

УДК 556.115:556.555.6:[574+579]

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ПАРАТУНСКОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ИЛОВОЙ СУЛЬФИДНОЙ ЛЕЧЕБНОЙ ГРЯЗИ

Мурадов С.В.

*Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: biolab@kscnet.ru*

В Камчатском крае сосредоточены значительные ресурсы термоминеральных вод современной России. Представляет большой интерес их экологическая характеристика. Излияния, сброс термоминеральных вод в водоемы создают хронический фон воздействия на прилегающие экосистемы. Термоминеральная вода может принести минеральное питание и повышать среднегодовую температуру донных грязе-иловых отложений. Микроэлементные компоненты термоминеральных вод дополняют функционально-экологические свойства пелоидов лечебного назначения. В структуре лечебной грязи щелочные, щелочноземельные металлы, накапливаясь, превышают микроэлементный уровень и приобретают токсическое действие на микробное сообщество донных грязе-иловых образований, не только ингибируя процессы их формирования, но и самоочистительные свойства пелоида, его биологическую и геохимическую активность. Токсические факторы термоминеральной воды потенциально снижают геохимическую активность сообщества микроорганизмов лечебной грязи. В работе использованы материалы по уровню присутствия термоминеральных вод в составе питающих вод грязелечебного месторождения озера Утиное Камчатского края. Анализ данных результатов гидрохимических исследований проб воды из финишного очистительного пруда показывает, что воды стоков в озеро имеют термальное и сточное происхождение по соотношению исследованных элементов. Большой минерализацией и высоким валовым содержанием ионов кальция и азотсодержащих веществ характеризуется сточная вода. Данные стоки оказывают экологическое влияние на состояние покровных вод озера и загрязняют их. Полученные результаты устанавливают накопление тяжелых металлов, входящих в состав термоминеральных вод в структуре пелоида, но не превышающих предельно допустимых концентраций и поэтому допускаемых к использованию для лечебных процедур при условии санитарно-бактериологического благополучия.

**Ключевые слова:** термальная вода, пелоид, микрофлора, численность, тяжелые металлы, геохимическая деятельность

## INFLUENCE OF THERMOMINERAL WATERS OF THE PARATUN HYDROTHERMAL DEPOSIT ON THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE OOZE PELOID

Muradov S.V.

*Scientific Research Geotechnological Centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: biolab@kscnet.ru*

In the Kamchatka Territory, significant resources of thermomineral waters of modern Russia are concentrated. Their ecological character is of great interest. Outpourings, discharge of thermomineral waters into water bodies create a chronic background of impact on adjacent ecosystems. Thermomineral water can bring mineral nutrition and raise the average annual temperature of bottom mud-silt sediments. Microelemental components of thermomineral water supplement the functional and ecological properties of peloids for medical purposes. In the structure of therapeutic mud, alkaline and alkaline-earth metals accumulate above the microelement level and acquire a toxic effect on the microbial community of bottom mud-silt formations, not only inhibiting their formation processes, but also the self-cleaning properties of the peloid, its biological and geochemical activity. Toxic factors of thermomineral water potentially reduce the geochemical activity of the community of microorganisms of therapeutic mud. The work uses materials on the level of the presence of thermomineral waters in the composition of the feeding waters of the mud deposit of Lake Utynoye on the Kamchatka. An analysis of the results of hydrochemical studies of water samples from the final cleaning pond shows that the sewage waters in the lake have a thermal and a waste origin in the ratio of the elements studied. Greater mineralization and high gross content of calcium ions and nitrogen-containing substances is characterized by wastewater. These drains have an environmental impact on the state of the lake's cover waters and pollute them. The obtained results establish the accumulation of heavy metals, which are part of thermomineral waters in the peloid structure, but do not exceed the maximum permissible concentrations, and therefore are allowed to be used for medical procedures, provided that the bacteriological well-being is sanitary.

**Keywords:** thermal water, peloid, microflora, abundance, heavy metals, geochemical activity

Камчатский край – удивительный регион Российской Федерации, в котором сосредоточено значительное количество бальнеологических ресурсов. По совокупности использования и уникальных гидроминеральных ресурсов Паратунская

курортная зона Камчатского края может стать здравницей как российского, так и мирового масштаба [1]. Представляют значительный интерес экологические проблемы месторождений термоминеральных вод и лечебных грязей, а также взаи-

действие этих ресурсов, нарастающее в последние годы в связи с увеличением сброса термоминеральных вод в питающие воды грязелечебного месторождения. Загрязнение почвы, воды и донных отложений токсическими металлами, входящими в состав термоминеральных вод, может наблюдаться и в заповедных территориях, оберегаемых от антропогенного воздействия. Таким образом, проблемы загрязнения природных субстратов химическими компонентами термоминеральных вод могут наблюдаться и при условии высокого уровня природоохранных мероприятий, не учитывающих токсических факторов природных термоминеральных вод, изливающихся из поврежденных скважин и естественных источников.

Целью исследования является оценка экологических последствий сброса отработанных в теплообменниках термоминеральных вод Паратунского гидротермального месторождения в питающие ручьи месторождения «озеро Утиное» Камчатского края (одноименной по типу иловой сульфидной лечебной грязи [2]). Задачей работы является оценка степени антропогенно-техногенной загрязненности месторождения лечебной грязи токсическими факторами термоминеральных вод, определение структурной локализа-

ции и концентраций химических факторов, обладающих токсическим действием, изучение современных тенденций загрязнения лечебной грязи токсическими металлами.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в четырех пробах лечебной грязи, отобранных в точках № 3, 4, 5, 6 озера Утиное (характеристика точек отбора приводится в табл. 1). Перед исследованием лечебная грязь месторождения была отцентрифугирована, токсичные элементы определялись в осадке и центрифугате. Щелочные, щелочноземельные металлы, а также микроэлементы определяли при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра AAS-6300 Shimadzu с пламенной и электротермической атомизацией, использовали известные подходы и приемы [3]. Для определения величины ПДК токсичных металлов в лечебной грязи использовались данные для почв Камчатского края [4]. Результаты отобраны в табл. 2 и 3.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Концентрации металлов, приведенные в табл. 2 и 3, характеризуются следующими рядами по убывающей концентрации:

а) в центрифугате:

- точка № 1: марганец > цинк > медь > никель > кобальт;
- точка № 2: цинк = марганец > медь > никель > кобальт;
- точка № 3: марганец > цинк > медь > никель > кобальт;
- точка № 4: марганец > цинк > медь > никель > кобальт;

б) в твердой фазе:

- точка № 1: железо > марганец > цинк > никель > медь;
- точка № 2: железо > медь > марганец > цинк > никель;
- точка № 3: железо > медь > марганец > цинк > никель;
- точка № 4: железо > марганец > цинк > медь > никель.

**Таблица 1**

Характеристика проб для определения токсических металлов и место их отбора

№ точки отбора	Характеристика пробы и место отбора
1	Сточная вода и пелоид, 10 м удаления от плотины стоков
2	Сточная вода и пелоид, 20 м удаления от плотины стоков
3	Сточная вода и пелоид, 30 м удаления от плотины стоков
4	Сточная вода и пелоид, 40 м от плотины стоков
5	Вода с поверхности, питающего ручья Паратунский
6	Вода с поверхности, 10 м от места впадения руч. Коркина

**Таблица 2**

Валовое содержание микроэлементов в 4-х пробах лечебной грязи, отобранных в центрифугате, в мг/л

№ точки отбора	Элементы				
	Медь	Никель	Цинк	Марганец	Кобальт
1	0,028 ± 0,006	0,004 ± 0,001	0,043 ± 0,009	0,084 ± 0,013	<0,005
2	0,002 ± 0,0004	<0,001	0,087 ± 0,017	0,087 ± 0,013	<0,005
3	0,020 ± 0,004	0,007 ± 0,001	0,081 ± 0,016	0,089 ± 0,013	<0,005
4	0,006 ± 0,001	<0,001	0,052 ± 0,010	0,088 ± 0,013	<0,005
ПДК [5]	1,000	0,02	1,000	0,100	0,100

**Таблица 3**

Валовое содержание микроэлементов в 4-х пробах в твердой фазе (в осадке) лечебной грязи

№ точки отбора	Элементы				
	Медь, мг/кг	Никель, мг/кг	Цинк, мг/кг	Марганец, мг/кг	Кобальт, мг/л
1	0,15 ± 0,04	3,9 ± 1,2	11,0 ± 2,2	34,5 ± 6,9	<0,005
2	74,2 ± 22,3	3,7 ± 1,1	11,7 ± 2,3	38,1 ± 7,6	<0,005
3	0,96 ± 0,29	4,0 ± 1,2	12,5 ± 2,5	32,2 ± 6,4	<0,005
4	12,0 ± 3,6	3,8 ± 1,1	18,4 ± 3,7	60,0 ± 12,0	<0,005
ПДК для почв [4]	66,0	40,0	110,0	1500,0	–

Исследование концентрации токсических металлов в структуре пелоида показало их значительное накопление в твердой фазе лечебной грязи по всем исследованным элементам. Наибольшее количество токсического металла приходится на медь, цинк, марганец (табл. 2, 3). Относительно высокое содержание токсических металлов в твердой фазе указывает на процессы их длительного накопления из покровной воды грязеобразующего водоема.

Полученные результаты устанавливают, что исследованная лечебная грязь не содержит вредных веществ и тяжелых металлов в количествах, превышающих ПДК [4], и поэтому может использоваться для лечебных процедур при условии санитарно-бактериологического благополучия [6; 7]. Исследования биохимических свойств лечебной грязи озера Утиное характеризуются высоким содержанием гуминовых и фульвокислот, липидов, каротиноидов, что создает возможность получения лечебно-профилактических препаратов, содержащих микроэлементные компоненты [8].

Исследованиями, проведенными за время эксплуатации месторождения лечебной грязи, установлено, что озеро Утиное Камчатского края является месторождением высококачественной иловой сульфидной лечебной грязи по физическим, физико-

химическим и биохимическим свойствам, составляющим функционально-экологическое качество пелоида [6].

Нарастающая доля участия термоминеральных вод Паратунского гидротермального месторождения в питающих водах озера Утиное создает особые условия формирования лечебной грязи, включающих микроэлементы в структуру пелоида, дополняющих бальнеологические свойства пелоида, но создающих фактор токсического действия на автохтонную микрофлору, определяющую процессы формирования и очистительные свойства грязе-иловых отложений месторождения озера Утиное [3].

Содержание токсичных металлов во всех пробах лечебной грязи не превышает ПДК (табл. 2), за исключением меди в твердой фазе пелоида (табл. 3). В точках отбора проб № 4, 5 и 6, удаленных на 10, 20, 30 м от точки № 3, наблюдается большая концентрация цинка с минимальным содержанием кобальта. В центрифугате проб пелоида на первом месте обозначается содержание цинка и марганца, на последнем – присутствие кобальта. Установлена обратная зависимость содержания токсических факторов в структуре пелоида в зависимости от удаленности от мест поступления питающих вод и сброса отработанных термоминеральных вод.

Анализ данных результатов гидрохимических исследований проб воды из финишного очистительного пруда (табл. 1) показывает, что воды стоков санатория имеют термальное и сточное происхождение по соотношению исследованных элементов. Большой минерализацией и высоким валовым содержанием ионов кальция и азотсодержащих веществ характеризуется сточная вода [6; 9].

Можно сделать вывод о том, что данные стоки оказывают экологическое влияние на состояние покровных вод озера и загрязняют их.

Результаты исследования проб воды в соответствующих точках озера (табл. 1) отображены в табл. 4.

Концентрации металлов в пробах покровной воды характеризуются следующими рядами по убывающей концентрации:

- точка № 1: кобальт > марганец > никель > медь > цинк;
- точка № 2: цинк > марганец > медь > никель > кобальт;
- точка № 3: цинк > марганец > кобальт > медь > никель;
- точка № 4: цинк = марганец > никель > медь > кобальт;
- точка № 5: цинк > кобальт = марганец > медь = никель;
- точка № 6: цинк > медь > марганец > кобальт > никель.

Таблица 4

Содержание токсичных элементов в пробах покровной воды озера Утиноое, в мг/л

№ точки отбора	Медь	Никель	Цинк	Марганец	Кобальт
1	0,007 ± 0,001	0,008 ± 0,002	0,005 ± 0,001	0,009 ± 0,001	0,020 ± 0,006
2	0,009 ± 0,002	0,007 ± 0,001	0,024 ± 0,005	0,014 ± 0,002	<0,005
3	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,050 ± 0,010	0,025 ± 0,004	0,013 ± 0,004
4	0,002 ± 0,0005	0,003 ± 0,001	0,036 ± 0,007	0,036 ± 0,005	<0,005
5	0,002 ± 0,0004	<0,002	0,048 ± 0,010	<0,005	<0,005
6	0,020 ± 0,005	<0,002	0,084 ± 0,016	0,010 ± 0,002	<0,005
ПДК [5]	1,000	0,100	1,000	0,100	0,100

Таблица 5

Содержание микроэлементов в ВЭЛГ и термальной воде Паратунских источников, мкг/л

Микроэлементы	ВЭЛГ	Термальная вода	ВЭЛГ на термальной воде
Литий	25,01	140,04	66
Бор	680,33	770,12	440
Алюминий	510,03	100,03	1000
Скандий	3,11	4,14	3,0
Марганец	890,31	17,03	1300
Кобальт	60,02	41,21	38
Цинк	30,04	280,02	45
Мышьяк	13,13	69,01	64
Бром	240,43	800,32	480
Рубидий	11,21	30,12	15
Молибден	15,32	18,01	15
Серебро	0,49	0,99	1,2
Сурьма	2,31	0,76	0,76
Йод	3,30	37,00	27
Висмут	0,20	0,20	0,2
Вольфрам	2,00	18,00	2,0

Примечание. Погрешность определений соответствует нормам погрешности по ГОСТ 27384–2002.

Таким образом, за исключением ионов меди, содержание токсичных металлов в лечебной грязи озера Утиное не превышает допустимых уровней, несколько завышенных по содержанию в отдельных пробах (табл. 4). Экологическое благополучие по этим параметрам дополняет и подтверждает ранее полученные результаты. При отсутствии токсической угрозы и позитивном дополнении бальнеологических свойств микроэлементами для проведения лечебных процедур, все же возникает токсическое воздействие на более чувствительные микроорганизмы лечебной грязи, участвующие в формировании пелоида, очистительных процессов и его биологической активности.

Данные о содержании токсических элементов в термоминеральной воде и экстрактах, полученных на ее основе – водном экстракте лечебной грязи (ВЭЛГ) (табл. 5), показывают, что возможно дальнейшее накопление токсических факторов в структуре пелоида при длительном сбросе термоминеральных вод в питающие и далее в покровные воды месторождения лечебной грязи озера Утиное. Особые угрозы представляет возможность значительного накопления брома, мышьяка, дальнейшее увеличение содержания цинка, бора, лития, и таким образом идет нарастание содержания токсических факторов, нарушающих функционально-экологическое состояние лечебной грязи.

При достижении доли термальной воды 40% в питающих водах озера Утиное, наблюдаемой гидрологами в последние годы, концентрации лития, цинка, мышьяка и других элементов создают антибактериальный фон, тормозящий развитие автохтонной микрофлоры, но не превышают предельно допустимые концентрации содержания токсичных металлов в пелоиде [10].

### Закключение

Совокупность полученных результатов устанавливает, что исследованная лечебная грязь не содержит вредных веществ и тяжелых металлов в количествах, превышающих ПДК, и поэтому может использоваться для лечебных процедур при условии санитарно-бактериологического благополучия. На основании исследований, проведенных за время эксплуатации месторождения, установлено, что озеро Утиное Камчатского края является месторождением высококачественной иловой сульфидной лечебной грязи по физическим, физико-химическим

и биохимическим свойствам, определяющим биологическую активность пелоида и перспективность его лечебного применения. Нарастающее содержание термоминеральных вод Паратунского геотермального месторождения в питающих водах озера Утиное создает не только исключительные условия формирования лечебной грязи по содержанию микроэлементов, дополняющих бальнеологические свойства пелоида, но и фактор токсического действия на автохтонную микрофлору, определяющую процессы формирования и очистительные свойства грязе-иловых отложений месторождения озера Утиное.

### Список литературы

1. Рекреационные ресурсы Паратунской курортной зоны Камчатского края // Л.В. Веремчук [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2012. – № 5. – С. 64–67.
2. Разумов А.Н. Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации. Методические указания / А.Н. Разумов. – М.: РНЦ восстановительной медицины и курортологии, 2000. – 150 с.
3. Мурадов С.В. Восстановление физико-химических микробиологических кондиций лечебной грязи озера Утиное / С.В. Мурадов, А.И. Хоменко. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2014. – 148 с.
4. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 «О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2006. – № 10.
5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 № 78 «О введении в действие Гигиенических нормативов 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» // Российская газета. – 2003. – № 119/1.
6. Мурадов С.В. Мониторинг санитарно-микробиологического состояния лечебной грязи озера Утиного (Камчатский край) за 50 лет эксплуатации месторождения // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–4. – С. 913–917.
7. Мурадов С.В. Микробиологические свойства и биомедицинское тестирование пелоидных препаратов из активированной лечебной грязи // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 38–41.
8. Оценка эффективности фитопелоидной композиции при лечении хронических сальпингоофоритов / М.А. Филимонова [и др.] // Астраханский медицинский журнал. – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 89–97.
9. Лукьянова О.Н. Экологические проблемы и биоресурсы российского побережья Японского моря / О.Н. Лукьянова, Н.К. Христофорова // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2013. – № 1 (127). – С. 106–110.
10. Чебыкин И.Н. Геологическое доизучение месторождения лечебной грязи «Озеро Утиное»: отчет о НИР / И.Н. Чебыкин. – Петропавловск-Камчатский: ОАО «Камчатгеология», 2012. – 121 с.

### References

1. Rekreatsionny'e resursy' Paratunskoj kurortnoj zony' Kamchatskogo kraja // L.V. Veremchuk [i dr.] // Voprosy' kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoj kul'tury'. – 2012. – № 5. – P. 64–67.



2. Razumov A.N. Klassifikaciya mineral'ny'x vod i lechebny'x gryazej dlya celej ix sertifikacii. Metodicheskie ukazaniya / A.N. Razumov. – M.: RNCz vosstanovitel'noj mediciny' i kurortologii, 2000. – 150 p.
3. Muradov S.V. Vosstanovlenie fiziko-ximicheskix mikrobiologicheskix kondicij lechebnoj gryazi ozera Utinoe / S.V. Muradov, A.I. Xomenko. – Petropavlovsk-Kamchatskij: KamGU im. Vitusa Beringa, 2014. – 148 p.
4. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 23.01.2006 № 1 «O vvedenii v dejstvie gigienicheskix normativov GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimy'e koncentracii (PDK) ximicheskix veshhestv v pochve» // Byulleten' normativny'x aktov federal'ny'x organov ispolnitel'noj vlasti, 2006. – № 10.
5. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 30.04.2003 № 78 «O vvedenii v dejstvie Gigienicheskix normativov 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimy'e koncentracii (PDK) ximicheskix veshhestv v vode vodny'x ob'ektov xozyajstvenno-pit'evogo i kul'turno-by'tovogo vodopol'zovaniya» // Rossijskaya gazeta. – 2003. – № 119/1.
6. Muradov S.V. Monitoring sanitarno-mikrobiologicheskogo sostoyaniya lechebnoj gryazi ozera Utinogo (Kamchatskij kraj) za 50 let e'kspluatacii mestorozhdeniya // Fundamental'ny'e issledovaniya. – 2013. – № 6–4. – P. 913–917.
7. Muradov S.V. Mikrobiologicheskie svojstva i biomedicinskoe testirovanie peloidny'x preparatov iz aktivirovannoj lechebnoj gryazi // Vestnik novy'x medicinskix texnologij. – 2013. – T. 20, № 4. – P. 38–41.
8. Ocenka e'ffektivnosti fitopeloidnoj kompozicii pri lechenii xronicheskix sal'pingooforitov / M.A. Filimonova [i dr.] // Astraxanskij medicinskij zhurnal. – 2017. – T. 12, № 2. – P. 89–97.
9. Luk'yanova O.N. E'kologicheskie problemy' i bioresursy' rossijskogo pribrezh'ya Yaponskogo morya / O.N. Luk'yanova, N.K. Xristoforova // Ispol'zovanie i ohrana prirodny'x resursov v Rossii. – 2013. – № 1 (127). – P. 106–110.
10. Cheby'kin I.N. Geologicheskoe doizuchenie mestorozhdeniya lechebnoj gryazi «Ozero Utinoe»: otchet o NIR / I.N. Cheby'kin. – Petropavlovsk-Kamchatskij: OAO «Kamchatgeologiya», 2012. – 121 p.