

УДК 556.561/.565  
DOI 10.17513/use.38154

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОЛАНДШАФТОВ ВЕРХОВОГО БОРЕАЛЬНОГО БОЛОТА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Селянина С.Б., Орлов А.С., Zubov И.Н.

*ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова» Уральского отделения Российской академии наук,  
Архангельск, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

Болота верхового типа занимают значительные территории на Европейском Севере и выполняют важную экологическую роль в устойчивом развитии региона, а их функционирование определяется совокупностью геохимических условий. Представлены данные по изменению физико-химических параметров: pH, общей минерализации, Eh<sub>4</sub> и содержанию растворенного вещества в болотных поровых водах по глубине залежи в безморозный период 2022 г. с учетом сезонных флуктуаций гидротермических условий. Исследования проводили на ненарушенных участках верхового болота на следующих специфических этапах развития: грядово-озерковый комплекс, граница грядово-озеркового и грядово-мочажинного комплекса, сформировавшийся грядово-мочажинный комплекс и формирующийся грядово-мочажинный комплекс. Полученные экспериментальные результаты позволяют говорить о наличии в залежах апробированных площадок контрастного окислительного режима и в целом единой вертикальной динамике физико-химических условий, определяемых в текущей работе. Наиболее статистически значимые отличия между исследуемыми участками зафиксированы по показателям pH и минерализации. Величина средних значений Eh<sub>4</sub>, напротив, отличается незначительно, а выявленные сезонные колебания данного параметра обусловлены, по-видимому, вариациями гидрометеорологических условий в период измерения. Стадия генетического развития участка определяет и мощность аэрируемого слоя залежи, и интервал сезонных колебаний показателя Eh<sub>4</sub>, при этом максимальные значения приурочены к находящемуся на заключительной стадии генетического развития верхового болота грядово-озерковому комплексу.

**Ключевые слова:** верховое бореальное болото, физико-химические параметры, pH, Eh, минерализация болотных вод, содержание растворенных веществ

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках разработки темы фундаментальных исследований № 122011400386-6 «Особенности формирования и диагенеза органического вещества в условиях водно-болотных экосистем Арктической зоны Российской Федерации».*

## PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF A BOREAL BOG SITES AT DIFFERENT STAGES OF GENETIC DEVELOPMENT

Selyanina S.B., Orlov A.S., Zubov I.N.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: gumin@fciarctic.ru*

The bogs occupy large areas in the European North, and play an important ecological role in the sustainable region development. The functioning of such bogs is determined by a combination of geoclimatic conditions. The data on the change of physico-chemical parameters were obtained. The pH, the total mineralization, the Eh<sub>4</sub> and the dissolved matter content in pore bog waters according to the deposit depth and taking into account the hydrothermal conditions seasonal fluctuations were measured during the frostless period of 2022. The research was carried out on the undisturbed sections of the bog at the following stages of development: the hummock-pool complex, the hummock-pool and hummock-hollow complexes boundary, the formed hummock-hollow complex and the emerging hummock-hollow complex. The obtained experimental results suggest that there is a contrast oxidative regime in the study sites and a uniform vertical dynamics of the physico-chemical conditions. The most statistically significant differences between the study sites are recorded for pH value and total mineralization. In contrast, the mean values of Eh<sub>4</sub> values are not significantly different, and the seasonal variation of this parameter appears to be due to variations in hydrometeorological conditions during the measurement period. The stage of genetic development of the site determines both the thickness of the aerated layer of the deposit, and the interval of seasonal fluctuations of the Eh<sub>4</sub> value. At the same time, the maximum values are observed on the hummock-pool complex, which is at the final stage of genetic development of the raised boreal bog.

**Keywords:** boreal bog, physico-chemical parameters, the pH, the Eh, mineralization of bog waters, dissolved matter content

*The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the development of fundamental research topic No. 122011400386-6 "Features of the formation and diagenesis of organic matter in the conditions of wetland ecosystems of the Arctic zone of the Russian Federation".*

Болотные экосистемы занимают огромные площади (более 30% территорий Российской Арктики) и относятся к основным биоценозам Европейского Севера России. Верховые (омбротрофные) торфяники являются наиболее распространенным типом бореальных болот. Их доля составляет 70% от общей площади заболоченных территорий. Они вносят заметный вклад в стабильное существование и устойчивое развитие не только близлежащих природных комплексов, но и целых регионов.

С позиции системного подхода в геоэкологии болота представляют собой сложную, развивающуюся, саморегулирующуюся на высших стадиях развития экосистему с положительным балансом органического вещества и энергии [1]. Функционирование торфяной залежи, как неотъемлемой составляющей болотных экосистем, обусловлено совокупностью сложных химических и биохимических (в том числе окислительно-восстановительных) процессов, которые задают ритм торфообразования и во многом определяются гидротермическими условиями [1; 2]. Эти условия могут быть подвержены существенной пространственно-временной изменчивости даже в пределах одного болотного массива, что обуславливает возможные отличия физико-химических параметров участков, находящихся на разных стадиях морфогенетического развития. Это позволяет выдвинуть предположение о различиях в режиме их функционирования, особенности которого для верховых бореальных торфяников остаются недостаточно изученными. При этом наиболее сильные колебания характеристических физико-химических параметров гидроморфных почв, среди которых чаще всего выделяют рН, Eh, минерализацию и содержание растворенных в поровых болотных водах веществ [2–4], ожидаемо будут приурочены к верхней части залежи, наиболее подверженной внешним стрессовым воздействиям.

Цель исследования состоит в изучении физико-химических параметров микроландшафтов верхового бореального болота, находящихся на разных стадиях генетического развития, на примере Иласского болотного массива Архангельской области.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объекта исследования выбран Иласский болотный массив (ИБМ) в составе болотной системы Иласское боло-

то. Исследуемая система болотных массивов является характерным представителем южноприбеломорских олиготрофных болот с характерным сочетанием микроландшафтов, которые можно классифицировать как комплексные грядово-мочажинно-озерковые и комплексные грядово-озерковые с олиготрофным типом растительности на грядах и в мочажинах [5]. В пределах территории исследуемого болотного массива были выделены 4 тестовые площадки (рис. 1), приуроченные к его различным морфогенетическим частям: 1) ГОК (грядово-озерковый комплекс, 64°20'05,77" N, 40°36'31,43" E); 2) ГМОК (граница грядово-озеркового и грядово-мочажинного комплекса, 64°19'56,89" N, 40°36'33,75" E); 3) ГМК (сформировавшийся грядово-мочажинный комплекс, 64°19'43,42" N, 40°36'44,79" E); 4) К (формирующийся грядово-мочажинный комплекс, 64°19'32,48" N, 40°36'45,1" E).

Определение окислительно-восстановительных условий (ОВП) с послойной градиацией (0–10 см, 10–20 см и т.д.) по глубине проводилось в акротелме и верхней части катотелма (на глубину до 100 см) исследуемых торфяных залежей методом прямой потенциометрии [1; 3]. Оценку параметра осуществляли на универсальном анализаторе жидкостей ЭКС-ПЕРТ-001 (Эконикс, Россия) с применением разработанных авторами оригинальных щупов-измерителей на основе комбинированного платинового редоксметрического электрода ЭРП-105 для измерения ОВП в жидких и гетерогенных средах. Данный способ позволяет оценивать величину Eh непосредственно в залежи до глубины 1 м, без извлечения образцов торфа, что исключает влияние кислорода воздуха. Полевые определения рН проводили с использованием комбинированного электрода ЭСК-10603 в торфяной воде, отжатой из торфа, который извлекали с помощью пробоотборника для торфяных отложений из нержавеющей стали Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) с соответствующих (0–10, 10–20 см и т.д.) горизонтов залежи. Параллельно с измерением ОВП фиксировали температуру слоя торфяной залежи с использованием термощупа, изготовленного на основе металлического термодатчика ТДС-3. Погрешность измерения Eh и рН не превышает ±20 мВ и ±0,05 ед. рН соответственно. Все измерения проводили в трех повторностях.



Рис. 1. Расположение морфогенетических частей Иласского болотного массива в составе болотной системы Иласское болото: 1 – пробная площадь на грядово-озерковом комплексе; 2 – пробная площадь на границе грядово-озеркового комплекса и грядово-мочажинного комплекса; 3 – пробная площадь на сформировавшемся грядово-мочажинном комплексе; 4 – пробная площадь на формирующемся грядово-мочажинном комплексе

Пересчет полученных результатов ОВП к стандартным условиям ( $t = 25^{\circ}\text{C}$  и  $pH = 4,0$ ) осуществляли по формуле [3]:

$$E_{н4} = (E + 197 - 0,76 * (t - 25)) + 56,2 * (pH - 4), \quad (1)$$

где  $E$  – измеренное значение ОВП, мВ;

197 – поправка на хлорсеребряный насыщенный полуэлектрод для приведения отсчета к нормальному водородному электроду при  $t = 25^{\circ}\text{C}$ , мВ;

$t$  – температура торфа в момент измерения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$pH$  – измеренное значение pH;

0,76; 56,2 – коэффициенты пересчета согласно [3].

Определение общей минерализации болотных вод проводили кондуктометрическим методом с помощью универсального анализатора жидкостей АНИОН 4100 (Инфраспек-Аналит, Россия) и датчика ДКВ-1. Погрешность измерения не более  $\pm 5\%$ .

Оценку суммарного содержания минеральных и органических компонентов, рас-

творенных в поровой болотной воде, проводили гравиметрическим методом. Для этого свежееотжатую болотную воду центрифугировали на лабораторной центрифуге ЦЛн-16 (Xiangzhi Centrifuge, Китай) при 11000 об/мин в течение 5 мин, а затем отфильтровывали на мембранном фильтре 0,45 мкм для удаления взвешенных частиц. Аликвоты полученного фильтрата объемом 15 мл помещали в предварительно доведенные до постоянной массы при  $105^{\circ}\text{C}$  чашки Петри и высушивали при  $105^{\circ}\text{C}$ . Расчет содержания растворенных веществ ( $C_p$ , мг/л) проводили по формуле

$$C_p = (m_2 - m_1) / 0,015, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса пустой абсолютно сухой чашки Петри, г;

$m_2$  – масса чашки Петри с аликвотой болотной воды после высушивания при  $105^{\circ}\text{C}$ , г;

0,015 – объем аликвоты болотной воды, л.

Погрешность определения содержания растворенных веществ не превышает  $\pm 5\%$ .

Уровень болотных вод в течение полевого сезона 2022 г. (безморозного периода) на участках исследования определяли в стационарных гидрологических колодцах ТДБС «Брусовица» Севгидромета.

Средние значения и величину стандартного отклонения рассчитывали в программе Microsoft Excel 2010. Достоверность различий между выборками устанавливали с использованием непараметрического критерия U Манна – Уитни на доверительном уровне  $P = 95\%$ , в программе SPSS Statistics 11 [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

Оценку сезонной динамики физико-химических параметров торфяной залежи и поровой воды (рН, минерализация, окислительно-восстановительный потенциал, растворенные вещества) проводили в верхнем метровом слое ввиду того, что именно верхние части залежи наиболее чувствительны к внешним стрессовым воздействиям и формируются в настоящее время, а следовательно, соответствуют в каждом случае современному этапу болотообразовательного процесса [3].

В ходе исследований гидротермического режима выбранных участков болотного массива зафиксированы некоторые отличия в колебаниях уровня болотных вод и температурных режимах торфяной залежи. Значения УБВ варьируют в интервалах: на ГОК – от 0 до -23 см; на ГМОК – от 0 до -14 см; на ГМК – от 0 до -17 см и на К – от 0 до -7 см. Для торфяной залежи всех исследуемых участков характерен единый температурный тренд по глубине, выраженный в монотонном снижении от поверхности к катотелму. Отличия заключаются в максимальных значениях температуры прогрева залежи и амплитуде сезонных колебаний. Для ГОК они находятся в интервале от 5,0 до 21,1 °С, ГМОК – от 7,7 до 16,0 °С, ГМК – от 7,6 до 19,5 °С и К – от 7,7 до 19,5 °С.

Результаты определения физико-химических параметров в торфяных залежах исследуемых участков верхового бореального болота в безморозный период приведены в графическом виде на рис. 2–5.

По представленным на рис. 2 данным хорошо видно, что в торфяной залежи ГОК в период вегетации величины рН заметно варьируют. В мае и сентябре наблюдается постепенное снижение значений рН по глубине с 4,2–4,5 до 3,95. В период июльской межени значение рН по профилю залежи

заметно выше и меняется неравномерно. В первых 30 см наблюдается рост значений с 4,6 до максимума (4,9), затем на глубине 60–70 см происходит стабилизация значений на уровне 4,4–4,5 ед. рН.

Тенденции изменения общей минерализации поровой воды по профилю залежи единообразны во все сезоны. Наибольшие значения отмечены в верхней части поверхностного слоя (0–10 см), максимум наблюдается в мае (137 мг/л), а минимум – в сентябре (40 мг/л). На глубине 30 см значения минерализации снижаются до 19–28 мг/л и далее не меняются. Такое распределение закономерно для омбротрофного болота, питание которого происходит исключительно за счет атмосферных осадков.

Максимальные значения показателя  $E_{h4}$  (до 770 мВ) поровой воды наблюдаются во время летней межени. В весенний (май) и осенний (сентябрь) периоды значения  $E_{h4}$  существенно ниже и составляют соответственно 570 и 630 мВ. По глубине залежи значения  $E_{h4}$  снижаются и, начиная с горизонта 50–60 см, стабилизируются в диапазоне 20–60 мВ во все сезоны. При этом, несмотря на общую тенденцию к снижению величин показателя, в горизонте 10–20 см сезонные различия наиболее заметны. Разница значений  $E_{h4}$  июля и мая составляет 485 мВ, июля и сентября – 400 мВ, сентября и мая – 85 мВ. Выявленные тенденции логично интерпретировать следующим образом. Снижение уровня болотных вод в июле повышает степень аэрации залежи, что в совокупности с ее прогревом стимулирует активизацию микробиологических процессов и, соответственно, окисленность органического вещества.

Содержание растворенных веществ в поровой воде этой пробной площади изменяется в интервале от 0,29 до 0,88 г/л. Изменения по глубине залежи во все сезоны однотипны, причем максимальные значения наблюдаются у поверхности и в нижней части изученных профилей.

Результаты обследования ГМОК приведены на рис. 3. На данной пробной площади при измерении физико-химических показателей выявлены следующие тенденции. Значения рН варьируют в диапазоне от 4,9 до 4,3 в июле, а в сентябре в более узких пределах, чем на рассмотренном выше участке ГОК, – от 4,1 до 4,4. Вид профилей рН по глубине также заметно отличается. В частности, ниже зоны акротелма наблюдается незначительный рост значений рН по глубине залежи до 4,4–4,5.

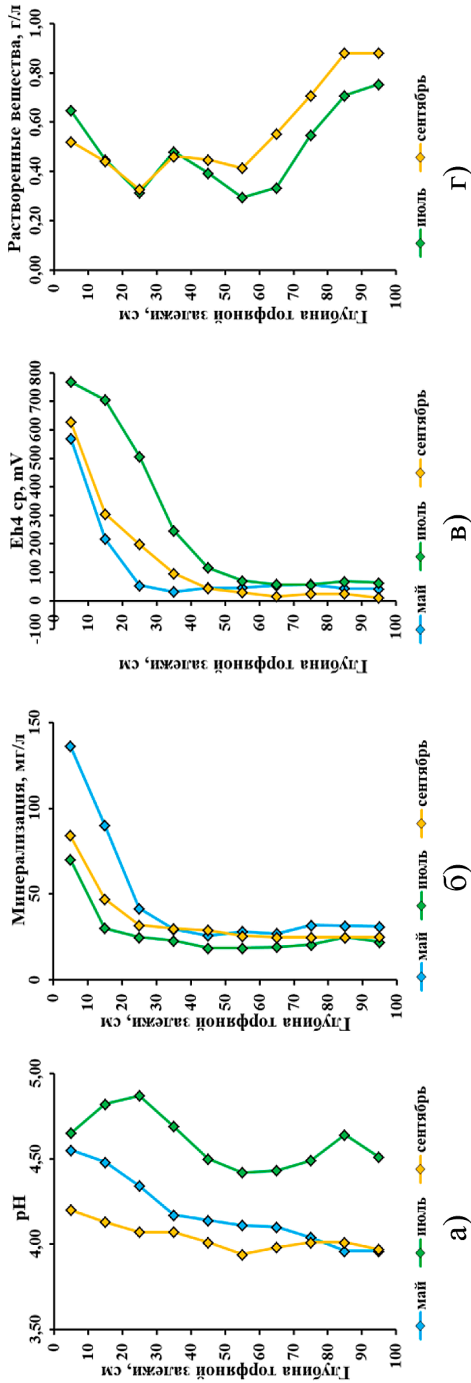


Рис. 2. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГОК: а) pH; б) минерализация; в) Eh4 и г) содержание растворенных веществ

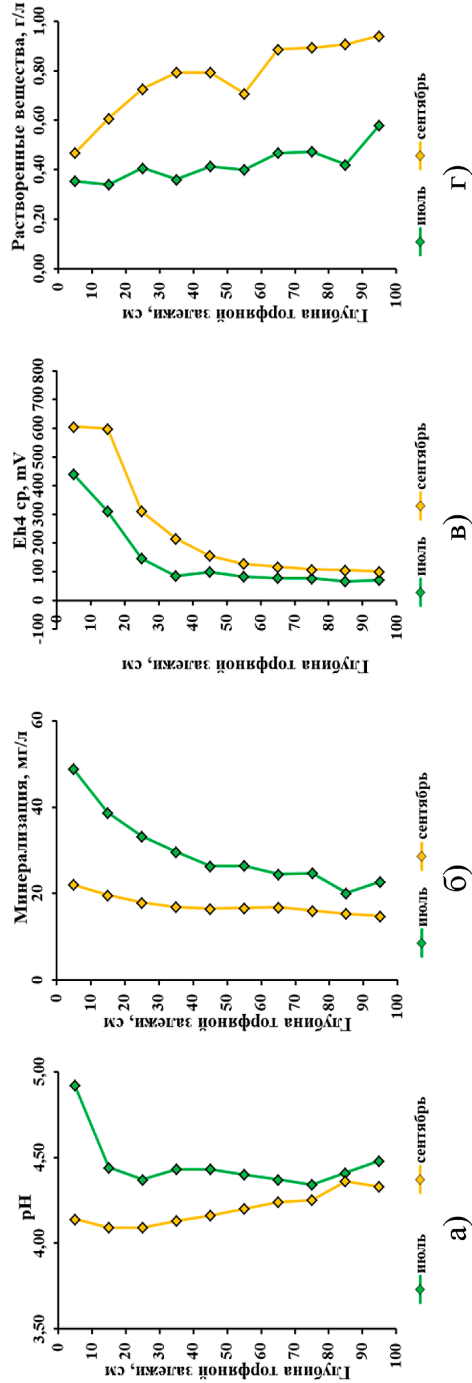


Рис. 3. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГМОК: а) pH; б) минерализация; в) Eh4 и г) содержание растворенных веществ

Кроме того, в период летней межени происходит существенное раскисление водной фазы в верхнем слое залежи (0–10 см), тогда как на ГОК такие величины рН выявлены на глубине 20–30 см.

Изменения показателя минерализации поровой воды по профилю залежи, несмотря на тенденцию к снижению значений данного параметра с глубиной, как и на рассмотренном выше участке ГОК, имеют существенные отличия. Значения на исследуемой пробной площади варьируют в значительно более узком диапазоне от 20 до 49 мг/л (в июле) и от 15 до 22 мг/л (в сентябре). Наибольшие значения показателя свойственны, как и в предыдущем случае, верхнему (поверхностному) горизонту (0–10 см), а ниже глубины 40 см происходит стабилизация минерализации на уровне 15–16 мг/л (сентябрь) и 22–25 мг/л (июль).

Показатель  $E_{h4}$  торфяной залежи ГМОК также изменяется в более узком диапазоне, чем на участке ГОК, при более низких значениях верхнего предела и более высоких – верхнего. Вместе с тем общий вид профилей  $E_{h4}$  участков аналогичен рассмотренным выше. Максимальные значения выявлены в верхнем слое акротелма. Абсолютный максимум приходится на июль и составляет 605 мВ. В акротелме величина показателя  $E_{h4}$  по глубине залежи снижается, а ниже глубины 40 см достигает минимальных значений и практически не меняется (в июле 60–80 мВ, в сентябре 100–120 мВ).

Содержание растворенных веществ в поровой воде на данной пробной площади изменяется в интервале от 0,35 до 0,48 г/л в июле и от 0,47 до 0,95 г/л в сентябре. Минимальные значения приходятся на поверхностный слой, по глубине залежи происходит рост содержания растворенных соединений, достигая максимума на нижнем исследованном горизонте – 90–100 см.

Данные, полученные в ходе исследований на пробной площади ГМК, приведены на рис. 4. Профили изменения исследуемых параметров имеют как сходство, так и отличия от выявленных на рассмотренных выше площадках. Значения рН варьируют примерно в тех же пределах, что и в первом случае (май от 3,9 до 4,3, июль от 4,1 до 4,8, сентябрь от 3,7 до 4,1). При этом во все сезоны профили рН демонстрируют характерный максимум в поверхностном слое (0–10 см), ниже которого в последующих 10–20 см происходит довольно резкое снижение значений. Максимальный спад приходится на июль и составляет порядка

0,7 единиц рН, а в остальные сезоны – около 0,4 единиц рН. В дальнейшем значения показателя вновь повышаются с глубиной на 0,3–0,4 единицы рН. Абсолютный максимум наблюдается в мае у поверхности залежи (4,8), а минимум – в сентябре на горизонте 10–20 см (3,7).

Тенденции в изменении минерализации поровой воды по глубине залежи летом аналогичны выявленным на ГОК, а осенью и весной – на ГМОК. На ГМК они варьируют в диапазоне от 21 до 30 мг/л в начале вегетационного периода (май), от 18 до 72 мг/л в летнюю межень (июль) и от 20 до 42 мг/л в конце вегетации (сентябрь). Сезонные максимумы, так же как и на предыдущих площадках, выявлены в приповерхностном горизонте (0–10 см). Абсолютный максимум на участке приходится на июль – 72 мг/л. Существенные различия между сезонными замерами характерны лишь для зоны акротелма (0–30 см), при переходе в катотелм происходит снижение минерализации болотных поровых вод до стабильных значений (19–28 мг/л) во все исследованные периоды.

Тренд показателя  $E_{h4}$  по глубине залежи имеет такой же вид, как и на других пробных площадках. Диапазон изменения  $E_{h4}$  в мае – от 32 до 464 мВ, в июле – от 69 до 611 мВ, в сентябре – от 43 до 531 мВ. Максимальные значения выявлены в верхних слоях акротелма. Они стабилизируются в катотелме (ниже 30 см) на уровне 32–55 мВ в мае, 69–110 мВ в июле, 43–160 мВ в сентябре. Стоит отметить, что сезонные колебания показателя  $E_{h4}$  на ГМК менее выражены по сравнению с другими обследованными пробными площадками.

Содержание в поровой воде растворенных веществ колеблется в интервале от 0,21 до 0,59 г/л в мае, от 0,22 до 0,74 г/л в июле и от 0,15 до 0,41 г/л в сентябре. Профили изменения по глубине залежи сходны для всех сезонов обследования. Минимальные значения (0,15–0,22 г/л) определены в поровой воде на глубинах 60–70 см. При этом амплитуда колебаний величины параметра на разных горизонтах достигает 0,40 г/л.

Торфяная залежь на пробной площадке К имеет минимальную из всех изученных участков мощность и отличается наименьшей амплитудой колебаний УБВ. Профили физико-химических параметров торфяника приведены на рис. 5. Значения рН в различные сезоны варьируют в близком диапазоне от 4,5–4,9 в верхнем 10-сантиметровом слое до 3,8–3,9 на глубине.

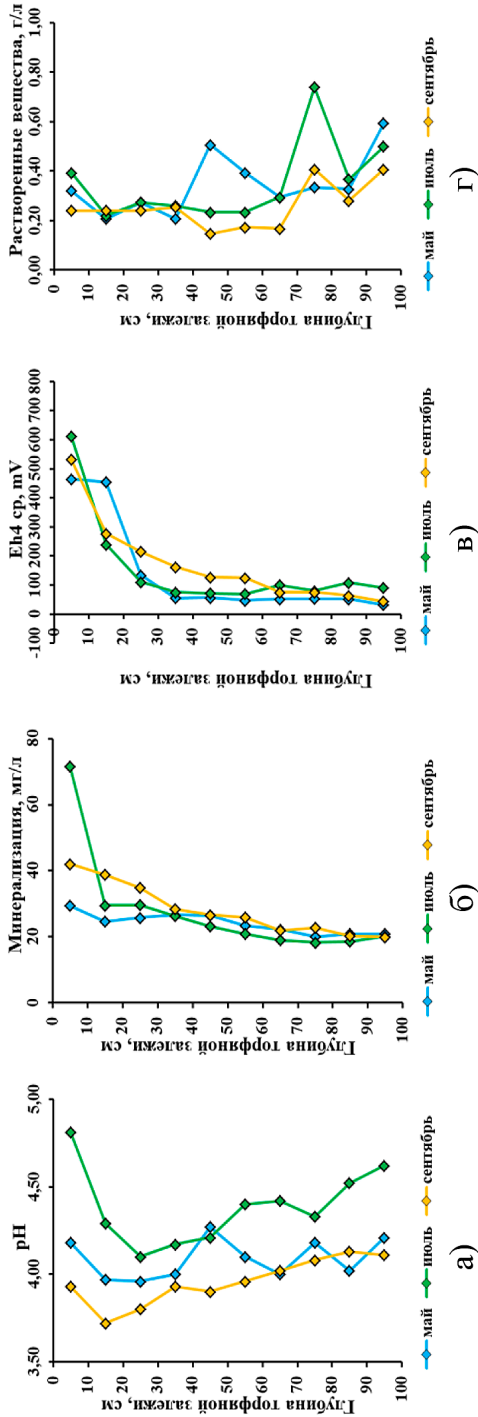


Рис. 4. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка ГМК: а) pH; б) минерализация; в) Eh и г) содержание растворенных веществ

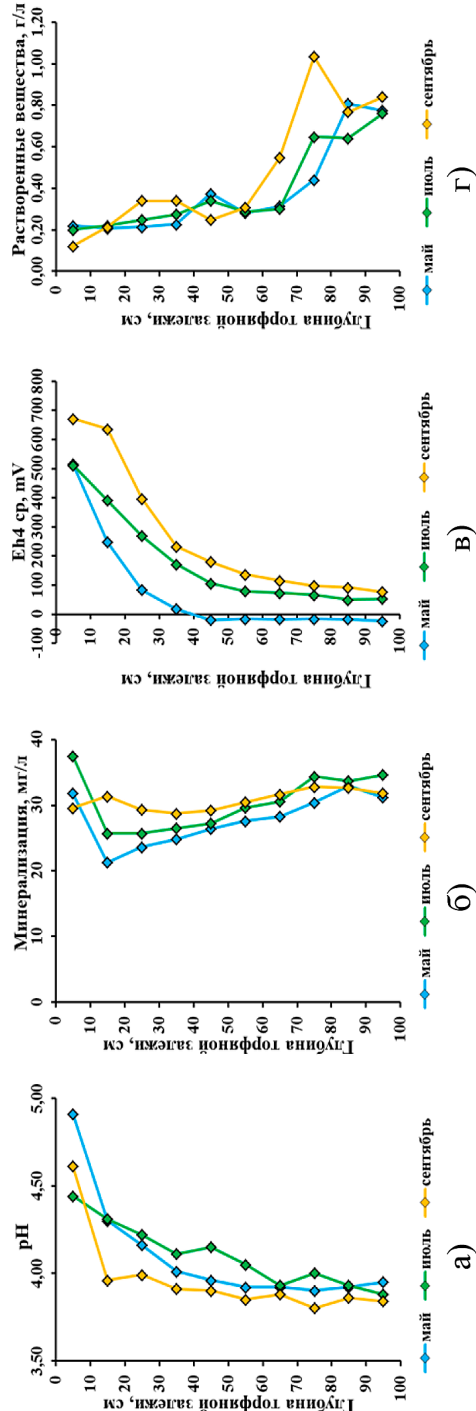


Рис. 5. Сезонные изменения физико-химических параметров поровой воды по глубине торфяного профиля участка К: а) pH; б) минерализация; в) Eh и г) содержание растворенных веществ

Результаты U-теста Манна – Уитни для исследуемых площадок  
по выбранным физико-химическим параметрам (по среднесезонным значениям)

| Площадки          |          | Параметры |               |                 |                       |
|-------------------|----------|-----------|---------------|-----------------|-----------------------|
|                   |          | pH        | Минерализация | E <sub>h4</sub> | Растворенные вещества |
| Урасч.*           | ГОК/ГМОК | 33,5      | <b>18</b>     | 31              | 35                    |
|                   | ГОК/ГМК  | <b>24</b> | 31            | 35              | <b>13</b>             |
|                   | ГОК/К    | <b>14</b> | 34,5          | 46,5            | 27                    |
|                   | ГМОК/ГМК | <b>13</b> | 40,5          | 28,5            | <b>4</b>              |
|                   | ГМОК/К   | <b>10</b> | <b>14,5</b>   | 34              | 28                    |
|                   | ГМК/К    | <b>23</b> | <b>24</b>     | 42              | 40,5                  |
| Укрит. (p ≤ 0,05) |          | 27        | 27            | 27              | 27                    |

Примечание. \* – Отличия статистически значимы если Урасч. < Укрит.

В более обводненные периоды (май и сентябрь) раскисление в поверхностном слое более заметно и профили pH имеют вид, аналогичный профилям pH ГМК, – резкое снижение pH в зоне акротелма (до 10–30 см) с последующей стабилизацией на уровне 3,8–4,0. В период летней межени понижение pH с глубиной залегания происходит более плавно.

Значения минерализации болотных вод на участке К варьируют в достаточно узком диапазоне от 21–29 до 33–39 мкСм/см в сентябре. Заметные колебания параметра выявлены только в поверхностном горизонте (до глубины 10–20 см), после чего минерализация с глубиной плавно повышается до 29–33 мкСм/см.

Показатель E<sub>h4</sub> меняется с глубиной залежи в диапазоне от -24 до 515 мВ в мае, от 48 до 511 мВ в июле и от 75 до 671 мВ в сентябре. Профили E<sub>h4</sub> по глубине залежи аналогичны рассмотренным выше, но с более четкой сезонной градацией. Вместе с тем это единственный участок, где на исследованных глубинах наблюдаются отрицательные значения показателя E<sub>h4</sub>. Данный факт свидетельствует о сильно восстановительных условиях на глубине залежи ниже 40 см. Известно, что это может способствовать протеканию процессов образования и эмиссии парниковых газов, в частности метана.

Содержание растворенных веществ в поровой воде на данной пробной площади изменяется в интервале от 0,22 до 0,81 г/л весной (май), от 0,20 до 0,76 г/л в летнюю межень (июль) и от 0,12 до 1,03 г/л осенью (сентябрь). Изменения по глубине залежи однотипны и демонстрируют значительный (4–5-кратный) рост содержания растворенных веществ в нижних горизонтах.

Для оценки статистической значимости отличий исследованных участков верхового болота на разных стадиях генетического развития по выбранному спектру физико-химических параметров использовали непараметрический U-тест Манна – Уитни [6], результаты которого представлены в таблице.

Сопоставление параметров Урасч. и Укрит. (p ≤ 0,05) позволяет сказать, что наиболее значимые отличия зафиксированы по параметру pH и приурочены к площадкам ГОК/К, ГМОК/ГМК и ГМОК/К. Для площадок ГОК/ГМК и ГМК/К отличия выражены слабо, а для ГОК/ГМОК разница по показателю pH не является статистически значимой. Значимые отличия по среднесезонным значениям параметра минерализации болотных вод выявлены для площадок ГОК/ГМОК, ГМОК/К и в меньшей степени для ГМК/К, а по содержанию растворенных веществ для ГОК/ГМК и ГМОК/ГМК. При этом следует отметить отсутствие статистически значимых отличий для всех выбранных площадок по средним значениям показателя E<sub>h4</sub>, а выявленные вариации данного параметра на разных участках болотного массива обусловлены преимущественно разницей его сезонной динамики.

### Заключение

Для всех изученных в работе площадок характерен контрастный окислительно-восстановительный режим, который характеризуется снижением параметра E<sub>h4</sub> с глубиной залегания, причем наиболее выраженное уменьшение данного параметра ограничивается глубиной 30–45 см, что соответствует деятельному слою залежи. Несмотря на некоторые отличия в гидро-



термическом режиме, для исследованных участков, находящихся на разных стадиях генетического развития, не выявлено ожидаемых статистически значимых отличий по среднесезонным значениям  $Eh_4$ , а выявленные сезонные флуктуации обусловлены вариациями гидрометеорологических условий в период измерения. В целом для изученных торфяных профилей характерна схожая вертикальная динамика по каждому физико-химическому параметру из выбранного спектра. При этом наиболее значимые отличия обнаруживаются по показателю рН.

Таким образом, стадия генетического развития не нарушенного верхового болота определяет мощность аэрируемого слоя (акротелма), а также величину сезонных колебаний показателя  $Eh_4$ . Максимальные значения характерны для находящегося на заключительной стадии генетического

развития верхового болота, грядово-озеркового комплекса (ГОК).

#### Список литературы

1. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев. А.А. Физика и химия торфа. М.: Недра, 1989. 304 с.
2. Tokarz E., Urban D. Soil redox potential and its impact on microorganisms and plants of wetlands // *Journal of Ecological Engineering*. 2015. Vol. 16, Is. 3. P. 20–30. DOI: 10.12911/22998993/2801.
3. Zubov I.N., Orlov A.S., Selyanina S.B., Zabelina S.A., Ponomareva T.I. Redox potential and acidity of peat are key diagnostic physicochemical properties for the stratigraphic zones of a boreal raised bog // *Mires and Peat*. 2022. Vol. 28. Art. 05. P. 1–16. DOI: 10.19189/MaP.2020.GDC.StA.1987.
4. Husson O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy // *Plant Soil*. 2013. Vol. 362. P. 389–417. DOI: 10.1007/s11104-012-1429-7.
5. Иванов К.Е. Водобмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 279 с.
6. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016. 125 с.