

Д.С. Чукуров, Я.В. Медведева, О.В. Никитин  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, den-ch-s@rambler.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЛЬМЕТЬЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ

В статье приводятся данные о качественном составе донных отложений Альметьевского водохранилища и дается оценка их пригодности для использования в качестве органического удобрения.

*Ключевые слова:* донные отложения; органическое удобрение; сапропель; Альметьевское водохранилище.

### Введение

Деградация почв, обусловленная как природными, так и антропогенными факторами, – глобальная экологическая проблема, одним из путей решения которой является использование почвенных мелиорантов (Гордеева, Малюта, 2014), в том числе и органических удобрений. Органические и органоминеральные донные отложения пресноводных водоемов – сапропели, состоящие из органического вещества и минеральных примесей, формирующиеся в результате биохимических, микробиологических и физико-механических процессов, традиционно используют в качестве органических удобрений (Информационный обзор..., 2015). Сапропель может использоваться в качестве удобрения для внесения под все выращиваемые культуры с целью повышения урожайности, а также для рекультивации малопродуктивных земельных угодий. Он оказывает комплексное воздействие на почву: улучшает водно-физические, агрофизические, агрохимические и физико-химические свойства почвы; увеличивает содержание гумуса, тем самым повышает плодородие почв. Органические удобрения на основе сапропеля могут использоваться как в чистом виде, так и в качестве удобрительных смесей или компостов в любых природно-географических условиях (ТУ 0392-001-72640395–2010). Кроме того, изъятие сапропелей дополнительно позволяет решить некоторые экологические проблемы водных объектов – устранить избыточное заиление и снизить внутреннюю эвтрофирующую нагрузку донных отложений. При этом в первом случае эффективно дополнительно решается вопрос с утилизацией донных отложений.

Прогнозные запасы сапропелей в России около 300 млрд. м<sup>3</sup> (Добрецов и др., 2001). На территориальном балансе Республики Татарстан

числятся 3 месторождения сапропеля с суммарными балансовыми запасами категорий А+С<sub>1</sub> – 3160.3 тыс.т. (Государственный..., 2015). Химический состав и особенности свойств сапропеля различных месторождений существенно различаются и определяются условиями его формирования, составом фауны и флоры водоемов, особенностями биогеохимической зоны и глубиной залегания. В настоящее время, кроме вышеперечисленных, существенным фактором, влияющим на качество сапропелевых удобрений, является загрязнение окружающей среды. Способность донных отложений аккумулировать загрязняющие вещества – металлы, нефтепродукты, пестициды и т.д., может сделать их непригодным для хозяйственного использования.

Целью работы является исследование донных отложений Альметьевского водохранилища по перечню показателей для оценки возможности их использования в качестве органического удобрения.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводили на Альметьевском водохранилище, расположенном в северной части г. Альметьевска Республики Татарстан (54°55'1" с.ш., 52°16'24" в.д.) (рис. 1).

Водохранилище является запрудным, находится в пределах русла и низкой поймы реки Степной Зай и относится к долинным, русловым. По площади водного зеркала, водохранилище относится к малым, площадь акватории 1.11 км<sup>2</sup>; максимальная длина 1.78 км, ширина 1.0 км. Водохранилище мелководное, преобладающие глубины 0.9 м.

Зай – река в Татарстане, левый приток Камы, длина реки 270 км (включая Степной Зай). Протекает, в основном, с юго-востока на северо-запад по территории Татарстана в пределах



Рис. 1. Расположение Альметьевского водохранилища и станций отбора проб (1–3)

Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Уровень загрязнения реки высокий на всем протяжении реки и соответствует классу 4 «а» – «грязные». Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды р. Степной Зай (в районе г. Альметьевск) вносят соединения марганца, меди, органические вещества по ХПК и БПК<sub>5</sub>, азота нитритного, азота аммонийного, сульфатов, загрязненность воды по данным показателям оценивается как «характерная» (Государственный..., 2015). Так, среднегодовые и максимальные концентрации в 2013 г. составляли: соединения меди – 1.9 и 6.4 ПДК, марганца – 15.2 и 28.6 ПДК, ХПК – 1.6 и 2.3 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1.5 и 3.3 ПДК, азота аммонийного – 2.7 и 6.5 ПДК, азота нитритного – 3.5 и 17.7 ПДК (ВЗ), сульфатов – 1.6 и 2.1 ПДК, летучих фенолов – 1.0 и 6.0 ПДК соответственно.

Пробы донных отложений для определения мощности их залегания, физико-химического состава и показателей безопасности отбирали в акватории Альметьевского водохранилища в марте 2015 г. на трех станциях (рис. 1). Пространственную привязку осуществляли с помощью GPS навигации (Garmin eTrex H).

Отбор проб осуществляли при помощи трубки ГОИН-1.5 в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01–80. На каждой станции отбирали стратифицированные колонки донных отложений, а также интегральные колоночные пробы. Стратифицированные пробы делились на слои по 10 см.

Быстроменяющиеся показатели (рН, Eh), определяли в полевых условиях непосредственно после отбора пробы при помощи портативного анализатора (HI-98121, Hanna Instruments). Остальные показатели определяли в лабораторных условиях.

Определение массовой доли влаги, кислотности, размера частиц сапропеля, содержания балластных, инородных механических включений, органического вещества, общих форм азота, фосфора, калия, кальция, серы и железа проводили по стандартным методикам (ГОСТ..., 1985а; 1985б; 1985в; 1985г; 1988а; 1988б; 2007; МУ..., 1982)

Определение содержания металлов (Cd, Zn, Pb, Cu, Mn, Ni, Cr, Co, Mo) проводили на атомно-эмиссионном спектрометре Optima-8300 и масс-спектрометре ELAN-9000 с индуктивно-связанной плазмой (ГОСТ..., 2008); ртуть – на анализаторе Юлия-5К (ПНД Ф..., 2002). Определение содержания нефтепродуктов проводили по ПНД Ф 16.1:2.2.22–98, содержания радиоактивных элементов и определение их удельной и эффективной активности – по ГОСТ Р 53398–2009 и ГОСТ Р 53745–2009. Определение токсичности выполняли на дафниях (ПНД Ф..., 2011), на биолюминесцентных бактериях (ПНД Ф..., 2004). Ветеринарно-санитарный и гигиенический контроль проводили по соответствующим методическим указаниям (МУ..., 1970; 1976а; 1976б; 1981; МУК..., 2010). Исследования микробиологических и паразитологических показателей проводили на базе ФГБУ «Татарская межрегиональная ветеринарная лаборатория».

### Результаты и их обсуждение

Для использования сапропелей в качестве органического удобрения они должны соответствовать требованиям ГОСТ 54000–2010.

*Агрехимические свойства.* Колоночный способ пробоотбора позволил определить мощность донных отложений, которая варьирует в диапазоне 80–110 см (табл. 1). Донные отложения на всех трех станциях характеризуются однородной структурой.

Таблица 1. Агрохимические показатели сапропеля Альметьевского водохранилища

Наименование показателя	Станция		
	1	2	3
Мощность донных отложений, см	70	80	110
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	1.26	1.34	1.52
Массовая доля сухого вещества, %	55.7	53.1	63.2
Массовая доля, % на сухое вещество:			
- органического вещества	9.5	9.4	7.5
- азота общего	0.22	0.21	0.17
- фосфора общего (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.29	0.30	0.19
- кальция (СаО)	2.32	2.43	2.22
- железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.45	2.72	2.59
- серы (SO <sub>3</sub> )	0.04	0.03	0.02
- калия общего (K <sub>2</sub> O)	0.11	0.12	0.11
Содержание частиц размером более 10 мм, %	1.1	1.6	1.4
Содержание балластных, инородных механических включений, % от массы нормативной влажности			
- с высокой удельной массой (размером до 10 мм)	н.о.	н.о.	н.о.
- с низкой удельной массой (размером до 25 мм)	н.о.	н.о.	н.о.
Eh, мВ	-160	-152	-147
pH	6.8	6.9	6.9
pH солевой вытяжки	5.3	6.2	6.2

рой. Крупных включений не отмечается. Верхняя часть представлена коричнево-буроватыми илами, сменяющимися с глубиной темно-серыми илами. Донные отложения насыщены органическим веществом, его массовая доля составляет 7.5–9.5% от сухого вещества. Реакция среды поверхностных слоев донных отложений нейтральная, окислительно-восстановительный потенциал отрицательный, что свидетельствует о недостатке кислорода в зимних условиях. Несмотря на это, запаха сероводорода и других посторонних запахов не обнаружено.

По совокупности полученных агрохимических показателей донные отложения Альметьевского водохранилища можно отнести к известковым сапропелям с возможностью использования в качестве органического удобрения.

*Содержание загрязняющих веществ.* В числе загрязняющих веществ, аккумулированных в донных отложениях, было изучено содержание нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов.

Нефтепродукты относятся к числу загрязняющих веществ, склонных к накоплению в донных отложениях, благодаря высокой сорбционной способности входящих в их состав компонентов, особенностям фракционирования при попадании в водный объект, биохимической устойчивости и аккумуляции гидробионтами с последующим разложением на дне водоемов и водотоков. О загрязненности донных отложений обычно судят по превышению наблюдаемых концентраций нефтепродуктов относительно фона, обусловленного присутствием биогенных углеводородов. Предель-

но допустимые концентрации нефтепродуктов в донных отложениях не разработаны. В качестве фонового значения содержания нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных вод Республики Татарстан можно принять величину 50 мг/кг (Иванов и др., 2011).

В таблице 2 представлено содержание нефтепродуктов в сапропеле Альметьевского водохранилища. Можно отметить существенное загрязнение донных отложений водохранилища нефтепродуктами, кратность превышения над фоновыми значениями составляет 11.9–14.9 раз. Это может потребовать дополнительной обработки сапропеля перед его использованием в качестве удобрения.

Для оценки пригодности обезвоженного субстрата к внесению в почвы в качестве удобрения

Таблица 2. Содержание нефтепродуктов в сапропеле Альметьевского водохранилища

Наименование показателя	Станция		
	1	2	3
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	695	745	597
Кратность превышения над фоном, раз	13.9	14.9	11.9
Содержание нефтепродуктов в обезвоженном субстрате через год <sup>*)</sup> , мг/кг / кратность превышения над фоном, раз	13.0 / 0.26		

Примечание: \*) – через год после выдержки объединенной пробы обезвоженного в геотекстильном контейнере субстрата в лабораторном эксперименте



требовалось сопоставить содержание нефтепродуктов с нормативами для почв разных типов (Ibatullin et al., 2006; Ахметзянова, 2011; Шагидуллин и др., 2011), находящимися в диапазоне 1500–2900 мг/кг. В лабораторных условиях был смоделирован процесс выдержки объединенной пробы обезвоженных донных отложений в геотекстильных контейнерах (геотубах) в течение одного года. Полученный результат (табл. 2) свидетельствует о том, что содержание нефтепродуктов (13.0 мг/кг) в обезвоженном и выдержанном субстрате намного ниже их допустимого остаточного содержания в почвах (1500–2900 мг/кг) и в 3.8 раза ниже фонового значения, что делает его пригодным к применению в качестве удобрения.

**Металлы.** Металлы относятся к числу наиболее опасных загрязняющих веществ водных экосистем. В значительной мере это связано с биологической активностью многих из них и наличием выраженных токсических свойств. Кроме того, тяжелые металлы могут накапливаться в существенных количествах в донных отложениях и почвах, являясь источником вторичного загрязнения. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в донных отложениях РФ также не разработаны.

При исследовании сапропелей Альметьевского водохранилища изучались тяжелые металлы (1-3 класса опасности): Cd, Zn, Pb, Cu, Mn, Ni, Cr, Co, Mo, Hg, Fe. Данные по содержанию тяжелых металлов в сапропеле (в расчете на сухую массу) представлены в таблице 3.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в сапропеле Альметьевского водохранилища

Станция	Содержание, мг/кг сухого вещества				
	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>
1	0.10	23.3	3.28	13.3	333
2	0.11	23.1	3.54	14.3	342
3	0.11	26.7	3.12	13.3	379
	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>Hg</i>
1	28.3	21.1	5.72	<0.01	<0.01
2	31.4	22.7	6.22	0.01	<0.01
3	30.1	21.8	6.37	0.02	<0.01

Следует отметить, что нормы содержания тяжелых металлов в сапропелях в соответствии с ГОСТ 54000-2010 не превышены, поэтому изученные донные отложения можно отнести к сапропелям 1-го класса пригодности.

Таблица 4. Радиационные показатели сапропеля Альметьевского водохранилища

Наименование показателя	Станция		
	1	2	3
Активность <sup>40</sup> K, Бк/кг	155.10±44.40	178.10±64.20	147.90±43.50
Активность <sup>232</sup> Th, Бк/кг	16.17±5.10	17.51±7.91	10.90±4.55
Активность <sup>226</sup> Ra, Бк/кг	9.15±3.42	10.43±5.42	7.85±3.29
Эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	44.13	49.22	35.33
Активность <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	0.19±1.97	2.61±3.73	1.26±2.11
Удельная эффективная активность техногенных радионуклидов, отн. ед.	<1	<1	<1

**Содержание радиоактивных элементов.** Данные по содержанию радиоактивных элементов и их удельной и эффективной активности в сапропеле представлены в таблице 4.

Эффективная удельная активность естественных радионуклидов (Аэфф) складывается из активности (А) отдельных радионуклидов и рассчитывается по формуле:  $A_{эфф} = 0.09 \cdot AK + 1.3 \cdot AT_{th} + A_{Ra}$ . В нашем случае этот показатель составляет

Таблица 5. Санитарно-гигиенические показатели сапропеля Альметьевского водохранилища

Наименование показателя	Станция		
	1	2	3
Микробиологические показатели:			
Индекс БГКП	5	2	4
Индекс энтерококков	5	4	6
Патогенные бактерии, сальмонеллы	н.в.	н.в.	н.в.
Патогенные бактерии, клостридии ( <i>Clostridium perfringens</i> )	выд.	н.в.	н.в.
Паразитологические показатели:			
Наличие жизнеспособных яиц и личинок, экз./кг	н.о.	н.о.	н.о.
Цисты кишечных патогенных простейших, экз./100 г	н.о.	н.о.	н.о.
Наличие личинок и куколок синантропных мух, экз./кг	н.о.	н.о.	н.о.

Примечание: н.в. – не выделено; н.о. – не обнаружено; выд. – выделены, несоответствие требованиям ГОСТ 54000–2010.

для станций 35.33-44.13 Бк/кг, что не превышает установленных требований по радиационной безопасности. Удельная эффективная активность техногенных радионуклидов определяется на уровне ошибки измерений и не превышает 1.

**Санитарно-гигиенические показатели.** Данные по исследованию проб сапропеля по микробиологическим и паразитологическим показателям представлены в таблице 5. Микробиологические и паразитологические показатели находятся в пределах нормы, за исключением станции 1, на которой были выделены бактерии *Clostridium perfringens*. *C. perfringens* – грамположительная, анаэробная спорообразующая палочковидная бактерия, относится к условно-патогенной микрофлоре человека (имеются в кишечнике 25–35 % здоровых людей). Возбудитель пищевых инфекций человека. Является санитарно-показательным организмом.

**Токсичность донных отложений.** Интегральной характеристикой безопасности донных отложений является оценка их токсичности. Результаты биотестирования водной вытяжки из донных отложений с использованием в качестве тест-объекта *Daphnia magna* представлены в таблице 6, результаты биотестирования при помощи тест-системы «Эколюм» – в таблице 7.

Как видно из представленных данных, исследованные донные отложения не оказывают острого токсического действия.

Таблица 6. Результаты биотестирования на *Daphnia magna*

Наименование показателя	Станция		
	1	2	3
Продолжительность наблюдения, ч	48	48	48
Процент погибших тест-организмов, %	3.0	0.0	7.0
Оценка тестируемой пробы	Не оказывает острое токсическое действие.		

### Заключение

Таким образом, в целом, агрохимические свойства сапропеля, содержание загрязняющих веществ, радионуклидов, санитарно-гигиенические и токсикологические показатели демонстрируют возможность использования донных отложений

Альметьевского водохранилища в качестве органического удобрения при соблюдении требований безопасности, в первую очередь, в отношении содержания нефтепродуктов и патогенной микрофлоры.

Сапропели первого класса пригодности в соответствии с ГОСТ 54000–2010 можно применять под все виды сельскохозяйственных культур, в садоводстве, цветоводстве, лесном хозяйстве, при рекультивации почв, отвалов, благоустройстве и озеленении городских, в том числе и рекреационных, территорий в дозах, рекомендованных с учетом вида культуры, плодородия каждого отдельного поля.

### Список литературы

- Ахметзянова Л.Г. Алгоритм определения безопасного для растений и микроорганизмов содержания нефтепродуктов в рекультивируемой почве. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Казань: КГУ, 2011. 24 с.
- Гордеева Т.Х., Малюта О.В. Экологическая оценка нетрадиционных удобрений по реакциям тест-организмов // Вестник ТГУ 2014. Т. 19, вып. 5. С. 1264-1266.
- ГОСТ 17.1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Издательство стандартов, 1980.
- ГОСТ 26713–85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. М.: Издательство стандартов, 1985а.
- ГОСТ 26715–85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М.: Издательство стандартов, 1985б.
- ГОСТ 26717–85. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора. М.: Издательство стандартов, 1985в.
- ГОСТ 26718–85. Удобрения органические. Метод определения общего калия. М.: Издательство стандартов, 1985г.
- ГОСТ 27979–88 Удобрения органические. Метод определения рН. М.: Издательство стандартов, 1988а.
- ГОСТ 27980–88 Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1988б.
- ГОСТ Р 52759–2007 Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2007.
- ГОСТ Р 53218–2008. Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов. М.: Стандартинформ, 2008.
- ГОСТ Р 53398–2009. Удобрения органические. Методы определения удельной активности техногенных радионуклидов. М.: Стандартинформ, 2009.
- ГОСТ Р 53745–2009. Удобрения органические. Методы определения удельной эффективной активности природных радионуклидов. М.: Стандартинформ, 2009.

Таблица 7. Результаты биотестирования при помощи тест-системы «Эколюм»

Наименование показателя	Контроль	Станция		
		1	2	3
Продолжительность наблюдения, ч	0.5	0.5	0.5	0.5
Интенсивность биолюминесценции, имп./с	43013±3595	44272±271	49725±324	48724±73
Индекс токсичности, %	–	-2.9%	-16.0%	-13.0%
Оценка тестируемой пробы	–	Не оказывает острое токсическое действие		

14. ГОСТ Р 54000–2010. Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия.
15. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2014 году». Казань, 2015. 531 с.
16. Добрецов В.Б., Лигоцкий Д.Н., Руссков А.А., Штин С.М. Рациональное использование недр и экология при освоении озерных сапропелей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. №11.
17. Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р., Зиганшин И.И., Осмелкин Е.В. Донные отложения Заинского водохранилища // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011. Т.153, кн.1. С. 190-202.
18. Информационный обзор рынка сапропеля РФ, 2007-2013. Череповец: МА «Навигатор», 2015. 170 с.
19. Методические указания по агрохимическому анализу сапропелей. М.: ЦИНАО, 1982.
20. МУ 1440-76. Методические указания по гельминтологическому исследованию объектов внешней среды и иным мероприятиям по охране от загрязнения яйцами гельминтов и обезвреживанию от них нечистот, почвы, овощей, ягод, предметов обихода. М.: Минздрав СССР, 1976а.
21. МУ 1446-76. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. М.: Минздрав СССР, 1976а.
22. МУ 2293-81. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. М.: Минздрав СССР, 1981.
23. МУ 852-70. Методические указания по борьбе с мухами. Приложение N 7. М.: Минздрав СССР, 1970.
24. МУК 4.2.2661-10. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы санитарно-паразитологических исследований. Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2010.
25. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1998.
26. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.25-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания ртути общей в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях атомно-абсорбционным методом. М.: ФГУ Центр экологического контроля и анализа, 2002.
27. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04, Т 16.1:2:3:3.8-04 Токсикологические методы анализа. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2004.
28. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06, Т 16.1:2:3:3.9-06 (ФР.1.31.2009.06641) Токсикологические методы анализа. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов смертности дафний (*Daphnia magna* Straus) (издание 2011 года). М.: ФБУ Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2011.
29. ТУ 0392-001-72640395–2010. Удобрение органическое сапропелевое. Сапропель натуральный.
30. Шагидуллин Р.Р., Латыпова В.З., Иванов Д.В. Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах // Георесурсы. 2011. №5. С. 2-5.
31. Ibatullin R.R., Mutin I.I., Shaidullina I.A., Iskhakova N.M., Sakabutdinov K.G., Palyuk N.V., Latypova V.Z. Development of Standards of Allowable Concentration of Oil in leached Chernozem in Republic of Tatarstan // Environ. Radioecol. Appl. Ecol. 2006. V.12, N1. P. 32-38.

---

*D.S. Chukurov, Y.V. Medvedeva, O.V. Nikitin.*

#### **Investigation of applicability of Almet'yevsk water reservoir bottom sediments for use as an organic fertilizer.**

The article presents data on the quality of Almet'yevsk water reservoir bottom sediments (size distribution, agrochemical properties, content of pollutants (oil, heavy metals), radionuclides, microbiological and parasitological indicators, and toxicological properties) and provides an assessment of their applicability for use as an organic fertilizer.

*Keywords:* bottom sediments; organic fertilizer; sapropel; Almet'yevsk water reservoir.