

УДК 574.5

DOI 10.21661/r-508675

Л.В. Герасимова, К.П. Иванов

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА САПРОПЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА КУБАЛАХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Аннотация: в статье приводится анализ содержания макро- и микроэлементов в донных отложениях озера Кубалах, который позволит оценить качество сапропели и эффективность использования как ценное органоминеральное сырье. Авторами определена актуальность и научная новизна работы, дан подробный анализ месторождений сапропелевых отложений озера Кубалах, расположенное на V надпойменной террасе (Маганской) равнинной криолитозоны Центральной Якутии.

Ключевые слова: сапропель, макроэлементы, микроэлементы, донные отложения, Центральная Якутия.

L.V. Gerasimova, K.P. Ivanov

ASSESSMENT OF QUALITY OF SAPROPEL DEPOSITS OF LAKE KUBALAH IN CENTRAL YAKUTIA

Abstract: the paper presents the content analysis of macro- and micro-elements in the sapropel deposits of Lake Kubalah, which will allow us to evaluate the quality of sapropel and its utilization efficiency as a valuable organo-mineral material. The authors of the article define relevance and novelty of the paper. The detailed analysis of sapropel deposits of Lake Kubalah, situated in terrace above the flood-plain of (Magan) flat cryolitic zone of Central Yakutia.

Keywords: sapropel, macroelements, microelements, sapropel deposits, Central Yakutia.

Актуальность работы. Многие десятилетия учёные из разных стран изучают донные отложения озёр их компоненты и составляющие, на их основе составлены многочисленные научные работы и труды, методы и приёмы, принципы и

технологии использования, но до сих пор во многих странах и регионах данные исследований не используются в полной мере или не используются вовсе. Данная проблема остро касается нашего региона, находящегося в зоне вечной мерзлоты, который подвержен термокарстовым и эрозионным процессам, что способствует всё большему образованию озёр и соответственно обильному накоплению донных отложений.

Целью данной работы было изучить качество сапропелевых отложений озера Кубалах в Центральной Якутии и возможности рационального использования.

В работе приводятся данные по озеру Кубалах и произведены на их основе ряд анализов, которые позволяют оценить качество и эффективность использования сапропели из данного озера для последующей реализации промышленной добычи и производств как в данном озере, так и в других, прилегающих, и ранее изучаемых другими учёными, озёр в Центральной Якутии.

Научная новизна. В Якутии огромное количество водоёмов различных типов и размеров и в каждом из них происходят седиментационные процессы, которые и приводят к образованию донных отложений. На основании проведённых работ и многолетних исследований у нас появилась возможность использовать данный природный экологический продукт для решения целого ряда проблем в различных отраслях хозяйств при обильном наличии данного продукта в регионе и простоты его добычи и преобразования.

Территория Центральной Якутии расположена в зоне умеренного резко континентального климата, характеризуемая высокими годовыми амплитудами температур и малыми количествами осадков (около 200–300 мм в год). При таких условиях в Центральной Якутии наблюдается знойное жаркое лето и морозная сухая зима, что является следствием преобладания Сибирского антициклона в данной области с высоким давлением. Центральная Якутия находится в изоляции от морей и океанов, Атлантический перенос воздушных масс практически не доходит, влияние Тихого океана частично преграждается горной местностью с юга-востока Дальнего Востока и Камчатского полуострова и лишь влияние

Северного Ледовитого океана доставляет холодные воздушные массы с севера почти на две трети территории Якутии.

Континентальность является основной особенностью климата Центральной Якутии, связанной, в свою очередь, с географическим положением этого региона в сравнительно высоких широтах ($60\text{--}64^\circ$) и приуроченность к северо-восточной части огромного Евразийского материка, что характеризуется большими колебаниями годовых температур, малым количеством выпадающих осадков.

Вечная мерзлота самая главная причина, по которой Якутия до сих пор не превратилась в пустыню. Мерзлота консервирует полезные элементы и компоненты экосистем и сохраняет их качества на долгие годы, чем и вызван особый интерес в изучении этого явления, оставленного со времён ледниковых периодов. Криогенные процессы играют большую рельефо- и ландшафтообразующую роль и диктует условия распространения растительных и животных сообществ.

Объект исследования – месторождение сапропелевых отложений озера Кубалах, расположенное на V надпойменной террасе (Маганской) равнинной криолитозоны Центральной Якутии (рисунок 1). Озеро Кубалах расположено в 38,7 км к востоку от г. Якутска. Площадь зеркала озера составляет 34,9 га. Максимальная глубина 2,8 м. Средняя глубина сапропелевой залежи 1,43 м. Объем сапропелевой залежи 538,0 тыс. м^3 [3].

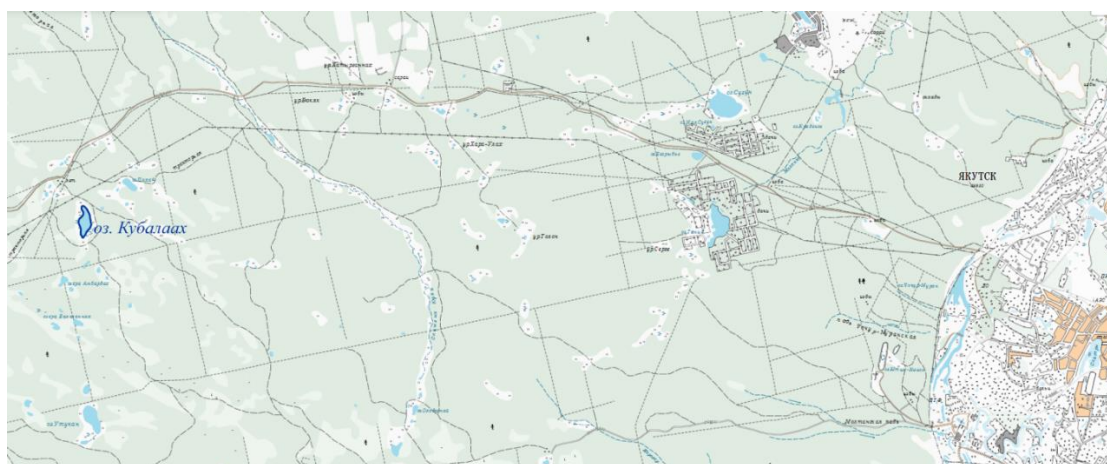


Рис. 1. Карта-схема расположения озера Кубалах

При использовании сапропелей для производства удобрений необходимо знать содержание в них валовых и подвижных форм азота, оксидов фосфора,

калия, кальция и др. Подвижные формы веществ определяют, прежде всего, степень доступности их растениям [1].

По содержанию общего азота, основного компонента органических удобрений, разведанные сапропели сравнимы с лучшими видами навоза, торфа и компоста, нередко даже превосходят их. Если «средний» навоз содержит – 0,5% азота, торф – 0,8–3,0%, компост – 0,3–0,5% на сухое вещество, то сапропель озера Кубалах содержит от 0,5 до 1,8% азота. Достаточно высокое содержание азота может быть объяснимо высоким содержанием белка в сапропелях: если они в значительной степени или преимущественно состоят из остатков животных организмов, которые, как известно, могут содержать до 16–17% белка. С другой стороны, если основными продуцентами в данном виде сапропеля оказываются азотфиксирующие сине-зеленые водоросли, то содержание азота, соответственно, должно повыситься. При этом анализами зафиксировано, что содержание аммонийного азота ($N-NH_4$) сведено к аналитическому нулю. Это, возможно, объясняется отсутствием (низким процентом) жизнедеятельности аммонифицирующих гетеротрофных микроорганизмов отложений, основных источников образования аммонийного азота.

По содержанию общего фосфора сапропели исследованных озёр Центральной Якутии не уступают лучшим видам органических сапропелей. Если в компосте содержание P_2O_5 достигает 0,4–0,4%, в навозе – 0,24%, в торфе – 0,1–0,4% на АСВ, то в сапропелях термокарстовых озер достигают 0,001–1,199%, эрозивно-термокарстовых – 0,05–1,89%, водно-эрозийных – 0,03–0,48%, тукулановых – 0,01–4,95% на АСВ [2].

Содержание общего фосфора в виде P_2O_5 сапропелей озера Кубалах оказалось несколько ниже, чем в других исследованных озёрах Центральной Якутии и приравнивается в среднем 0,155% на АСВ. Возможно, это связано с быстрой минерализацией неорганического фосфора. При этом нижележащие утрамбованные слои сапропелей содержат меньшее количество фосфора. Количество подвижной формы фосфора составляет в среднем 0,04%.

Источником поступления калия в поверхностные воды являются геологические породы (полевой шпат, слюда) и растворимые соли. Различные растворимые соединения калия образуются также в результате биологических процессов, протекающих в коре выветривания и в почвах. Для калия характерна склонность сорбироваться на частицах почв, пород, донных отложений и задерживаться растениями в процессе их питания и роста. Это приводит к меньшей подвижности калия по сравнению с натрием, и поэтому калий находится в природных водах, особенно поверхностных, в более низкой концентрации, чем натрий.

Валового калия в почвах больше, чем азота и фосфора, вместе взятых – до 2–3%, что зависит от минералогического, гранулометрического составов и содержания гумуса. Содержание общего калия колеблется в пределах 0,41–0,25% на АСВ от поверхности ко дну в створе. Концентрация подвижной формы калия в целом по акватории исследуемого озера Кубалах приравнивается в среднем 0,035% на АСВ.

Ввиду высокой растворимости хлор в водной среде встречается исключительно в растворенном состоянии в форме хлоридов. Хлориды – подвижные мигранты, спускаются на придонные толщи воды, затем в донные отложения. Значение хлоридов в сапропелевых отложениях озера Кубалах увеличивается по глубине залегания донных отложений и колеблется в пределах 0,25–0,69% до 0,77–0,89% на АСВ.

Важнейшим элементом для жизни растений является кальций. Подвижный кальций сапропелей играет решающую роль при приготовлении из них кормовых добавок, определяет нейтрализующее действие сапропелевых удобрений на кислую почву, что сопровождается изменением её агрохимических характеристик и повышением плодородия. Содержание кальция колеблется в пределах 6,89–7,69% на АСВ. Достаточно высокие показатели кальция, очевидно, связаны с диатомовым происхождением сапропелей, диатомеи способны аккумулировать в себе кальций.

Биологически активная компонента сапропеля включает в себя целый комплекс разнообразных веществ: азотистые и гормоноподобные соединения,

ферменты, витамины, пигменты, органические кислоты и спирты, другие биологически активные вещества. После отмирания водоросли, обогащенные белком, клетчаткой жирами, фосфором, кальцием и калием, становятся компонентами сапропеля.

Таким образом, биологический состав сапропелевых отложений озера Кубалах соответствует альгофлоре богатых биогенными и минеральными веществами, хорошо прогреваемых в летний период, с достаточным количеством растворенного кислорода водоемов.

Медь в озеро переносится в составе взвесей и частично в виде растворов, сорбируется из природных поверхностных вод тонкодисперсными глинистыми осадками, гелями многих минеральных веществ, гидроокислами железа, марганца и кремнезема. В миграции меди большую роль играют растворимые органические соединения, преимущественно гумусовые вещества. Установлено, что медь связана как с терригенной частью осадка, так и с фракцией органического вещества.

Установлены пределы колебаний содержания меди в исследуемых сапропелевых отложениях озера Кубалах, которые изменяются от 0,19 до 0,27 мг/кг (таблица 1). Четкой картины в распределении меди по горизонтам мощности залегания сапропелей и по акватории озера не выявлено.

Таблица 1

Содержание металлов по слоям залегания отложений, мг/кг

Металлы	Слой залегания отложений, см		
	0–8,5	8,5–25,5	25,5–51
Медь	0,1919	0,2718	0,2042
Цинк	6,259	18,586	16,176
Кадмий	0,695	0,08	0,088
Свинец	1,1874	0,8032	1,0465
Марганец	158,2	116,4	120,6
Кобальт	<0,4	0,4	<0,4
Никель	<0,2	0,26±0,08	4,7±1,4
Ртуть	<0,1	<0,1	<0,1
Хром общ.	<0,5	<0,5	<0,5

Цинк принадлежит к числу широко распространенных в природе элементов. Zn, как и многие другие микроэлементы, переносится речными водами преимущественно во взвешенном состоянии. Известно, что цинк, как и медь, достаточно активно концентрируется в водорослях (коэффициент накопления $5,6 \cdot 10^4$), а еще больше – в тканях рыбы. Zn в условиях донных отложений в растворенном виде существует в основном в виде свободного иона малыми долями хлоридных, гидроксидных и карбонатных комплексов, концентрируется в присутствии растворенных сульфидов в донных отложениях в виде сульфидов. Результаты определения Zn(II) в сапропелевых отложениях исследуемого озера Кубалах указывают на весьма высокое его содержание – от 6,26 до 18,59 мг/кг (в среднем 11,14 мг/кг). При этом наблюдается большое расхождение в вертикальном распределении от поверхности ко дну.

Растворенные формы кадмия в природных водах представляют собой главным образом минеральные и органоминеральные комплексы. Основной взвешенной формой кадмия являются его сорбированные соединения. Значительная часть кадмия может мигрировать в составе клеток гидробионтов. Содержание кадмия в сапропелях исследуемого озера варьирует в пределах 0,04–0,0088 мг/кг, за исключением поверхностного слоя створа, где концентрация достигает 0,695 мг/кг.

Свинец относится к группе халькофильных и литофильных элементов. Этим определяются геохимические особенности его поведения в земной коре. Халькофильные свойства свинца обуславливают участие элемента в соединениях с серой, селеном, теллуром, литофильные определяют его широкое участие в составе многочисленных пороодообразующих минералов: силикатов (с Si, Ca, Mg, Mn, Fe), галоидов (часто вместе с Cu), окислов, манганитов и ферритов, карбонатов. В передвижении свинца в почвах значительную роль играют гумус и органическое вещество. На это указывает, в частности, более легкое извлечение его из органического вещества, чем из минеральной части почвы. В сапропелевых отложениях озера Кубалах в створе зафиксирован свинец в количестве 1,18–1,04

мг/кг по вертикали от поверхности ко дну, при этом отмечено накопление свинца в поверхностных слоях отложений.

Основными источниками поступления марганца в поверхностные воды являются железомарганцевые руды и некоторые другие минералы, содержащие Mn. В поверхностных водах преобладает свободный ион марганца Mn^{+2} с малыми долями (гидро) карбонатных, сульфатных и хлоридных комплексов и в составе органических комплексных соединений (например, гумино- и фульвиново-кислых) или в виде высокодисперсной взвеси минеральных фаз, коллоидов и суспензий. В условиях донных отложений Mn может образовывать сульфидные минеральные фазы, а также оксигидрокисные фазы. Марганец принадлежит к числу важных питательных элементов для растений и животных. Степень окисления Mn зависит главным образом от окислительно-восстановительного потенциала среды и концентрации водородных ионов. Обнаружено, что снижение растворенного кислорода является главной причиной появления Mn в придонных слоях воды. Значительную роль в этом процессе играет также кислотность водной среды – снижение pH благоприятствует высвобождению Mn из донных отложений. Закономерное содержание ионов марганца в исследуемых образцах донных отложений озера Кубалах достигает десятков и сотен (от 34,75 до 158,2) мг/кг. При этом также наблюдается и четкое вертикальное уменьшение концентраций от поверхности ко дну.

Кобальт обладает активным физиологическим действием, входит в состав витамина B₁₂, при недостатке его в продуктах питания животные заболевают анемией. Гумус способствует удержанию кобальта за счет образования гуматов, а также наблюдается образование внутрикомплексных соединений кобальта с кислотами и аминами почвенного гумуса. Кобальт сорбируется также ферросиликатами в кислой среде. В сапропелевых отложениях исследуемого озера он содержится в сравнительно малых концентрациях (ниже 0,4 мг/кг) и равномерно по горизонтам и по акватории. В послойном распределении сапропелевых отложений наблюдается увеличение концентраций по вертикали, если в поверхностных

слоях величина достигает всего 0,2 мг/кг, то в придонных слоях увеличивается в несколько десятков раз и достигает 4,7 мг/кг.

В поверхностных водах соединения ртути находятся в растворенном и взвешенном состоянии. Соотношение между ними зависит от химического состава воды и значений pH. При исследовании кинетики адсорбции и десорбции различных соединений Hg (II) донными отложениями показано, что при постоянном значении pH (7,0) величину адсорбции Hg определяют концентрация хлоридов, состав донного грунта и степень его загрязнения. Ртуть в сапропелях озера Кубалах отмечается в наименьшем количестве, в виде следов, меньше 0,1 мг/кг.

Хром в условиях озёр и донных отложений обнаруживается в степени окисления +3. Cr (III) имеет тенденцию к осаждению, формируя растворимые катионные формы, немобилен при умеренных основных или кислых условиях, относительно мало токсичен. Связывание хрома донными отложениями водоемов характеризуется достаточно высокой прочностью, что обуславливает низкую их подвижность. Содержание общего хрома в исследуемых сапропелях равномерно по всему озеру Кубалах и меньше 0,5 мг/кг.

Развитие фито- и зоопланктонных организмов, а также высших водных растений, активно сорбирующих металлы и последующее их биохимическое разложение, способствуют в накоплении их в донных отложениях.

Анализ содержания и распределения микроэлементов в сапропелях озера Кубалах позволяет констатировать, что исследуемые сапропели обеднены микроэлементами, но богаче, чем почвы.

Из исследований разнотипных озёр Центральной Якутии известно, что в илы и сапропели термокарстовых озёр более обогащены кобальтом и молибденом, эрозионно-термокарстовые – цинком, никелем, марганцем. Процессы накопления микроэлементов в озерах идет с различной интенсивностью и направленностью. По величине концентрации микроэлементы сапропелей превосходят иловые отложения, намного – прилегающие почвы.

Таким образом, присутствие в сапропелях широкой гаммы микроэлементов, не превышающих своих ПДК, обуславливает их высокую физиологическую ценность при приготовлении минеральных удобрений и кормовых добавок.

Список литературы

1. Иванов К.П. Сапропелевые отложения озер Якутии и возможности их использования как ценное сырье / К.П. Иванов, М.В. Слепцов, Л.В. Герасимова. – Science Time. – 2014. – №8 (8). – С. 360.

2. Иванов К.П. Содержание фосфора в сапропелевых отложениях озер Центральной Якутии / К.П. Иванов, М.В. Слепцова, Л.В. Герасимова. – Уникальные исследования XXI века. – 2015. – №7. – С. 457.

3. Трофимова Т.П. Геологическое изучение месторождения сапропеля на участке недр «озеро Кубалах» (38 км автодороги «Виллюй») на территории городского округа «город Якутск» / Т.П. Трофимова, К.И. Жирков. – Якутск: 2018. – 210 с.

References

1. Ivanov, K. P., Sleptsov, M. V., & Gerasimova, L. V. Sapropel'evye otlozheniia ozer Iakutii i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniia kak tsennoe syr'e., 360.

2. Ivanov, K. P., Sleptsova, M. V., & Gerasimova, L. V. Soderzhanie fosfora v sapropel'evykh otlozheniiakh ozer Tsentral'noi Iakutii., 457.

3. Trofimova, T. P., & Zhirkov, K. I. Geologicheskoe izuchenie mestorozhdeniia sapropelia na uchastke neдр "ozero Kubalakh" (38 km avtodorogi "Viliui") na territorii gorodskogo okruga "gorod Iakutsk"., 210.

Герасимова Лариса Владимировна – зав. лабораторией, Институт естественных наук ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, Россия.

Gerasimova Larisa Vladimirovna – head of laboratory, The Institute of Experimental Sciences FSAEI of HE «M.K. Ammosov North-Eastern Federal University», Yakutsk, Russia.

Иванов Константин Петрович – канд. биол. наук, доцент Института естественных наук «ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, Россия.

Ivanov Konstantin Petrovich – candidate of biological sciences, associate professor, The Institute of Experimental Sciences FSAEI of HE «M.K. Ammosov North-Eastern Federal University», Yakutsk, Russia.
