексные исследования торфяных залежей на полную их глубину с шагом отбора проб торфа 2-5 см. Пробы торфа проанализированы на ботанический состав, степень разложения (R , %), зольность (A , %, плотность (P , %) и естественную влажность ($W_{\text{ест}}$, %). Для определения возраста образцов применялось радиоуглеродное датирование по ^{14}C и AMS, а также по ^{137}Cs , ^{210}Pb . Для выявления перерывов торфонакопления датировались пары соседних образцов.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: preisyui@rambler.ru (Ю.И. Прейс)

Поступила: 11 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



Реконструкция палеогидрологии болот выполнена методом расчета индекса влажности (IW) по (Елина и Юрковская, 1992) и с учетом показателей R и P торфа.

Для поиска и определения вида палеокриогенных процессов в торфяных разрезах и подстилающих их грунтах использован системно-эволюционный методический подход выявления нарушений аутогенного развития болот внешними факторами и комплекс индикаторов влияния криогенных процессов на динамику, стратиграфию болот и свойства торфов. Комплекс индикаторов выявлен на основе анализа данных по болотам современной криолитозоны голарктики (Васильчук и др., 2008), реликтовым многолетнемерзлым (ММ) буграм пучения (БП) лесной зоны Западной Сибири (обзор в Васильчук, 2013) и наших исследований болот северной тайги Средней Сибири (Прейс, 2002; 2004). Принято допущение, что в периоды похолоданий голоцена (Волкова и др., 2002) подобные нарушения на болотах Западной Сибири и за пределами криолитозоны были вызваны криогенными процессами.

3. Результаты и обсуждение

Выявлены следующие нарушения аутогенного развития болот: 1) пульсирующий характер заболачивания; 2) несоответствие типа заболачивания богатству подстилающих грунтов; 3) неполный цикл развития болот – выпадение евтрофной или мезотрофной стадий; 4) возврат или псевдовозврат на более низкую стадию развития; 5) резкие изменения видового состава и структуры палеофитоценозов, свидетельствующие о разрыве сукцессионных связей внешними факторами; 6) отсутствие согласованного изменения показателей IW и R , P , $W_{\text{ест}}$ по глубине залежи, свидетельствующие о вторичном изменении свойств торфа; 7) неправомерно низкие показатели скорости аккумуляции торфа, свидетельствующие о наличии перерывов его накопления.

Предложены следующие индикаторы палеокриогенных процессов в торфяных отложениях и подстилающих их грунтах.

1. Мезотрофное заболачивание карбонатных грунтов. Индицирует начало влажного похолодания, формирование перелетков или длительно оттаивающих сезонномерзлых водоупоров в грунтах, что благоприятствует появлению мезо- и олиготрофных сфагновых мхов.

2. Пульсирующий характер мезотрофного заболачивания с перерывом торфонакопления и вторичным изменением свойств отложенного торфа. Индицирует резкое изменение гидротермических режимов болотных экотопов в период направленного потепления после глобального похолодания, вызывавшего формирование слоя ММ грунта. Поступление вод из деградирующей ММ сначала способствует отложению торфов, а понижение уровня грунтовых вод после полной ее деградации обуславливает разболачивание, повышение R , A , P и понижение $W_{\text{ест}}$ торфов.

3. Олиготрофное заболачивание карбонатных грунтов. Индицирует начало потепления после глобального похолодания и начало деградации слоя ММ грунта, являющегося водоупором, изолирующим богатые грунтовые воды. Активная трансгрессия олиготрофных сфагновых мхов обусловлена формированием слабоминерализованной надмерзлотной верховодки из атмосферных осадков.

Вероятнее всего тип заболачивания зависит от толщины ММ слоя. Климатическая обусловленность мезо- и олиготрофного типов заболачивания и влияние криогенных процессов подтверждается инверсиями и псевдоинверсиями в торфяных отложениях, отражающих возврат на литогеннообусловленный эвтрофный путь развития после деградации ММ и гибели олиготрофных сфагновых мхов, преимущественно в связи с их затоплением.

4. Прекращение торфонакопления с формированием палеостратиграфического рубежа (ПСР). Индицирует резкое изменение гидротермических режимов болотных экотопов и климата. На первой стадии аридизация климата, вызывающая обсыхание поверхности болота вплоть до облесения даже ранее высокообводненных экотопов и отложение хорошо разложившегося торфа – нижнего слоя ПСР. На второй стадии - похолодание, вызывающее промерзание и пучение торфяной залежи, сопровождающееся накоплением льда за счет миграции воды к фронту промерзания, и прекращение торфонакопления. На третьей стадии - потепление климата, вызывающее постепенную или резкую деградацию ММ. В первом случае, формирование надмерзлотной верховодки вызывает катастрофическую олиготрофизацию растительности и отложение верхового, слабо разложившегося фускум- или магелланикум-торфа - верхнего слоя ПСР. При резкой деградации ММ формируется вторичное озерко, о чем свидетельствует высокая $W_{\text{ест}}$ и низкая P нижнего слоя ПСР. При его зарастании обычно отлагается слой из верховых топяных видов торфа, а при дополнительном поступлении богатых вод – из низинных топяных видов торфа. Такие вторичные озерки могут существовать долго, вплоть до настоящего времени, что исключает наличие верхнего слоя ПСР. Обычно на дне таких озерков имеется слой разжиженного деструктурированного торфа, переотложенного с его бортов.

Криогенный характер прекращений торфонакопления подтверждается приуроченностью их к периоду определенного глобального похолодания, а также постепенной олиготрофизацией растительности без формирования ПСР и отсутствием прекращения торфонакопления на других болотах региона в данный период. Это подтверждает и значительно меньшая толщина нижнего слоя ПСР по сравнению с аналогичным слоем в торфяных отложениях болот Западной и Восточной Европы, а также Урала, формирующихся в условиях умеренно континентального климата, где палеокриогенные процессы отсутствовали или были менее выражены, а обсыхание болот продолжалось и в последующий период сухого похолодания.

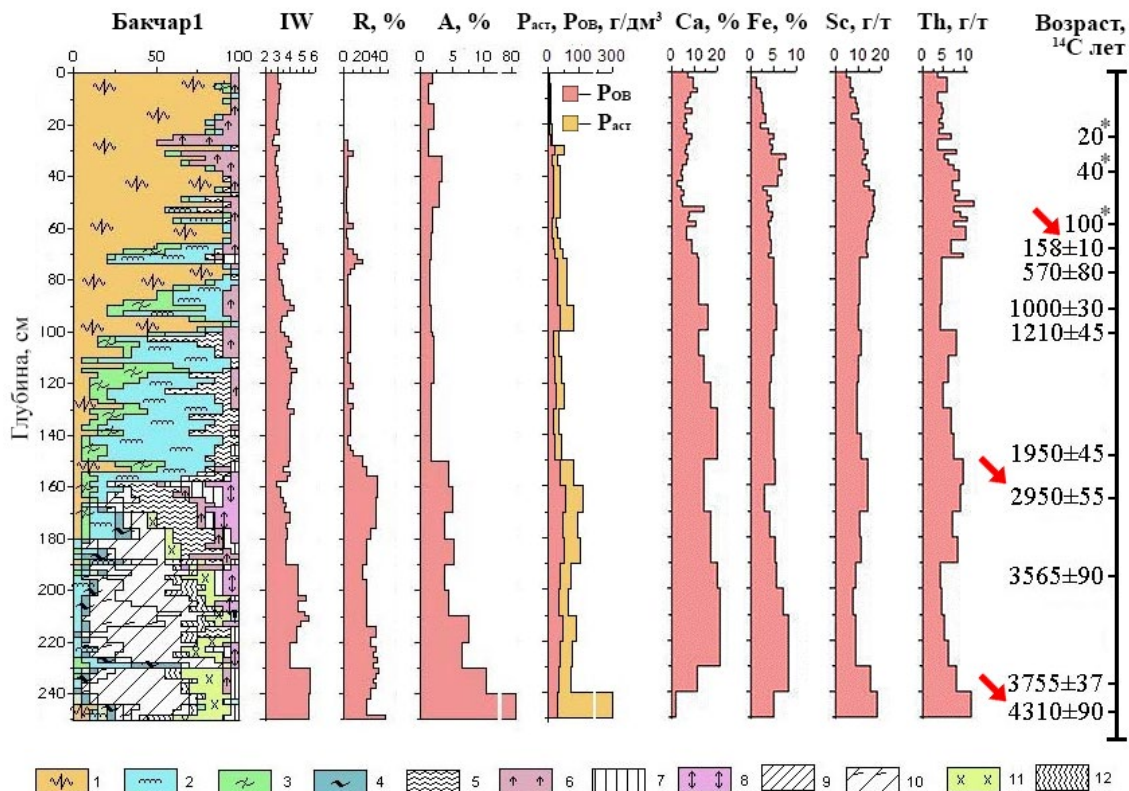


Рис. Ботанический состав и свойства торфа торфяного разреза № 1 в ряме верхового болота Бакчарское. Свойства торфа: IW – индекс влажности, ступень; R – степень разложения, %; A – зольность, %; P – объемная плотность а.с.т и ОВ, г/дм³. Растительные остатки: 1) *Sphagnum fuscum*; 2) *S. magellanicum*; 3) *S. angustifolium*; 4) *S. jensenii*; 5) пушица; 6) вересковые кустарнички; 7) древесные остатки; 8) ерник; 9) *C. lasiocarpa*; 10) *C. rostrata*; 11) хвощ; 12) тростник. * - датирование по ²¹⁰Pb. Красной стрелкой показана глубина прекращения аккумуляции торфа.

На рисунке представлен торфяной разрез № 1 в ряме верхового болота Бакчарское с признаками влияния криогенных процессов при заболачивании и на более поздних стадиях развития.

4. Выводы

Таким образом, предложены индикаторы палеокриогенных процессов для болот зоны сезонного промерзания пород Западной Сибири, использование которых позволит получать более объективные данные палеоклиматических реконструкций.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. 2008. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов. М., Изд-во Моск. ун-та. 571.

Васильчук Ю.К. 2013. Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности. Криосфера Земли XVII (1): 17–27.

Волкова В.С., Гнибиденко З.Н., Горячева А.А. 2002. Климатическая ритмика голоцена центральной части Западно-Сибирской равнины (палинология, магнетизм), в: Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН. 48–57.

Елина Г.А., Юрковская Т.К. 1992. Методы определения палеогеологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот. Ботанический журнал. 77 (7): 120–124.

Прейс Ю.И. 2002. Грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири. Известия Томского политехнического университета. 305 (6): 89–101.

Прейс Ю.И. 2004. Инверсионные грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири. Известия Томского политехнического ун-та. 307 (4): 89–101.