

# ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

© Г.А. МЕРКУШИНА, С.И. ЛАРИН, Н.С. ЛАРИНА  
galochca72@mail.ru, silarin@yandex.ru, nslarina@yandex.ru

УДК 550.4; 662.73:665.44

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППОВОГО И ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ГУМУСА ВЕРХОВОГО ТОРФЯНИКА В ГОЛОЦЕНЕ\*

*АННОТАЦИЯ.* В статье приведены результаты стратиграфического и геохимического изучения верхового торфяника Топорковский рям, расположенного в Крутинском районе Омской области. По данным радиоуглеродного датирования образцов торфа на разных глубинах оценен возраст формирования торфяной залежи — около 5200 лет назад, рассчитана скорость накопления торфа в разные временные промежутки времени. На основе послойного распределения геохимических показателей (рН, Eh, ППП), с учетом стратиграфических данных, в разрезе выделено два основных типа торфа. В основании разреза находится низинный торф (4200-5155 лет назад), выше по разрезу сменяющийся верховым (от 4200 лет назад до современности) и очень слабо выраженный слой переходного типа торфа, что свидетельствует о резкой смене условий в переходный период. Определение группового состава органического вещества (по методике И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой) показало, что в составе гумуса на всех глубинах залегания торфа преобладают фульвокислоты. Распределение групп и фракций гуминовых и фульвокислот по глубине разреза имеет ряд характерных областей, которые могут быть использованы для палеоклиматических реконструкций условий их формирования.

*SUMMARY.* The paper presents the results of stratigraphic and geochemical study of peat bog Toporkovsky riam located in the Omsk region. According to radiocarbon dating of peat samples at different depths the age of formation of peat deposits is estimated — it is about 5200 years, the rate of accumulation of peat in different time intervals is calculated. On the basis of layered distribution of geochemical parameters (pH, Eh, Loss on ignition), with the stratigraphic data, two basic types of peat are determined in the peat bog. At the bottom of the cut there is a lowland peat bog (4200-5155 years), which higher in the section gives way to upland (4200 years ago to the present day) and very poorly defined transition layer of peat, which indicates a dramatic change in terms of the transition period. Determination of group composition of organic matter (I.V. Tyurin method modified by V.V. Ponomareva and T.A. Plotnikova) showed that fulvic acids predominate in the humus at all depths of occurrence of peat. Distribution of groups and factions of humic and fulvic acids on the depth of cut has a number of areas that can be used for paleoclimatic reconstructions conditions of their formation.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦПК Минобрнауки; РФФИ № 11-05-01173-а; Проекта ТюмГУ по реализации Постановления Правительства РФ № 220.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Органическое вещество, гуминовые кислоты, фульвокислоты, торф.

**KEY WORDS.** Organic matter, humic acid, fulvic acid, peat.

Исследование верховых торфяников актуально с точки зрения получения палеоклиматической и палеоэкологической информации. Уникальным источником выступает органическое вещество торфяников. Обладая высокой инерционностью свойств, оно хранит в себе информацию о биохимическом составе растений и изотопном составе атмосферы, типах фотосинтеза, температурных и гидрологических условиях [1-2]. Органическое вещество представляет собой основную часть торфа (80-95%). В верховых болотах оно представлено преимущественно целлюлозой, гемицеллюлозой, лигнином, воскосмолами. Торф таких болот слабогумифицирован; гумусовые вещества составляют 10-15% от общего содержания углерода, в их составе преобладают фульвокислоты. Торф низинных болот гумифицирован в значительно большей степени, в нем содержится до 40-50% гумусовых веществ, в составе которых преобладают гуминовые кислоты.

Гумусовые вещества не являются индивидуальными химическими соединениями, а представляют гетерогенную систему органических веществ сложного состава и строения [3-5]. Они могут находиться в торфяниках, как в свободном состоянии, так и в форме различных соединений с катионами металлов, в форме адсорбционных комплексов. Распределение групп гумусовых веществ по формам связи с минеральной частью гумуса характеризуется фракционным составом гумуса. Среди методов изучения органического вещества выделяют методы изучения содержания, состава, свойств и строения органического вещества почв [6-10].

**Целью** данного исследования было определение особенностей группового и фракционного состава гумуса торфа, а также использование полученных данных для уточнения палеоклиматической информации.

**Объекты и методы.** Для исследования были взяты образцы, отобранные из верхового торфяника Топорковский рям, расположенного в Крутинском районе Омской области (рис. 1).

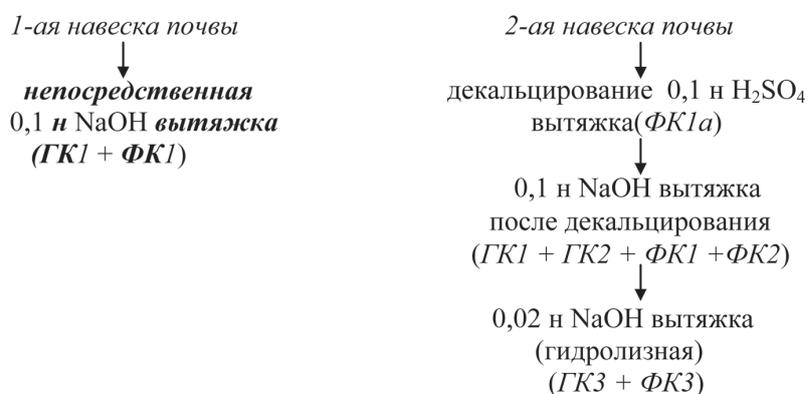
Отбор проб проводился методом открытой шурфовки с послыным отбором проб с шагом 3 см. Параллельно были отобраны образцы для радиоуглеродного датирования. Определение остаточной активности углерода выполнено в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии СО РАН на двухканальной установке по бензолно-сцитилляционному варианту. Для расчета возраста использован период полураспада  $^{14}\text{C}$ , равный 5570 лет, сам возраст рассчитан от 1950 года.

Образцы для геохимического анализа в лабораторных условиях доводились до воздушно-сухого состояния, измельчались и просеивались через сито ( $d = 2$  мм). Определение общих геохимических характеристик проводилось в водной вытяжке из торфа (1 г торфа в 25 см<sup>3</sup> воды). pH, Eh определяли потенциометрическим методом, зольность и общее содержание органического вещества торфа (потери при прокаливании — ППП) — гравиметрическим методом. Измерение оптических плотностей гумусовых кислот в видимой области при длинах волн 465 и 650 нм проводили на спектрофотометре UV-Vis Agilent 8453.



Рис. 1. Местоположение Топорковского яма

Групповой и фракционный состав гумуса был определен для 22 образцов торфа, отобранных на различных глубинах. Фракционирование органического вещества проводилось по методике И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [6], [11], [12]. Схема данной методики дает возможность подразделить гумус на три фракции гуминовых кислот (ГК1, ГК2, ГК3) и четыре фракции фульвокислот (ФК1, ФК1а, ФК2, ФК3). Ход фракционирования гумуса почвы может быть представлен следующей схемой [6]:



Общее содержание органического углерода в полученных вытяжках, а также содержание углерода гуминовых кислот определяли титриметрическим методом. Концентрацию углерода фульвокислот определяли по разности общего содержания углерода и углерода гуминовых кислот в соответствующих вытяжках [6], [12].

**Результаты и их обсуждение.** Стратиграфия разреза имеет следующее строение (сверху вниз): сверху, в интервале 0-10 см — моховая «подушка», затем в интервале 10-40 см — торфяная дернина, 40-433 см — торф верховой

коричневато-бурого цвета. Встречаются около 3 слоев горения. По всей мощности указанного горизонта имеются остатки погребенной древесины. В нижней и средней части слоя — березы, в верхней — сосны. В интервале 433-510 см вскрывается горизонт низинного торфа с крупными макроостатками водной растительности. В разрезе торфяника они вскрываются в виде полос черновато-серого цвета. В основании этого горизонта, в интервале 510-530 см вскрывается озерный суглинок черного цвета, с органикой. Глубже 530 см вскрываются сизые озерные суглинки.

*Радиоуглеродный возраст и скорость накопления торфа.* По данным радиоуглеродного анализа возраст основания торфяника оценивается в  $5155 \pm 50$  лет. Зависимость радиоуглеродного возраста от глубины залегания образца (рис. 2,а) имеет линейный характер  $y = 9,7534x$  ( $R^2 = 0,98$  при  $P = 0,95$ ), согласно которому средняя скорость накопления торфа по разрезу составляет 0,98 мм/год. Однако расчет скорости накопления торфа между радиоуглеродными датировками показывает, что скорость накопления торфа в разные периоды существенно изменялась (рис. 2,б). Максимальная по разрезу скорость накопления наблюдалась 3700-3900 л.н. (3,64 мм/год). Высокая скорость накопления (примерно в 2 раза ниже максимальной) также наблюдалась еще трижды — 2100-2700; 1200-1600 л.н. и последние 500 лет. Минимальная скорость накопления торфа наблюдалась соответственно в период 500-1200 и 2700-3770 л.н., а также в начале формирования торфяника — 5000-5100 л.н. Такой характер распределения скорости накопления торфа свидетельствует, вероятно, о периодической смене климатических условий.

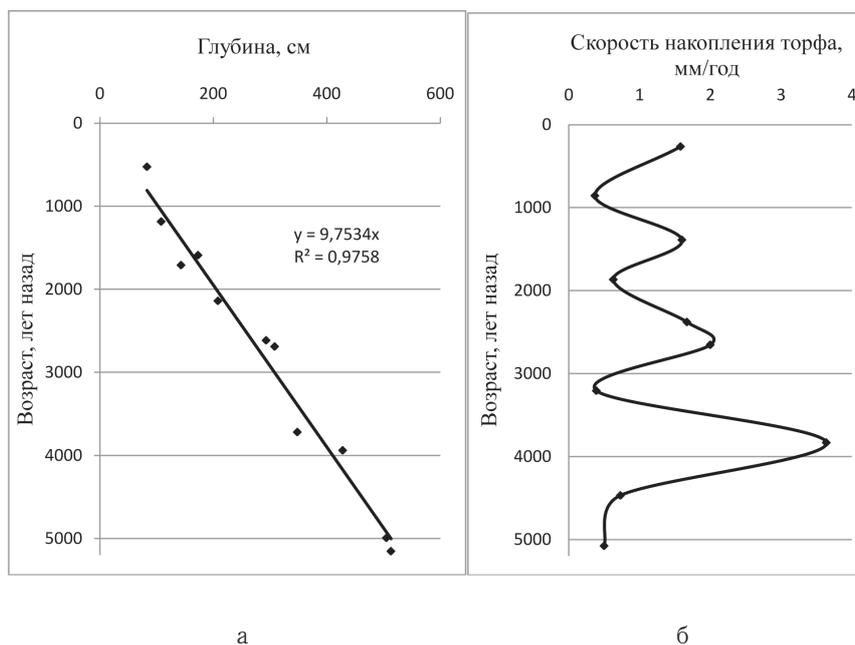


Рис. 2. Зависимость радиоуглеродных датировок от глубины залегания образцов (а) и распределение скорости накопления торфа (б) в разрезе торфяника Топорковский рям

*Потери при прокаливании (ППП).* На рис. 3 представлено распределение основных геохимических характеристик по разрезу торфяной залежи. Распределение общего содержания органического вещества (ППП) от возраста торфа показывает, что на большей части разреза (600–4200 л.н.), содержание органического вещества меняется незначительно. Среднее значение данного показателя на этом участке  $98,2 \pm 1,2\%$  (при среднем по разрезу  $96,9 \pm 3,5\%$ ). В этот период можно отметить три минимума, когда содержание органического вещества заметно уменьшалось (на 2%) — 970, 1540 и 3260 л.н. В верхних слоях торфяника (последние 550 лет) наблюдается резкое уменьшение (почти на 10%) содержания органического вещества по сравнению со средним значением в основной части разреза. Наиболее значительные колебания в содержании органического вещества наблюдаются в нижней части разреза. В период 4800–5000 л.н. ППП составляет около 94%, затем содержание органического вещества возрастает на 2% и в период 4400–4700 составляет около 96%. 3300 л.н. содержание органического вещества резко падает (до 94%), после чего происходит резкий рост содержания органического вещества и его стабилизация на длительный период.

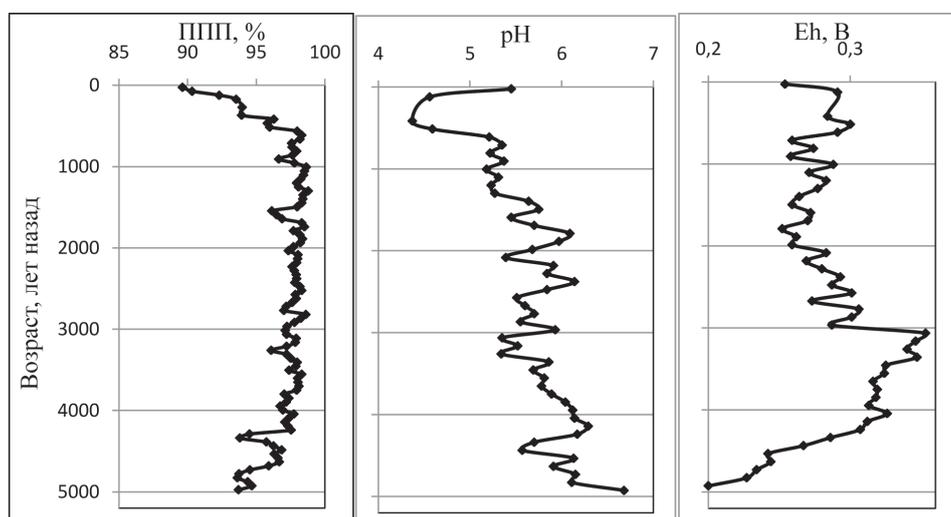


Рис. 3. Распределение основных геохимических характеристик по профилю торфяника Топорковский рям

*pH и Eh.* В нижней части разреза (около 5000 л.н.) наблюдается максимальное значение pH и минимальное значение Eh по разрезу. Данный горизонт характеризует период, предшествующий образованию торфяной залежи и может служить подтверждением факта формирования торфяника на месте палеозера, степень эвтрофированности которого достигла максимальных размеров (ППП — 94%). К такому выводу приводит и стратификация разреза, в соответствии с которой эвтрофирование озера началось значительно раньше (датировки отсутствуют) и к этому периоду произошло практически полное зарастание палеозера, в связи с резким уменьшением уровня воды и возможным повыше-

нием температуры. В течение следующих 200 лет наблюдается некоторое увеличение содержания органического вещества, сопровождающееся резким снижением рН и возрастанием ОВ потенциала. Такое изменение характеристик отложений может свидетельствовать об увеличении количества кислорода, вызывающее увеличение роста и скорости разложения органического вещества, ведущее к закислению вод и почв. Позднее, в течение следующих 300 лет геохимическая обстановка изменяется незначительно: потенциал по-прежнему смещается в положительную область и продолжается закисление отложений. Этот период сопровождается значительным увеличением содержания органического вещества и его стабилизацией. В соответствии с морфологией разреза на этих глубинах залегает низинный торф. Скорость накопления отложений невелика и составляет 0,5-0,7 мм/год.

Начиная с 4500 л.н., в течение 200 лет геохимическая обстановка сильно изменяется: наблюдается значительное смещение окислительно-восстановительного потенциала в положительную область, рН при этом смещается в кислую область на 0,5 ед., происходит резкое уменьшение содержания органического вещества в отложениях. Следующие 100 лет потенциал продолжает смещаться в положительную область, но величина рН начинает расти, что приводит к росту содержания органического вещества. Можно предположить, что данный период сопровождался понижением уровня грунтовых вод (уменьшение влажности), что привело к формированию верхового торфяника на месте низинного. Переходный слой в данной торфяной залежи незначителен, изменение условий произошло в относительно короткий период (около 100 лет). Данный «революционный» период сменился тысячелетием относительной стабильности геохимических условий: рН немного закислялся, потенциал незначительно смещался в положительную область, содержание органического вещества изменялось незначительно. Несмотря на то, что вся остальная часть торфяной залежи идентифицируется как верховой торф, тем не менее, еще один качественный скачок в изменении геохимических показателей наблюдается около 3000 л.н.; происходит небольшое смещение рН в нейтральную область и значительное смещение потенциала в восстановительную область. Возможно, это связано с обводнением торфяника (увеличение количества осадков), что привело к замедлению разложения органического вещества торфа. Однако данный период был непродолжительным.

Значительное изменение геохимической обстановки произошло 600-700 л.н., о чем свидетельствует резкое падение рН от 5,50 ед. до 4,37 ед., которому соответствует пик максимума на кривой изменения Eh, а затем вновь возрастание до 5,45 ед. рН, которому соответствует снижение значений Eh. При этом увеличение минеральной составляющей торфа можно объяснить либо увеличением скорости разложения органического вещества (когда процесс разложения органического вещества торфа происходит быстрее, чем процесс его образования), либо увеличением привноса минеральной компоненты, например, за счет эоловых процессов.

На основании стратиграфии и анализа геохимических характеристик торфяной залежи (рис. 3) можно выделить два основных типа торфа: в основании — низинный тип (4200-5155 л.н.), выше по разрезу сменяющийся верховым (от 4200 л.н. до современности). Кроме этого послойный геохимический анализ

торфа позволяет выделить непродолжительный период формирования переходного торфа — 4200-4300 л.н., а также несколько периодов изменения геохимической ситуации в период формирования верхового торфа. Наиболее существенными из них являются периоды 2900-3100, 1500-1700, 500-700 л.н. Однако эти изменения не вызвали принципиальных изменений в характере формирования торфяной залежи.

*Органическое вещество торфа.* В соответствии с теорией гумификации [7-8] все органические компоненты почв можно разделить на 2 группы: 1) лабильные, легко трансформируемые, и 2) устойчивые, накапливающиеся в течение длительного времени. Степень разложения торфа чаще всего определяют визуально или с помощью микроскопа, при этом учитываются следующие признаки: пластичность, количество и сохранность фрагментов растений, количество и цвет отжатой воды. Обычно степень разложения низинного торфа значительно выше верхового и составляет от 10 до 60%, он имеет более темный цвет и однородную консистенцию. Аналогичные данные можно получить определением коэффициента цветности, характеризующийся отношением Шпрингера, который представляет собой отношение оптических плотностей при длинах волн 465 и 650 нм. Это отношение выражает крутизну падения оптической плотности при увеличении длины волны и характеризует относительную степень конденсированности гумусовых веществ. Чем круче падает кривая, тем больше значение отношения  $A_{465}:A_{650}$ , тем более светлую окраску имеет раствор гумусовых кислот, тем более развита у них периферическая алифатическая составляющая. Малые значения отношения подчеркивают большую степень зрелости ГК, их обуглероженности и развития ароматических структур в ядерной части молекул. Абсолютные значения коэффициентов, характеризующих оптические свойства гуминовых веществ (кислот), зависят от условий их формирования. В сухих и теплых условиях образуются гуминовые кислоты, имеющие хорошо сформированную ароматическую часть, составляющую большую долю макромолекул, и небольшую алифатическую часть, соответственно небольшие значения  $A_{465}:A_{650}$ . В холодных и влажных условиях формируются гуминовые кислоты с большей долей периферической части, что отражается на изменении абсолютных величин коэффициентов, характеризующих оптические свойства этого компонента почв [3], [6] в сторону их увеличения.

По данным послонного анализа проб торфа Топорковского рьяма максимальное значение отношения  $A_{465}:A_{650}$  наблюдается примерно 1500 л.н. (рис. 4), т.е. гумусовые кислоты в этих слоях имеют наиболее разветвленную структуру, что может соответствовать холодным и влажным условиям [3], [6]. Максимальная степень обуглероженности гумусовых кислот (минимальное значение отношения) отмечена в образцах, возраст которых составляет 2180, 3200 и 4800 л.н., возможно это обусловлено более сухими и теплыми условиями формирования торфяника. В интервале от 2200 до 3400 л.н. среднее значение коэффициента меняется незначительно и составляет  $8,4 \pm 2,2$ . Некоторое падение  $A_{465}:A_{650}$  начинается с глубины, датируемой 3400 л.н., что свидетельствует о нарастании степени сформированности гуминовой кислоты, благодаря накоплению и преобразованию с течением времени органического растительного материала, приводящих к образованию более сложных органических структур.

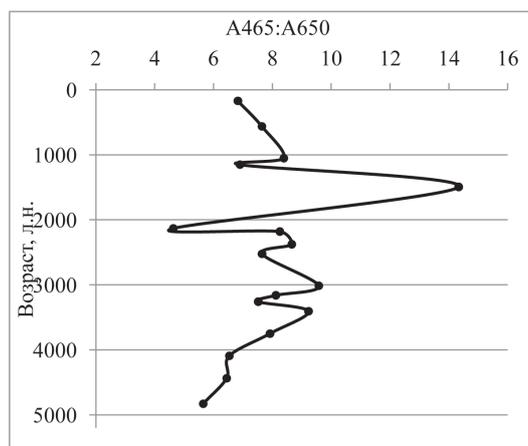


Рис. 4. Распределение коэффициента цветности Шпрингера (A465:A650) в зависимости от возраста исследуемого образца

*Фракционный состав органического вещества торфа.* В период формирования торфяной залежи, образующая ее растительность частично разлагается, а частично откладывается в виде растительных осадков, мало трансформирующихся в период залегания, в силу особых геохимических условий. По данным группового и фракционного состава гумусовых компонентов органического вещества торфа (рис. 5,а) в нем преобладает гумин (негидролизуемый остаток, который представляет собой инертную часть гумуса, находящуюся в прочных связях с минеральной частью [7]), а из кислот — фульвокислоты. Среднее содержание гуминовых кислот по разрезу составляет  $4,5 \pm 1,4\%$ , фульвокислот —  $14,4 \pm 2,9\%$  в расчете на воздушно-сухую почву, что характерно для верховых торфяников [3-5].

Распределение содержания общего углерода, подвергшегося гумификации, представлено на рис. 5,б. Доля гумифицированного углерода в исследуемом разрезе составляет в среднем  $34,3 \pm 6,2\%$  от его общего содержания (ППП), изменяясь в зависимости от глубины залегания образцов от 23 до 55%.

На рисунке четко выделяются периоды, соответствующие максимальной гумификации растительности: 4400-4800, 3200, 2100-2200 л.н. Довольно высокая степень гумификации органического вещества наблюдается в последние 600 лет. Минимальное разложение растительности наблюдается в слое, сформированной 3800-4100 1100 л.н.

Расчет отношения суммарного содержания гуминовых кислот к общему содержанию фульвокислот (Сгк:Сфк) (рис. 5,в), также характеризующего степень гумификации почвы, позволил установить, что данный показатель в пределах исследуемого разреза меняется от 0,11 до 0,69, при среднем значении  $0,36 \pm 0,15$ . Кривая имеет сходный характер с распределением общего содержания гуминовых веществ, по крайней мере, практически все экстремумы на кривых совпадают. Это позволяет утверждать, что увеличение гумификации торфа приводит к возрастанию гуминовых кислот по отношению к фульвокислотам.

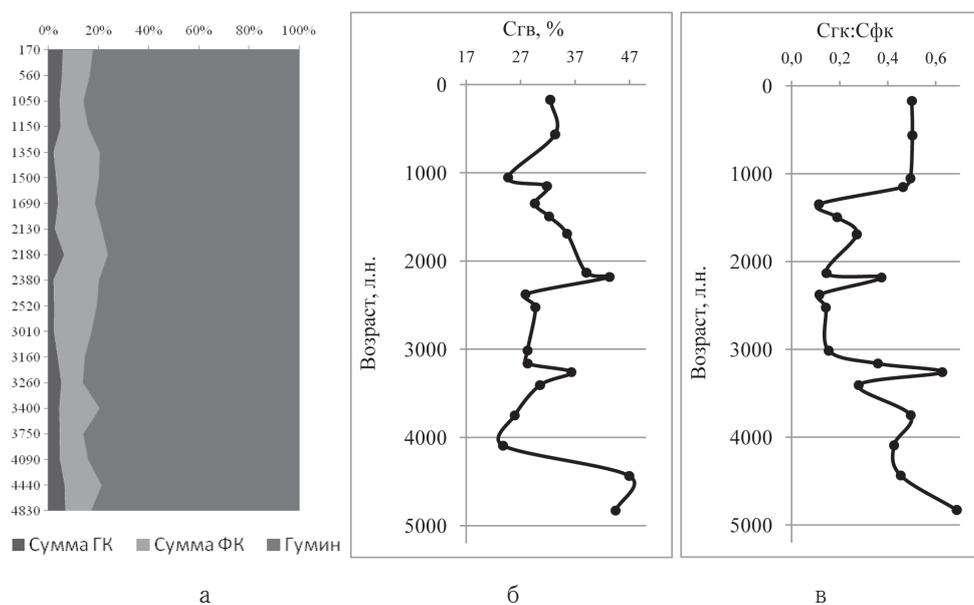


Рис. 5. Распределение компонентов гуминовых веществ (а), общего содержания гуминовых веществ (б) и отношения концентрации кислот Сгк:Сфк (в) по разрезу верхового торфяника Топорковский ям

На рис. 6 представлено разделение каждой группы кислот по фракциям на разных горизонтах торфяной залежи. В средней части разреза (3000-1150 л.н.) в составе органического вещества преобладают фракции 1 и 2 гумусовых и фульвокислот, т.е. соединения, связанные с полуторными оксидами и кальцием. Из диаграммы, характеризующей содержание фульвокислот (рис. 6,а) следует, что в верхних горизонтах несколько снижена концентрация 3-й фракции, т.е. фульвокислот, связанных с глинистыми минералами. Но при этом ее содержание увеличивается в нижней части разреза. Среди фракций ФК самостоятельное значение имеют только свободные формы и комплексы с подвижными  $R_2O_3$  (фракция 1), содержание которых изменяется адекватно смене экологической ситуации и является одним из показателей степени выраженности кислотных свойств гумуса [8]. Результаты исследования подтверждают [3], [12], что для верхового торфа характерен фульватный состав гумуса.

Пик, наблюдаемый на глубине, которой соответствует датировка 2180 л.н., прослеживается при определении всех показателей, при этом надо отметить, что в данный период значительно увеличилось общее количество органического вещества и количество гуминовых кислот.

Изменение климата приводит к изменению окислительно-восстановительного потенциала среды, вследствие чего в составе органического вещества при окислительных условиях преобладают фульвокислоты, которые содержат меньше углерода и больше кислорода, чем гуминовые кислоты, тогда как сдвиг значения окислительно-восстановительного потенциала в восстановительную область (3000-4000 л.н.) соответствует максимумам в содержании гуминовых кислот.

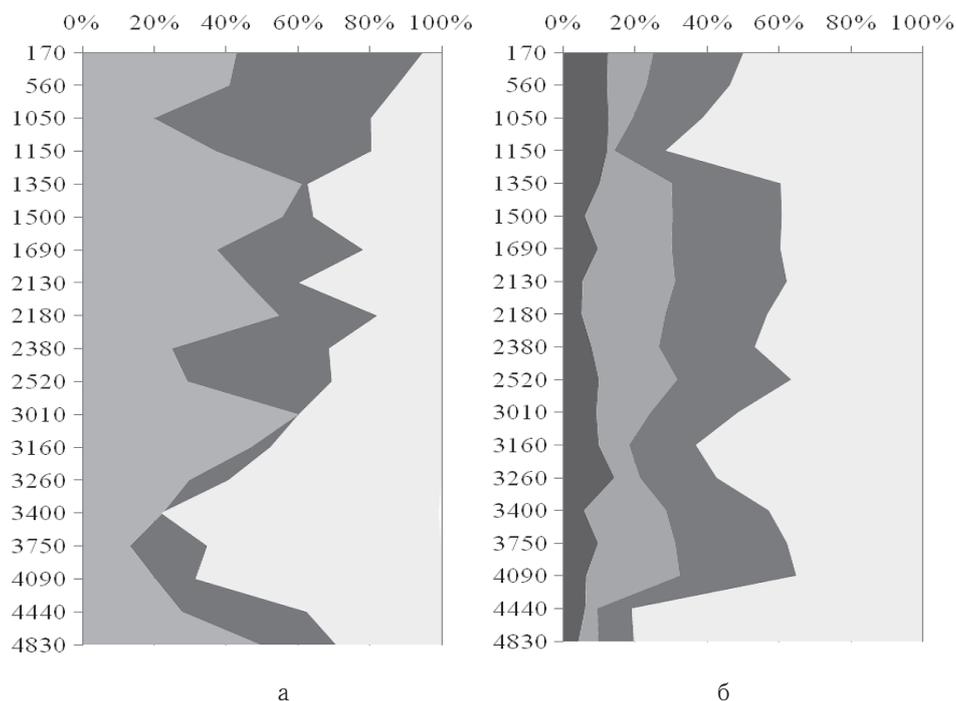


Рис. 6. Распределение фракций гуминовых (а) и фульвокислот (б) по глубине разреза верхового торфяника Топорковский ям:

- а) ГК1 — свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами  
 ГК2 — связанная с Са  
 ГК3 — связанная с глинистыми минералами и устойчивыми полуторными оксидами  
 б) ФК1а — свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами («агрессивная» фракция)  
 ФК1 — свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами  
 ФК2 — связанная с Са  
 ФК3 — связанная с глинистыми минералами и устойчивыми полуторными оксидами

Таким образом, в результате проведенных исследований фракционного и группового состава гумуса верхового торфяника Топорковский ям, можно утверждать, что информация о составе органического вещества, является важной частью при проведении палеоклиматических исследований. Результаты исследования подтверждают [3], [12], что фульватный состав гумуса характерен для верхового торфа. По данным анализа максимальная степень гумификации растительности наблюдается в периоды: 4400-4800, 3200, 2100-2200, 1150 л.н. Довольно высокая степень гумификации органического вещества в последние 600 лет может свидетельствовать о наличии тенденции к уменьшению влажности в этот период и возможному потеплению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаптева Е.М., Ванчикова Е.В., Попова Л.А. К вопросу о применимости методов исследования качественного и количественного состава почвенного гумуса // Тез. докл. II Междунар. науч. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». М., 2003. С. 80-81
2. Ковалева Н.О. Органическое вещество почв как источник палеоклиматической и палеоландшафтной информации // Тез. докл. II Междунар. науч. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». М., 2003. С. 40-41.
3. Некрасова О.А. Методы анализа органического вещества почв. Руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург, 2008. 107 с.
4. Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.
5. Котов В.В., Ненахов Д.В., Гасанова Е.С. Состав и кислотно-основные свойства фракций фульвокислот чернозема выщелоченного // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. Вып. 1. С. 47-53.
6. Мартынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв. Иркутск: Изд-во ИГУ. 2011. 257 с.
7. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 332 с.
8. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
9. Schnitzer, M. Humus Substances: Chemistry and Reactions // Soil Organic Matter / eds. M. Schnitzer and S.U. Khan / Development of Soil Science (N 8). Ottawa, 1978. P. 1-64.
10. Stevenson, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. N.Y.: John Wiley and Sons, 1994. 496 p.
11. Уланкина А.В. Сравнительная характеристика фульвокислот, выделенных по методам Тюрина и Форсита: Дисс. ... канд. биол. наук. М., 2002. 88 с.
12. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.

## REFERENCES

1. Lapteva, E.M., Vanchikova, E.V., Popova, L.A. About the application of research methods for qualitative and quantitative composition of humus. *Tez. dokl. II Mezhdunar. nauch. konf. «Guminovye veshhestva v biosfere»* (Second International Scientific Conference «Humic compounds in biosphere»: Abstracts). M., 2003. P. 80-81 (in Russian)
2. Kovaleva, N.O. Organic soil matter as a source of paleoclimate and paleolandscape data. *Tez. dokl. II Mezhdunar. nauch. konf. «Guminovye veshhestva v biosfere»* (Second International Scientific Conference «Humic compounds in biosphere»: Abstracts). M., 2003. P. 40-41 (in Russian).
3. Nekrasova, O.A. *Metody analiza organicheskogo veshhestva pochv. Rukovodstvo k laboratornym zanjatijam* [Research methods for soil organic matter. A guide for laboratory research]. Ekaterinburg, 2008. 107 p. (in Russian).
4. Dergacheva, M.I. *Arheologicheskoe pochvovedenie* [Archaeological soil science]. Novosibirsk: SB RAS Publ., 1997. 228 p. (in Russian).
5. Kotov, V.V., Nenahov, D.V., Gasanova, E.S. Composition and acid-base properties of fractions of leached chernozem fulvic acids. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy — Sorption and chromatographic processes*. 2010. Vol. 10. № 1. P. 47-53 (in Russian).
6. Martynova, N.A. *Himija pochv: organicheskoe veshhestvo pochv* [Chemistry: soil organic matter]. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing. 2011. 257 p. (in Russian).
7. Orlov, D.S. *Gumusovye kisloty pochv i obshhaja teorija gumifikacii* [Soil humic acid and general theory of humification]. M.: Moscow State University Publ., 1990. 332 p. (in Russian).

8. Orlov, D.S., Birjukova, O.N., Suhanova, N.I. *Organicheskoe veshhestvo pochvy Rossijskoj Federacii* [Organic matter of Russian Federation soil]. M.: Nauka, 1996. 256 p. (in Russian).

9. Schnitzer, M. Humus Substances: Chemistry and Reactions. *Soil Organic Matter* / eds. M. Schnitzer and S.U. Khan / Development of Soil Science (N 8). Ottawa, 1978. P. 1-64.

10. Stevenson, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2<sup>nd</sup> ed. N.Y.: John Wiley and Sons, 1994. 496 p.

11. Ulankina, A.V. *Sravnitel'naja harakteristika ful'vokislot, vydelennyh po metodam Tjurina i Forsita* (Diss. kand.) [Comparative characteristics of fulvic acids separated from soils by the Tyurin and Forsyth methods (Cand. Diss. thesis)]. M., 2002. 88 p. (in Russian).

12. Orlov, D.S., Grishina, L.A. *Praktikum po himii gumusa* [Practical tutorial on humus chemistry]: Teaching aid. M.: Moscow State University Publ., 1981. 272 p. (in Russian).