

Assessment of Holocene climate influence on hydrothermal regime of paleoecotopes within Ryams of the Baraba forest-steppe (southern Western Siberia)

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYPreis Yu.I.¹, Maltsev A.E.^{2*}, Leonova G.A.²¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskoy ave., 10/3, Tomsk, 634055, Russia² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Akademika Koptyuga ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia

ABSTRACT. A clearly defined trend of alterations in the properties of peat across the depth of the deposit has been observed in the two studied ryams of the Barabinsk forest-steppe. The changes in peat properties influenced by external factors outweigh those induced by autogenic development of the bog. In order to achieve an accurate reconstruction of changes in the water regimes of ryams, it is essential to consider that the properties of peats reflect not only the state of the water regime at the time of their deposition but also subsequent changes over time. Both peat sections exhibit a catastrophic transition from the eutrophic to the oligotrophic stage of development approximately 4100 and 1100 years ago.

Keywords: Ryam, peat, Holocene, climate, hydrothermal regime of bogs

For citation: Preis Yu.I., Maltsev A.E., Leonova G.A. Assessment of Holocene climate influence on hydrothermal regime of paleoecotopes within Ryams of the Baraba forest-steppe (southern Western Siberia) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 580-587. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-580

1. Introduction

Considering the current limited comprehension of the Holocene climate's impact on modifications in the hydrothermal regime of paleoecotopes within bogs, it is necessary to assess the significance of methods for reconstructing water regimes using bioindicators. Traditionally in Russia, methods for reconstructing the hydrological regime of paleo-ecotopes include calculating humidification steps (HS) and index of wet (IW) based on the botanical composition of peat and ecological scales of bog plants (Ramensky et al., 1956; Elina and Yurkovskaya, 1992). Additional indicators include the decomposition degree of peat (DD), which depends on water table level and the time peat spends in aerobic conditions, as well as density and moisture content (MC), which are correlated with it. High water content of bogs corresponds to high values of HS, IW, MC and low — DD, density. In addition, the latest methods using highly sensitive indicators are widely used: N/C and H/C ratios in peat. The N/C ratio is an indicator of the humification process due to specific microbial activity in an anaerobic environment and the enrichment of peat with nitrogen-containing compounds of bacterial origin (Borgmark, 2005). The H/C ratio is an

indicator of the molecular complexity and aromaticity (Anderson and Hepburn, 1986). A decrease in N/C and H/C ratios indicates an increase in the degree of peat decomposition and vice versa.

2. Materials and methods

The study focused on Holocene peat profiles from the Ubinsky "burnt" Ryam (anthropogenically disturbed) and the Sherstobitovskiy Ryam, both located in the Baraba forest-steppe (Novosibirsk region). To validate methods for reconstructing the hydrological regime of paleo-ecotopes using traditional bioindicators, changes in the indicators IW, HS, DD, density, and MC were analyzed across the depth of the peat deposits in key sections of the Ryams (Fig. 1, 2). Additionally, correlation coefficients (r) were calculated between pairs of these indicators, as well as between these indicators and the depth of the peat deposit (depth). When calculations are performed for the entire profile, significant correlation coefficients often arise due to substantial differences in only some of the indicators. Therefore, calculations were conducted separately for layers of different peat types.

*Corresponding author.

E-mail address: maltsev@igm.nsc.ru (A.E. Maltsev)

Received: June 08, 2024; **Accepted:** July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



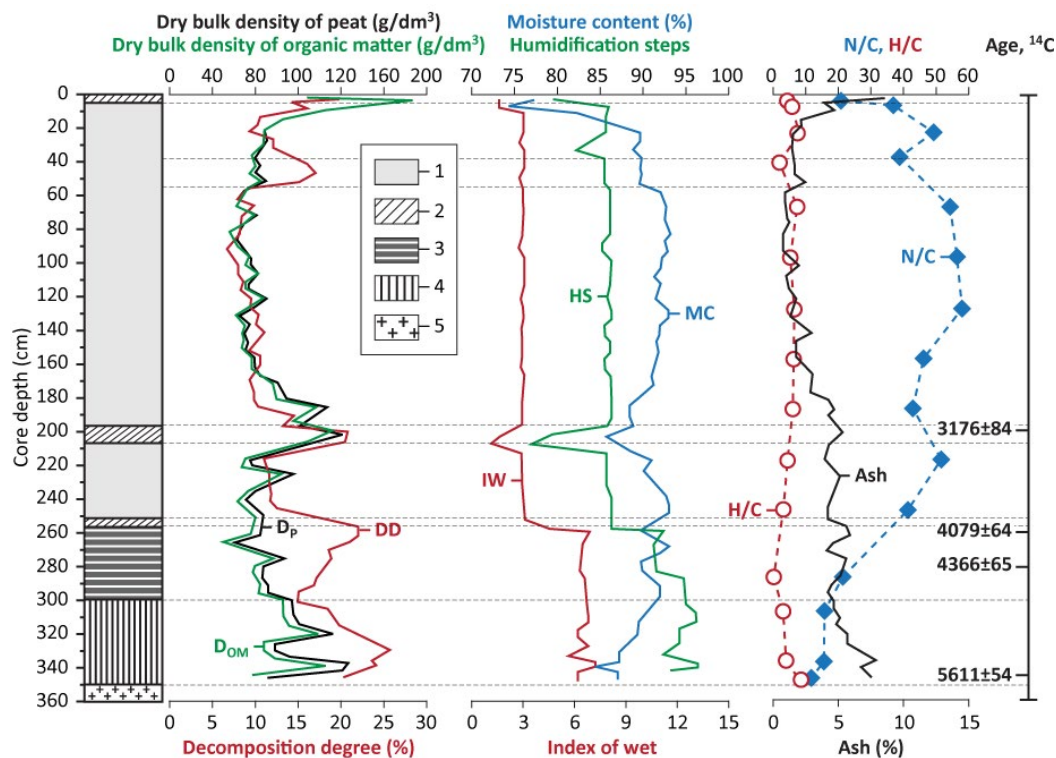


Fig. 1. Changes in the properties of peat and indicators of the water paleoregime of the Ubinsky “burnt” Ryam. 1. *Sphagnum fuscum* (upland peat), 2. woody remains, 3. *S. teres* and forbs, 4. reed, 5. organic-mineral deposits.

3. Results and discussion

For the fen peat (~350–260 cm) of the Ubinsky “burnt” Ryam, significant positive correlation coefficients were found between ash content and depth ($r = 0.62$) (Fig. 1). This correlation reflects the expected nutrient depletion in the mire as peat accumulates and plant root systems become disconnected from the mineral substrate. Additionally, the correlation between the density of organic matter (D_{OM}) and depth ($r = 0.62$) indicates a consistent decrease in density from the bottom to the top, highlighting a transition from a variable moisture regime to a more stable one and a shift from highly productive grass paleo-communities to sphagnum communities. Positive correlation coefficients between ash content and decomposition degree ($r = 0.70$) suggest that peatland fires coincided with periods of lowered water table levels. Significant negative correlation coefficients were observed for all properties and MC ($r = -0.66$ to -0.80). No significant correlation coefficients were found between all peat properties (including water paleoregime indicators) and IW, HS. This indicates that the initial dependence of peat DD, density, and MC on the water saturation level of the paleoecotope, and consequently on the species composition of paleo-communities, is substantially disrupted by secondary changes in the peat. Since this peat was deposited under high water table conditions (average IW = 6.5; average HS = 91.7), these disruptions are attributed to subsequent declines in the water table. This conclusion is supported by the pulsating nature of changes in DD.

For the raised peat (~260–0 cm), significant correlation coefficients were identified for all peat properties: ash content and depth ($r = 0.73$); ash and dry bulk

density of peat (D_p), D_{OM} ($r = 0.64, 0.56$); ash content and DD ($r = 0.64$); DD and D_p , D_{OM} ($r = 0.62, 0.68$); MC and DD, density, ash content ($r = -0.5$ to -0.67). This is due to the fairly good consistency of their changes along the depth of the peat. However, the indicators for all properties, except ash content, do not show significant dependence on the depth of the deposit (r and depth are not significant). Despite the clear trend of changing peat properties with depth, the variations in these properties due to external factors are more significant than those caused by the autogenic development of the bog. Significant correlation coefficients values were also obtained for raised peat properties and IW, HS (except ash content). This is attributed to the presence of two layers of woody peat, which sharply differ from the predominant fuscum-peats in terms of IW and HS indicators. When these layers are excluded from the calculations, the r values become insignificant.

For the fen peat (~250–70 cm) of the Sherstobitovskiy Ryam, significant correlation coefficients were obtained for ash content and depth ($r = 0.56$); D_p , D_{OM} and depth ($r = 0.74; 0.81$); as well as for ash content and D_p , D_{OM} ($r = 0.88, 0.72$) (Fig. 2). However, there was no significant correlation between ash content and decomposition degree of peat ($r = 0.03$). Excluding the values of ash content and DD in the 220–250 cm layer, composed of peats enriched with *Sphagnum teres* remains, results in a significant correlation coefficient ($r = 0.66$). The extremes in ash content are not associated with fires, as no evidence of them was found. Instead, they are linked to the upward movement of more mineralized waters due to active plant transpiration during arid periods. Unlike the Ubinsky “burnt” Ryam, a significant negative correlation coefficient was found only for MC and ash content

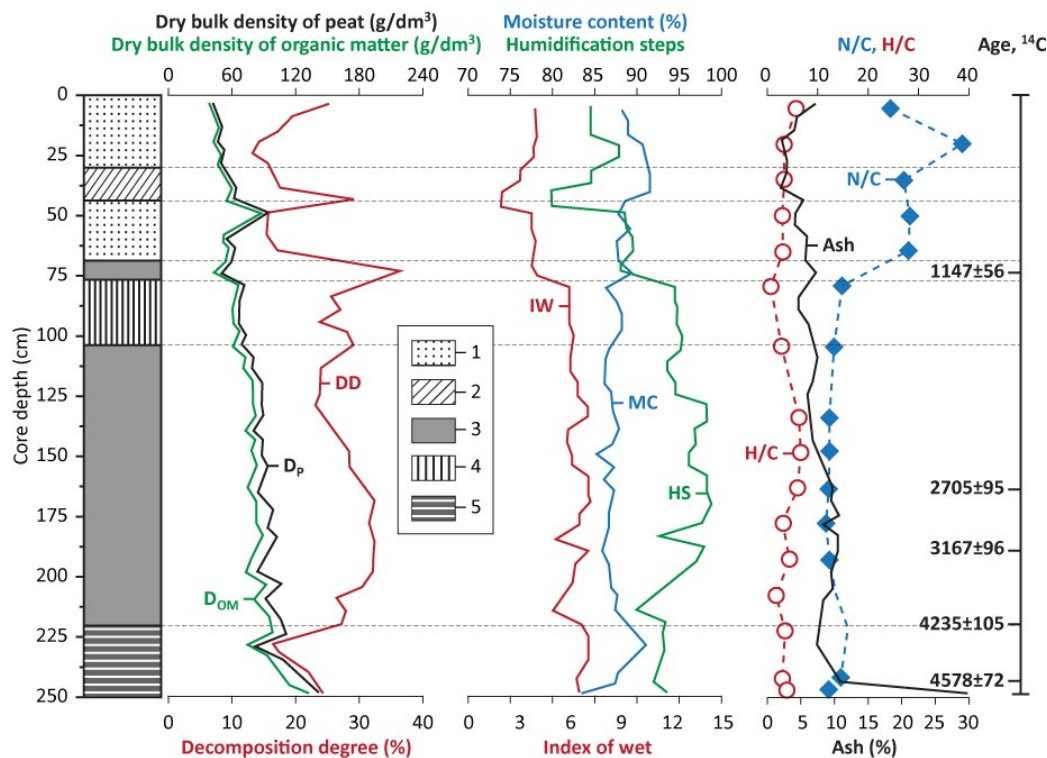


Fig.2. Changes in the properties of peat and indicators of the water paleoregime of the Sherstobitovskiy Ryam. 1. *Sphagnum magellanicum* (upland peat), 2. woody remains, 3. forbs, 4. reed, 5. *S. teres*.

($r = -0.52$). Similar to the Ubinsky “burnt” Ryam, no significant correlation coefficients were found for IW, HS, and all peat properties. Since these peats also accumulated under high water table conditions (average IW = 6.3; average HS = 94.9), the disruptions are likely due to subsequent water table declines, possibly during the regression periods of nearby lakes.

For the raised peat (~70–0 cm), significant correlation coefficients were identified only for the following pairs: D_p , D_{OM} , and depth ($r = 0.59, 0.57$), reflecting the systematic compaction of the peat after its deposition; ash content and DD ($r = 0.60$); and ash content and MC ($r = -0.89$), with the coordinated changes in the upper layer attributed to anthropogenic factors.

Thus, to obtain an objective reconstruction of the changes in the hydrological regimes of the mires in the Baraba forest-steppe, it is necessary to consider that the properties of peat indicate not only the state of the water regime at the time of their deposition but also its changes at later times.

Changes in the ratios N/C and H/C were analyzed along the depth profile of both sections (Fig. 1, 2), and their correlation coefficients were calculated. For the profiles of the Ubinsky “burnt” Ryam and the Sherstobitovskiy Ryam, significant correlation coefficients were obtained for the N/C ratio and the decomposition degree of peat ($r = -0.93$ and -0.82), as well as for the N/C ratio and the depth of the peat deposit ($r = -0.61$ and -0.76). This confirmed the high significance of the N/C ratio as an indicator of the paleohydrological regime of the Baraba ryams. In contrast, no significant correlation coefficients were found for the H/C ratio with the N/C ratio, DD, and depth. The low indicative significance of the H/C ratio is likely due to the fact that in poorly decomposed peats, this indicator

primarily depends on the botanical composition of the peat.

4. Conclusions.

In the sediment profiles of the Ubinsky “burnt” Ryam (anthropogenically disturbed) and the Sherstobitovskiy Ryam, both located in the Baraba forest-steppe (Novosibirsk region), there is an absence of features characteristic of autogenous oligotrophication, such as a gradual decrease in ash content, DD, and an increase in the content of oligotrophic plant remains. Both profiles of peat are characterized by a catastrophic transition from the eutrophic to the oligotrophic stage of development. This transgression of oligotrophic *Sphagnum* mosses was preceded by an increase in ash content and the decomposition degree of peat, caused by the drying and afforestation of the fen surface. This likely promoted the formation of perennial permafrost aquicludes during periods of dry cooling. The radiocarbon age of this transition (approximately 4100 and 1100 years ago) coincides with the end of global Holocene climate coolings, with maxima at 4500 and 1200 years ago, as well as the age of paleocryogenic processes in the peatlands of the forest zone of Western Siberia (Preis, 2015). These findings indicate the climatic determination of the oligotrophication of the studied mires.

Acknowledgements

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, Project No. 24-27-00061.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

References

Anderson H., Hepburn A. 1986. Variation of humic substances within peat profile, in: Fuchsman, C.H. (Ed.), *Peat and Water*, Academic Press, New York, pp. 177–194.

Borgmark A. 2005. Holocene climate variability and periodicities in south-central Sweden, as interpreted from peat humification analysis. *Holocene*. 15 (3): 387–395. DOI: [10.1191/0959683605hl816rp](https://doi.org/10.1191/0959683605hl816rp)

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. 2015. Detailed reconstruction of the functional state of the swamp as a response to changes in the continental climate of the Holocene (middle taiga of Western Siberia). *News of Tomsk Polytechnic University*. 326 (2): 90–102. (in Russian)

Ramensky L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. 1956. Ecological assessment of forage areas based on vegetation cover. *Selkhozgiz, Moscow*. 472 p. (in Russian)

Влияния климата голоцена на изменение гидротермического режима палеоэкотопов рямов Барабинской лесостепи (юг Западной Сибири)

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYПрейс Ю.И.¹, Мальцев А.Е.^{2*}, Леонова Г.А.²¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр., 10/3, Томск, 634055, Россия² Институт геологии и минералогии им. Соболева В.С. СО РАН, пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия

АННОТАЦИЯ. Не смотря на достаточно хорошо выраженную общую тенденцию изменения свойств торфа по глубине залежи, изменение их под влиянием внешних факторов более существенно, чем обусловленное аутогенным развитием болота. В связи со значительным участием в залежах торфов с вторично измененными свойствами, для получения объективной реконструкции изменения водных режимов рямов Барабинской лесостепи необходимо учитывать, что свойства торфов индицируют состояние водного режима не только в момент их отложения, но и его изменение в более позднее время.

Ключевые слова: Рямы, торф, голоцен, климат, гидротермический режим

Для цитирования: Прейс Ю.И., Мальцев А.Е., Леонова Г.А. Влияния климата голоцена на изменение гидротермического режима палеоэкотопов рямов Барабинской лесостепи (юг Западной Сибири) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 580-587. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-580

1. Введение

В связи со слабой изученностью влияния климата голоцена на изменение гидротермического режима палеоэкотопов болот, формирующихся в условиях континентального климата голоцена Западной Сибири, и особенно рямов Барабинской лесостепи, находящихся на южном пределе их распространения, необходима валидация методов реконструкции водных режимов даже по традиционным биоиндикаторам, то есть оценка значимости этих индикаторов.

Традиционно в России для реконструкции водного режима палеоэкотопов используются методы расчета ступени увлажнения (СУ) и индекса влажности (IW) по ботаническому составу торфа и экологическим шкалам болотных растений (Раменский и др., 1956; Елина и Юрковская, 1992). В качестве дополнительных индикаторов принимают степень разложения (R) торфа, зависящую от уровня болотных вод (УБВ) и времени нахождения торфа в аэробных условиях, а также коррелятивно связанные с ней плотности (P) и естественной влажности ($W_{ест}$). Высокой обводненности болот соответствуют высокие значения СУ и IW, $W_{ест}$, низкие — R, P. Кроме того, за рубежом широко использу-

ются новейшие методы с применением высокочувствительных индикаторов: отношения C/N и C/H в торфе. Отношение C/N считается хорошим индикатором процесса гумификации из-за специфической микробной активности в анаэробной, кислой среде и обогащения торфяной массы азотсодержащими соединениями бактериального происхождения (Borgmark, 2005). Уменьшение отношения C/N указывает на увеличение разложения торфа и наоборот. Отношение C/H является показателем молекулярной сложности и в то же время ароматичности (Anderson and Herburn, 1986). Уменьшение отношений H/C указывает на увеличение разложения торфа и наоборот.

2. Материалы и методы

Объектами исследования стали голоценовые разрезы торфа Убинского горелого (антропогенно нарушенного) и Шерстобитовского рямов, расположенных в Барабинской лесостепи (Новосибирская область). Для валидации методов реконструкции водного режима палеоэкотопов по традиционным биоиндикаторам были проанализированы изменения показателей IW, СУ, R, P, $W_{ест}$ по глубине зале-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: maltsev@igm.nsc.ru (А.Е. Мальцев)

Поступила: 08 июня 2024; Принята: 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



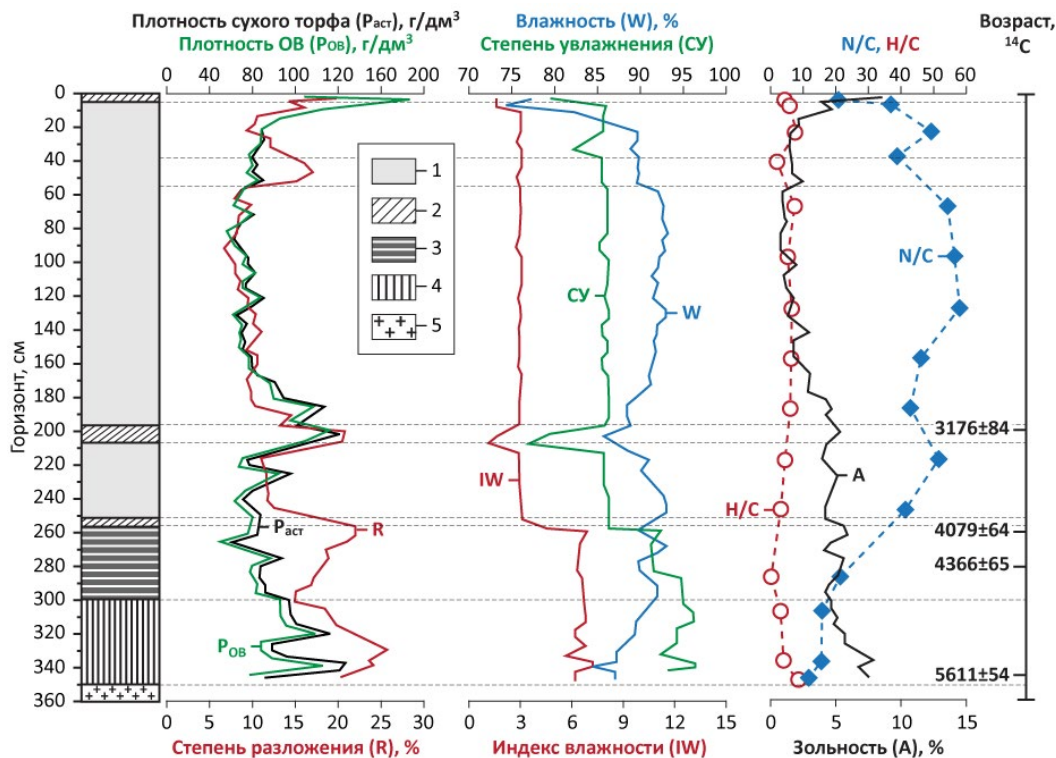


Рис.1. Изменение свойств торфа и индикаторов водного палеорежима Убинского горелого яма. 1. *Sphagnum fuscum* (верховой торф), 2. древесные остатки, 3. *S. teres* и разнотравье, 4. тростник, 5. органо-минеральные отложения.

жей ключевых участков ямов (Рис. 1, 2) и расчеты коэффициентов корреляции (r) между парами всех этих показателей, а также между этими показателями и глубиной торфяной залежи (h). При расчете для всей залежи часто получаются значимые коэффициенты корреляции из-за значительных различий лишь некоторых показателей. Поэтому расчёты проведены отдельно для слоев торфов разного типа.

3. Результаты и обсуждения

Для слоя низинных торфов (~350–260 см) Убинского горелого яма получены значимые положительные коэффициенты корреляции зольности (A) и h ($r = 0.62$) (Рис. 1). Это отражает закономерное обеднение питания по мере отложения торфов и отрыва корневых систем растений от минерального дна. Плотность органического вещества торфа (P_{OM}) и h ($r = 0.62$) показывает закономерное уменьшение плотности от дна вверх. Что отражает смену переменного режима увлажнения более стабильным режимом и смену высокопродуктивных травяных палеосообществ сфагновыми сообществами. Положительные коэффициенты корреляции A и R ($r = 0.70$) показывают совпадение болотных пожаров с периодами понижения УБВ. Получены значимые отрицательные коэффициенты корреляции всех свойств и $W_{ест}$ ($r = -0.66 \dots -0.80$). Отсутствуют значимые коэффициенты корреляции всех свойств торфа (в том числе индикаторов водного палеорежима) и IW , SU . То есть исходная зависимость R , P , $W_{ест}$ торфа от степени обводненности палеозкотопы, а соответственно и от видового состава палеосообществ, значительно нарушена вторичными измене-

ниями торфов. Поскольку этот торф отлагался при высоких УБВ ($IW_{cp} = 6.5$; $SU_{cp} = 91.7$) данные нарушения обусловлены последующими понижениями УБВ. Это подтверждается пульсирующим характером изменения R .

Для слоя верховых торфов (~260–0 см) значимые коэффициенты корреляции выявлены для всех свойств торфа: A и h ($r = 0.73$); A и плотности абсолютно сухого торфа (P_{act}), P_{ov} ($r = 0.64, 0.56$); A и R ($r = 0.64$); R и P_{act} , P_{ov} ($r = 0.62, 0.68$); $W_{ест}$ и R , P , A ($r = -0.5 \dots -0.67$). Это связано с достаточно хорошей согласованностью их изменений по глубине залежи. При этом показатели всех свойств (за исключением A) не зависят от глубины залежи (r и h не значимы). Не смотря на хорошо выраженную тенденцию изменения свойств торфа по глубине залежи, изменение их свойств под влиянием внешних факторов более существенно, чем обусловленное аутогенным развитием болота. Получены значимые r свойств верхового торфа (за исключением A) и IW , SU . Однако это обусловлено наличием 2-х прослоек древесного торфа, резко отличающихся от преобладающих фускум-торфов по показателям IW и SU . При исключении этих прослоек из расчетов, r становятся не значимыми.

Для слоя низинных торфов (~250–70 см) Шерстобитовского яма получены значимые коэффициенты корреляции A и h ($r = 0.56$); P_{act} , P_{ov} и h ($r = 0.74; 0.81$); а также для A и P_{act} , P_{ov} ($r = 0.88, 0.72$), но отсутствуют для A и R ($r = 0.03$) (Рис. 2). Однако при исключении значений A и R в слое 220–250 см, сложенных торфами, обогащенными остатками *Sphagnum teres*, коэффициент корреляции становится значимым ($r = 0.66$). Экстремумы A связаны не с пожарами, так как их следы не

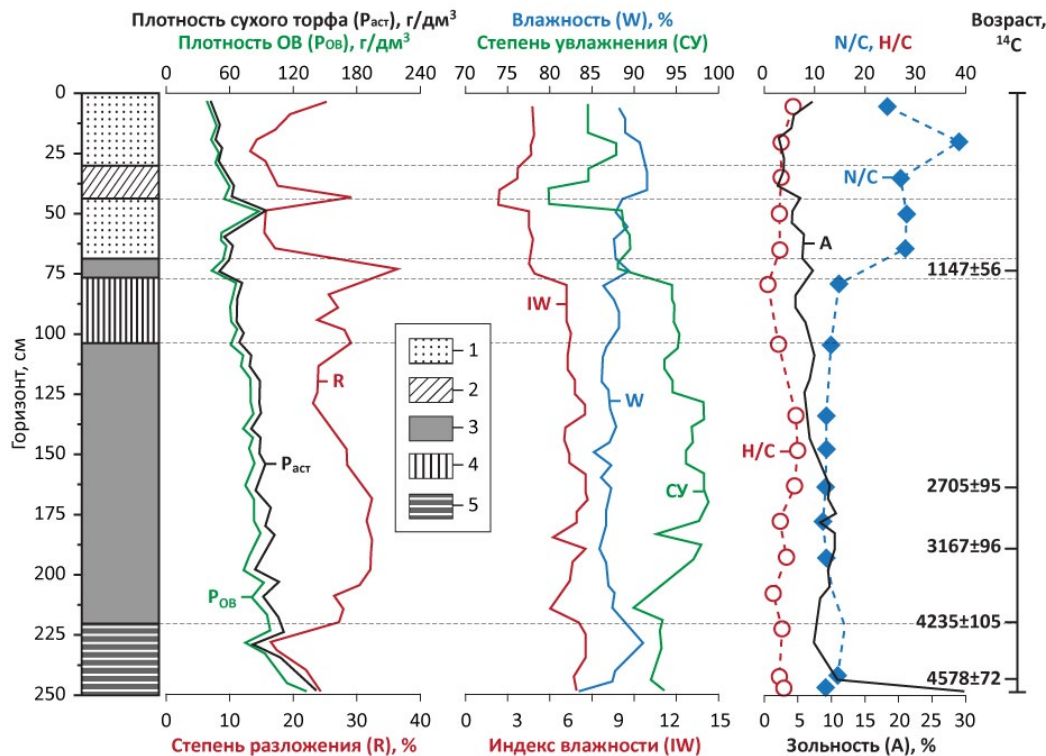


Рис.2. Изменение свойств торфа и индикаторов водного палеорежима Шерстобитовского рьяма. 1. *Sphagnum magellanicum* (верховой торф), 2. древесные остатки, 3. разнотравье, 4. тростник, 5. *S. teres*.

были обнаружены, а с подтягиванием более минерализованных вод в связи с активной транспирацией растениями в аридные периоды. В отличие от Убинского горелого рьяма значимый отрицательный коэффициент корреляции получен только для $W_{\text{ест}}$ и A ($r = -0.52$). Значимые значения коэффициента корреляции для IW , SU и всех свойств торфа, как и на Убинском горелом рьяме, отсутствуют. Поскольку эти торфа также отлагались при высоких УБВ ($IW_{\text{ср}} = 6.3$; $SU_{\text{ср}} = 94.9$), нарушения обусловлены их последующими понижениями вероятнее всего в периоды регрессии соседних озер.

Для слоя верховых торфов (~70–0 см) значимые коэффициенты корреляции выявлены только для: P_{act} , P_{ov} и h ($r = 0.59, 0.57$), отражающие закономерное уплотнение торфов после их отложения; A и R ($r = 0.60$); A и $W_{\text{ест}}$ ($r = -0.89$), согласованное изменение которых в верхнем слое обусловлено антропогенными факторами.

Таким образом, для получения объективной реконструкции изменения водных режимов рьямов Барабинской лесостепи необходимо учитывать, что свойства торфов индицируют состояние водного режима не только в момент их отложения, но и его изменение в более позднее время.

Были проанализированы изменения показателей биоиндикаторов — отношений N/C , H/C по глубине залежи обоих разрезов (Рис. 1, 2) и рассчитаны коэффициенты их корреляции. Для разрезов Убинского горелого и Шерстобитовского рьямов получены значимые коэффициенты корреляции отношения N/C и степени разложения ($r = -0.93$ и -0.82), а также отношения N/C и глубины залежи ($r = -0.61$ и -0.76). Это подтвердило высокую зна-

чимось отношения N/C , как индикатора водного палеорежима рьямов Барабы. В тоже время значимые коэффициенты корреляции отношения N/C и отношения N/C , R , h отсутствуют. Низкая индикаторная значимость отношения N/C вероятнее всего обусловлена тем, что в слаборазложившихся торфах значение данного показателя зависит, прежде всего, от ботанического состава торфа.

4. Заключение

В разрезах отложений Убинского горелого (антропогенно нарушенного) и Шерстобитовского рьямов, расположенных в Барабинской лесостепи (Новосибирская область), выявлено отсутствие признаков, характерных для аутогенной олиготрофизации: постепенного уменьшения показателей зольности, R торфов и возрастания содержания остатков олиготрофных видов растений. Для обоих разрезов характерен катастрофический переход с эвтрофной на олиготрофную стадию развития. При этом, трансгрессии олиготрофных сфагновых мхов предшествовало увеличение A и R торфов, вызванное обсыханием и облесением поверхности низинного болота, что должно было благоприятствовать появлению многолетнемерзлых водоупоров в периоды сухих похолоданий. Радиоуглеродный возраст этого перехода (около 4100 и 1100 л. н.) совпадает с возрастом окончания глобальных похолоданий климата голоцена с максимумами 4500 и 1200 л. н. и с возрастом палеокриогенных процессов на болотах лесной зоны Западной Сибири (Прейс, 2015). Все это свидетельствует о климатической обусловленности олиготрофизации изученных болот.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 24-27-00061.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

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

Прейс Ю.И. 2015. Детальная реконструкция функционального состояния болота как отклик на изменения континентального климата голоцена (средняя тайга Западной Сибири). *Известия Томского политехнического университета*. 326 (2): 90–102.

Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 472 с.

Anderson N., Hepburn A. 1986. Variation of humic substances within peat profile, in: Fuchsman, C.H. (Ed.), *Peat and Water*, Academic Press, New York, pp. 177–194.

Borgmark A. 2005. Holocene climate variability and periodicities in south-central Sweden, as interpreted from peat humification analysis. *Holocene*. 15 (3): 387–395. DOI: [10.1191/0959683605hl816rp](https://doi.org/10.1191/0959683605hl816rp)