

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 577.1:57.042+581.58.01/07(571.54)

EDN: VPJXLX

DOI: 10.21285/achb.900



Состав жирных кислот высших водных растений озера Котокель как ценного биологического сырья

С.В. Жигжитжапова*✉, Е.П. Никитина*, С.В. Базарсадуева*,
Е.П. Дыленова*, О.А. Аненхонов**, В.В. Тараскин*, Л.Д. Раднаева*

*Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

**Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

Аннотация. Жирные кислоты входят в состав клеточных мембран, определяя их текучесть и диэлектрическую проницаемость, имеют важное значение в питании человека и животных. Цель настоящей работы заключалась в оценке состава и содержания жирных кислот высушенных высших водных растений озера Котокель (Республика Бурятия, Россия) как потенциального сырья для производства кормов и биологически активных добавок. Фракцию липидов экстрагировали согласно методу Блайя – Дайера с модификациями. Анализ жирных кислот в форме их метиловых эфиров проводили методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Основной насыщенной жирной кислотой *Myriophyllum sibiricum*, *Elodea canadensis*, *Persicaria amphibia*, *Potamogeton perfoliatus* озера Котокель является пальмитиновая C16:0 кислота. Доминирующей ненасыщенной кислотой вне зависимости от вида растений является α -линоленовая C18:3- ω 3 кислота. Также отмечено относительно высокое содержание стеариновой C18:0, миристиновой C14:0 и пентадекановой C15:0 кислот. Идентифицированы разветвленные кислоты i-C14:0, i-C15:0, i-C16:0, i-C17:0, i-C20:0, a/i-C15:0, a/i-C17:0, 10Me-C16:0 и бактериальные кислоты с нечетным числом углеродных атомов в цепи C13:0, C15:0, C17:0, C19:0, C21:0, C23:0. Анализ собственных и литературных данных показывает, что для исследованных видов высших водных растений водоемов азиатской части России характерно одновременно высокое содержание α -линоленовой C18:3- ω 3 (до 56%) и низкое содержание олеиновой C18:1- ω 9 (до 1,81%) кислот. В растениях из водоемов европейской части России содержание α -линоленовой C18:3- ω 3 кислоты ниже (до 42%), а олеиновой C18:1- ω 9 – выше (до 14%).

Ключевые слова: озеро Котокель, *Myriophyllum sibiricum*, *Elodea canadensis*, *Persicaria amphibia*, *Potamogeton perfoliatus*, жирные кислоты

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН (проект № АААА-А21-121011890027-0) и Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (проект № 121030900138-8) по направлению работ Межрегионального научно-образовательного центра «Байкал» с использованием оборудования Центра коллективного пользования Байкальского института природопользования СО РАН.

Для цитирования: Жигжитжапова С.В., Никитина Е.П., Базарсадуева С.В., Дыленова Е.П., Аненхонов О.А., Тараскин В.В. [и др.]. Состав жирных кислот высших водных растений озера Котокель как ценного биологического сырья // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 1. С. 72–82. DOI: 10.21285/achb.900. EDN: VPJXLX.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Composition of fatty acids of higher aquatic plants in Lake Kotokel as valuable biological raw materials

Svetlana V. Zhigzhitzhapova*✉, Elena P. Nikitina*, Selmeg V. Bazarsadueva*,
Elena P. Dylenova*, Oleg A. Anenkhonov**, Vasilii V. Taraskin*, Larisa D. Radnaeva*

*Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

**Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract. Fatty acids, as part of cell membranes, determine their fluidity and dielectric constant. In addition, they play an important role in human and animal nutrition. This work examines the composition and fatty acid content of dried higher aquatic plants from Lake Kotokel (Republic of Buryatia, Russia) and their potential as a raw material for

© Жигжитжапова С.В., Никитина Е.П., Базарсадуева С.В., Дыленова Е.П., Аненхонов О.А., Тараскин В.В., Раднаева Л.Д., 2024

the production of feed and biologically active food supplements. A modified Bligh-Dyer method was used to extract lipid fraction. Fatty acids in the form of their methyl esters were analysed by gas chromatography–mass spectrometry. Palmitic C16:0 acid was the main saturated fatty acid found in *Myriophyllum sibiricum*, *Elodea canadensis*, *Persicaria amphibia* and *Potamogeton perfoliatus* in Lake Kotokel. The main unsaturated acid found in plants, regardless of their type, was the α -linolenic C18:3- ω 3 acid. In addition, a relatively high content of stearic C18:0, myristic C14:0 and pentadecanoic C15:0 acids was noted. Branched acids (*i*-C14:0, *i*-C15:0, *i*-C16:0, *i*-C17:0, *i*-C20:0, *a*/*i*-C15:0, *a*/*i*-C17:0 and 10Me-C16:0) and odd carbon numbered acids (C13:0, C15:0, C17:0, C19:0, C21:0 and C23:0) were identified. An analysis of the authors' and literature data revealed that the studied species of higher aquatic plants in reservoirs in the Asian part of Russia are characterised by a high content of α -linolenic C18:3- ω 3 (up to 56%) and a low content of oleic C18:1- ω 9 (up to 1.81%) acids. The content of α -linolenic C18:3- ω 3 acid in plants from reservoirs in the European part of Russia was lower (up to 42%), while that of oleic acid C18:1- ω 9 was higher (up to 14%).

Keywords: Lake Kotokel, *Myriophyllum sibiricum*, *Elodea canadensis*, *Persicaria amphibia*, *Potamogeton perfoliatus*, fatty acids

Funding. This work was funded by the budget of the State Assignment of the Baikal Institute of Nature Management Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Project no. AAAA-A21-121011890027-0), and Institute of General and Experimental Biology SB RAS, (Project no. 121030900138-8) in the work field of "Interregional Scientific and Educational Center "Baikal". The facilities of the Research Equipment Sharing Center of BINM SB RAS were used.

For citation: Zhigzhitzhapova S.V., Nikitina E.P., Bazarsadueva S.V., Dylenova E.P., Anenkhonov O.A., Taraskin V.V., et al. Composition of fatty acids of higher aquatic plants in Lake Kotokel as valuable biological raw materials. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):72-82. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.900. EDN: VPJXLX.

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Котокель (другие варианты названия – оз. Котокельское, оз. Катакель) расположено на восточном побережье оз. Байкал в Республике Бурятия (Россия). Площадь акватории озера составляет ~70,0 км², площадь водосборного бассейна сравнительно небольшая – 183 км². Средняя глубина озера – 4,0–4,5 м, максимальная глубина – 14 м. Вода озера относится к гидрокарбонатно-кальциевым маломинерализованным мягким водам. Водная толща в августе прогревается равномерно, разница температур воды от поверхности (22,8 °C) до дна (22,2 °C) изменяется незначительно, прозрачность составляет 0,7 м [1]. В озеро впадают несколько рек и ручьев, а из него вытекает р. Исток, впадающая в р. Коточик. Тем не менее течение р. Исток может меняться на противоположное в зависимости от количества выпавших в водосборном бассейне р. Коточик атмосферных осадков, поэтому оз. Котокель может представлять собой либо мелководную проточную, либо непроточную систему [2].

В 2008–2009 гг. озеро пережило экологическую катастрофу [1]: произошло обеднение видового состава и общее снижение запасов рыб вследствие массовой гибели, а их потребление привело к гибели и сокращению численности рыбоядных птиц, домашних и диких млекопитающих, а также стало вероятной причиной заболевания людей, диагностируемого как синдром алиментарно-токсической пароксизмальной миоглобинурии (Гаффская болезнь). С 2009 г. был введен запрет на использование оз. Котокель в рекреационных, питьевых и хозяйственно-бытовых целях. В 2009 г. озеро по содержанию хлорофилла *a* в воде относили к эвтрофным водоемам с высокой продуктивностью фитопланктона, количество сапротрофных бактерий достигало 1,2–8,3 тыс. кл./мл, что соответствовало загрязненным водоемам. В 1990–1995, 2000, 2007 и 2008 гг. озеро имело статус

гипертрофного водоема в крайней стадии дистрофии, в 2009 г. наблюдалось улучшение состояния озера и оно характеризовалось как гипертрофный водоем [1]. Для разбавления эвтрофированных вод Котокеля был проложен канал от р. Коточик, а также расчищены русла р. Коточик и Исток. В 2018 г. микробиологические показатели воды свидетельствовали об идущих в оз. Котокель процессах самоочищения и были характерны для олиготрофного типа озер [3]. С 2019 г. озеро открыто для посещения в рекреационных целях.

Высшие водные растения являются продуцентами органического вещества водоемов, играют значимую энергетическую роль в функционировании водных экосистем и во многом обуславливают структуру биотического сообщества водоема. Они могут использоваться в качестве биоиндикаторов качества вод, отражать процессы эвтрофикации и загрязнения водоемов токсичными веществами. Водные растения интенсивно поглощают минеральные и органические вещества, выступая в роли минерализаторов, детоксикантов и биофильтраторов [4, 5]. Они являются кормовыми растениями для червей, моллюсков, ракообразных, насекомых, рыб, птиц и млекопитающих. Заросли рдестов служат пастбищем для рыб и водоплавающих птиц. У некоторых видов рыб из семейства Cyprinidae обнаружена облигатная фитофагия, наиболее выраженная форма которой проявляется у белого амура – *Ctenopharyngodon idella*, питающегося рдестами. В первую очередь им поедается рдест гребенчатый *Potamogeton pectinatus* [4]. Уруть колосистая *Myriophyllum spicatum* и уруть мутовчатая *Myriophyllum verticillatum* рекомендуются для разведения в рыбохозяйственных водоемах, элодея канадская *Elodea canadensis* представляет наибольший интерес для утиных хозяйств. Высшие водные растения образуют большую биомассу и хорошо поедаются животными, птицей и могут использоваться в качестве корма для животных¹. Водные растения синтезируют биологически

¹Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности: учеб. пособие для студентов. М.: Изд-во НИА-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.

активные вещества и могут служить сырьем для производства кормов, биологически активных добавок к пище и для выделения индивидуальных соединений. Так, рдесты содержат разнообразные биологически активные вещества, которые обуславливают антимикробные, противовоспалительные, жаропонижающие и обезболивающие свойства их экстрактов [6]. Среди биологически активных веществ – регуляторов жизнедеятельности организмов важную роль играют жирные кислоты. Они входят в состав клеточных мембран, определяя их текучесть и диэлектрическую проницаемость [7]. Под воздействием как естественных биотических и абиотических, так и антропогенных факторов окружающей среды происходят изменения в составе жирных кислот. Состав жирных кислот водных растений может служить показателем биохимического состояния их клеточных мембран, отражая состояние водной экосистемы [8].

Ряд жирных кислот (незаменимые жирные кислоты) не синтезируется в организмах животных и человека, но они необходимы для нормального созревания и функционирования биологических мембран. В химическом отношении это полиненасыщенные жирные кислоты двух семейств: семейство линолевой ω -6 и семейство α -линоленовой ω -3 кислот. Их дефицит у человека и животных вызывает симптомы недостаточности и сопровождается целым рядом соматических заболеваний, вызванных нарушениями жирового обмена, структуры и функционирования биологических мембран. Так, у людей развиваются диабет, опухоли, кистозный фиброз, рассеянный склероз, болезнь Крона, синдром Рейна, инфаркт миокарда и др. [9]. Недостаток незаменимых жирных кислот в рационе животных снижает скорость роста, ухудшает продуктивность и потребление кормов [10].

Существуют две стратегии работы с материалом для выделения липидов из растений как биосырья. Первая стратегия предполагает экстракцию липидов из сырых навесок [11–14]. При этом образцы водных растений сразу после сбора или заморозки измельчают и экстрагируют липиды [15]. В другом исполнении растения после сбора погружают в кипящую воду на 2–3 минуты, затем экстрагируют липиды [16]. Стратегия с высушиванием растений применяется при их использовании в качестве сырья, например для производства биологически активных добавок к пище и корма для животных. Образцы высушивают и измельчают [17, 18]. Метод сушки может быть воздушно-теньевым [4, 19] или на лиофильной установке [20]. Несомненно, липидная фракция, выделенная из свежесобранного сырья, наилучшим образом отражает нативный состав и содержание жирных кислот в растениях. Высушивание оказывает влияние в первую очередь на содержание полиненасыщенных и мононенасыщенных жирных кислот вследствие протекания в сырье процессов их окисления и деструкции.

Найдены публикации, посвященные составу жирных кислот общих липидов исследуемых видов растений *M. sibiricum* из оз. Гусиное [21], *E. canadensis* из р. Ангара [7] и *P. perfoliatus* из р. Цаган-Гол [22] и р. Волги [23], а также нейтральных липидов *P. perfoliatus* водоемов Республики Коми [4]. В работах [7] и [23] экстракцию липидов осуществляли из свежих образцов растений. Наибольшие значения соотношения суммарного содержания насыщенных жирных кислот к суммарному

содержанию ненасыщенных жирных кислот отмечены для растений оз. Гусиное и его притока р. Цаган-Гол и составляют 0,8–1,2, для водоемов Республики Коми этот показатель равен 0,7. В составе жирных кислот из крупных рек преобладают ненасыщенные жирные кислоты, значения отношения суммарного содержания насыщенных жирных кислот к суммарному содержанию ненасыщенных жирных кислот для растений р. Ангара равно 0,3, р. Волги – 0,5. Известен состав жирных кислот эфирного масла горца *Persicaria amphibia* [24], включающих пять доминирующих жирных кислот, на долю которых приходится ~50 масс.% масла.

Цель настоящей работы заключалась в оценке состава и содержания жирных кислот высших водных растений оз. Котокель как ценного биологического сырья и потенциально источника жирных кислот.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Нами исследованы высшие водные растения оз. Котокель, относящиеся к разным семействам: уруть сибирская (*Myriophyllum sibiricum* Kom., Haloragaceae), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx., Hydrocharitaceae), горец земноводный (*Persicaria amphibia* L. Gray = *Polygonum amphibium* L., Polygonaceae) и рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L., Potamogetonaceae). Растительный материал был собран в июле 2019 г. со стороны пос. Котокель и Ярцы и в июле 2022 г. со стороны пос. Исток и Ярцы без учета возраста растений. Гербарные образцы определены доктором биологических наук О.А. Аненхоновым (Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия), ваучерные образцы хранятся в гербарии Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (UUN): (*M. sibiricum* 018420, *P. amphibia* 018423, *P. perfoliatus* 018424). Растения горца земноводного были собраны в водной жизненной форме (var. *natans* Leyss.) с плавающими на поверхности воды верхними листьями.

Растения очищали от посторонних примесей, промывали дистиллированной водой с температурой 20–25 °С. Далее применялся воздушно-теньевой метод сушки при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Первым этапом определения состава жирных кислот является экстракция липидов из измельченных образцов высушенных растений. В качестве «золотого» стандарта для полной их экстракции применяется смесь хлороформа и метанола [25, 26]. При этом метод Блайя – Дайера предусматривает использование соотношения хлороформа и метанола 1:2 (по объему) и растворителя и образца 4:1 (по объему) [27], метод Фолча [28] – соотношение хлороформа и метанола 2:1, растворителя и образца 20:1. Хотя оба метода были разработаны для тканей животных, в настоящее время они используются в различных модификациях для экстракции липидов из растительных тканей [26]. В настоящей работе липидную фракцию получали модифицированным методом Блайя – Дайера [29] с последующим метилированием экстракта, как описано в работе [30].

Состав жирных кислот анализировали методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе GC 6890 с квадрупольным масс-спектрометром MSD 5973N (Agilent, США). Количественный анализ выполняли методом внутренней нормировки по площадям пиков без использования корректирующих коэф-

фициентов. Качественный анализ основан на сравнении времен удерживания и полных масс-спектров исследуемых соединений со стандартными, полученными для смеси жирных кислот Fatty Acid Methyl Esters (37 FAME Mix 10 мг/мл в CH_2Cl_2 , Supelco, Белфонт, США) и смеси бактериальных жирных кислот Bacterial Acid Methyl Esters (CP Mix, Supelco, Белфонт, США), а также с данными библиотеки масс-спектров NIST14.

Данные по составу жирных кислот с целью визуализации были обработаны методом главных компонент (анализ методом главных компонент, программный пакет Sirius version 6.0, Pattern Recognition Systems AS, Норвегия). При интерпретации результатов анализа методом главных компонент опирались на книгу [31].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В составе жирных кислот исследованных видов высших водных растений оз. Котокель обнаружено от 18 до 30 жирных кислот различной степени ненасыщенности (таблица). Суммарное содержание насыщенных жирных кислот варьировало от 39,8% в *P. amphibia* до 63,6% в *P. perfoliatus*. Основной насыщенной жирной кислотой высших растений оз. Котокель является пальмитиновая C16:0 (28–46%) кислота. Также отмечено относительно высокое содержание миристиновой C14:0 (1,3–4,0%), стеариновой C18:0 (2,6–5,6%), пентадекановой C15:0 (1,1–3,5%) кислот. В минорных количествах обнаружены насыщенные дикарбоновые 9:0-DCA и 10:0-DCA, разветвленные *i*-C14:0, *i*-C15:0, *i*-16:0, *i*-17:0, *i*-20:0, *a*/*i*-15:0, *a*/*i*-17:0 и 10Me-C16:0 кислоты и кислоты с нечетным числом углеродных атомов C13:0, C15:0, C17:0, C19:0, C21:0, C23:0. Идентификация жирных кислот с разветвленной цепью и с нечетным числом атомов углерода, которые имеют бактериальное происхождение², свидетельствуют об ассоциации водных и бактериальных сообществ.

Доминирующими ненасыщенными жирными кислотами в пробах изучаемых нами водных растений являются α -линоленовая C18:3- ω 3 и линолевая C18:2- ω 6 кислоты, что согласуется с данными литературы [7, 21, 22]. Максимальные содержания α -линоленовой кислоты отмечены в растениях *P. amphibia* 2019 г. сбора (56%), а минимальные – 2022 г. (19%). Содержание линолевой C18:2- ω 6 кислоты в растениях *P. amphibia* 2019 г. составляет всего 1,2%, что, вероятно, связано с ее разрушением при высушивании образцов. Однако такое низкое содержание этой кислоты отмечено только в указанном выше образце 2019 г., в остальных образцах ее содержание (10,3–24,9%) сравнимо с таковыми из других водоемов (16,55–37,40%). В образцах *P. perfoliatus* из р. Волги [23] содержание линолевой C18:2- ω 6 кислоты сопоставимо и составило 4,32%, хотя липидная фракция рдеста *P. perfoliatus* р. Волги выделена из свежих растений. В *P. perfoliatus* из р. Волги и водоемов Республики Коми одной из доминирующих ненасыщенных жирных кислот является олеиновая C18:1- ω 9 кислота, содержание которой составило 13,96% в составе общих [23] и 12,8% в составе нейтральных [4] липидов соот-

ветственно. Это указывает на то, что олеиновая кислота является основной кислотой как клеточных мембран, так и триацилглицеридов. Наиболее сходными по составу и содержанию жирных кислот являются растения рдеста из оз. Котокель и р. Цаган-Гол [22], которые получены идентичным способом.

Суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот элодеи канадской *E. canadensis* оз. Котокель ниже по сравнению с суммарным содержанием жирных кислот свежих образцов того же вида растений р. Ангара [7], которые характеризуются более высокими содержаниями линолевой C18:2 ω 6 и α -линоленовой C18:3 ω 3 кислот. Разница в содержании жирных кислот, вероятно, связана со стратегией работы с сырьем. Нами изучен состав жирных кислот высушенных водных растений.

Основными жирными кислотами *M. sibiricum* из оз. Котокель и Гусиное [21] являются пальмитиновая, α -линоленовая, линолевая и пальмитолеиновая кислоты. Жирнокислотный состав урути этих озер близок, что, вероятно, объясняется их близким географическим положением, видоспецифичностью жирнокислотного состава, а также идентичной подготовкой проб к анализу.

Суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот горца земноводного *P. amphibia* было выше в 2019 г. по сравнению с 2022 г. сбора. В оба года сбора уровень ненасыщенных жирных кислот *P. amphibia* выше, чем в остальных исследованных видах (*M. sibiricum*, *E. canadensis*, *P. perfoliatus*), собранных в один и тот же год (см. таблицу).

Более высокие уровни ненасыщенных жирных кислот в *P. amphibia*, вероятно, связаны с его жизненной формой. Основную массу исследуемого горца земноводного составляют плавающие на поверхности воды листья, поэтому он находится в более контрастных условиях по сравнению с погруженными в воду растениями других видов. Более контрастные и изменяющиеся условия, определяющиеся влиянием как суточных колебаний температуры, так и погодных параметров, способствуют большему содержанию ненасыщенных жирных кислот, которые обеспечивают большую текучесть мембран *P. amphibia*. Различия в составе жирных кислот между образцами 2019 и 2022 гг. сбора связаны с различием в условиях окружающей среды в указанные годы.

Состав жирных кислот из свежих проб характеризуется большим содержанием ненасыщенных жирных кислот независимо от вида растений и водоема их произрастания. При сравнении результатов наилучшее соответствие ожидаемо демонстрируют образцы, полученные в одинаковых условиях. Высушенные образцы растений отличаются низким содержанием ненасыщенных жирных кислот, тем не менее можно проследить тенденции в составе жирных кислот, отражающие особенности их биосинтеза в определенных условиях. Так, к высушенным образцам из водоемов Бурятии по содержанию олеиновой C18:1- ω 9 (до 1,8%) и α -линоленовой C18:3- ω 3 (9,9–21,8%) кислот близок образец из свежих растений р. Ангара.

²Баранов В.М., Осипов Г.А., Мухамедиева Л.Н., Белобородова Н.В., Пахомова А.А., Ильин В.К. [и др.]. Оценка микроэкологического статуса человека методом хроматомасс-спектрометрии: новая ме-дицинская технология. Зарег. в Росздравнадзоре за № НЮ-40006 от 17 августа 2009 г. М., 2008. 37 с. Режим доступа: https://propionix.ru/f/otsenka_mikroekologicheskogo_statusa_cheloveka_metodom_khromato-mass-spektrometrii.pdf (дата обращения: 27.06.2023).

Состав жирных кислот (% от суммы жирных кислот) высших водных растений озера Котокель по данным метода газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием

Fatty acids composition (% of the total fatty acids) of Kotokel higher aquatic plants according to GC/MS analysis

Кислота	Myriophyllum sibiricum Ком.		Elodea canadensis Michx.		Persicaria amphibia (L.) Gray		Potamogeton perfoliatus L.						
Место сбора	оз. Котокель, 2019, пос. Ярцы (настоящая статья)	оз. Гусиное [21]	оз. Котокель, 2019, пос. Ярцы (настоящая статья)	р. Ангара [7]	оз. Котокель, 2019, пос. Ярцы (настоящая статья)	оз. Котокель, 2022, пос. Исток (настоящая статья)	оз. Котокель, 2019, пос. Котокель (настоящая статья)	оз. Котокель, 2022, пос. Исток (настоящая статья)	оз. Котокель, 2022, пос. Ярцы (настоящая статья)	р. Цаган-Гол [22]	р. Волга [23]	Респу- блика Коми [4]	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1	-	-	-	
	-	-	-	-	-	+	-	0,2	+	-	-	-	
	-	-	-	-	-	+	-	1,4	0,6	-	-	-	
	-	-	-	-	-	+	-	+	0,1	-	-	-	
	-	-	-	-	-	+	-	0,6	0,5	-	-	-	
	0,2	0,53	0,33	-	0,3	1,0	0,3	1,0	1,5	0,39	0,04	1,9	
	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	
	1,6	4,92	3,14	2,8	1,3	2,4	2,8	3,3	4,0	1,39	1,50	3,8	
	1,5	1,44	1,71	2,9	1,1	0,8	3,5	0,8	1,0	2,21	0,04	1,1	
	33,6	29,02	27,20	32,5	28,5	33,9	34,9	46,1	41,6	30,97	24,40	10,3	
	0,5	0,63	0,55	0,9	0,4	0,8	0,7	0,8	0,6	1,19	0,01	-	
	2,6	3,12	-	4,5	3,0	6,0	4,2	5,6	3,9	6,40	3,30	19,6	
-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,33	0,50	-		
1,6	0,98	0,90	1,0	0,33	0,9	1,0	1,0	0,5	0,3	1,60	-		
0,2	0,18	0,24	0,5	0,14	0,2	0,1	0,4	-	-	0,34	-		
1,5	1,30	1,15	1,2	-	0,9	1,3	1,3	+	0,2	2,49	0,20		
0,5	0,49	0,49	0,7	-	0,2	0,3	0,5	-	-	1,52	-		
0,5	1,76	1,66	1,0	-	0,4	0,8	0,6	-	+	2,96	0,32		
-	0,31	0,29	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,73		
-	1,39	1,46	-	-	-	-	-	-	-	1,05	0,06		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,13		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05		
-	0,82	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,4	-	-	0,9	-	0,6	0,6	1,1	2,7	1,8	-	-	-	
0,4	-	-	0,4	-	-	+	0,5	-	-	-	-	-	
-	0,18	-	-	-	+	+	-	-	-	0,12	-	-	

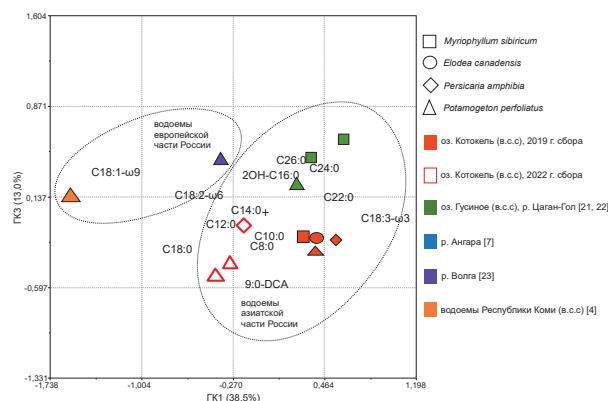
Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a/i-C14:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-
i-C15:0	0,3	0,88	0,3	-	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3	-	-	-
a/i-C15:0	-	0,24	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
i-C16:0	-	-	-	-	0,9	0,5	+	-	-	-	-	-
a/i-C16:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-
i-C17:0	-	0,22	0,3	-	0,7	0,4	-	-	-	-	-	-
a/i-C17:0	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-
i-C20:0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
10Me-C16:0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-
20H-C16:0	-	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20H-C22:0	-	0,53	-	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-
20H C24:0	-	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,6-(CH ₃ O) ₂ -C8:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣНЖК	46,3	51,34	49,9	24,70	39,8	51,5	52,0	63,6	56,7	53,86	32,65	36,7
C14:1-ω5	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C16:1-ω9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,60	-
C16:1-ω7	5,9	9,62	9,5	1,65	3,0	3,1	9,2	9,4	10,9	9,77	4,67	3,4
C17:1-ω8	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:1-ω9	-	-	-	1,81	-	1,5	-	1,1	1,3	0,97	13,96	12,8
C18:1-ω7	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:2-ω6	20,2	16,55	10,3	18,04	1,2	24,9	9,9	15,6	18,5	11,94	4,32	37,4
C18:3-ω3	27,0	20,49	29,6	53,51	56,0	18,7	28,9	10,3	12,6	23,46	41,90	1,6
C20:1-ω9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-
C20:2-ω7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-
C20:2-ω6	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:3-ω9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-
C20:4-ω6	-	0,31	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,26	-
C20:5-ω3	0,5	1,16	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣНЖК	53,7	48,66	50,1	75,01	60,2	48,5	48,0	36,4	43,3	46,14	67,00	55,2
ΣНЖК/ΣННЖК	0,9	1,10	1,0	0,30	0,7	1,1	1,1	1,7	1,3	1,20	0,50	0,7

Примечание. НЖК и ННЖК – насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты соответственно. В таблицу включены жирные кислоты с содержанием более 0,1%; «-» – не обнаружено; «+» – следовые значения (времена удерживания и масс-спектры соответствующих кислот совпадали со стандартами).

Для растительной клетки важно сохранение функций ее мембран, их текучести при воздействии различных факторов. Например, переход из жидкокристаллической фазы в фазу геля (твердая фаза) мембран, уменьшение их текучести и, как следствие, потери и сбои в их функционировании происходят при снижении температуры. Ненасыщенные жирные кислоты в составе клеточных мембран определяют сохранение жидкокристаллической формы при низких температурах [32]. Долговременное действие климатических условий определенным образом влияет на активность различных ферментов, определяющих состав жирных кислот, поэтому качественный состав основных жирных кислот видов, произрастающих в географически близких водоемах, сходен. Это иллюстрирует биplot (ГК1–ГК3), полученный на основе анализа данных состава жирных кислот (рисунок). Образцы из водоемов азиатской части России группируются в единый локус, отделенный от образцов из европейской части. Внутри «азиатского» локуса распределение образцов на биplotе происходит по водоемам их произрастания. Образцы из оз. Котокель и его притока р. Цаган-Гол образуют единую область, расположенную в верхней правой части биplotа. Образцы оз. Котокель, в том числе образец *P. amphibia* 2019 г. сбора (с очень низким относительным содержанием линолевой кислоты), также образуют единую область в нижней правой части биplotа, к которой примыкает и образец из р. Ангары.

Анализ состава жирных кислот высших водных растений оз. Котокель показал значительное суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот (до 60%). Наибольшие уровни найдены для незаменимых линолевой (до 24,9%) и линоленовой (56,0%) кислот, что делает высушенную массу исследованных растений *M. sibiricum*, *E. canadensis*, *P. amphibia*, *P. perfoliatus* ценным сырьем для производства кормов и биологически активных добавок. Эссенциальные жирные кислоты у животных входят в состав мембранных фосфолипидов и являются субстратами для синтеза



Биplot (ГК1–ГК3) данных жирнокислотного состава высших водных растений на основе данных настоящей статьи и литературных данных

Biplot (GK1–GK3) of data on the fatty acid composition of higher aquatic plants based on the data of this article and literature data

простагландин, простагландин, тромбосанов и лейкотриенов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного исследования был изучен состав жирных кислот высших водных растений оз. Котокель. Основной насыщенной жирной кислотой *M. sibiricum*, *E. canadensis*, *P. amphibia*, *P. perfoliatus* оз. Котокель является пальмитиновая C16:0 кислота. Доминирующей ненасыщенной жирной кислотой вне зависимости от вида растений является α-линоленовая C18:3-ω3 кислота. Высшие водные растения являются кормовыми растениями для гидробионтов, их заросли служат пастбищем для рыб и водоплавающих птиц. Они хорошо поедаются животными и могут использоваться в качестве корма. В составе жирных кислот высших водных растений оз. Котокель выявлены высокие содержания эссенциальных жирных кислот, что подтверждает их применение в качестве ценного биологического сырья.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Озеро Котокельское: природные условия, биота, экология / отв. ред. Н.М. Пронин, Л.А. Убугунов. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 320 с.
2. Ангахаева Н.А., Плюснин А.М., Украинцев А.В., Чернявский М.К., Перязева Е.Г., Жамбалова Д.И. Гидрогеохимические особенности озера Котокель // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. N 2. С. 106–115. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-2-106-115. EDN: QBCSVK.
3. Дагурова О.П., Цыденова Б.В., Бурюхаев С.П., Зайцева С.В., Дамбаев В.Б., Козырева Л.П. Микробиологические показатели вод пресных озер Бурятии // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2019. N 3. С. 61–66. DOI: 10.18101/2587-7148-2019-3-61-66. EDN: MUAGDH.
4. Ширшова Т.И., Чадин И.Ф., Володин В.В. Биологически активные вещества в составе водных растений рода *Potamogeton* (Potamogetonaceae) // Успехи современной биологии. 2012. Т. 132. N 4. С. 401–415. EDN: PDFBEL.
5. Zelnik I., Germ M., Kuhar U., Gaberscik A. Waterbodies

- in the floodplain of the Drava river host species-rich macrophyte communities despite *Elodea* invasions // *Diversity*. 2022. Vol.14, no. 10. P. 870. DOI: 10.3390/d14100870.
6. Rezz S., Mahmoud M.F., El-Shazly A.M., El-Raey M.A., Sobeh M. Anti-inflammatory, antipyretic, and analgesic properties of *Potamogeton perfoliatus* extract: in vitro and in vivo study // *Molecules*. 2021. Vol. 26, no. 16. P. 4826. DOI: 10.3390/molecules26164826.
 7. Кириченко К.А., Побежимова Т.П., Соколова Н.А., Столбикова А.В., Дударева Л.В., Войников В.К. Жирнокислотный состав общих липидов высших водных растений из реки Ангары // *Химия растительного сырья*. 2011. N 2. С. 97–102. EDN: OCQJNS.
 8. Кириченко К.А., Побежимова Т.П., Казановский С.Г., Соколова Н.А., Кондратьева Е.С., Грабельных О.И. [и др.]. Сравнительный анализ состава жирных кислот прибрежно-водного *Typha latifolia*, погруженного *Ceratophyllum demersum* и водной формы *Veronica anagallis-aquatica* водоемов Байкальского региона // *Химия растительного сырья*. 2019. N 4. С. 119–128. DOI: 10.14258/jcpm.2019045155. EDN: QNMUVG.

9. Запорожская Л.И., Гаммель И.В. Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский совет. 2012. N 12. С. 134–137. EDN: PUIQQJ.
10. Харитонов Е.А., Панюшкин Д.Е. Кормовые и метаболические факторы формирования жирнокислотного состава молока у коров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. N 2. С. 76–106. EDN: WAACBJ.
11. Никонова А.А., Шишлянников С.М., Шишлянникова Т.А., Аvezова Т.Н., Бабенко Т.А., Белых О.И. [и др.]. Определение свободных и этерифицированных жирных кислот в гидробионтах с различным содержанием полиненасыщенных кислот методом газожидкостной хроматографии // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. N 10. С. 907–920. DOI: 10.31857/S0044450220100102. EDN: WHRREK.
12. Nikonova A.A., Mizandrontsev I.B., Bazhenov B.N., Khanaev I.V., Shabalina O.V., Afanasyeva A.A., et al Toxic effect of anionic surfactants on freshwater sponge *Lubomirskia baikalensis* and its endosymbiotic microalgae *Chlorella* sp. // Diversity. 2023. N 15. P. 77. DOI: 10.3390/d15010077.
13. Nikonova A.A., Shishlyannikov S.M., Volokitina N.A., Galachyants Y.P., Bukin Y.S., Blinov V.V., et al. Fatty acid changes in nearshore phytoplankton under anthropogenic impact as a biodiversity risk factor for the world's deepest Lake Baikal // Diversity. 2022. Vol. 14, no. 1. P. 55. DOI: 10.3390/d14010055.
14. Nikonova A.A., Vorobyeva S.S. Nonspecific response of Lake Baikal phytoplankton to anthropogenic impact // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26. N 5. С. 467–476. DOI: 10.18699/VJGB-22-57. EDN: VJIYBH.
15. Розенцвет О.А., Саксонов С.В., Козлов В.Г., Конева Н.В. Эколого-биохимический подход к изучению липидов высших водных растений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2000. Т. 2. N 2. С. 358–366. EDN: FPHWFF.
16. Хотимченко С.В. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав: структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука, 2003. 230 с.
17. Позднякова Т.А., Бубенчиков Р.А. Жирные и органические кислоты астрагала солодколистного (*Astragalus glycyphyllos* L.) // Пермский медицинский журнал. 2017. Т. 34. N 1. С. 90–94. EDN: XYGORN.
18. Юнусова С.Г., Ляшенко С.С., Ведерникова К.В., Федоров Н.И., Денисенко Ю.О., Денисенко О.Н. Жирные кислоты семян *Nonea pulla* DC., произрастающей на территории РФ // Вестник Башкирского университета. 2020. Т. 25. N 2. С. 267–271. DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.2.7. EDN: WSFLYN.
19. Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Уфимцев К.Г. Нейтральные липиды и высшие жирные кислоты в некоторых представителях рода *Allium* L. флоры Республики Коми // Химия растительного сырья. 2022. N 3. С. 219–227. DOI: 10.14258/jcprm.20220310599. EDN: LXPEKG.
20. Слепцов И.В., Хлебный Е.С., Журавская А.Н. Липиды, жирные кислоты и флавоноиды в листьях *Amaranthus retroflexus*, произрастающего в условиях Центральной Якутии // Химия растительного сырья. 2017. N 3. С. 77–87. DOI: 10.14258/jcprm.2017031818. EDN: WRXJWN.
21. Zhigzhitzhapova S.V., Dylenova E.P., Anenkhonov O.A., Taraskin V.V., Radnaeva L.D. Lipid fraction composition of *Myriophyllum sibiricum* // Chemistry of Natural Compounds. 2019. Vol. 55, no. 1. P. 102–104. DOI: 10.1007/s10600-019-02623-9.
22. Zhigzhitzhapova S.V., Pintaeva E.Ts., Dylenova E.P., Tykheev Zh.A., Radnaeva L.D. Fatty-acid compositions of *Potamogeton pectinatus* and *P. perfoliatus* // Chemistry of Natural Compounds. 2020. Vol. 56, no. 2. P. 309–311. DOI: 10.1007/s10600-020-03015-0.
23. Rozentsvet O.A., Saksonov S.V., Dembitsky V.M. Hydrocarbons, fatty acids, and lipids of freshwater grasses of the Potamogetonaceae family // Biochemistry (Moscow). 2002. Vol. 67, no 3. P. 351–356. DOI: 10.1023/A:1014892601961. EDN: LHCQIP.
24. Крылова Ю.В., Курашов Е.А., Русанов А.Г. Сравнительный анализ компонентного состава низкомолекулярного метаболома горца земноводного (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre) из разнотипных местообитаний в Ладожском озере // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. N 4. С. 95–114. DOI: 10.17076/lim1141. EDN: CWPZWL.
25. Breil C., Abert Vian M., Zemb T., Kunz W., Chemat F. “Bligh and Dyer” and Folch methods for solid-liquid-liquid extraction of lipids from microorganisms. Comprehension of Solvation mechanisms and towards substitution with alternative solvents // International Journal of Molecular Sciences. 2017. Vol. 18, no. 4. P. 708. DOI: 10.3390/ijms18040708.
26. Saini R.K., Prasad P., Shang X., Keum Y.-S. Advances in lipid extraction methods – a review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, no. 24. P. 13643. DOI: 10.3390/ijms222413643.
27. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Canadian Journal of Biochemistry and Physiology. 1959. Vol. 37, no. 8. P. 911–917. DOI: 10.1139/O59-099.
28. Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // Journal of Biological Chemistry. 1957. Vol. 226, no. 1. P. 497–509. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)64849-5.
29. Кейтс М. Техника липидологии: выделение, анализ и идентификация липидов / пер. с англ. М.: Мир, 1975. 322 с.
30. Meier S., Mjøs S.A., Joensen H., Grahl-Nielsen O. Validation of a one-step extraction/methylation method for determination of fatty acids and cholesterol in marine tissues // Journal of Chromatography A. 2006. Vol. 1104, no. 1-2. P. 291–298. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.11.045.
31. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных: избранные главы / пер. с англ. Черноголовка: Изд-во ИПХФ РАН, 2005. 157 с.
32. Лось Д.А. Десатуразы жирных кислот. М.: Научный мир, 2014. 370 с.

REFERENCES

1. Pronin N.M., Ubugunov L.L. *Lake Kotokel'skoe: natural conditions, biota, ecology*. Ulan-Ude: Buryat Scientific Centre SB RAS; 2013, 320 p. (In Russian).
2. Angakhaeva N.A., Plyusnin A.M., Ukraintsev A.V., Chernyavskii M.K., Peryazeva E.G., Zhambalova D.I. Hydrogeochemical features of Lake Kotokel. *Nauki o*

Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use. 2021;44(2):106-115. (In Russ.). DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-2-106-115. EDN: QBCSVK.

3. Dagurova O.P., Tsydenova B.V., Buryukhaev S.P., Zaitseva S.V., Dambaev V.B., Kozyreva L.P. Microbiological characteristics of fresh lakes of Buryatia. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, geografiya = BSU bulletin. Biology, geography*. 2019;3:61-66. (In Russian). DOI: 10.18101/2587-7148-2019-3-61-66. EDN: MUAGDH.

4. Shirshova T.I., Chadin I.F., Volodin V.V. Biologically active substances in aquatic plants of the genus *Potamogeton* (Potamogetonaceae). *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2012;132(4):401-415. (In Russian). EDN: PDFBEL.

5. Zelnik I., Germ M., Kuhar U., Gaberscik A. Waterbodies in the floodplain of the Drava river host species-rich macrophyte communities despite *Elodea* invasions. *Diversity*. 2022;14(10):870. DOI: 10.3390/d14100870.

6. Rezaq S., Mahmoud M.F., El-Shazly A.M., El-Raey M.A., Sobeh M. Anti-inflammatory, antipyretic, and analgesic properties of *Potamogeton perfoliatus* extract: in vitro and in vivo study. *Molecules*. 2021;26(16):4826. DOI: 10.3390/molecules26164826.

7. Kirichenko K.A., Pobezhimova T.P., Sokolova N.A., Stoblikova A.V., Dudareva L.V., Voinikov V.K. Fatty acid composition of total lipids of higher aquatic plants from the Angara River. *Khimija rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2011;2:97-102. (In Russian). EDN: OCQSN.

8. Kirichenko K.A., Pobezhimova T.P., Kazanovsky S.G., Sokolova N.A., Kondrateva E.S., Grabelnykh O.I., et al. Comparative analysis of fatty acids composition of coastal-water *Typha latifolia*, submerged *Ceratophyllum demersum* and water form *Veronica anagallis-aquatica* from water bodies of Baikal region. *Khimija rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2019;4:119-128. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2019045155. EDN: QNMUVG.

9. Zaporozhskaya L.I., Gammel' I.V. Characteristics and biological role of essential polyunsaturated fatty acids. *Meditinskii sovet*. 2012;12:134-137. (In Russian). EDN: PUIQQJ.

10. Kharitonov E.L., Panyushkin D.E. Feed and metabolic factors of the milk fatty acid composition in cows. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh = Problems of Productive Animal Biology*. 2016;2:76-106. (In Russian). EDN: WAACBJ.

11. Nikonova A.A., Shishlyannikov S.M., Shishlyannikova T.A., Avezova T.N., Babenko T.A., Belykh O.I., et al. Determination of free and esterified fatty acids in hydrocoles of different content of polyunsaturated fatty acids by gas-liquid chromatography. *Zhurnal analiticheskoi khimii*. 2020;75(10):907-920. (In Russian). DOI: 10.31857/S0044450220100102. EDN: WHRREK.

12. Nikonova A.A., Mizandroutsev I.B., Bazhenov B.N., Khanaev I.V., Shabalina O.V., Afanasyeva A.A., et al. Toxic effect of anionic surfactants on freshwater sponge *Lubomirskia baikalensis* and its endosymbiotic microalgae *Chlorella* sp. *Diversity*. 2023;15:77. DOI: 10.3390/d15010077.

13. Nikonova A.A., Shishlyannikov S.M., Volokitina N.A., Galachyants Y.P., Bukin Y.S., Blinov V.V., et al. Fatty acid changes in nearshore phytoplankton under anthropogenic impact as a biodiversity risk factor for the world's deepest Lake Baikal. *Diversity*. 2022;14(1):55. DOI: 10.3390/d14010055.

14. Nikonova A.A., Vorobyeva S.S. Nonspecific response of Lake Baikal phytoplankton to anthropogenic impact. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(5):467-476. DOI: 10.18699/VJGB-22-57. EDN: VJIYBH.

15. Rozentsvet O.A., Saksonov C.B., Kozlov V.G., Koneva N.V. Ecologo-biochemical approach to the study of higher water plant's lipids. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2000;2(2):358-366. (In Russian). EDN: FPHWFF.

16. Khotimchenko S.V. Lipids of marine macrophytic algae and grasses: structure, distribution and analysis. Vladivostok: Dal'nauka; 2003, 230 p. (In Russian).

17. Pozdnyakova T.A., Bubenchikov R.A. *Astragalus glycyphyllus* L. fatty and organic acids. *Permskii meditsinskii zhurnal = Perm Medical Journal*. 2017;34(1):90-94. (In Russian). EDN: XYGOPH.

18. Yunusova S.G., Lyashenko S.S., Vedernikova K.V., Fedorov N.I., Denisenko Yu.O., Denisenko O.N. Fatty acids of seeds *Nonea pulla* DC growing in the territory of the Russian Federation. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2020;25(2):267-271. (In Russian). DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.2.7. EDN: WSFLYN.

19. Shirshova T.I., Beshley I.V., Ufimtsev K.G. Neutral lipids and higher fatty acids in representatives of the genus *Allium* L. of the Komi Republic flora. *Khimija rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2022;3:219-227. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.20220310599. EDN: LXPEKG.

20. Sleptsov I.V., Khlebnyi E.S., Zhuravskaya A.N. Lipids, fatty acids and flavonoids in the leaves of *Amaranthus retroflexus* growing under the conditions Central Yakutia. *Khimija rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2017;3:77-87. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2017031818. EDN: WRXJWN.

21. Zhigzhitzhapova S.V., Dylenova E.P., Anenkhonov O.A., Taraskin V.V., Radnaeva L.D. Lipid fraction composition of *Myriophyllum sibiricum*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2019;55(1):102-104. DOI: 10.1007/s10600-019-02623-9.

22. Zhigzhitzhapova S.V., Pintaeva E.Ts., Dylenova E.P., Tykheev Zh.A., Radnaeva L.D. Fatty-acid compositions of *Potamogeton pectinatus* and *P. perfoliatus*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2020;56(2):309-311. DOI: 10.1007/s10600-020-03015-0.

23. Rozentsvet O.A., Saksonov S.V., Dembitsky V.M. Hydrocarbons, fatty acids, and lipids of freshwater grasses of the Potamogetonaceae family. *Biochemistry (Moscow)*. 2002;67(3):351-356. DOI: 10.1023/A:1014892601961. EDN: LHCQIP.

24. Krylova J.V., Kurashov E.A., Rusanov A.G. Comparative analysis of the component composition of the low molecular weight metabolome of water smartweed (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre) from diverse habitats in Lake Ladoga. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2020;4:95-114. (In Russian). DOI: 10.17076/lim1141. EDN: CWPZWL.

25. Breil C., Abert Vian M., Zemb T., Kunz W., Chemat F. "Bligh and Dyer" and Folch methods for solid-liquid-liquid extraction of lipids from microorganisms. Comprehension of Solvation mechanisms and towards substitution with

alternative solvents. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(4):708. DOI: 10.3390/ijms18040708.

26. Saini R.K., Prasad P., Shang X., Keum Y.-S. Advances in lipid extraction methods – a review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(24):13643. DOI: 10.3390/ijms222413643.

27. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 1959;37(8):911-917. DOI: 10.1139/O59-099.

28. Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*. 1957;226(1):497-509. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)64849-5.

29. Kates M. Techniques of lipidology: isolation, analysis, and identification of lipids; 1972, 610 p. (Russ. ed.: *Tekhnika lipidologii: vydelenie, analiz i identifikatsiya lipidov*. Moscow: Mir; 1975, 322 p.).

30. Meier S., Mjøs S.A., Joensen H., Grahl-Nielsen O. Validation of a one-step extraction/methylation method for determination of fatty acids and cholesterol in marine tissues. *Journal of Chromatography A*. 2006;1104(1-2):291-298. DOI: 10.1016/j.chroma.2005.11.045.

31. Esbensen K.H. Multivariate data analysis – in practice; 2002, 598 p. (Russ. ed.: *Analiz mnogomernykh dannykh: izbrannye glavy*. Chernogolovka: Institute of Problems of Chemical Physics RAS; 2005, 157 p.).

32. Los' D.A. *Fatty acid desaturases*. Moscow: Nauchnyi mir; 2014, 370 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жигжитжапова Светлана Васильевна,

к.б.н., старший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
✉ Zhig2@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2335-0068>

Никитина Елена Петровна,

младший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
lenauude@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2431-8999>

Базарсадуева Сэлмэг Владимировна,

к.б.н., научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
bselmeg@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7771-5512>

Дыленова Елена Петровна,

к.фарм.н., старший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
edylenova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9292-7596>

Аненхонов Олег Арнольдович,

д.б.н., заведующий лабораторией,
главный научный сотрудник,
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
anen@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8633-7154>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Svetlana V. Zhigzhitzhapova,

Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
✉ Zhig2@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2335-0068>

Elena P. Nikitina,

Junior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
lenauude@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2431-8999>

Selmeg V. Bazarsadueva,

Cand. Sci. (Biology), Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
bselmeg@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7771-5512>

Elena P. Dylenova,

Cand. Sci. (Pharmacy), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
edylenova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9292-7596>

Oleg A. Anenkhonov,

Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory,
Chief Researcher,
Institute of General and Experimental
Biology SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
anen@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8633-7154>

Тараскин Василий Владимирович,
к.фарм.н., заведующий лабораторией,
старший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
vvtaraskin@binm.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0909-2629>

Раднаева Лариса Доржиевна,
д.х.н., главный научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
radld@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2886-1075>

Вклад авторов

С.В. Жигжитжапова, С.В. Базарсадуева – анализ
и обобщение данных, интерпретация результатов
исследования.

Е.П. Никитина, Е.П. Дыленова, В.В. Тараскин – сбор
и пробоподготовка образцов, анализ состава жирных
кислот методом хромато-масс-спектрометрии, анализ
и систематизация экспериментальных данных.

О.А. Аненхонов – определение видовой
принадлежности образцов.

Л.Д. Раднаева – планирование исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 03.07.2023.
Одобрена после рецензирования 25.10.2023.
Принята к публикации 29.02.2023.

Vasiliy V. Taraskin,
Cand. Sci. (Pharmacy), Head of the Laboratory,
Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
vvtaraskin@binm.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0909-2629>

Larisa D. Radnaeva,
Dr. Sci. (Chemistry), Chief Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakh'yanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
radld@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2886-1075>

Contribution of the authors

Svetlana V. Zhigzhitzhapova, Selmeg V.

Bazarsadueva – data analysis and generalization,
results interpretation.

Elena P. Nikitina, Elena P. Dylenova, Vasiliy V. Taraskin –
samples collection and preparation, GC/MS analysis
of fatty acids composition, systematization
of experimental data.

Oleg A. Anenkhonov – determination of the sample
species.

Larisa D. Radnaeva – experiment designe.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 03.07.2023.
Approved after reviewing 25.10.2023.
Accepted for publication 29.02.2023.