

УДК 547.992.2:553.973

БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГУМАТО-САПРОПЕЛЕВОГО СЫРЬЯ МАЛОГО СИМАГИНСКОГО ОЗЕРА

© 2024 г. Академик РАН В. А. Румянцев^{1,*}, Я. В. Пухальский^{2,**}, С. И. Лоскутов²,
А. И. Шапошников³, О. А. Румянцева⁴, Ю. В. Косильников³, А. И. Ковальчук³,
Л. А. Городнова², Г. В. Никитичева², А. С. Митюков³

Поступило 29.05.2024 г.

После доработки 15.06.2024 г.

Принято к публикации 18.06.2024 г.

В статье приведён биохимический состав сапропелей Малого Симагенского озера, изученных с помощью современных методов атомно-эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Данный источник органического вещества сейчас наименее востребован в стране, многие месторождения заброшены. Однако, подобные органические коллоиды и их гуминовые экстракты по спектру своего действия не уступают вытяжкам из торфа или угля. Исследование показало преобладание доли калия и натрия в валовом составе макроэлементов. Среди микроэлементов, как в валовой, так и в подвижной формах доминировали ионы железа и марганец. По-видимому, катион Fe связан в полилигандные формы с карбоновыми кислотами. Соотношение двух данных элементов в образцах в среднем составляло 10:1 – Fe:Mn. Содержание тяжёлых металлов находилось в пределах норм, допустимых для сапропелевых удобрений по ГОСТ Р 54000-2010. Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем использованы в биотехнологии интенсивного растениеводства, при выращивании культур в условиях гидропонной среды при минимизации использовании синтетических удобрений. Кроме того, поскольку во всех изученных пробах данного сырья найдены углеводы, экстракты могут быть использованы при разработке модифицированных питательных сред в отрасли сельскохозяйственной микробиологии, для стабилизации титра полезных ризобактерий.

Ключевые слова: сапропель, донный ил, Малое Симагинское озеро, элементы, низкомолекулярные соединения

DOI: 10.31857/S2686739724100193

ВВЕДЕНИЕ

Сапропелями (с греческого “гниющий” донный ил) принято называть геоорганические образования пресноводных водоёмов, сформированные в результате жизнедеятельности анаэробной микрофлоры, при разложении остатков планктонных и бентосных организмов, а также привнесённых с суши частиц растений, пыли, песка и глины [1–3]. Главную роль здесь играют биогенные процессы. Со временем сапропель переходит в более твёрдую илообразную органоминеральную массу, носящую название *сапропелита*. Это одно из характерных образований галоценового периода – самой молодой геологической эпохи, и в них ярко отразилось развитие геологических и климатических условий, изменение ландшафта, растительного покрова и животного мира после отступления ледника. В отличие от углей и нефти

¹Санкт-Петербургский научный центр Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Ленинградский государственный университет им. А.С.Пушкина, Санкт-Петербург – г. Пушкин, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

⁵Институт озероведения Российской Академии наук – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: rum.ran@mail.ru

**E-mail: puhalskyan@gmail.com

сапропели представляют возобновляемое органо-минеральное сырьё тонкой структуры. Кроме того, по сравнению с торфами и углями органическая масса (органическое вещество) сапропелей менее богата углеродом, однако, оно отличается более высоким содержанием легкогидролизуемых веществ, включающих гемицеллюлозу и крахмал. Стоит ещё отметить, что сапропель богат азотом. Наиболее ценными в этом отношении считаются низкостольные сапропели, где концентрация нитратного азота может достигать 3%. По этому показателю сапропель занимает промежуточное положение между навозом, торфом и аммиачной селитрой. Массовая доля фосфора и калия при этом во всех сапропелях мала. Также сапропели отличаются более высокой теплоёмкостью, чем торф (до 0.95 кал/л град.).

В сапропелях можно выделить три составляющие: биологическую, органическую и минеральную [4]. Биологическая составляющая сапропелей состоит из микроорганизмов, наибольшая доля которых представлена различными полезными бактериями и в меньшей степени грибами. Также само вещество сапропелей обладает бактерицидными свойствами по отношению к патогенным видам. Содержание органического вещества в сапропелях составляет не менее 15% [5] (в отдельных случаях достигая 55–95%) и состоит из гумусовых кислот (полигуматов). Поскольку иловая масса сапропеля формируется в водной среде, куда постепенно выщелачиваются данные полигуматы, то их изучение целесообразно проводить в форме жидких экстрактов. Значительная их часть будет представлена фракциями гуминовых (2–30%) (ГК) и фульвокислот (19%) (ФК), экстракты которых [6, 7] активно применяются в качестве мелиорантов для всех типов почв, улучшая их здоровье и повышая уровень плодородия [8, 9]. Так благодаря своему составу гумусовые вещества сапропеля положительно влияют на агрохимические и водно-физиологические свойства почвенной экосистемы, регулируя её кислотность. В качестве биостимуляторов сапропелевые экстракты также могут быть использованы и для всех видов растений, увеличивая урожай последних [10]. В минимальных концентрациях ГК сапропелей могут служить питательной и активирующей средой для культивирования различного рода микроорганизмов, включая фосфатмобилизирующих [11]. Выявлено увеличение титра почвенных ассоциативных бактерий родов *Mycrococcus*, *Arthrobacter*, *Spirillum*, *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Cytophaga*, *Aminobacter*,

Pseudomonas при выращивании на среде, с использованием ГК как единственного источника углерода. Грамположительные бактерии сорбировали гуминовые кислоты в больших количествах, чем грамотрицательные. Причём бактериальный комплекс (консорциум) использовал ГК в 4 раза интенсивнее, чем чистые культуры, а в условиях кометаболизма в 10 раз. ГК сапропелей также можно использовать для стабилизации титра клубеньковых бактерий (нитрагины) порядка *Rhizobiales*, способных связывать атмосферный азот из атмосферы, обогащая почву доступными растениям азотсодержащими соединениями [12]. Также в органической части присутствуют различные физиологически активные соединения (органические и аминокислоты, сахара, стероиды, витамины, ферменты и др.) [13]. Минеральная часть сапропелей представлена комплексом макро- и микроэлементов [14, 15]. Благодаря такому составу, они могут рассматриваться как эффективные биоактивные добавки [16–18], по типу органических удобрений¹ длительного (продолжительного) действия, имеющие большой положительный опыт использования в практике земледелия и растениеводства [13, 19]. Однако, в соответствии с действующим ГОСТ Р 50611-93 “Удобрение комплексное органо-минеральное (Технические условия)” по ряду параметров сапропель ещё не в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к органо-минеральным удобрениям. Для того, чтобы эффективно использовать благоприятные свойства сапропелей в системе почва-растение и обеспечить соответствие ГОСТ, на их основе ведётся разработка специальных удобрительно-мелиорирующих почвосмесей (УМС) [5, 20]. Например, сапропель можно смешивать с навозом [18]. Кроме того, в отношении данного сырья необходимо создание и соблюдение регламентированной технологии, включающей строгие методы пробоотбора, хранения и транспортировки, исключающие возможную стороннюю контаминацию образцов и высокую вариабельность агрохимических и эколого-токсикологических показателей партий конечного продукта. Если пока это будет затруднительно сделать для сапропелей, добытых из различных источников, то вполне допустимо для одного водоёма.

Традиционно добыча сапропелей представляет не только промышленный интерес, но и

¹ ГОСТ Р 54000-2010 Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия

во многих случаях служит природоохраным (экологическим) мероприятием, позволяющим очистить и углубить озёрную ванну водоёма. Их месторождения широко распространены на Земном шаре. Они присутствуют и используются во многих странах: Канаде, США, Скандинавских странах, Франции, Германии, странах Балтии, Белоруссии, Украине. Россия занимает одно из ведущих мест по запасам сапропелей. Озёрные сапропели распространены по всей территории РФ, но сапропелевый фонд изучен ещё недостаточно. Запасы сапропеля в стране варьируют в интервале 45–250 млрд м³ при влажности 60%. Многие из этих месторождений находятся в Нечернозёмной полосе и к настоящему времени либо заброшены, либо ещё не разработаны [3]. Одним из таких месторождений служит Малое Симагинское озеро – водоём, расположенный в 60 км от Санкт-Петербурга, на Карельском перешейке, в Выборгском районе Ленинградской области (рис. 1).

Цель данного исследования заключалась в детальной оценке биохимического состава жидких экстрактов донного ила Малого Симагинского озера.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследований была взято 7 проб с разных мест акватории Малого Симагинского озера (рис. 2) на глубине 4.0 м.

Анализы отобранных образцов проводили по ГОСТ в аккредитованной лаборатории ООО “Лаборатория” (Санкт-Петербург, № RA.RU.21AK94) и испытательном центре ФГБНУ “Ленинградская Межобластная Ветеринарная Лаборатория” (Санкт-Петербург).

Валовые и подвижные формы элементов определяли согласно ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 (ИСП-АЭ серии iCAP модель 6300 Duo) и ПНД Ф 16.1:2.23-2000 (беспламенная ААС на анализаторе ртути РА-915+).

Анализ композиционного состава жидких экстрактов сапропеля проводили в ФГБНУ ВНИИСХМ с использованием сверхпроизводительной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) высокого давления Acquity UPLC H-class (“Waters”, USA) согласно методике производителя.

Математическую обработку полученных данных проводили с помощью прикладных систем Excel 2016 (“Microsoft” Corp., США) и Statistica v 10.0 (“StatSoft” Inc., США).



Рис. 1. Географическая карта расположения акватории Малого Симагинского озера.



Рис. 2. Карта точек отбора сапропеля на акватории Малого Симагинского озера с помощью пробоотборника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты агрохимического анализа показали, что согласно ТУ 10.11.860-90 сапропель данного озера можно отнести к органо-известковистому типу 2-го класса пригодности с массовой долей органического вещества в среднем равной 42.0% и уровнем $pH = 8.6$ (табл. 1). Благодаря высокой доли содержания Na-K в сырье (табл. 2) и его слабощелочной реакции, оно обладает высокой водоудерживающей способностью и низкой фильтрацией, что позволяет улучшать водно-физические свойства пахотных горизонтов лёгких и кислых почв, а из-за возникающей разницы в генерации электрохимического потенциала, при его внесении в питательную среду, и режим питания произрастающих на ней растений.

Содержание тяжёлых металлов в естественных сапропелях всех изученных проб находилось в пределах норм, допустимых для сапропелевых удобрений по ГОСТ Р 54000-2010. Среди эссенциальных микроэлементов, как в валовом содержании (табл. 2), так и в их подвижных формах (рис. 3) выделяются железо и марганец. В физиологии растений данные элементы связаны между собой функцией метаболизма. При избытке железа растения начинают плохо усваивать марганец и фосфор, из-за чего возникает хлороз. В свою очередь избыток марганца задерживает поступление железа в растение, следствием чего также является хлороз. Каждому микроэлементу присуща критическая концентрация лиганд,

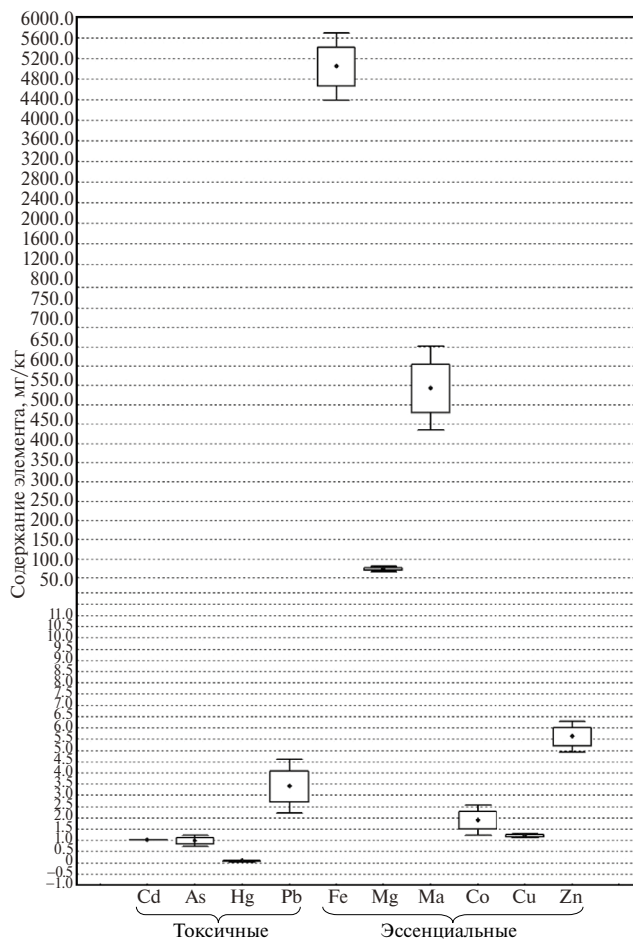


Рис. 3. Усреднённое содержание кислоторастворимых форм питательных и токсичных элементов (мг/кг) в жидких пробах донного ила Малого Симангинского озера.

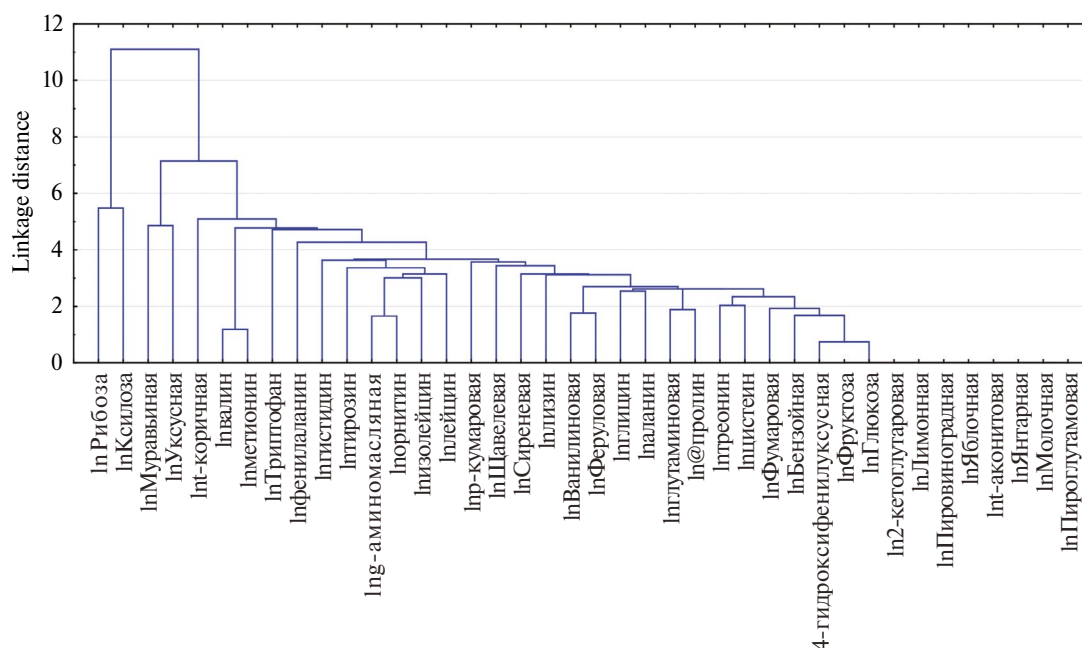


Рис. 4. Дендрограмма кластерного схождения компонентного состава низкомолекулярных фракций, обнаруженных в жидких пробах донного ила Малого Симангинского озера.

Таблица 1. Агрохимические показатели жидких проб донного ила Малого Симагинского озера

Проба/показатель	Ед. изм	1	2	3	4	5	6	7	Среднее
Органический углерод (C _{орг}) ²	%	27.27	27.9	26.6	22.2	23.5	27	15.9	24.34±1.62
Массовая доля йода ³	мг/кг	1.35	1.38	1.31	1.10	1.16	1.33	0.78	1.20±0.08
Массовая доля витамина А (ретинол) ⁴	мг/кг	1.21	1.24	1.18	0.99	1.04	1.19	0.71	1.08±0.07
Массовая доля влаги (влажность в т.ч. гигроскопическая) ⁵	%	92	100	100	100	100	100	100	98.85±1.14
Массовая доля гуминовых кислот ⁶	%	2.24	2.29	2.19	1.83	1.93	2.21	1.31	2.00±0.13

²ГОСТ 23740 (Расчёт по “Химический анализ почв. Учебное пособие. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета. 1995. С. 87. п.4.3”)

³ГОСТ 28458-90 – Корма растительные. Метод определения йода.

⁴М-02-1006-08 – Методика выполнения измерений массовой доли жирорастворимых витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

⁵ГОСТ Р 54951-2012 – Корма для животных. Определение содержания влаги.

⁶ГОСТ 9517-94 – Топливо твёрдое. Методы определения выхода гуминовых кислот.

Продолжение таблицы 1

Массовая доля калия ⁷	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Массовая доля фосфора ⁸	%	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Массовая доля общего азота ⁹	%	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Массовая доля органического вещества (гумус) ¹⁰	%	47.0	48.1	45.8	38.3	40.6	46.4	27.4	41.94±2.78
Массовая доля сырого протеина ¹¹	%	0.85	0.87	0.83	0.69	0.74	0.84	0.50	0.76±0.05
Массовая доля переваримого протеина ¹²	%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

⁷ГОСТ 30504-97 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия, п. 4.5.

⁸ГОСТ 26657-97 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Пламенно-фотометрический метод определения содержания фосфора, п. 4.

⁹ГОСТ 26715-85 – Удобрения органические. Методы определения общего азота.

¹⁰ГОСТ 23740 (Гравиметрический)

¹¹ГОСТ 13496.4-2019 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Метод определения содержания азота и сырого протеина.

¹²ГОСТ Р 51423-99 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Метод определения массовой доли растворимого азота после обработки пепсином в разведённой соляной кислоте.

которая вызывает изменение стабильности комплексов. Про взаимодействие ионов Fe(III) с растворами гуминовых веществ в почве известно много. Данные комплексы (Fe–HAs) способны улучшать ферментативную активность, что положительно сказывается на эффективности фотосинтеза и липидном профиле растений даже в условиях дефицита железа в среде. Марганец образует более лабильные, чем железо, комплексы при поступлении в растения, поэтому при его избытке наблюдается резкое падение концентрации комплексов железа в транспортной системе. Вывод: соотношение железа и марганца очень важно для нормального роста растения. Для данного субстрата их соотношение составляло 10:1.

Полилигандные комплексы железа также сопряжены сильной взаимосвязью с низкомолекулярными соединениями в виде органических, ароматических и аминокислот. ВЭЖХ-анализ показал высокую концентрацию содержания в сапропелевом сырье муравьиной кислоты, пролина, аланина, глицина и глутамина (табл. 3). Самыми богатыми по суммарному содержанию

карбоновых кислот оказались пробы № 1, 2 и 4. Среди углеводов выделялась рибоза. Логарифмический кластерный анализ, приведённый на рис. 4, показал близость схождения данного моносахарида с ксилозой по всем изученным пробам. Гомогенный ряд сахаров резко выделялся на общем фоне сопутствующих компонентов, среди которых также были найдены салицилаты.

По итогу проведённой работы можно сделать вывод, что за счёт богатого пула питательных веществ сапропель Малого Симамгинского озера можно использовать как материал, пригодный для органического земледелия, растениеводства и сельскохозяйственной микробиологии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Рыбакину Владимиру Николаевичу, заведующему Лабораторией комплексных проблем лимнологии ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН за помощь с отбором проб на акватории Малого Симамгинского озера.

Окончание таблицы 1

Массовая доля жира ¹³	%	0.070	0.070	0.050	0.060	0.070	0.040	0.070	0.060±0.005
Массовая доля сухого вещества ¹⁴	%	9.05	8.64	7.22	7.64	8.74	5.16	9.05	7.93±0.53
Массовая доля сырой золы ¹⁵	%	6.07	5.79	4.84	5.13	5.86	3.46	6.07	5.32±0.36
Массовая доля сырой клетчатки ¹⁶	%	0.60	0.57	0.48	0.50	0.58	0.34	0.60	0.52±0.04
Массовая доля легкогидролизуемых углеводов (крахмал) ¹⁷	%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Массовая доля селена ¹⁸	мг/кг	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
pH (кислотность) ¹⁹	—	6.5	7.2	6.8	7.0	7.2	7.0	6.8	6.9

¹³ГОСТ 13496.4-2019 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Метод определения содержания азота и сырого протеина.

¹⁴ГОСТ 26713-85 – Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка.

¹⁵ГОСТ 26266-95 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения сырой золы.

¹⁶ГОСТ 31675-2012 – Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

¹⁷ГОСТ 26176-2019 – Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов.

¹⁸М-04-33-2004 – Определение селена в пробах пищевых продуктов и продовольственного сырья, комбикормов и сырья для их производства.

¹⁹ГОСТ 26483-85 – Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение её pH по методу ЦИНАО.

Таблица 2. Валовое содержание питательных и токсичных элементов (мг/кг) в жидких пробах донного ила Малого Симягинского озера

Проба/элемент	1	2	3	4	5	6	7	Среднее
Калий	8000±3000	6400±2500	6500±2600	9000±4000	6800±2700	6800±2700	18000±7000	8785.71±1576.38
Натрий	6700±2700	14000±6000	20000±8000	18000±7000	4400±1800	19000±8000	21000±9000	14728.57±2524.8
Кальций	5300±1600	4600±1400	4800±1400	5400±1600	5200±1600	5300±1600	6900±2100	5357.14±280.18
Магний	1200±300	960±290	920±280	1300±400	1200±400	1200±400	2400±700	1311.43±188.92
Фосфор	2100±600	2500±700	2000±600	2200±700	2400±700	1700±500	720±220	1945.71±227.19
Железо	57000±16000	90000±25000	46000±13000	74000±21000	92000±26000	56000±16000	23000±7000	62571.43±9339.77
Кадмий	<0.05	<0.05	0.07±0.03	<0.05	<0.05	0.10±0.05	0.17±0.08	0.08±0.02
Марганец	2700±800	4800±1400	2900±900	7700±2300	12000±4000	5200±1600	700±210	5142.86±1417.72
Медь	8.8±1.8	10.7±2.1	10.0±2.0	8.8±1.8	9.1±1.8	11.5±2.3	14.2±2.8	10.44±0.74
Мышьяк	1.1±0.5	<0.1	1.0±0.5	0.13±0.07	<0.1	1.5±0.7	2.5±1.2	0.92±0.34
Ртуть	0.13±0.03	0.09±0.04	0.12±0.03	0.12±0.03	0.10±0.03	0.13±0.03	0.11±0.03	0.11±0.01
Свинец	15.0±4.0	7.8±2.0	14.0±3.0	15.0±4.0	14.0±4.0	21.0±5.0	24.0±6.0	15.83±1.99
Селен	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Цинк	77.0±15.0	51.0±10.0	70.0±14.0	59.0±12.0	78.0±16.0	75.0±15.0	59.0±12.0	67.0±4.02

Примечание. Указаны средние значения ± ошибки средних.

Таблица. 3. Компонентный состав низкомолекулярных фракций (мг/л) в жидких пробах донного ила Малого Симагинского озера

Компонент	Проба							Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	
	Органические кислоты							
Пироглутамовая	0	0	0	0	0	0	0	0
Фумаровая	2.84	4.62	0.00	1.13	1.34	1.87	0.00	1.69
Уксусная	308.13	165.97	0.00	152.73	75.66	0.00	0.00	100.36
Муравьиная	740.77	1142.35	0.00	301.67	0.00	0.00	0.00	312.11
Молочная	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Янтарная	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
t-аконитовая	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Яблочная	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Пировиноградная	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Лимонная	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2-кетоглутаровая	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Щавелевая	4.36	4.48	3.40	12.58	4.69	4.75	4.03	5.47

Продолжение таблицы 3

	Аминокислоты							
Триптофан	0.49	0.00	0.00	1.81	0.00	0.00	0.00	0.33
фенилаланин	3.56	1.54	0.00	4.21	0.10	0.05	0.02	1.35
лейцин	3.77	1.85	0.04	0.34	0.03	0.04	0.02	0.87
изолейцин	0.60	0.33	0.01	0.07	0.03	0.04	0.01	0.16
лизин	0.66	0.42	0.03	0.26	0.00	0.00	0.00	0.20
орнитин	0.68	0.21	0.55	0.05	0.04	0.07	0.03	0.23
метионин	0.32	0.00	0.02	0.17	0.01	0.00	0.00	0.07
валин	0.65	0.56	0.01	0.16	0.01	0.00	0.00	0.20
тирозин	4.20	1.15	0.01	1.40	0.13	0.19	0.04	1.02
цистеин	0.24	0.32	0.26	1.79	0.00	0.00	0.00	0.37

Продолжение таблицы 3

g-аминомасляная	0.32	0.25	0.17	0.09	0.07	0.10	0.03	0.15
пролин	6.92	1.70	0.78	0.86	0.63	0.55	0.19	1.66
аланин	13.04	5.87	0.01	1.81	1.07	0.97	0.18	3.28
треонин	0.43	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
гистидин	0.04	0.07	0.05	0.41	0.14	0.10	0.14	0.13
глицин	13.40	4.16	0.06	2.26	0.00	0.00	0.00	2.84
глутаминовая	10.86	5.93	0.27	1.87	0.64	0.48	0.15	2.89

Окончание таблицы 3

	Сахара							
Глюкоза	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Фруктоза	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ксилоза	74.94	956.40	2206.74	604.31	1205.69	181.56	111.95	763.08
Рибоза	4648.15	4151.74	2668.17	2971.02	2936.02	2027.95	409.15	2830.31
	Ароматические карбоновые кислоты							
t-коричная	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Бензойная	0.26	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.09
Феруловая	1.73	0.67	0.00	0.95	0.21	0.13	0.00	0.53
p-кумаровая	0.00	0.00	0.00	2.85	0.02	0.00	0.00	0.41
Сиреневая	0.00	0.00	0.00	2.70	2.89	2.14	0.06	1.11
Ванилиновая	1.02	0.60	0.00	0.54	0.07	0.04	0.00	0.32
4-гидроксифенилуксусная	1.01	1.11	0.00	0.00	2.10	0.99	0.00	0.74
	Фитогормоны							
Салициловая кислота	0.04	0.06	0.00	2.49	0.02	0.02	0.00	0.38

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнены в рамках научной темы FFZF-2024-0002 “Современные угрозы водным объектам и инновационные методы их сохранения, восстановления и рационального использования”.

СОБЛЮДЕНИЕ
ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Работа не содержит исследований с использованием людей или животных в качестве объектов исследования. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Штин С. М.* Озерные сапропели и их комплексное освоение. Учебное пособие. М., 2005. 84 с.
2. *Косов В. И.* Сапропель: ресурсы, технологии, гео-экология. СПб.: Наука, 2007. 223 с.
3. *Елисеев А. Н., Багута М. Ю., Белова С. С., Степанов А. А.* Химический состав и биологические свойства сапропеля // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 1. С. 65–67.
4. *Митюков А. С., Румянцев В. А., Крюков Л. Н., Ярошевич Г. С.* Сапропель и перспективы его использования в аграрном секторе экономики // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 2 (39). С. 110–114.
5. *Кирейчева Л. В., Яшин В. М.* Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе сапропеля // Агрохимический вестник. 2015. № 2. С. 37–40.
6. *Платонова Д. С., Диденко Т. А., Адеева Л. Н.* Исследование состава гуминовых кислот из сапропеля // Вестник Омского университета. 2014. № 2 (72). С. 87–89.
7. *Макаров С. В., Николаев И. А., Максимюк Н. Н.* Сапропели как источник гуминовых кислот для изготовления биогенных стимуляторов // Молодой ученый. 2017. № 20 (154). С. 170–172.
8. *Ежков О. В., Газизов Р. Р., Яппаров И. А., Биккинина Л. М. Х., Ежкова Д. В., Яппаров Д. А., Файзрахманов Р. Н.* Влияние сапропеля на агрохимические показатели почвы, урожайность и качество овощных культур // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 6. С. 127–130.
9. *Хужахметова Г. Ю., Хабиров И. К., Хасанов А. Н.* Сапропель как регулятор баланса органического вещества почв и источник органического питания растений // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3–1. С. 206–208.
10. *Лысакова Т. Н., Фомин И. А., Нестеренко А. В., Дмитриев П. С.* Перспективы применения экстракта сапропеля с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур // Гидрометеорология и экология. 2019. № 3 (94). С. 7–16.
11. *Минаковский А. Ф., Игнатовец О. С., Шатило В. И., Сергиевич Д. С., Босак В. Н.* Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 101–106.
12. *Лактионов Ю. В., Попова Т. А., Андреев О. А., Ибатуллина Р. П., Кожемяков А. П.* Создание стабильной формы ростстимулирующих микробиологических препаратов и их эффективность // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 46. № 3. С. 116–118.
13. *Емельянов А. М., Иванов Н. А., Емельянов Ю. А., Серебренников В. Г., Булах В. И.* Применение сапропелей в сельском хозяйстве. Екатеринбург: Свердловский СХИ, 1992. 117 с.
14. *Кирейчева Л. В., Хохлова О. Б.* Сапропели: состав, свойства, применение. М.: Изд. РОМА, 1998. 120 с.
15. *Успенская О. Н., Васючков И. Ю.* Микроэлементы в сапропелях – природном материале на удобрение для органического земледелия // Агрохимия. 2019. 10. С. 52–57.
16. *Успенская О. Н., Борисов В. А., Васючков И. Ю.* Сапропель – перспективное органическое удобрение // Орошаемое земледелие. 2019. № 1. С. 50–51.
17. *Платонов В. В., Ларина М. А., Горохова М. Н., Белозерова Л. И., Иерусалимский К. В.* Сапропели – кладовая биологически активных соединений // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. № 3. С. 255–264.
18. *Хохлов В. И., Фомин А. И., Шилова Н. А.* Применение сапропелей на удобрение. М.: Россельхозиздат, 1986. 40 с.
19. *Позднякова В. Ф., Сенченко М. А., Сорокин А. Н.* Влияние сапропеля на содержание минеральных веществ в сельскохозяйственных культурах // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 4 (60). С. 68–3.
20. *Дементьев В. А.* Сапропель как источник альтернативной энергии и натуральных органических удобрений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 6. С. 67–70.

BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF HUMATE-SAPROPEL RAW MATERIALS OF THE SMALL SIMAGINSKY LAKE

Academician of the RAS V. A. Rumyantsev^{a, #}, J. V. Puhalsky^{b, ##}, S. I. Loskutov^b,
A. I. Shaposhnikov^c, O. I. Rumyantseva^d, Yu. V. Kosulnikov^c, A. I. Kovalchuk^c,
L. A. Gorodnova^b, G. V. Nikiticheva^b, A. S. Mityukov^e

Received May 29, 2024

After revision June 15, 2024

Accepted June 18, 2024

^aSt. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

^bPushkin Leningrad State University, St. Petersburg,
Pushkin, Russian Federation

^cAll-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology,
St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation

^dPeter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

^eSt. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy
of Sciences, Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation

[#]E-mail: rum.ran@mail.ru

^{##}E-mail: puhalskyan@gmail.com

The article presents the biochemical composition of sapropels from Lake Small Simagen, studied using modern methods of atomic emission spectrometry (ICP-AE) and high-performance liquid chromatography (HPLC). This source of organic matter is now the least in demand in the country; many deposits are abandoned. However, such organic colloids and their humic extracts are not inferior in their spectrum of action to extracts from peat or coal. The study showed the predominance of the proportion of potassium and sodium in the gross composition of macroelements. Among microelements, both in bulk and in mobile forms, iron and manganese ions dominated. Apparently, the Fe cation is bound in polyligand forms with carboxylic acids. The ratio of these two elements in the samples averaged 10:1 — Fe:Mn. The content of heavy metals was within the limits acceptable for sapropel fertilizers according to GOST R 54000—2010. The results obtained during the study can be further used in the biotechnology of intensive crop production, when growing crops in a hydroponic environment while minimizing the use of synthetic fertilizers. In addition, since carbohydrates were found in all studied samples of these raw materials, the extracts can be used in the development of modified nutrient media in the field of agricultural microbiology to stabilize the titer of beneficial rhizobacteria.

Keywords: sapropel, bottom silt, Small Lake Simagen, elements, low molecular weight compounds