

## Анализ пространственно-временной динамики соединений азота, углерода и показателей окисляемости в природных водах Обского болота

В. Н. Колотыгина<sup>1</sup>✉, Е. А. Солдатова<sup>1,2</sup>, Т. А. Кремлева<sup>1</sup>, О. Г. Савичев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Российская Федерация  
(625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6)

<sup>2</sup>Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А. А. Трофимука СО РАН  
(634055, г. Томск, пр. Академический, 4)

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Российская Федерация  
(634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

**Аннотация.** Цель – анализ пространственно-временных изменений физико-химических показателей, связанных с миграцией органического вещества, в водах Обского болота.

**Материалы и методы.** Методика исследования включала обобщение и анализ данных, полученных с 2002 по 2021 годы, в том числе пространственно-временные изменения концентрации биофильных элементов и показателей, связанных с миграцией органического вещества.

**Результаты и обсуждение.** Установлено, что воды Обского болота можно характеризовать как слабощелочные либо нейтральные, с повышенным содержанием карбонатов, гидрокарбонатов и азота аммонийного, по сравнению с олиготрофными болотами. По общему химическому составу воды антропогенно-нарушенного участка характеризуются как солоноватые, гидрокарбонатные натриевые. Воды фонового участка – пресные, гидрокарбонатные кальциевые, с повышенной общей минерализацией. Выявлены тенденции изменения физико-химических показателей в пространстве и времени. Изучены закономерности изменения окислительно-восстановительной обстановки в болотных водах.

**Выводы.** За прошедшие десятилетия существенных изменений в макрокомпоненте состава вод Обского болота на различных участках не произошло, что говорит о высокой способности болота к поддержанию устойчивого эколого-геохимического состояния, однако динамика показателей макрокомпонентного состава и pH вод антропогенно-нарушенного участка свидетельствуют о постепенном распространении фронта загрязнения, выражающимся в увеличении общей минерализации воды и повышении значений pH.

**Ключевые слова:** болотные воды, Обское болото, химический состав, антропогенное загрязнение, анализ динамики.

**Источник финансирования:** Работа выполнена в рамках программы развития Тюменского государственного университета (программа стратегического академического лидерства «Приоритет-2030») и гранта Президента РФ МК-1684.2022.1.5.

**Для цитирования:** Колотыгина В. Н., Савичев О. Г., Кремлева Т. А., Солдатова Е. А. Анализ пространственно-временной динамики соединений азота и углерода и показателей окисляемости в природных водах Обского болота // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 4, с. 23-33. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/23-33>

### ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития человечества одной из наиболее актуальных проблем является проблема изменения климата, одна из причин ко-

торой – увеличение в атмосфере доли парниковых газов, прежде всего, углекислого газа и метана [9]. Торфяные болота – это экосистемы, действующие как поглотители углерода, накапливающие частич-

© Колотыгина В. Н., Савичев О. Г., Кремлева Т. А., Солдатова Е. А., 2023

✉ Колотыгина Виктория Николаевна, e-mail: [v.n.kolotygina@utmn.ru](mailto:v.n.kolotygina@utmn.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

но разложившуюся биомассу, которая в противном случае продолжала бы полностью разлагаться, попадая в атмосферу в виде парниковых газов. Болота занимают первое место перед степями и лесами по содержанию устойчивого органического вещества на единицу площади [2]. Считается, что благодаря незамкнутости круговорота веществ, когда экосистема получает больше энергии и вещества, чем отдает, связывание углерода в болотах происходит на длительный период. По оценке взаимосвязи между выбросами метана и чистой фиксацией углерода в трех экосистемах водно-болотных угодий установлено, что северные водно-болотные угодья находятся в точке «парниковой компенсации», а субтропические и умеренные водно-болотные угодья ослабляют глобальное потепление [12]. Однако вопрос о том, всегда ли болото действует как поглотитель углерода, остается открытым. Баланс между накоплением и эмиссией углерода может быть связан с различными климатическими условиями в разных районах мира и в разное время года [11]. Так, в 2002–2004 годы была проведена оценка баланса  $\text{CO}_2$  тропического торфяно-болотного леса в Центральном Калимантане, которая показала, что данные леса, нарушенные дренажем, функционировали как источник углекислого газа [10]. Таким образом, понимание биогеохимической, гидрохимической и гидрологической роли болот, их влияния на секвестрацию углерода и эмиссию парниковых газов является совершенно необходимым при про-

гнозе долгосрочных изменений окружающей среды в Западной Сибири и определении допустимого антропогенного воздействия на болотные экосистемы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбраны участки долинного низинного Обского болота, протянувшегося в левобережной части долины реки Оби, от села Кожевниково на юге до села Иштган на севере, полосой шириной от 1,5 до 7 км и длиной 104 км. Торфяная залежь – низинного типа, со средней мощностью 3,2 м при максимуме до 6 м. Участок, расположенный южнее села Мельниково (соответствует торфяному месторождению «Обское I»), характеризуется средними значениями: зольности торфа 28,7%, степени разложения – 34%; влажности – 83,7%; pH – от 5,5 до 7,3. Средние значения северного участка (торфяное месторождение «Обское II») составляют: степень разложения торфа – 34%; зольность – 28,7% [3].

Климат Шегарского района, на территории которого располагается Обское болото, характеризуется как континентальный с продолжительной и холодной зимой, коротким и тёплым летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками, равномерным увлажнением. Холодный период с температурами ниже  $0^\circ\text{C}$  длится 180–200 дней, среднегодовая температура отрицательна. Годовое количество осадков по территории области изменяется в среднем от 400 до 570 мм. Устойчивый снежный покров устанавливается в конце октября

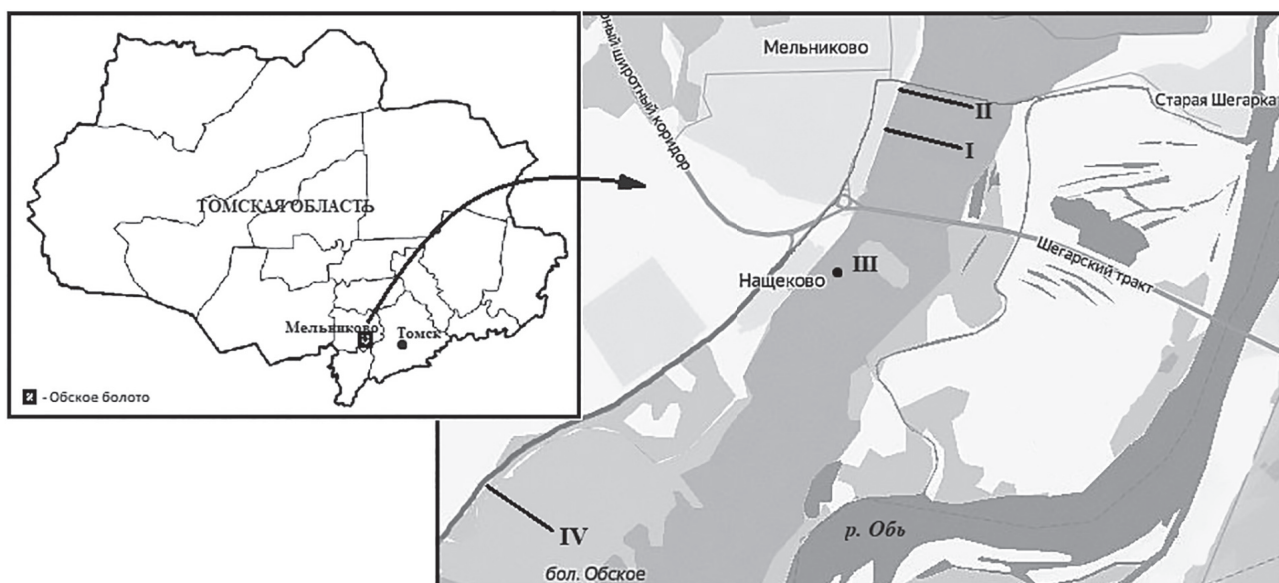


Рис. 1. Схема размещения пунктов наблюдений за химическим составом вод Обского болота: створы I, II – антропогенно-нарушенный участок; створы III, IV – фоновый участок

[Fig. 1. Scheme of placement of observation points for the chemical composition of the waters of the Ob swamp: sections I, II – anthropogenically disturbed area; sections III, IV – background area]

(23–26 октября). Продолжительность залегания снежного покрова составляет 180 дней [2, 5].

Отбор проб воды Обского болота производился в пределах двух участков – антропогенно-нарушенного и условно фоновый (рис. 1). Первый участок возле села Мельниково включает два створа опробования (перпендикулярно суходолу) – собственно створ выпуска сточных вод жилищно-коммунального хозяйства села Мельниково (обозначен индексом «I») и створ в 50 м выше дороги село Мельниково – село Старая Шегарка (створ II). Условно фоновый участок также включает два створа – в районе села Нащеково (створ III) и в 5 км южнее села Нащеково (створ IV). Сточные воды, сбрасываемые в Обское болото, характеризуются как гидрокарбонатные натриевые, с высоким содержанием аммония (64 мг/л), фосфатов (18 мг/л), хлоридов (160 мг/л) и сульфатов (50 мг/л) [6].

Методика исследования включала в себя обобщение и анализ данных, полученных с 2002 по 2021 годы, в том числе пространственно-вре-

менные изменения концентрации биофильных элементов и показателей, связанных с миграцией органического вещества. Подробно методики пробоотбора и химического анализа проб воды изложены в [6, 7]. Показатель минерализации ( $\Sigma_{ги}$  – сумма главных ионов) был определен расчётным методом путем суммирования концентраций следующих компонентов химического состава воды: катионов  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , анионов  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Величина рН вод в пределах антропогенно-нарушенного участка во времени несколько выросла (с 6,9 до 7,8) (рис. 2а). Для фоновой участка значение в разные годы варьируется от 7,2 до 7,7 (рис. 2б). Что касается пространственных изменений, то можно отметить возрастание рН в 50–300 метрах в направлении удаления от суходола на антропогенно-нарушенном участке в 2012–2013 годах. Для фоновой участка такой четкой временной тенденции изменения рН не прослеживается.

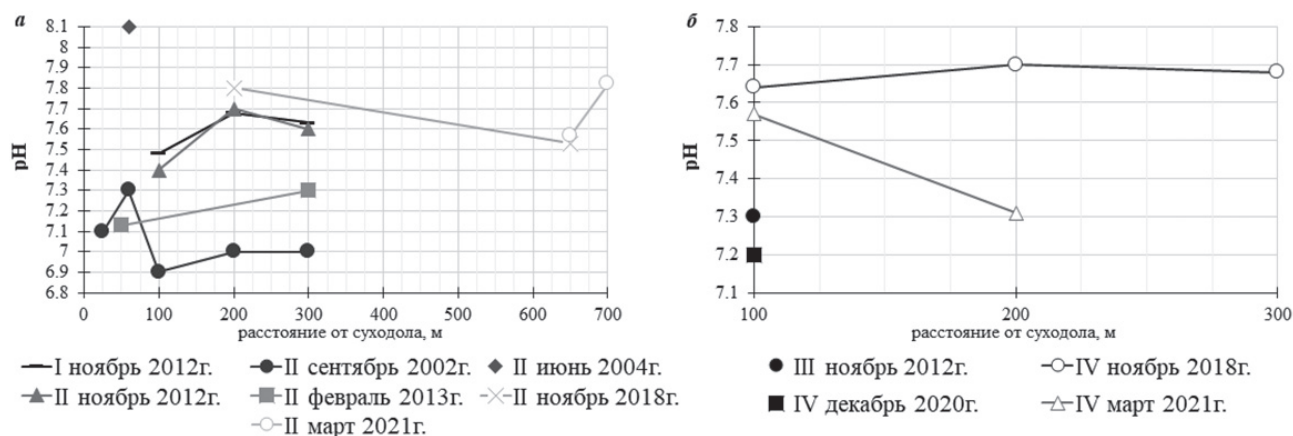


Рис. 2. Пространственно-временные изменения рН вод Обского болота:

а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)

[Fig. 2. Spatio-temporal changes in the pH of the waters of the Ob swamp:

a – anthropogenic disturbed area (lines I, II), b – background area (lines III, IV)]

По створу автодороги (II) по мере удаления от суходола, в 2002 и 2012 годах наблюдалось значительное уменьшение минерализации ( $\Sigma_{ги}$ ), от ~1500 до ~700 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 3а). В 2013 году подобного уменьшения не прослеживается. В 2018 году небольшое уменьшение  $\Sigma_{ги}$  было зафиксировано в 650 метрах от суходола. По створу сброса сточных вод (I)  $\Sigma_{ги}$  характеризуется стабильно высокими значениями на уровне 1500 мг/дм<sup>3</sup>. На фоновом участке  $\Sigma_{ги}$  имеет относительно низкие значения (~500 мг/дм<sup>3</sup>) и практически не изменяется во времени и пространстве (рис. 3б). Поскольку

гидрокарбонат-ион является основным в химическом составе изучаемых вод, его пространственно-временная динамика сходна с описанными выше изменениями минерализации (рис. 4). Максимальные концентрации растворенного углекислого газа наблюдаются по створу автодороги, значения варьируют от 1,9 до 52 мг/л (рис. 5).

Для фоновой участка характерны низкие концентрации иона аммония 0,067–0,300 мг/дм<sup>3</sup>, которые практически не изменяются во времени и пространстве, за исключением двух точек на расстоянии 100 м от суходола (створ III в ноябре 2012 года

и створ IV в декабре 2020 года) с концентрацией 7 и 10 мг/л соответственно (рис. 6б). В створе сброса сточных вод концентрация аммония варьирует от 46

до 63 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 6а). В створе II у суходола во все периоды опробования также отмечается повышенное содержание иона аммония (до ~100 мг/дм<sup>3</sup>).

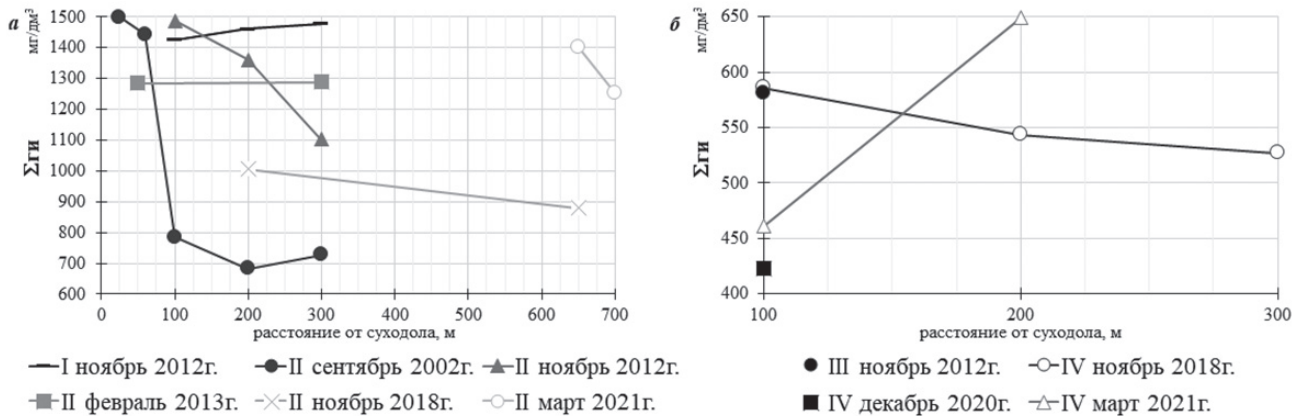


Рис. 3. Пространственно-временные изменения минерализации в водах Обского болота: а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)

[Fig. 3. Spatio-temporal changes in mineralization in the waters of the Ob swamp: а – anthropogenic disturbed area (lines I, II), б – background area (lines III, IV)]

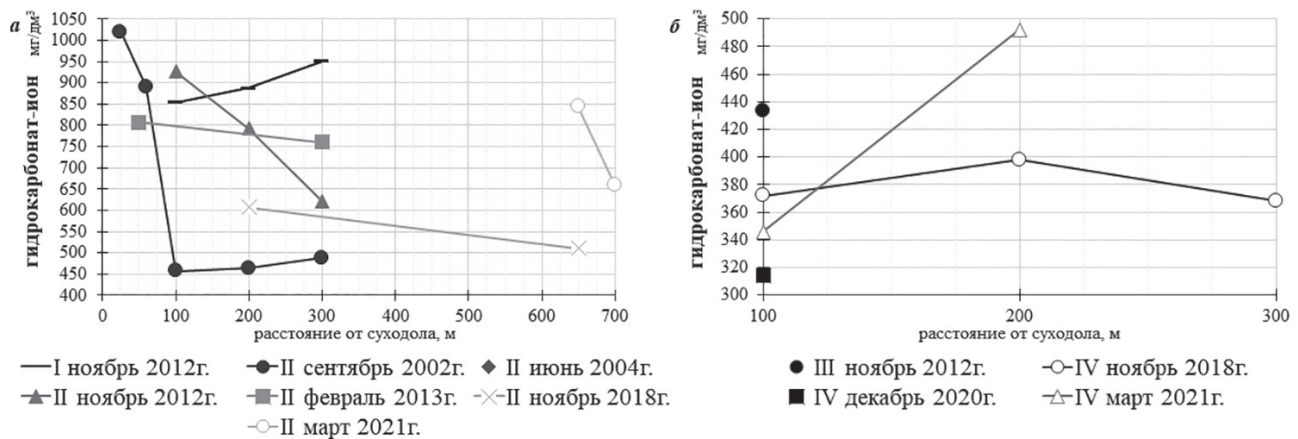


Рис. 4. Пространственно-временные изменения концентрации гидрокарбонат-иона в водах Обского болота: а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)

[Fig. 4. Spatio-temporal changes in the concentration of bicarbonate ion in the waters of the Ob swamp: а – anthropogenic disturbed area (gates I, II), б – background area (gates III, IV)]

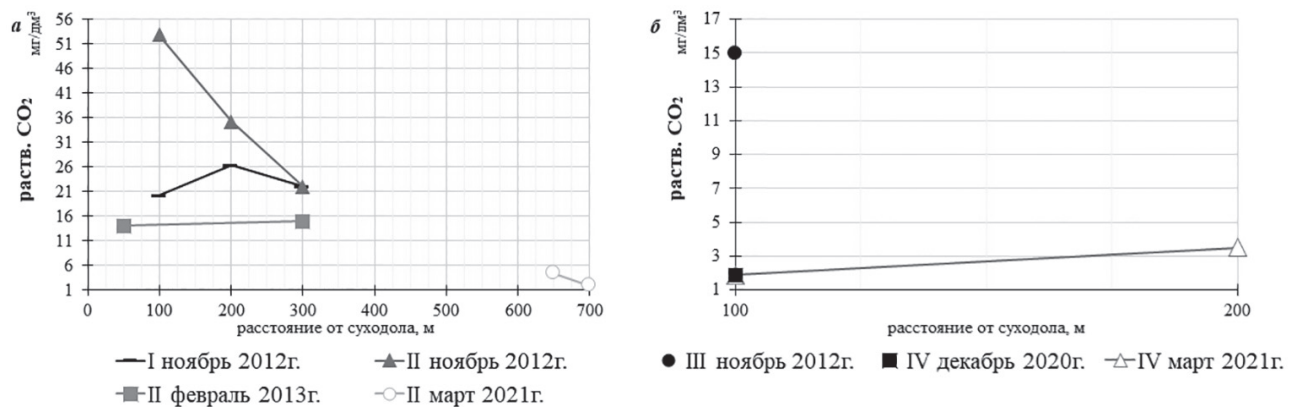


Рис. 5. Пространственно-временные изменения концентрации растворенного углекислого газа в водах Обского болота: а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)

[Fig. 5. Spatio-temporal changes in the concentration of dissolved carbon dioxide in the waters of the Ob swamp: а – anthropogenic disturbed area (lines I, II), б – background area (lines III, IV)]



В пределах условно фонового участка концентрация нитратов варьирует в пределах от 0,2 до 0,4 мг/л, лишь точка в 100 м от суходола (створ III ноябрь 2012 года) с концентрацией нитрат-иона равной 1,72 мг/дм<sup>3</sup> несколько нарушает эту закономерность (рис. 7б). Концентрация нитратов на антропогенно-нарушенном участке в пространстве изменяется скачкообразно. Пик концентрации нитрат-иона наблюдается в 50 м от суходола в 2002 году и составляет 23,33 мг/дм<sup>3</sup>. В остальные периоды опробования значения по створам I и II находятся в пределах от 0,200 до 4,250 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, а по створу III и IV – 0,140±0,320 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 7а). Для нитрит-иона практически на всех участках характерна концентрация ниже предела обнаружения (<0,002 мг/дм<sup>3</sup>), повышаясь лишь в некоторых точках антропогенно-нарушенного участка до значения 0,060 мг/дм<sup>3</sup>.

Хорошо выраженное пространственное изменение в створах I и II имеют БОК, ПОК и БПК<sub>5</sub> (рис. 8). По мере удаления от границы болота происходит уменьшение концентраций всех показателей, связанных с окисляемостью. Исключением являются створ автодороги II (февраль 2013 года и ноябрь 2018 года,) и створ фонового участка IV (ноябрь 2018 года), где происходит незначительное увеличение показателей окисляемости. В сентябре 2002 года в створе II бихроматная окисляемость возле спуска сточных вод резко уменьшается, а на расстоянии 50-300 метров изменяется скачкообразно.

Воды Обского болота на протяжении всего календарного года можно характеризовать как слабощелочные либо нейтральные, с повышенным содержанием карбонатов, гидрокарбонатов и азота аммонийного, по сравнению с олиготрофными болотами. По общему химическому составу воды

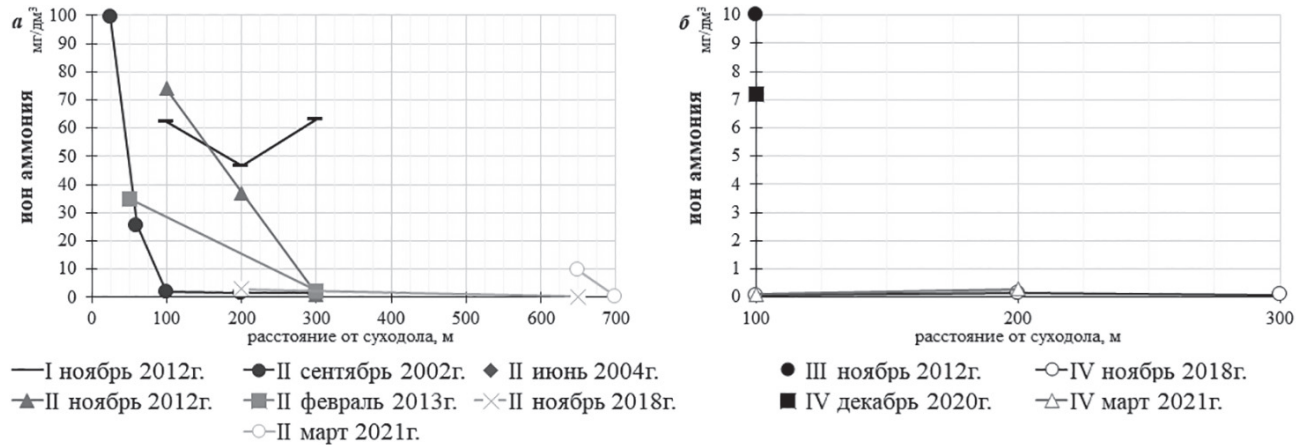


Рис. 6. Пространственно-временные изменения концентрации иона аммония в водах Обского болота: а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)  
 [Fig. 6. Spatio-temporal changes in the concentration of ammonium ion in the waters of the Ob swamp: a – anthropogenic disturbed area (lines I, II), b – background area (lines III, IV)]

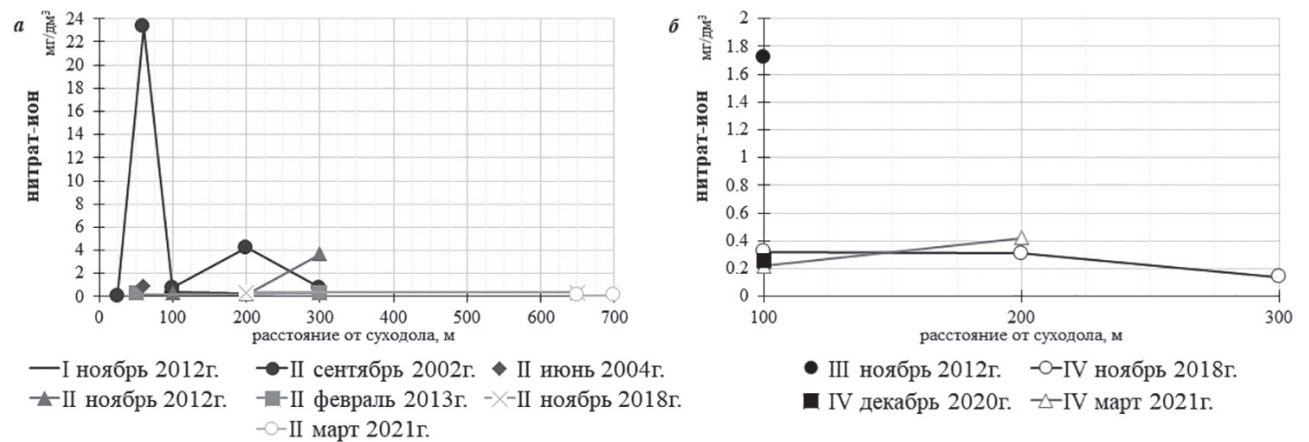


Рис. 7. Пространственно-временные изменения концентрации нитрат-иона в водах Обского болота: а – антропогенно-нарушенный участок (створы I, II), б – фоновый участок (створы III, IV)  
 [Fig. 7. Spatio-temporal changes in the concentration of nitrate ion in the waters of the Ob swamp: a – anthropogenic disturbed area (lines I, II), b – background area (lines III, IV)]

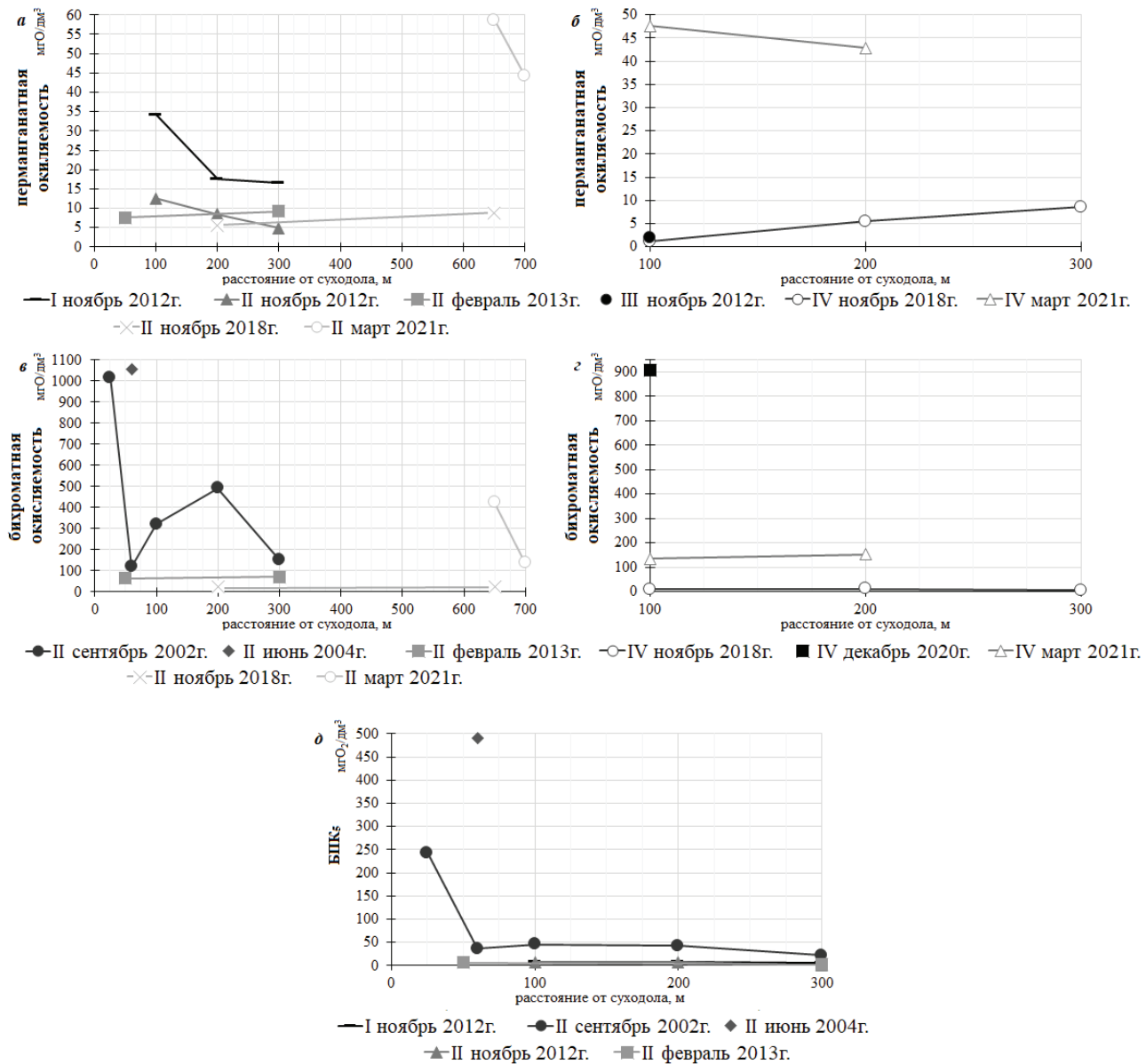


Рис. 8. Пространственно-временные изменения показателей: а – ПОК (антропогенно-нарушенный участок), б – ПОК (фоновый участок), в – БОК (антропогенно-нарушенный участок), г – БОК (фоновый участок), д – БПК<sub>5</sub> (антропогенно-нарушенный участок) в водах Обского болота [Fig. 8. Spatial and temporal changes in indicators: a – PO (anthropogenic-disturbed area), б – PO (background area), в – BO (anthropogenic-disturbed area), г – BO (background area), д – biochemical oxygen consumption (BOC<sub>5</sub>) (anthropogenic-disturbed area) in the waters of the Ob swamp]

антропогенно-нарушенного участка характеризуются как солоноватые, гидрокарбонатные натриевые. Воды фонового участка – пресные, гидрокарбонатные кальциевые, с повышенной общей минерализацией.

Изменение величины рН вод Обского болота в пределах антропогенно-нарушенного участка во времени говорит о смене условий с нейтральных на слабощелочные. Данная тенденция, а также описанная ранее динамика пространственно-временных изменений минерализации, могут быть

связаны с тем, что на антропогенно-нарушенном участке в течение многих лет производится сброс коммунально-бытовых сточных вод, что оказывает значительное влияние на некоторые показатели химического состава воды. Динамика Σг<sub>и</sub> указывает на распространение фронта загрязнения все дальше от суходола в сторону р. Обь. Однако нельзя исключать, что на динамику упомянутых показателей оказывает влияние водность болота, поскольку мониторинговых исследований на участках Обского болота не проводилось.

Для неорганических форм углерода были выявлены следующие зависимости. Если анализировать данные 2012 года, где замеры растворенного  $\text{CO}_2$  были сделаны в пределах фонового и антропогенно-нарушенного участков, а также, анализируя концентрации  $\text{CO}_2$  за весь период наблюдений, можно сказать, что на расстоянии 300 метров от суходола, концентрации  $\text{CO}_2$  выше в водах антропогенно-нарушенного участка. С большой долей вероятности при удалении от суходола концентрации  $\text{CO}_2$  на этом участке будут снижаться, о чем свидетельствуют данные 2021 года и пространственная динамика содержания гидрокарбонат-иона и значения минерализации. Причем максимальные концентрации  $\text{CO}_2$  наблюдаются в осенний период, что может быть связано с поступлением и минерализацией органического вещества в течение теплого периода, дальнейшим охлаждением вод и выделением продуктов жизнедеятельности биоты, ведущих к аккумулярованию углекислого газа.

По створу автодороги (II) по содержанию в болотных водах аммонийного иона можно отметить, что его концентрация значительно уменьшается по мере удаления от суходола, уже в 200–300 м опускаясь до фоновой. Скачкообразные изменения концентрации нитрат- и нитрит-иона, описанные ранее, вероятно связаны с разной активностью микроорганизмов, участвующих в нитрификации и последующих преобразованиях нитрат-иона.

В целом можно отметить некоторое уменьшение значений показателей окисляемости со временем на антропогенно-нарушенном участке. Однако это можно объяснить сезонностью опробования, в частности, самые высокие значения

показателей окисляемости наблюдаются в летне-осенний период, что, вероятно, связано с поступлением свежей органики и жизнедеятельностью биоты.

Для изучения закономерностей изменения окислительно-восстановительной обстановки в водах Обского болота нами был произведен расчет суммарной степени окисления присутствующих в водной среде минеральных форм азота. Для расчета этой величины необходимо знать концентрацию нитрат-, нитрит-ионов и ионов аммония. Суммарную степень окисления азота ( $N^{\pm}$ ) рассчитывали по формуле (1) [4]:

$$N^{\pm} = \frac{-3 \cdot C_{\text{NH}_4^+} + 3 \cdot C_{\text{NO}_2^-} + 5 \cdot C_{\text{NO}_3^-}}{(C_{\text{NH}_4^+} + C_{\text{NO}_2^-} + C_{\text{NO}_3^-})}, \quad (1)$$

где:  $C$  – массовая концентрация ( $\text{мкгN/дм}^3$ ) различных форм азота, а числа  $-3$ ,  $+3$  и  $+5$  соответствуют степени окисления азота в ионах аммония, нитрит- и нитрат-ионах.

Поскольку минеральные формы азота участвуют в процессах окисления органического вещества, то суммарная степень окисления азота в водоемах должна быть связана с температурными условиями и поступлением органического вещества, в том числе болотных высокогумусных вод и нефтяных углеводородов, наличия окислителей, наличия источников азота, температурного режима, кислотности среды, условий существования бактерий и т.д. Оценка значений этой величины позволяет судить о преобладании тех или иных процессов в растворе. На рисунке 9 приведено значение суммарной степени окисления по створу дороги Мельниково – Старая Шегарка.

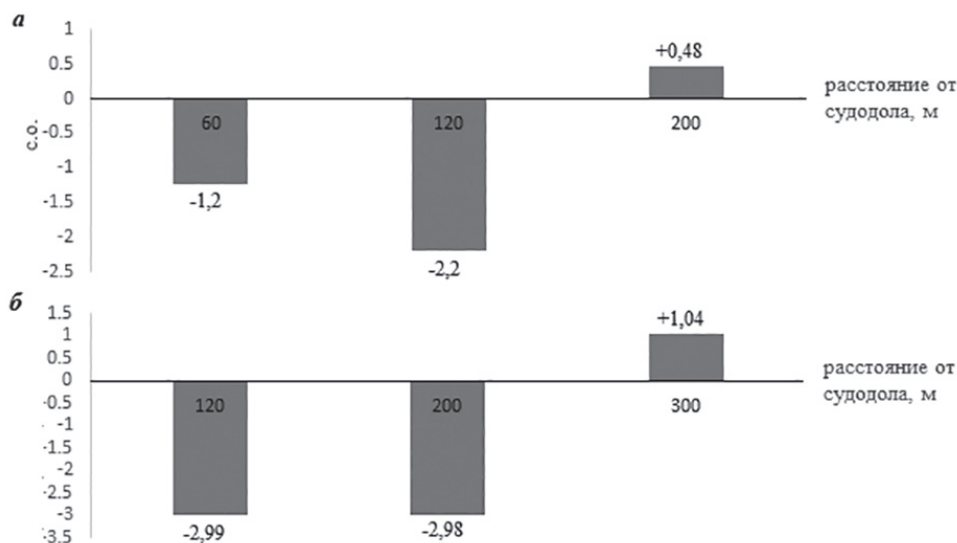


Рис. 9. Суммарная степень окисления минеральных форм азота: а – створ II 2002 год, б – створ II 2012 год [Fig. 9. The total degree of oxidation of mineral forms of nitrogen: a – gate II 2002, b – gate II 2012]

Как видно из гистограммы, восстановленный азот (ион аммония) с отрицательной суммарной степенью окисления (с.о.) доминирует, что свидетельствует о восстановительной обстановке, однако при удалении от суходола суммарная с.о. принимает положительные значения, что говорит

о смене обстановки на окислительную и преобладание нитратных форм. По створу ЖКХ доминирует только восстановленный азот (рис. 10а), а вот по створу с. Нащекново обстановка по мере удаления от суходола сменяется на восстановительную (рис. 10б).

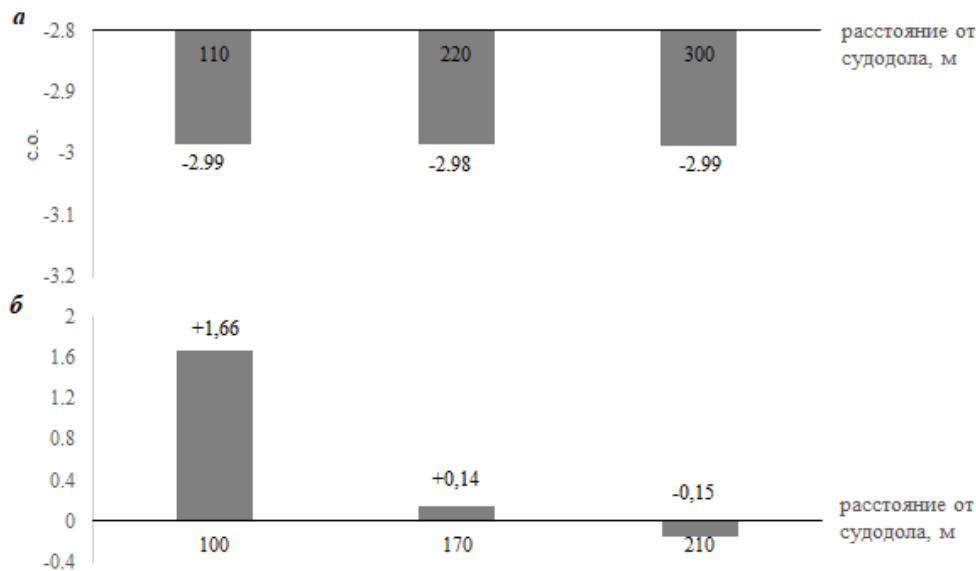


Рис. 10. Суммарная степень окисления минеральных форм азота: а – створ I 2012 год, б – створ IV 2018 год  
 [Fig. 10. The total degree of oxidation of mineral forms of nitrogen: a – gate I 2012, b – gate IV 2018]

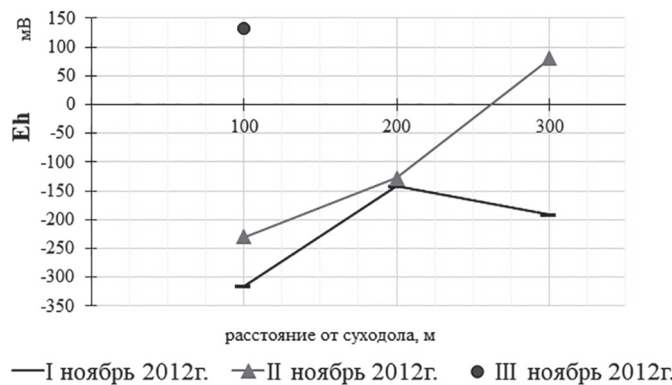


Рис. 11. Пространственно-временные изменения Eh в водах Обского болота (створы I, II – антропогенно-нарушенный участок; створы III, IV – фоновый участок)  
 [Fig. 11. Spatio-temporal changes of Eh in the waters of the Ob swamp (sections I, II – anthropogenic disturbed area; sections III, IV – background area)]

Предложенные расчеты достаточно хорошо коррелируют с измеренным в полевых условиях Eh (рис. 11). Видно, что величина восстановительно-окислительного потенциала по створу автодороги село Мельниково – село Старая Шегарка (створ II) у суходола имеет отрицательные значения, а по мере удаления от суходола принимает положительные значения, что свидетельствует о смене обстановки на окислительную. В створе I (створ сбора сточных вод) величина Eh принимает отрицательные значения во всех точках опробова-

ния. Таким образом, приведенный расчет можно использовать как альтернативу прямому замеру Eh среды в случае отсутствия возможности полевых измерений, как, например, в феврале 2018 года по створу IV у села Нащекново (см. рис. 10б).

#### ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ данных пространственно-временной динамики соединений азота, углерода и показателей окисляемости в водах Обского болота показал, что за последние двадцать лет существенных изменений в макрокомпо-



нением составе вод Обского болота на различных участках не произошло. Это говорит о высокой способности болота к поддержанию устойчивого эколого-геохимического состояния. Данный факт подтверждает эксперимент по самоочищению Обского болота, проведенный в 2021 году [8]. Однако пространственно-временная динамика показателей макрокомпонентного состава и рН вод антропогенно-нарушенного участка свидетельствуют о постепенном распространении фронта загрязнения, выражающимся в увеличении общей минерализации воды и повышении значений рН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсеева Н. С. *География Томской области: Природные условия и ресурсы*. Томск: Известия Томского университета, 2001. 240 с.
2. Заварзин Г. А. Цикл углерода в природных экосистемах России // *Природа*, 1994, т. 7, с. 15-18.
3. Задуницкий Я. Н. *Торфяные месторождения Томской области*. Москва: Геолгорфразведка, 1971. 306 с.
4. Кремлева Т. А., Паничева Л. П. Участие различных форм азота в биогеохимической трансформации нефтяных углеводородов в водной среде // *Материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах»*, 2018, с. 80-89.
5. Современные изменения климатических условий, определяющих накопление снега на автомобильных дорогах Томской области / В. П. Горбатенко, О. В. Носырева, М. А. Волкова и др. // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2018, № 4, с. 39-54.

6. Условия трансформации коммунально-бытовых сточных вод в болотных экосистемах (на примере Обского болота, Западная Сибирь) / И. С. Иванова, Н. В. Гусева, Н. А. Смирнова и др. // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2020, т. 331, № 3, с. 39-51.

7. Химический состав вод Обского болота (Западная Сибирь) и его пространственные изменения под влиянием сбросов загрязняющих веществ / О. Г. Савичев, Н. В. Гусева, Е. А. Куприянов и др. // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2013, т. 323, № 1, с. 168-172.

8. Эксперимент по оценке самоочищения Обского болота (Западная Сибирь, Томская область) / О. Г. Савичев, Н. В. Гусева, А. А. Хвощевская и др. // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2022, т. 333, № 1, с. 73-84.

9. Birdsey R., Pan Y. Climate change of nature // *Nature Climate Change*, 2011, pp. 444-445.

10. Hirano T., Segah H., Harada T., Limin S., June T., Hirata R., Osaki M. Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia // *Global Change Biology*, 2007, vol. 13, no. 2, pp. 412-425.

11. Lovett R. Burying biomass to fight climate change // *New Scientist*, 2008, vol. 2654, pp. 32-35.

12. Whiting G. J., Chanton J. P. Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration // *Tellus B*, 2001, vol. 53, no. 5, pp. 521-528.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 29.07.2022

Принята к публикации: 28.11.2023

## Analysis of the Spatio-temporal Dynamics of Nitrogen, Carbon Compounds and Indicators of Oxidability in the Natural Waters of the Ob Swamp

V. N. Kolotygina<sup>1</sup>✉, E. A. Soldatova<sup>1,2</sup>, T. A. Kremleva<sup>1</sup>, O. G. Savichev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State University, Russian Federation  
(6, Volodarsky str., Tyumen, 625003)

<sup>2</sup>Tomsk Branch of the Institute of Petroleum Geology and Geophysics  
named after A.A. Trofimuk of the SB of the RAS, Russian Federation  
(4, Akademicheskoy Ave., Tomsk, 634055)

<sup>3</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation  
(30, Lenin Ave., Tomsk, 634050)

**Abstract.** The purpose is to analyze the spatio-temporal changes in physical and chemical parameters associated with the migration of organic matter in the waters of the Ob swamp.

**Materials and methods.** The research methodology included the generalization and analysis of data obtained from 2002 to 2021, including spatio-temporal changes in the concentration of biophilic elements and indicators associated with the migration of organic matter.

**Results and discussion.** In the course of research, it was found that the waters of the Ob swamp can be characterized as slightly alkaline or neutral, with an increased content of carbonates, hydrocarbonates and ammonium nitrogen, compared with oligotrophic swamps. According to the general chemical composition, the waters of the anthropogenic disturbed area are characterized as brackish, sodium bicarbonate. The waters of the background area are fresh, calcium bicarbonate, with increased total mineralization. The trends of changes in physical and chemical parameters in space and time are revealed. The regularities of changes in the redox situation in swamp waters have been studied.

**Conclusion.** Over the past decades there have been no significant changes in the macro-component composition of the waters of the Ob swamp in various areas, which indicates the high ability of the swamp to maintain a stable ecological and geochemical state, however, the dynamics of the macro-component composition and pH of the waters of the anthropogenically disturbed area they indicate the gradual spread of the pollution front, expressed in an increase in the total mineralization of water and an increase in pH values.

**Key words:** swamp waters, Ob swamp, chemical composition, anthropogenic pollution, dynamics analysis.

**Funding:** The work was carried out within the framework of the Tyumen State University development Program (strategic academic leadership program "Priority 2030") and the grant of the President of the Russian Federation MK-1684.2022.1.5.

**For citation:** Kolotygina V.N., Savichev O.G., Kremleva T.A., Soldatova E.A. Analysis of the Spatio-temporal Dynamics of Nitrogen, Carbon Compounds and Indicators of Oxidability in the Natural Waters of the Ob Swamp. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2023, no. 4, p. 23-33 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/4/23-33>

### REFERENCES

1. Evseeva N.S. *Geografiya Tomskoy oblasti: Prirodnye usloviya i resursy* [Geography of the Tomsk region: Natural conditions and resources]. Tomsk: Izvestiya Tomskogo universiteta, 2001. 240 p. (In Russ.)
2. Zavarzin G.A. Tsikl ugleroda v prirodnykh ekosistemakh Rossii [Carbon cycle in natural ecosystems of Russia]. *Priroda*, 1994, vol. 7, pp. 15-18. (In Russ.)
3. Zadunitskiy Ya. N. *Torfyanые mestorozhdeniya Tomskoy oblasti* [Peat deposits of the Tomsk region]. Moscow: Geol'tor'frazvedka, 1971. 306 pp. (In Russ.)
4. Kremleva T.A., Panicheva L.P. Uchastie razlichnykh form azota v biogekhimicheskoy transformatsii neftyanykh uglevodorodov v vodnoy srede [The participation of various forms of nitrogen in the biogeochemical transformation of petroleum hydrocarbons in the aquatic environment]. *Mate-*

© Kolotygina V.N., Savichev O.G., Kremleva T.A., Soldatova E.A., 2023

✉ Victoria N. Kolotygina, e-mail: [v.n.kolotygina@utmn.ru](mailto:v.n.kolotygina@utmn.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

rialy III Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovateley «Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soedineniy v prirodnykh sredakh», 2018, pp. 80-89. (In Russ.)

5. Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh usloviy, opredelyayushchikh nakoplenie snega na avtomobil'nykh dorogakh Tomskoy oblasti [Modern changes in climatic conditions that determine the accumulation of snow on the highways of the Tomsk region] / V.P. Gorbatenko, O.V. Nosyreva, M.A. Volkova i dr. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2018, no. 4, pp. 39-54. (In Russ.)

6. Usloviya transformatsii kommunal'no-bytovykh stochnykh vod v bolotnykh ekosistemakh (na primere Obskogo bolota, Zapadnaya Sibir') [Conditions of transformation of municipal wastewater in swamp ecosystems (on the example of the Ob swamp, Western Siberia)] / I.S. Ivanova, N.V. Guseva, N.A. Smirnova i dr. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2020, vol. 331, no. 3, pp. 39-51. (In Russ.)

7. Khimicheskii sostav vod Obskogo bolota (Zapadnaya Sibir') i ego prostranstvennye izmeneniya pod vliyaniem sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv [Chemical composition of the waters of the Ob swamp (Western Siberia) and its spatial changes under the influence of discharges of pollutants] / O.G. Savichev, N.V. Guseva, E.A. Kupriyanov i dr.

*Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 168-172. (In Russ.)

8. Eksperiment po otsenke samoochishcheniya Obskogo bolota (Zapadnaya Sibir', Tomskaya oblast') [Experiment to assess self-purification of the Ob swamp (Western Siberia, Tomsk region)] / O.G. Savichev, N.V. Guseva, A.A. Khvashchevskaya i dr. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2022, vol. 333, no. 1, pp. 73-84. (In Russ.)

9. Birdsey R., Pan Y. Climate change of nature. *Nature Climate Change*, 2011, pp. 444-445.

10. Hirano T. et al. Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology*, 2007, vol. 13, no. 2, pp. 412-425.

11. Lovett R. Burying biomass to fight climate change. *New Scientist*, 2008, vol. 2654, pp. 32-35.

12. Whiting G.J., Chanton J.P. Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration. *Tellus B*, 2001, vol. 53, no. 5, pp. 521-528.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 29.07.2022*

*Accepted: 28.11.2023*

Колотыгина Виктория Николаевна  
лаборант-исследователь Центра изотопной биогеохимии Института экологической и сельскохозяйственной биологии (X-BIO) Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6368-4815, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru

Солдатова Евгения Александровна  
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Центра изотопной биогеохимии Института экологической и сельскохозяйственной биологии (X-BIO) Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3967-4822, e-mail: 2a61@mail.ru

Кремлева Татьяна Анатольевна  
директор института химии Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9229-4912, e-mail: t.a.kremleva@utmn.ru

Савичев Олег Геннадьевич  
доктор географических наук, профессор отделения геологии Томского политехнического университета, профессор кафедры гидрологии геолого-географического факультета Томского государственного университета, г. Томск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9561-953X, e-mail: OSavichev@mail.ru

Victoria N. Kolotygina  
Laboratory researcher, Center for Isotope Biogeochemistry, Institute of Environmental and Agricultural Biology (X-BIO), Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6368-4815, e-mail: v.n.kolotygina@utmn.ru

Evgenia A. Soldatova  
Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, Center for Isotope Biogeochemistry, Institute of Environmental and Agricultural Biology (X-BIO), Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3967-4822, e-mail: 2a61@mail.ru

Tatyana A. Kremleva  
Director of the Institute of Chemistry, Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9229-4912, e-mail: t.a.kremleva@utmn.ru

Oleg G. Savichev  
Doctor of Geographical Sciences, Professor of Geology Department, Tomsk Polytechnic University, Professor of Hydrology Department of the Geology and Geography Faculty, Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9561-953X, e-mail: OSavichev@mail.ru