

УДК 556.114.7: 551.345.1: 551.583:57.033

О.І. ГАБИШЕВА, мол. наук. співроб.,
Інститут біологічних проблем криолітозони СВ РАН
просп. Леніна, 41, Якутськ, 677980, Росія,
e-mail: g89248693006@yandex.ru
ORCID 0000-0002-7435-4384

В.А. ГАБИШЕВ, д. б. н., голов. наук. співроб.,
Інститут біологічних проблем криолітозони СВ РАН
просп. Леніна, 41, Якутськ, 677980, Росія,
e-mail: v.a.gabyshev@yandex.ru
ORCID 0000-0002-1656-4383

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ ВМІСТУ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДІ РІЧОК СХІДНОГО СИБІРУ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН¹

Із застосуванням нейромережевого моделювання та методу просторово-часового заміщення, побудовано прогнозну модель зміни концентрації органічних речовин у водах річок Східного Сибіру. Як прогнозований параметр використано показник ХСК. Показано, що в умовах кліматичних змін і зростання потужності діяльного шару мерзлоти (ПДШМ), на водозборах дослідженого регіону вірогідне зниження вмісту органічної речовини в поверхневих водах. Результати прогнозу узгоджуються з елементами наявної концепції регуляторної ролі ПДШМ у формуванні хімічного складу вод криолітозони. Застосування цього підходу відкриває можливості для побудови прогнозних моделей зміни хімічного складу поверхневих вод важкодоступних слабо вивчених регіонів, де відсутні моніторингові дані.

Ключові слова: органічні речовини, ХСК, діяльний шар мерзлоти, річки, Східний Сибір.

На території Східного Сибіру вічна мерзлота розповсюджена майже повсюдно: на північ від р. Вілюй вона суцільна, а південніше — переривчаста. Глибина шару мерзлих порід у центральній частині регіону становить 350—450 м [9]. Найбільша потужність мерзлоти відзначена в басейні р. Оленьок — 1500 м [2]. У південній частині регіону потужність змен-

¹ Роботу виконано в рамках проектів держзавдання ІБПК СВ РАН «Виявлення причинно-наслідкових основ динаміки ґрунтового покриву, рослинного і тваринного світу криолітозони на території поширення легких порід у Центральній Якутії для розробки фундаментальних основ їх охорони в умовах зростаючого антропогенного пресу і глобальних змін» (номер держ. реєстрації АААА-А19-119040990002-1).

Ц и т у в а н н я: Габишева О.І., Габишев В.А. Модель прогнозу вмісту органічних речовин у воді річок Східного Сибіру в умовах кліматичних змін. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 1. С. 110—120.

шується, зустрічаються ділянки, позбавлені мерзлоти — талики [8]. Потужність діяльного шару, тобто верхнього горизонту мерзлоти, який схильний до сезонного танення у теплий період року і замерзання при негативних температурах, у дослідженому регіоні варіює від 0,1 до 3,0 м [2].

У XX сторіччі середньорічна температура повітря біля поверхні землі збільшувалася на 0,06 °C за десятиліття, для Арктики цей показник вищий — 0,09 °C. Згідно з наявними прогнозами, протягом наступного сторіччя середньорічна температура повітря в Арктиці збільшиться на 4—7 °C [12]. Є висока ймовірність того, що це призведе до деградації вічної мерзлоти, особливо на південь від 70 °N [22]. Загальний процес деградації вічної мерзлоти має як мінімум чотири складові: збільшення потужності діяльного шару мерзлоти (ПДШМ), виникнення проталин, розвиток термокарсту, зміщення південного кордону багаторічної мерзлоти на північ [37]. Показник ПДШМ найтісніше залежить від температури повітря і збільшується слідком за потеплінням практично без часового лагу [21].

Деградація вічної мерзлоти має значний потенціал впливу на хімічний склад поверхневих вод [18, 32]. Такий вплив може бути зумовлений декількома основними чинниками, по-перше, розчинні хімічні компоненти, що наразі знаходяться у верхньому горизонті мерзлоти, стануть лабільними. По-друге, зростання ПДШМ призведе до зміни глибини поверхневого стоку і тривалості перебування води у ґрунті, що вплине на хімічний склад поверхневих вод через реакції обміну між водою і ґрунтом. І, нарешті, до зміни хімічного складу поверхневих вод призведе можливе (при продовженні процесу деградації мерзлоти) посилення вкладу ґрунтових вод у їх живленні. Очевидно, що через вплив на хімічний склад поверхневих вод деградація мерзлоти вплине і на водні екосистеми. Для таких регіонів як Східний Сибір, де багаторічна мерзлота поширена повсюдно, трансформації, викликані процесами деградації мерзлоти, можуть бути найбільш драматичними, оскільки охоплять всю територію.

Для арктичних річок у цілому, і для річок Східного Сибіру зокрема, характерний високий вміст органічних речовин (ОР) [1, 16]. Це зумовлено впливом багатих на вуглець ґрунтів водозбірних басейнів кріолітозони, в яких внаслідок заболочування і переважання анаеробних умов накопичені значні запаси ОР [31].

У питанні прогнозу впливу процесу деградації вічної мерзлоти на вміст ОР в арктичних річках думки дослідників розійшлися. Згідно низки оцінок, деградація мерзлоти спричинить зростання продуктивності рослинного покриву [35], що, призведе до накопичення ОР у ґрунті [36] і збільшення їхнього надходження до поверхневих вод. Джерелом можливого підвищення виносу органічних сполук можуть також стати талі води з ґрунтів вічної мерзлоти [34]. Дослідження на водозборах Аляски [23, 27, 34], території Юкон у Канаді [15] і Центрального Сибіру [29] вказують на ймовірність зниження експорту ОР у результаті зміни переважаючих шляхів поверхневого стоку і його контакту з підстильним мінеральним шаром ґрунтів. Є свідчення того, що до зниження вмісту ОР у поверхне-

вих водах може призвести очікуване в результаті деградації мерзлоти зниження витрат води [24]. Дослідження на водозборах Західного Сибіру, що характеризуються великими запасами торфу потужністю у середньому 1—5 м [30], показали, що цей шар торфовищ забезпечить безперервне джерело надходження органічних речовин до поверхневого стоку у міру його поглиблення слідом за поглибленням діяльного шару мерзлоти [19].

Таким чином, актуальність питань прогнозування змін хімічного складу річок Східного Сибіру очевидна.

Мета цього дослідження полягала в розробці статистичної моделі для прогнозування зміни вмісту органічних речовин у воді річок Східного Сибіру під впливом чинника ПДШМ.

Матеріал і методика досліджень

Матеріалом для дослідження слугували результати спостережень на 12 найбільших річках Східного Сибіру: Лені, Вілюї, Колимі, Алдані, Оленьоку, Вігімі, Индигірці, Амзі, Олекмі, Анабарі, Яні та Чарі (рис. 1).

Натурні дослідження проводили у літній період з червня по серпень протягом 2007—2011 рр. Загальна кількість проб склала 303.

Проби відбирали з поверхневого горизонту (0—0,3 м) у прибережній зоні і по фарватеру річок. Консервацію і зберігання здійснювали відповідно до [7].

Як індикатор вмісту органічної речовини у воді використано показник хімічного споживання кисню (ХСК), який визначали фотометричним методом на приладі «Флюорат-02» [4]. Сформований масив даних також включав інформацію про географічні координати пунктів спостережень і відомості про ПДШМ (мінімальна, середня і максимальна потужність діяльного шару, м, отримані з публікації Beer S. et al. [13]).

Для побудови статистичної моделі прогнозу використано метод штучної нейронної мережі. Можливість моделювання нелінійних залежностей — головна перевага нейронних мереж. До одного з класів задач, які можна вирішити за допомогою нейронної мережі, відноситься прогнозування часових рядів. На наявних вхідних даних, що представляють собою часовий ряд, відбувається навчання нейронної мережі. Навчання полягає у змінах «сили» синаптичних зв'язків. При роботі нейронна мережа приймає значення вхідних перемінних і видає значення вихідних перемінних. Таким чином, мережа допомагає виявити закономірності часового ряду даних і екстраполювати зміну перемінних з урахуванням виявлених закономірностей [10].

Прогнозування часових рядів спостережень передбачає наявність даних постійного моніторингу. Однак, у зв'язку з важкодоступністю регіону, наявні у нашому розпорядженні дані були неповними, оскільки відбиралися на річках Східного Сибіру лише у період літньої межени і у різні роки, але характеризувалися широким географічним діапазоном.

Подолати вказане обмеження і використовувати ці дані як часовий ряд при побудові прогнозу моделі, дозволяє застосування методу про-

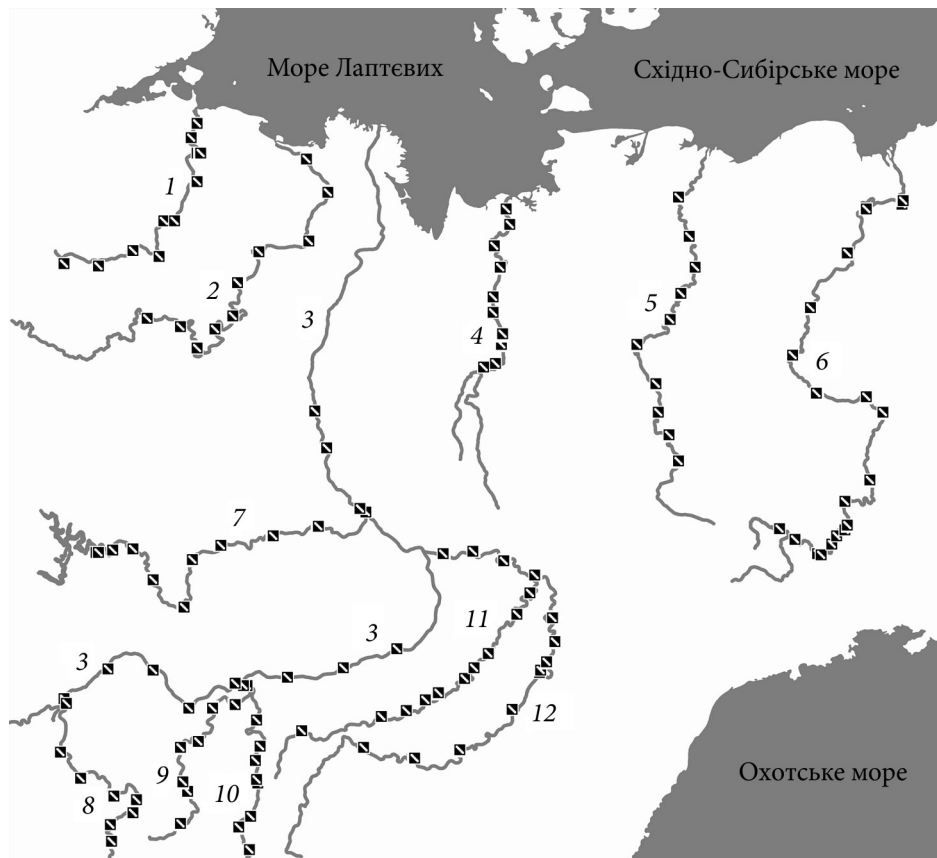


Рис. 1. Карта-схема району робіт і пункти відбору проб: 1 — Анабар, 2 — Оленьок, 3 — Лена, 4 — Яна, 5 — Индигірка, 6 — Колима, 7 — Вілюй, 8 — Вітім, 9 — Чара, 10 — Олекма, 11 — Амга, 12 — Алдан

сторово-часового заміщення (ПЧЗ) [28]. В основі методу ПЧЗ лежить припущення, що якщо певний чинник середовища змінюється у просторі так само, як і у часі, то відгук на цей чинник буде змінюватися у часі еквівалентно змінам, які спостерігаються на різних ділянках в просторі. Такий підхід виправдав себе при прогнозуванні біорізноманіття в умовах кліматичних змін [14] і був апробований нами раніше при побудові прогновної моделі флористичних і ценотичних показників фітопланктону великих річок Східного Сибіру [20].

Процедури статистичного аналізу виконувалися у модулі Statistica Automated Neural Networks (SANN) програмного пакету Statistica 10.

Результати досліджень та їх обговорення

Як відомо, застосування до даних методу ПЧЗ можливе у тому випадку, якщо доведено, що їх просторові і часові варіації еквівалентні [14, 28]. З'ясувати це допомагає ряд досліджень динаміки ПДШМ. Згідно з даними [17] за період з 1956 по 1990 р. ПДШМ на території Росії збільшилася у

Таблиця

Зведена інформація про активні мережі (ХСК)

№	Архітектура мережі	Продуктивність мережі	Контроль продуктивності	Тест продуктивності	Навчальний алгоритм	Активізація прихованих нейронів	Активізація вихідних нейронів
4	MLP 151-8-1	0,98	0,84	0,93	BFGS 44	Гіперболічна	Логістична
1	MLP 151-8-1	0,98	0,83	0,88	BFGS 21	Гіперболічна	Гіперболічна
5	MLP 151-4-1	0,97	0,87	0,90	BFGS 29	Гіперболічна	Логістична
2	MLP 151-2-1	0,95	0,77	0,88	BFGS 21	Експоненціальна	Логістична
3	MLP 151-8-1	0,94	0,83	0,88	BFGS 15	Гіперболічна	Експоненціальна

середньому на 20 см, у басейні р. Лени за період з 1980 по 2002 р. вона зростала у середньому на 0,35 см/рік [26]. За іншими даними, з 1956 по 1990 р. ПДШМ у цьому басейні зростає у середньому на 32 см [37]. Моделювання динаміки ПДШМ [33] показує можливість її збільшення на 30—40 % для більшості районів поширення вічної мерзлоти у Північній півкулі до 2100 р. Результати моделювання сценаріїв поведінки багаторічної мерзлоти в умовах мінливого клімату дещо відрізняються. Так, наприклад, відповідно до існуючих прогнозів, у високих широтах очікуються помітно вищі темпи потепління взимку, ніж влітку, що призведе до поступового зменшення річної амплітуди температури повітря. Її прогнозоване зниження може компенсувати вплив збільшення середньорічної температури повітря на ріст ПДШМ [11]. Однак ясно, що під впливом очікуваного подальшого зростання температури повітря збільшення ПДШМ у найближчі десятиліття неминуче [3].

Просторовий розподіл ПДШМ на території водозбірних басейнів досліджених річок характеризується сильним градієнтом у меридіональному напрямку. Не зважаючи на більш складний розподіл ПДШМ у гірських районах і у зонах переривчастого поширення мерзлоти на півдні регіону, у цілому ПДШМ зростає з півночі на південь [13].

Таким чином, ПДШМ закономірно змінюється як за «географічною шкалою» (зі зменшенням широти спостережень), так і за «часовою шкалою». Виходячи з цього, значення показника ХСК були ранжовані за зменшенням широти спостережень

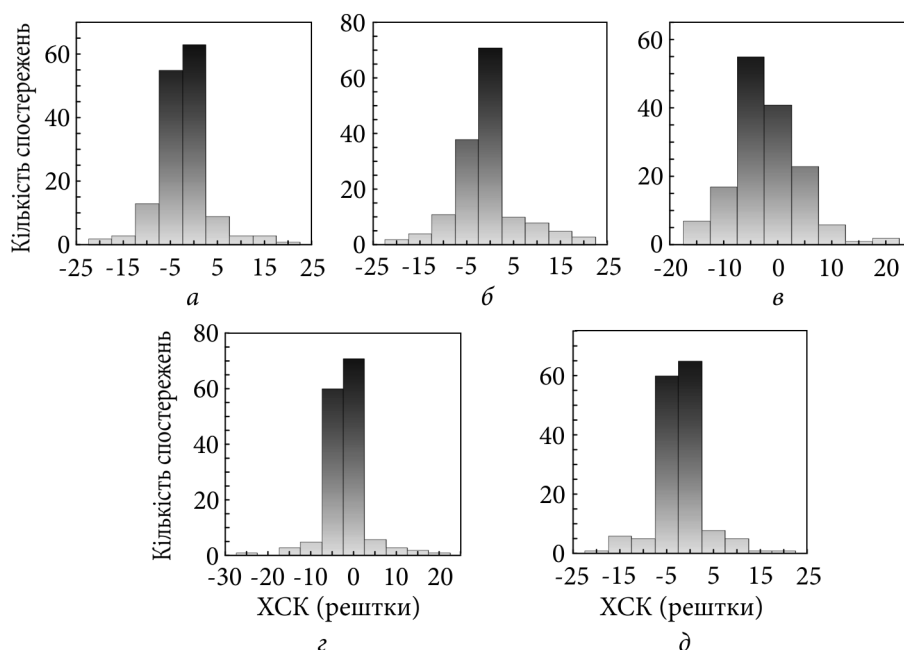


Рис. 2. Гістограма розподілу залишків для активних мереж (ХСК) за навчальною, тестовою та контрольною підвбірками. (Активні мережі: *a* — 1.MLP 151-8-1; *б* — 2.MLP 151-2-1; *в* — 3.MLP 151-8-1; *г* — 4.MLP 151-8-1; *д* — 5.MLP 151-4-1).

(з півночі на південь) і введені в аналіз як тимчасовий ряд.

Для виявлення внутрішньої циклічності даних було застосовано аналітичний метод одновимірного спектрального аналізу Фур'є. Результати показали, що всередині пулу даних з 303 спостережень є періодичність, значення періоду відповідає 151 одиниці. Використовуючи інформацію про внутрішню періодичність даних і застосувавши регресію часових рядів, було навчено 50 нейромережових моделей. Для навчальної підвбірки було застосовано умову випадкового розміру у межах 70 % вбіркової сукупності.

Для контролю навчання було призначено контрольну підмножину в обсязі 15 %. Коли у процесі аналізу помилка контрольної вбірки починає зростати, це стане ознакою того, що модель навчена і навчання моделі припиниться. Решта 15 % загальної сукупності даних було виділено для тестової кросспереверки результату навчання мережі. Для подальшого прогнозування показника ХСК вибрано п'ять найбільш вдалих мереж, що характеризуються продуктивністю, максимально наближеною до 1 (таблиця).

За типом всі мережі представляють багат шаровий перцептрон з 151 вхідним, одним вихідним і від двох до восьми прихованими нейронами. Крім архітектури нейромережових моделей, у зведеній інформації (див. таблицю) представлено такі характеристики, як навчальний алгоритм

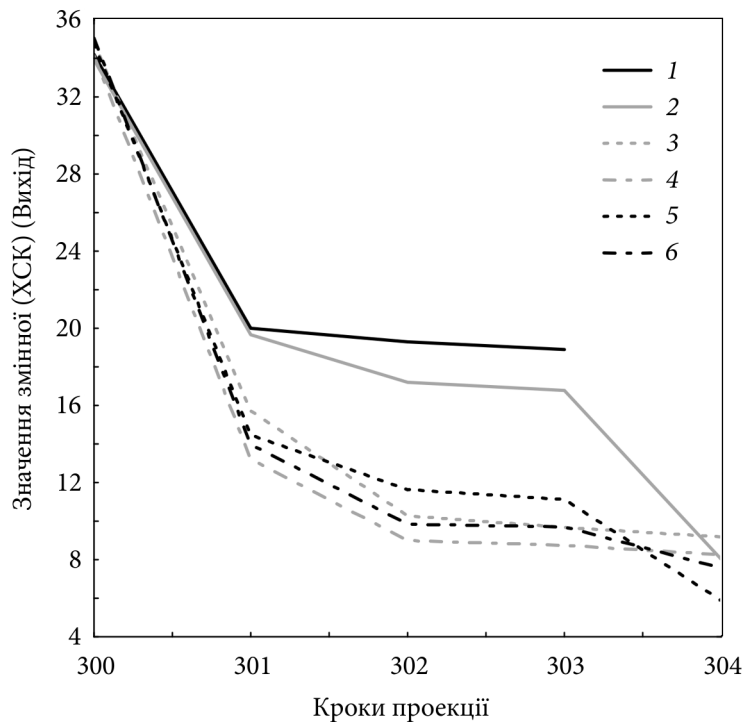


Рис. 3. Проекція часових рядів змінної ХСК для вихідного ряду даних (1) і активних нейромереж (2 — 1.MLP 151-8-1; 3 — 2.MLP 151-2-1; 4 — 3.MLP 151-8-1; 5 — 4.MLP 151-8-1; 6 — 5.MLP 151-4-1).

(алгоритм Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно) і номер кінцевої ітерації, на якій отримано модель, а також метод активації прихованих і вихідних нейронів. Мережі ранжовані за їх продуктивністю, яка представляє собою значення кореляції між вихідним рядом даних і передбаченим, чим ближче це значення до 1, тим модель краща.

Всі активні моделі демонструють близький до нормального розподіл залишків або різниці між фактичним (цільове) і передбаченим (вихідне) значеннями змінної (рис. 2).

Зміна показника ХСК за межами наявної вибірки дозволяє оцінити графік проєкції часових рядів (рис. 3), де кожне наступне значення будується за попередніми значеннями цього ж ряду. Суцільною чорною кривою позначено вихідний ряд даних, інші криві ілюструють передбачені ряди для кожної нейромережевої моделі. На графіку проєкцій (див. рис. 3) видно, що всі навчені моделі прогнозують зниження значень змінної «ХСК».

Таким чином, результати нашого аналізу показали, що в умовах тенденції зміни клімату і очікуваного зростання ПДШМ вміст органічних речовин у річкових водах дослідженого регіону з високою ймовірністю зменшиться.

Основне джерело органічної речовини річкових вод криолітозони — верхні органогенні горизонти ґрунтів [6]. Згідно з концептуальною моделлю впливу ПДШМ на хімічний склад поверхневих вод, розробленою для водозборів Аляски [23], мерзлота сприяє утриманню водного стоку у верхньому, багатому на ОР шарі ґрунту, що призводить до високої концентрації органічних речовин. Збільшення ПДШМ призводить до того, що розташований нижче мінеральний шар ґрунтів стає його частиною. Це забезпечує водний стік через мінеральний ґрунтовий горизонт. Мінеральний горизонт не збагачує поверхневий стік ОР і зменшує їх концентрацію через абіотичну адсорбцію [25]. Таким чином, отримана нами прогнозна модель вписується у наявну концепцію регуляторної ролі ПДШМ у формуванні хімічного складу вод криолітозони.

Висновки

Для прогнозування вмісту органічних речовин у річках Східного Сибіру було побудовано статистичну модель із застосуванням методу штучної нейронної мережі і просторово-часового заміщення. Як прогнозований параметр було використано показник ХСК. Результати прогнозу показують, що в умовах сучасних тенденцій зміни клімату та зростання ПДШМ найбільш вірогідним сценарієм буде зниження вмісту ОР у поверхневих водах. Це узгоджується з елементами наявної концепції регуляторної ролі ПДШМ у формуванні хімічного складу вод криолітозони. Слід зазначити, що застосований підхід має свої обмеження. Оскільки «часова шкала», отримана шляхом просторово-часового заміщення, вводиться в аналіз, вона не має реальних часових значень, відтак не «прив'язана» до часу і не дозволяє оцінити часовий масштаб прогнозованих явищ, або інакше — завчасність прогнозу. Результат прогнозу констатує лише наявну тенденцію зміни аналізованого показника. Незважаючи на обмеження, цей підхід заснований на аналітичних методах статистики і дозволяє уникнути суб'єктивності при прогнозуванні. Застосування методу набуває особливого значення в умовах слабо вивчених регіонів, віддалених від великих наукових центрів і важкодоступних для дослідників, до яких відноситься і Східний Сибір. Проведення багаторічних повторюваних гідрохімічних досліджень на водозборах таких великих територій вкрай ускладнено, а використання запропонованого підходу дозволяє будувати прогнозні моделі, спираючись на дані, які не є моніторинговими.

Список використаної літератури

1. Габышев В.А., Габышева О.И. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СибАК, 2018. 416 с.
2. Десяткин Р.В., Оконешикова М.В., Десяткин А.Р. Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 64 с.
3. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. Влияние многолетнемерзлых пород на формирование водных ресурсов Восточной Сибири (на примере отдельных рек Восточной Сибири). *Вод. ресурсы*. 2018. Т. 45, № 4. С. 341—352.

4. ПНД Ф 14.1:2:4.190-03. Количественный химический анализ вод. Методика определения бихроматной окисляемости (химического потребления кислорода) в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02». Москва, 2003.
5. Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 64 с.
6. Прокушкин А.С., Покровский О.С., Прокушкина М.П., Корец М.А. Количественные и качественные характеристики растворенного органического вещества в речном стоке Среднесибирского плоскогорья (бассейн р. Енисей). *Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах*: Тр. VI Всерос. симп. с междунар. участием. Барнаул, 28—29 сент. 2017. Барнаул, 2017. С. 197—202.
7. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 540 с.
8. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 287 с.
9. Шепелёв В.В. Многолетняя мерзлота. *Республика Саха (Якутия), комплексный атлас*. Якутск: Якутское аэрогеодезическое предприятие, 2009. С. 30—31.
10. Электронный учебник по статистике StatSoft. Нейронные сети. <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stneunet.html>
11. Anisimov O.A., Lobanov V.A., Reneva S.A. et al. Uncertainties in gridded air temperature fields and effects on predictive active layer modeling. *J. Geophys. Res. Earth Surface*. 2007. Vol. 112, Iss. F2. F0214.
12. Arctic Climate Impact Assessment. ACIA Overview report. New York: Cambridge University Press, 2005. 1020 p.
13. Beer C., Fedorov A.N., Torgovkin Y. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation. *Earth System Sci. Data*. 2013. Vol. 5, Iss. 2. P. 305—310.
14. Blois J.L., Williams J.W., Fitzpatrick M.C. et al. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2013. Vol. 110, N 23. P. 9374—9379.
15. Carey S.K. Dissolved organic carbon fluxes in a discontinuous permafrost subarctic alpine catchment. *Permafrost and Periglacial Proc.* 2003. Vol. 14, Iss. 2. P. 161—171.
16. Dittmar T., Kattner G. The biogeochemistry of the river and shelf ecosystem of the Arctic Ocean: A review. *Marine Chem.* 2003. Vol. 83, Iss. 3—4. P. 103—120.
17. Frauenfeld O.W., Zhang T.J., Barry R.G., Gilichinsky D. Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia. *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2004. Vol. 109, Iss. D5. D05101.
18. Frey K.E., McClelland J.W. Impacts of permafrost degradation on arctic river biogeochemistry. *Hydrol. Proc.* 2009. Vol. 23, Iss. 1. P. 169—182.
19. Frey K.E., Smith L.C. Amplified carbon release from vast West Siberian peatlands by 2100. *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32, Iss. 9. P. L09401.
20. Gabyshev V.A. New approach to predicting change in aquatic ecosystems without having long-term monitoring data. *Europ. J. Nat. History*. 2018. N 3. P. 47—52.
21. Hinkel K.M., Nelson F.E. Spatial and temporal patterns of active layer thickness at Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites in northern Alaska, 1995—2000. *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2003. Vol. 108, Iss. D2. P. 8168.
22. Lawrence D.M., Slater A.G. A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century. *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32, Iss. 24. P. L24401.
23. MacLean R., Oswood M.W., Irons J.G., McDowell W.H. The effect of permafrost on stream biogeochemistry: A case study of two streams in the Alaskan (USA) taiga. *Biogeochemistry*. 1999. Vol. 47, Iss. 3. P. 239—267.
24. McClelland J.W., Stieglitz M., Pan F. et al. Recent changes in nitrate and dissolved organic carbon export from the upper Kuparuk River, North Slope, Alaska. *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, 2007. Vol. 112. P. G04S60.

25. McDowell W., Likens G.H. Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. *Ecol. Monographs*. 1988. Vol. 58, Iss. 3. P. 177—195.
26. Oelke C., Zhang T.J., Serreze M.C. Modeling evidence for recent warming of the Arctic soil thermal regime. *Geophys. Res. Letters*. 2004. Vol. 31, Iss. 7. P. L07208.
27. Petrone K.C., Jones J.B., Hinzman L.D., Boone R.D. Seasonal export of carbon, nitrogen, and major solutes from Alaskan catchments with discontinuous permafrost. *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111. P. G02020.
28. Pickett S.T.A. Space-for-Time Substitution as an alternative to long-term studies. *Long-Term Studies in Ecology. Approaches and Alternatives*. New York: Springer-Verlag, 1989. P. 110—135.
29. Prokushkin A.S., Gleixner G., McDowell W.H. et al. Source- and substrate-specific export of dissolved organic matter from permafrost-dominated forested watershed in central Siberia. *Glob. Biogeochem. Cycles*. 2007. Vol. 21, Iss. 4. P. GB4003.
30. Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M. et al. A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool. *Global Biogeochemical Cycles*. 2004. Vol. 18. P. GB3004.
31. Smith L.C., MacDonald G.M., Velichko A.A. et al. Siberian peatlands a net carbon sink and global methane source since the early Holocene. *Science*. 2004. Vol. 303, Iss. 5656. P. 353—356.
32. Smith L. C., Sheng Y., MacDonald G. M., Hinzman L. D. Disappearing arctic lakes. *Ibid.* 2005. Vol. 308, Iss. 5727. P. 1429.
33. Stendel M., Christensen J. H. Impact of global warming on permafrost conditions in a coupled GCM. *Geophys. Res. Letters*. 2002. Vol. 29, Iss. 13. P. 1632.
34. Striegl R.G., Dornblaser M.M., Aiken G.R. et al. Carbon export and cycling by the Yukon, Tanana, and Porcupine rivers, Alaska, 2001—2005. *Water Resources Res.* 2007. Vol. 43, Iss. 2. P. W02411.
35. Sturm M., Racine C., Tape K. Increasing shrub abundance in the Arctic. *Nature*, 2001. 411. P. 546—547.
36. Wickland K.P., Neff J.C., Aiken G.R. Dissolved organic carbon in Alaskan boreal forest: Sources, chemical characteristics, and biodegradability. *Ecosystems*. 2007. Vol. 10, N 8. P. 1323—1340.
37. Zhang T.J., Frauenfeld O.W., Serreze M.C. et al. Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2005. Vol. 110, Iss. D16. P. D16101.

Надійшла 30.11.2020

O.I. Gabysheva, Junior Researcher,
Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
Lenina ave., 41, Yakutsk, 677980, Russia,
e-mail: g89248693006@yandex.ru
ORCID 0000-0002-7435-4384

V.A. Gabyshev, Chief Researcher,
Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
Lenina ave., 41, Yakutsk, 677980, Russia,
e-mail: v.a.gabyshev@yandex.ru
ORCID 0000-0002-1656-4383

PREDICTIVE MODEL OF ORGANIC MATTER CONCENTRATION IN EASTERN
SIBERIAN RIVERS UNDER CLIMATE CHANGE

Air temperature increasing and permafrost degradation are predicted in the Arctic in the current century. It can lead to transformation of waters chemical composition in permafrost regions. Predictive model of organic matter concentration (by COD) in the rivers of Eastern Siberia was built. It has been shown likely decrease in organic matter concentration in the surface run-off of the region catchments under climate changes and under observed and expected increasing of the permafrost active layer (PAL). Our result is consistent with the main elements of the concept of PAL's regulatory role in the hydrochemistry of cryolithozone. This approach opens up opportunities for developing predictive models of changes in the chemical composition of surface waters of remote regions with lack of monitoring data.

Key words: *organic matter, COD, permafrost active layer, rivers, Eastern Siberia.*