

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР О. САМОЙЛОВСКИЙ В ДЕЛЬТЕ Р. ЛЕНЫ

ведущий инженер А.А. ЧЕТВЕРОВА¹, канд. геогр. наук И.В. ФЕДОРОВА¹,
канд. хим. наук Т.М. ПОТАПОВА², д-р Ю. БОЙКЕ³

¹– ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: AChetverova@otto.nw.ru, ifedorova@otto.nw.ru.

²– Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Санкт-Петербург, e-mail: ptm2000@mail.ru.

³– Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера (AWI), г. Потсдам, Германия, e-mail: Julia.Boike@awi.de.

В связи с климатическими флуктуациями меняются многие свойства водных объектов Арктики. Более крупные из них имеют довольно длительный период адаптации, и изменения в их режиме заметны лишь через какое-то время. На небольших объектах, таких как полигональные и термокарстовые озера, небольшие водотоки, отклик на климатические и антропогенные воздействия более заметен. Озера острова Самойловский, расположенного в дельте р. Лены, являются наиболее типичными объектами для данного региона. Мониторинговые наблюдения, проводимые в рамках российско-германской программы «Система моря Лаптевых», позволяют получать новые сведения об изменении окружающей среды региона исследований.

В данной работе представлены результаты гидрологических и геохимических исследований, выполненных в летние сезоны 2008–2010 гг. на озерах о. Самойловский. На основе анализа морфометрических характеристик, гидрохимических особенностей и геохимических параметров донных отложений водоемов выделены несколько типов озер, характерных для острова и для дельты реки в целом. Оценка источников водного и минерального питания позволила предварительно оценить самоочищающую способность водоемов острова Самойловский.

Ключевые слова: Российская Арктика, дельта р. Лены, озера, озерные донные осадки, гидрология, гидрохимия, геохимия, самоочищение.

ВВЕДЕНИЕ

При выходе в устьевую область река Лена делится на многочисленные водотоки, образуя самую обширную дельту в Российской Арктике. Общая площадь дельтового участка реки Лены, по разным оценкам, составляет от 25 до 32 тыс. км² [Алекин, 1970]. В общей сложности дельта р. Лены включает в себя более чем 800 проток. Самая крупная протока – Трофимовская, вторая по величине и водности – Быковская, затем идут Оленёкская и Туматская протоки [Федорова, Большианов, Макаров и др., 2009].

Территория дельты р. Лены находится в зоне многолетней мерзлоты мощностью примерно 500–600 м [Romanovskii, Hubberten, 2001]. В толще многолетнемерзлых пород встречаются жилы, линзы и прослойки подземного льда, так называемого «ледового комплекса», мощностью до 5 м и более. Под реками и протоками имеются талики. Широко развиты термокарстовые процессы.

Образование и развитие Ленской дельты связано с выносом огромного количества наносов и отложением их в краевой части дельты и мелководной зоне моря [Макаров, 2009]. В геоморфологическом строении дельты р. Лены выделяются три речные террасы [Григорьев, 1993]. Первая терраса, на которой расположен о. Самойловский, максимально распространена в дельте и имеет высоту от 14 м в ее вершине до 1–2 м на ее морском крае. Первая терраса сформирована голоценовыми отложениями аллювиального [Schirrmeister, Siegert, Kuznetsova et al., 2002] или эстуарного происхождения [Коротаев, 1984]. А.С.Макаров считает, что голоценовая часть первой террасы представлена отдельными конусами выноса, локальными дельтами разного возраста; формация островов Оленекской и Арынской протоков дельты р. Лены, к которой и относится рассматриваемый в работе о. Самойловский, была образована около семи тысяч лет назад и имеет высоту 10–13 м [Макаров, 2009].

К настоящему моменту в дельте р. Лены насчитывается около полутора тысяч островов [Are, Reimnitz, 2000] и около шестидесяти тысяч озер различных форм и размеров, в большинстве своем термокарстовых и полигональных. Площадь озер, как правило, не превышает 1 км², и только порядка 100 озер достигают по размерам 10 км². Примерно 73 % озер находится в западной части дельты. Озера дельты р. Лены часто соединены друг с другом небольшими узкими речками («аянами»). На островах довольно широко распространены крупные по площади водной поверхности, но мелководные старичные озера. Берега их чаще низкие и заболоченные. Однако встречаются старичные озера с высокими крутыми берегами. Дно большинства озер представляет собой гладкую ледяную поверхность, прикрытую торфянистым илом. На их дне часто видны ледяные трещины, что говорит об интенсивных термокарстовых процессах и развитии озерных котловин. Температура воды в озерах низкая; вода пресная, иногда с запахом гниения от разлагающихся растительных остатков. Несмотря на низкие температуры и суровый климат в дельте р. Лены, многие мелкие озера довольно быстро зарастают.

Озера бассейна р. Лены, как и других районов криолитозоны, изучены недостаточно.

Одним из основных направлений исследований является изучение природы образования и развития гидрографической сети дельты. Для понимания процессов, происходящих в островных озерах дельты, связанных с изменением увлажненности территории, влиянием термокарста, трансформацией геохимического стока, был проведен ряд исследований на острове Самойловский. Работы выполнялись в рамках программы «Система моря Лаптевых», проекта «Научная станция о. Самойловский» и гранта Германского научно-исследовательского общества (DFG) в летние сезоны 2008–2010 гг. и при поддержке гранта российско-германской лаборатории полярных и морских исследований им. Отто Шмидта (ОШЛ, ААНИИ).

Исследование гидрохимического режима водных объектов острова проводились ранее в качестве дополнительных наблюдений при изучении гидробиологических характеристик водоемов [Wetterich, Schirrmeister, Meyer et al., 2007]. Были получены содержания биогенных элементов, главных ионов и микроэлементов в водах мелких полигональных водоемов острова.

Целью же этих исследований было определение гидрологических и геохимических особенностей современного состояния крупных озер о. Самойловский (рис. 1), расположенного недалеко от о. Столб – места разветвления основных протоков дельты (72° 22' с.ш., 126° 28' в.д.). Для этого изучались источники водного и минерального питания озер, сезонное изменение содержания растворенных веществ в их водах,

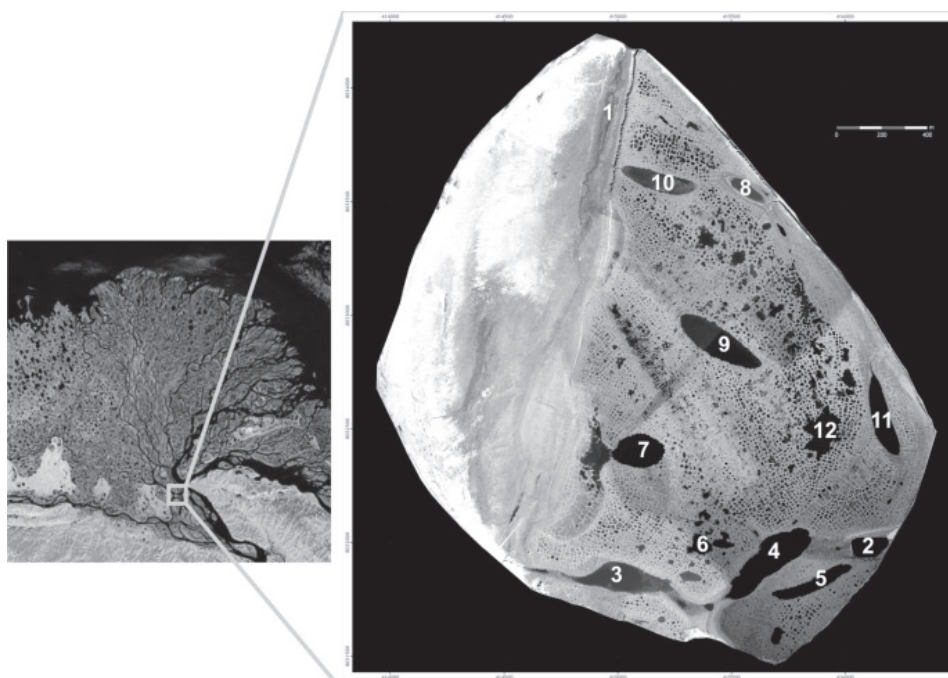


Рис. 1. Аэрофотоснимок о. Самойловский [Bojke, Muster, Grusser, 2007]. Цифрами обозначены номера озер, приведенные в табл. 1.

геохимические характеристики верхнего слоя донных отложений озер первой террасы, наиболее подверженных влиянию со стороны речных вод. Была также дана предварительная оценка степени самоочищения водоемов.

Немаловажным при изучении озер о. Самойловский является тот факт, что некоторые озера испытывают антропогенную нагрузку в связи с деятельностью научной станции. Вода озер используется для водопотребления и хозяйственных нужд. В связи с этим встает вопрос об оценке современного состояния водоемов и их способности к самоочищению.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Измерения морфометрических характеристик озер о. Самойловский были выполнены летом 2009 г. для шести озер острова (№ 3, 4, 6, 7, 9, 12), летом 2010 г. – для всех рассматриваемых озер. Для измерения глубин озер и определения контуров их поверхности использовались GPS-навигаторы Garmin GPSMAP 178C и GPS 60, а затем были составлены батиметрические схемы озер с использованием программного обеспечения Golden Software Surfer 8 и MapInfo Professional 7.5 SCP.

В полевых условиях с помощью портативных датчиков (кондуктометр, pH-метр и термооксиметр фирмы Hanna) были получены значения следующих гидрохимических характеристик озер острова: водородного показателя pH, температуры воды, °C, содержания растворенного кислорода O_2 , мг/л, % насыщения, электропроводности в мг/л. Для определения других гидрохимических характеристик воды производился отбор проб для дальнейших лабораторных анализов. Пробы воды на содержание биогенных элементов отбирались в пластиковые банки по 40 мл, замораживались и транспортировались в замороженном виде в лабораторию. Отобранные пробы на

содержание главных ионов и микроэлементов фильтровались в пластиковые емкости по 25 мл, отдельно для анионов и для катионов, через целлюлозно-ацетатные шприцевые фильтры диаметром 2 см и диаметром пор 0,45 мкм. При этом пробы на катионы консервировались 60-процентной азотной кислотой HNO_3 . Колонки донных отложений были взяты из озер № 2, 4, 7 в 2008 и 2009 гг. Длина колонок составила 17, 21 и 25 см соответственно. Колонки разделялись на слои по их литологическому составу и транспортировались в замороженном виде в лабораторию.

Обработка проб воды и донных отложений в камеральных условиях выполнялась в российско-германской лаборатории полярных и морских исследований им. Отто Шмидта (ОШЛ) ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт и в аналитической лаборатории Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (AWI, г. Потсдам, Германия).

Концентрации главных ионов в пробах воды определены методом ионохроматографии на приборе 761 Compact IC Metrohm, концентрации биогенных элементов измерялись на автоматическом анализаторе (SAN++, Skalar). Для гранулометрического анализа колонок донных отложений использован анализатор размера частиц (SediGraph 5100, Micromeritics), содержание общего и органического углерода (ТС, ТОС), а также общего азота и серы (ТН, ТS) определялось при помощи анализатора Vario EL III, Elementar. Геохимический анализ донных отложений озер выполнялся на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (CIROS VISION ICP-OES, Spectro) и позволил определить содержание основных петрогенных элементов, некоторых микроэлементов и тяжелых металлов.

В работе сделана попытка выполнить предварительную оценку самоочищающей способности водных экосистем дельты р. Лены на примере озер о. Самойловский. Под самоочищением озер будем понимать способность водной экосистемы трансформировать поступающие загрязняющие вещества таким образом, чтобы сохранить биотический баланс в системе. Нами рассматривался вариант самоочищения системы для геохимических процессов между водной средой и донными отложениями. Для его оценки использовался коэффициент ЕКО – емкость катионного обмена, который определялся по методу Каппена [Методы определения гранулометрического..., 2006]. Чем больше значение ЕКО, тем больше самоочищающая способность донных осадков и тем в большей степени озеро способно к самоочищению от растворенных в воде примесей.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОБ

Результаты гидрохимических исследований озер о. Самойловский

По результатам полевых измерений в июле–августе 2009–2010 гг. и лабораторных анализов, которые приведены в табл. 1, была составлена гидрохимическая характеристика водных объектов о. Самойловский и вод Оленекской протоки реки Лены в летний период.

Газовый режим водоемов характеризуется достаточно высоким содержанием растворенного в воде кислорода по всей водной толще (от 40 до 230 % насыщения). В ветреную погоду, которая бывает довольно часто, происходит обогащение воды кислородом за счет интенсивного газообмена с приземным слоем воздуха и перемешиванием слоев воды, и тогда содержание растворенного кислорода резко возрастает.

Температурный режим озер острова во многом определяется температурой воздуха и зависит от морфометрических параметров озер: более мелководные полигональные водоемы прогреваются лучше, нежели более крупные и глубокие озера. Летом 2009 г. температура воды варьировала от 5 до 10,7 °С.

Таблица 1

Значения основных гидрохимических характеристик озер о. Самойловский и Оленеской протоки дельты р. Лены

Водный объект (№ озера)	Температура, °С	pH	Цветность, град.	Ca ²⁺ *	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ⁻² ₄	HCO ⁻¹ ₃	Сумма ионов	Тип вод
1	11,6	–		<u>12,3–24,4</u> 18,3	<u>0,4–0,6</u> 0,5	<u>3,3–16,2</u> 9,8	<u>1,6–4,0</u> 2,8	<u>0,9–4,8</u> 2,9	<u>1,1–5,4</u> 3,3	<u>51–82</u> 67	<u>82–127</u> 104	C _I ^{Ca}
2	6,4–10	7,7	5–10	<u>10,5–12,2</u> 11,6	<u>0,6–0,7</u> 0,6	<u>3,6–4,2</u> 3,9	<u>3,2–5,9</u> 5,0	<u>3,8–8,7</u> 6,8	<u>2,2–5,7</u> 4,9	<u>24–49</u> 33	<u>61–74</u> 66	C _{II} ^{Ca}
3	9,1–9,3	7,5	0	<u>8,3–11,1</u> 9,7	– 0,6	<u>3,1–3,7</u> 3,4	<u>2,6–3,7</u> 3,1	<u>3,5–5,3</u> 4,4	<u>1,3–2,2</u> 1,8	<u>26–42</u> 34	<u>53–61</u> 57	C _I ^{Ca}
4	7,7–9,7	7,6	0	<u>7,7–12,2</u> 9,4	<u>0,5–0,8</u> 0,7	<u>3,1–3,7</u> 3,5	<u>4–4,6</u> 4,4	<u>5,4–8,8</u> 6,8	<u>3,4–5</u> 4,1	<u>19–42</u> 25	<u>46–68</u> 54	C _I ^{Ca}
5	7,5–9,6	7,6	0	<u>8,6–12,9</u> 11,4	<u>0,5–0,8</u> 0,7	<u>4,3–6,8</u> 5,3	<u>1,8–2,2</u> 2,0	<u>1,3–3,0</u> 2,2	– 1,2	– 35	– 61	C _I ^{Ca}
6	7,6–9,4	7,7	0	<u>6,9–12,3</u> 9,6	<u>0,7–0,9</u> 0,8	<u>4,4–6,3</u> 5,3	<u>1,0–1,4</u> 1,2	<u>2,5–2,6</u> 2,5	– 0,2	– 43	– 59	C _I ^{Mg}
7	7,2–1,3	7,6	0	<u>7–9,8</u> 8,1	<u>0,7–0,8</u> 0,7	<u>3,7–4,5</u> 4,2	<u>2,4–2,7</u> 2,5	<u>3,1–3,7</u> 3,4	<u>1,1–2</u> 1,7	<u>21–43</u> 29	<u>41–62</u> 49	C _I ^{Ca}
8	7,5–10	7,6	0–10	<u>5,3–9,9</u> 7,4	<u>0,3–0,7</u> 0,6	<u>2,0–5,0</u> 4,0	<u>0,4–0,9</u> 0,8	<u>0,8–1,8</u> 1,4	<u>0,3–1,3</u> 1,0	<u>11–49</u> 27	<u>22–65</u> 42	C _I ^{Ca}
9	6,7–10,6	7,6	0	<u>4,2–6,3</u> 5,6	<u>0,1–0,7</u> 0,4	<u>0,6–3,5</u> 2,5	<u>0,2–0,7</u> 0,5	<u>0,7–1,6</u> 1,0	– 1,1	<u>6–18</u> 12	<u>13–31</u> 22	C _I ^{Ca}
10	5–10,4	7,6	0	<u>5,8–7,6</u> 6,7	<u>0,5–0,6</u> 0,6	<u>3,2–3,3</u> 3,3	<u>1,1–1,3</u> 1,2	<u>1,7–2,0</u> 1,8	<u>0,6–1,4</u> 1,1	<u>17–38</u> 24	<u>31–52</u> 39	C _I ^{Ca}
11	7,1–10,1	7,5	0	<u>3,9–5,6</u> 4,8	<u>0,5–0,6</u> 0,5	<u>2,1–2,8</u> 2,5	<u>0,8–1,0</u> 0,9	<u>1,3–1,6</u> 1,5	<u>0,4–1,3</u> 1,1	<u>12–23</u> 16	<u>24–33</u> 27	C _I ^{Ca}
12	7,5–9,3	7,7	0	<u>5,6–6,9</u> 6,1	<u>0,7–0,8</u> 0,7	<u>3,7–4,3</u> 3,9	<u>0,8–0,9</u> 0,9	<u>1–1,6</u> 1,4	<u>1,1–10,6</u> 5,9	<u>8,0–20</u> 14	<u>32–34</u> 33	C _I ^{Mg}
р. Лена	14,5	7,6	0–5	12,3	0,6	3,3	4,0	4,8	5,4	51,1	81,5	C _{II} ^{Ca}

Примечание: * – в числителе указан диапазон концентраций элементов, мг/л, в знаменателе – их средняя концентрация, мг/л.

По минеральному составу, значениям концентраций растворенных главных ионов воды озер и Оленекской протоки дельты р. Лены достаточно схожи и характеризуются малой минерализацией, значения которой не превышают 200 мг/л. Диапазоны изменения главных ионов в течение летнего периода незначительны. Воды бесцветны, или их цветность не превышает 10 градусов цветности (озера № 2 и 8), значения водородного показателя pH 6,7–7,7 характерны для нейтральных и слабощелочных вод (табл. 1). Различия же между водными объектами прослеживаются в соотношении между ионами, т.е. в типе вод. Так, для большинства рассматриваемых водных объектов характерен гидрокарбонатно-кальциевый тип вод первого подтипа по классификации О.А.Алекина [Алекин, 1970]. Однако воды р. Лены и озера № 2, имеющего ежегодно связь с рекой в период половодья, относятся ко второму подтипу вод по данной классификации. В озерах № 6 и 12, образовавшихся в результате слияния полигонов, формируются гидрокарбонатно-магниево-кальциевые воды первого подтипа.

Концентрации биогенных элементов, как можно видеть из табл. 2, находятся в более широком диапазоне значений (значения коэффициентов вариации C_v составили 0,7–1,3). Выборки по четырем элементам за 2009 и 2010 гг. составили 89–96 значений. Более широкий диапазон концентраций биогенных элементов, вероятно, объясняется различием источников их поступления в озера. Их концентрации не превышают рыбохозяйственных ПДК.

Таблица 2

Результаты статистической обработки рядов концентраций растворенных биогенных элементов в воде озер о. Самойловский и Оленекской протоки р. Лены

Компонент	Число проб	Среднее, мг/л	C_v	Диапазон концентраций, мг/л
Силикаты	96	644	0,7	20–2248
Фосфаты	95	17	0,9	1–8
Нитраты	95	2	1,1	0*–6
Нитриты	89	2	1,3	0*–11

Примечание. * – концентрации элементов ниже предела их обнаружения.

Результаты гранулометрического и геохимического анализов донных отложений озер

Донные отложения рассматриваемых водных объектов (озера № 2, 4 и 7) характеризуются слоистой структурой, прослеживающейся в каждой из колонок. В верхнем слое до 3–5 см находится мягкий ил серо-коричневого цвета, в средней части встречается органическое слабо разложившееся вещество с добавлением песка. В гранулометрическом составе колонок преобладающими являются фракция алевритов и фракция глинисто-алевритных илов с размером частиц 100–10 мкм и 10–1 мкм соответственно (табл. 3). Фракции песков и глинистых илов составляют всего несколько процентов [Петелин, 1967].

Геохимические характеристики водной и солянокислой вытяжек из донных отложений представлены в табл. 4. В табл. 5 рассмотрены значения концентраций основных петрогенных элементов, некоторых микроэлементов и органических соединений твердой фазы донных отложений в сопоставлении с концентрациями таковых во взвеси р. Лены по данным разных литературных источников.

Таблица 3

Фракционный состав донных отложений озер о. Самойловский

№ озера	Горизонт колонки, см	Пески	Алевриты	Глинисто-алевритные илы	Глинистые илы
		1000–100 мкм	100–10 мкм	10–1 мкм	<1 мкм
2	0–5	4	42	50	3
	5–10	5	23	63	12
	10–17	3	27	63	7
4	3–7	3	31	60	6
	13–17	3	29	61	7
	17–21	3	32	59	5
7	0–5	3	50	42	4
	5–15	4	43	48	4
	15–25	4	45	48	3

Таблица 4

Значения геохимических характеристик водной (рН, фосфаты) и солянокислой (ЕКО) вытяжки верхнего слоя донных отложений озер

№ озера	Горизонт колонки, см	рН	Фосфаты, мг/100гАСВ	ЕКО, мг-экв/100гАСВ
2	0–5	7,3	0,14	25
	5–10	6,9	0,07	29
	10–17	6,6	0,03	30
4	3–7	6,9	1,30	49
	13–17	6,7	0,25	58
	17–21	6,7	0,25	55
7	0–5	5,6	0,12	16
	5–15	5,7	0,05	18
	15–25	5,8	0,06	23

Примечание. * – АСВ – абсолютно сухой вес

ДИСКУССИЯ**Типы озер острова Самойловский**

Остров Самойловский можно условно разделить на две части: высокую, расположенную на первой надпойменной террасе дельты р. Лены, и низкую – пойменную. На острове располагается множество водоемов различных типов. Основными факторами, определяющими формирование всех озер острова, являются термокарст и речное влияние, что послужило основанием для выделения трех основных типов озер о. Самойловский – термокарстовых, полигональных и старичных, а также нескольких промежуточных подтипов, формирующихся под влиянием нескольких факторов. Название промежуточного подтипа определяется наличием двух наиболее существенных процессов в их формировании, при этом первым словом является преобладающий из них.

Большая часть острова занята небольшими водоемами, образованными в центрах полигонов различных размеров (рис. 1). В зарубежной литературе их принято называть «polygonal pond», что в переводе означает «полигональный пруд» [Wetterich,

Таблица 5

Концентрации основных петрогенных элементов, некоторых микроэлементов, тяжелых металлов и органических соединений в верхнем слое донных отложений озер о. Самойловский в сравнении с таковыми во взвеси р. Лены

№ озера	Горизонт колонки, см	ppm								%								TiO ₂	
		Cu	Ni	Pb	Sr	V	Zn	TN	TC	TS	TOC	AlO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO		Na ₂ O
2	0–5	14,3	26,4	28,1	255	74,9	67,9	0,11	1,66	0,11	1,18	14,5	1,36	5,20	2,72	1,70	0,148	2,19	0,65
	5–10	14,3	27,7	28,2	247	79,3	71,3	0,12	1,89	0,10	1,17	13,2	1,29	3,76	2,84	1,21	0,074	2,64	0,54
	10–17	17,9	29,9	28,8	241	82,9	76,8	0,14	2,14	0,10	1,20	14,8	1,38	4,14	3,05	1,38	0,084	2,80	0,62
4	3–7	11,1	23,0	25,5	260	66,7	61,1	0,11	1,89	0,10	1,14	12,7	1,36	3,14	2,81	1,11	0,062	2,72	0,53
	13–17	15,2	25,8	26,4	248	74,2	67,3	0,13	2,19	0,09	1,14	13,7	1,37	4,03	2,80	1,39	0,093	2,53	0,59
	17–21	19,5	32,1	29,8	217	90,1	83,2	0,17	2,53	0,10	1,12	14,8	1,27	5,07	2,78	1,68	0,089	2,28	0,66
7	0–5	–	–	–	–	–	–	0,48	–	0,14	2,32	–	–	–	–	–	–	–	–
	5–15	19,3	32,8	29,1	217	87,4	82,9	0,23	3,32	0,16	1,11	14,0	1,13	4,96	2,65	1,50	0,055	2,14	0,64
	15–25	18,8	31,1	28,5	222	86,5	87,5	0,23	3,96	0,14	1,09	13,9	1,32	4,21	2,62	1,54	0,053	2,21	0,63
Среднее значение		16	29	28	238	80	75	0,19	2,96	0,12	1,27	14,1	1,31	4,37	2,82	1,46	0,09	2,47	0,61
(Holemann et al., 2005)*		19	28	38			85												
(Гордеев, 2009)**		34	47	28	194	97	145												
(Савенко, 2006)**		26	52	29	195	84	160	0,63			4,4	13,91	1,57	5,43	2,82	2,25	0,128(Mn)	2,15	0,28(Ti)

Примечание. * – среднее значение для взвеси р. Лена в половодье; ** – среднее значение для взвеси р. Лены

Schirmeister, Meyer et al., 2007]. Это определение не совсем соответствует нашему представлению о прудах.

Небольшие водные объекты в полигональной тундре могут образовываться как в центрах полигонов, так и в трещинах между полигонами, что связано с высокой увлажненностью территории. Мелкие «полигональные пруды» часто обладают своей биотой и функционируют как полноценное озеро, однако их существование не стабильно во времени – «полигональные пруды» могут исчезать и образовываться вновь. В данной же статье внимание будет уделено более крупным водоемам острова.

Полигональные пруды под действием эрозионных процессов сливаются, расширяются и углубляются. До периода стагнации, когда основным процессом, влияющим на изменение морфометрических характеристик, является термокарст, полигональные озера имеют сложную конфигурацию с изломанной береговой линией, повторяющей контуры слившихся воедино полигональных прудов. Поглощение или отсоединение полигонов от водоема под влиянием климатических факторов происходит ежегодно, что влияет как на морфометрические параметры, так и на гидрологические характеристики объектов. Такими водоемами являются озера № 6 и 12. Они имеют глубину не более 3,5 м, причем в небольшой локальной зоне. Остальная же часть озера данного типа мелководна (до 0,5 м). Поскольку эти озера еще не до конца объединены в единый водоем, их можно назвать полигонально-термокарстовыми с преобладанием процесса соединения полигонов, характерных для полигональных озера, и термокарстово-полигональными с режимом, в большей степени определяемым термокарстовым процессом. Так, большая часть озера № 7 является термокарстовой, но при этом в западной части происходит присоединение озерков полигонов. За счет этого озеро имеет конфигурацию, похожую на «рыбу», «телом» которой является довольно крупный термокарстовый водоем, а «хвостом» – слившиеся полигональные пруды (рис.1).

Классически термокарстовыми являются озера № 5, 8, 9, 11, сформированные на первой надпойменной террасе довольно давно. Измерения на озере № 9 показали большие, по сравнению с полигонально-термокарстовыми озерами, глубины – до 6,2 м (2009 г.), причем практически по всей площади озера.

Старичные водоемы на о. Саймоловский представлены двумя подтипами: старично-термокарстовые и пойменно-старичные. В южной части острова находится цепь озер, представляющих собой пойменно-старичное озеро № 2 и старично-термокарстовые озера № 4 и 3 (рис. 1). Озера № 3 и 4 заливаются речными водами реже, чем озеро № 2, гидрологический режим которого практически полностью зависит от уровня расположенной рядом Оленекской протоки р. Лены. Вследствие изоляции от речных вод в определенные периоды года, а то и в течение нескольких лет, старичные озера подвержены термокарстовым процессам, в связи с чем увеличивается их глубина. Так, в центре озера № 4 отмечена глубина, равная 12,7 м (июль 2009 г.). В северо-западной части острова, на его намывной части, располагается пойменно-старичное озеро № 1. Озеро имеет довольно устойчивую (постоянную) связь с речной протокой. Территория вокруг озера значительно увлажнена и заболочена.

Выделенные типы озер различаются как по морфометрическим характеристикам, гидрологическому режиму, так и по химическому составу их вод и донных отложений.

Особенности формирования гидрохимического режима озер различных типов

Результаты лабораторных исследований позволили зафиксировать различия между озерами, связанные с особенностями их формирования. В большей степени это проявляется в концентрациях биогенных элементов, что объясняется источниками их поступления в озера разного типа.

Основным источником растворенного в воде кремния для озер острова являются речные воды. Это справедливо, конечно, только для озер, имеющих связь с рекой, периодически или ежегодно заливаемых водами в половодье. Подтверждением данному факту служат достаточно высокие значения концентраций кремния (> 1000 мкгSi/л) в озерах пойменно-термокарстового типа, т.е. в озерах № 1 и № 2, которые ежегодно заливаются водами Оленекской протоки (рис. 2а). Данные значения не являются аномальными для водных объектов арктических регионов и связаны с развитием криогенных процессов в бассейне реки. В течение теплого сезона концентрация элемента снижается вследствие потребления водной растительностью. Другим важным источником кремния являются почвы острова, выщелачивание кремния из которых происходит в результате термокарстовых процессов. На примере типично термокарстового озера № 11 видно, что влияние термокарстовых процессов на формирование озерных вод сказывается увеличением концентрации кремния до 500 мкгSi/л, что, однако, ниже концентраций в озерах, находящихся под речным влиянием (рис. 2а).

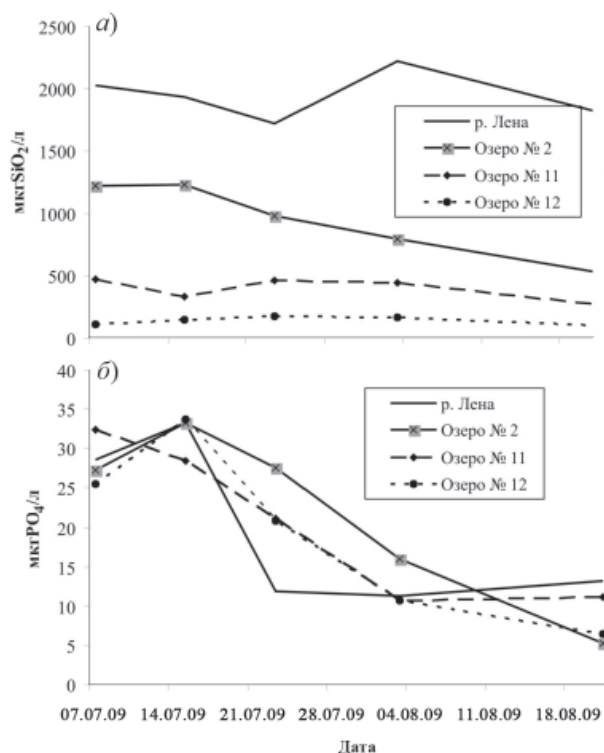


Рис. 2. Закономерности сезонного изменения концентраций растворенных в воде силикатов (а) и фосфатов (б) для озер разного типа на примере озер: № 2 (пойменно-термокарстовое), № 11 (термокарстовое) и № 12 (полигонально-термокарстовое) в сравнении с водами Оленекской протоки р. Лены.

Ход изменения концентраций кремния в течение теплого сезона года более сглажен, по сравнению с пойменно-термокарстовыми озерами. В озерах полигонально-термокарстового типа концентрации растворенного в воде кремния еще ниже и колеблются около 100 мкгSi/л, что объясняется меньшей интенсивностью термокарстовых процессов и поступлением кремния из почв. Сезонное изменение концентрации кремния в озерах данного типа незначительно. Наибольшие концентрации фосфатов отмечены в озерах, находящихся под влиянием термокарстового процесса. Характерно заметное снижение концентраций за время вегетационного периода, как во всех типах озер, так и в воде Оленекской протоки. Пик концентраций наблюдался после полного оттаивания озер и их водосборной территории, из чего можно сделать вывод о том, что основным источником поступления фосфатов в озера является сезонно-талый слой их водосборной территории (рис. 2б).

Для растворенных в воде окисленных форм азота (нитратов и нитритов) четких закономерностей проследить не удалось. Концентрации элементов малы.

Геохимический и гранулометрический состав донных отложений озер о. Самойловский

Геохимические процессы в дельте р. Лены происходят за счет перемещения частиц и веществ водой, ветром, льдом с водосборной территории, аккумуляции химических элементов, в первую очередь в водоемах и донных отложениях.

Распределение фракций в донных отложениях озер в целом схоже с указанными ранее характеристиками донных отложений в мелких полигональных прудах о. Самойловский [Wetterich, Schirmeister, Meyer et al., 2007] и характеризуется преобладанием частиц размером 100–10 мкм, т.е. алевритов.

Сравнение геохимических характеристик речной взвеси, полученных ранее другими авторами для р. Лены, с представленными результатами анализов для верхнего слоя донных отложений рассматриваемых озер (табл. 5) показало хорошую сходимость значений. Концентрации свинца (Pb), основных петрогенных элементов во взвеси р. Лены, полученные В.С.Савенко [Савенко, 2006] и В.В.Гордеевым [Гордеев, 2009], близки к их средним значениям, определенным для донных отложений озер острова. По данным [Holemann, Schirmaher, Prange, 2005] в речной взвеси в половодье содержание меди (Cu), никеля (Ni), свинца (Pb) и цинка (Zn) также близки к озерным отложениям. Это позволяет сделать вывод о влиянии речных вод не только на гидрологический режим озер о. Самойловский, но и на формирование геохимического состава донных отложений.

Показатели емкости катионного обмена (ЕКО) для рассматриваемых озер имеют значения 23–58 мг-экв/100гАСВ (абсолютно сухого веса). Приведенные величины ЕКО находятся на уровне значений данного показателя для черноземов, характеризующихся высокой ЕКО, и говорят о том, что химические элементы могут выводиться из водной фазы, аккумулироваться в донных отложениях и тем самым способствовать очищению воды озер от загрязняющих веществ. Это подтверждают более высокие концентрации фосфатов в вытяжке из донных отложений в озере № 4, достигающие 1,3 мг PO_4 /100гАСВ в верхнем горизонте (табл. 4), соответствующие наибольшим значениям ЕКО для данного озера. Высокий процент содержания мелкой илистой фракции в донных отложениях озера № 4 также способствует хорошей сорбции растворенных в воде элементов в донных отложениях. Приведенные выше заключения характеризует озеро № 4 как способное, в большей степени, чем другие

рассматриваемые озера, к самоочищению через обменные реакции воды с донными отложениями. Это связано с гидрологическими особенностями старичного озера, периодически обновляемого речными водами, которое, однако, характеризуется более устойчивым водообменом, нежели озеро № 2, где мелкие илистые фракции, влияющие на сорбционные способности донных отложений, вымываются, не успевая аккумулироваться.

Полученные характеристики озерных донных отложений для о. Самойловский подтверждают вывод, сделанный М.Б.Заславской [Геоэкологическое состояние..., 2007] об относительно высокой самоочищающей способности р. Лены по сравнению с другими крупными арктическими реками, такими как Обь и Енисей, что, безусловно, является довольно новым результатом для уязвимого арктического района. Это, по нашим данным, относится и к озерам дельты. Однако в связи с единичностью данных наблюдений можно сделать только первоначальные выводы о процессах, формирующих геохимические особенности дельты р. Лены. Генезис этих процессов сложен и требует дальнейшего уточнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение и анализ материалов полевых и лабораторных измерений гидрологических и геохимических характеристик озер одного из многочисленных островов дельты реки Лены о. Самойловский позволили получить ряд новых сведений о современном состоянии водных объектов Арктики. Было выделено несколько типов озер острова. Однако для описания озер всей дельты данной классификации не достаточно.

Гидрохимические особенности и геохимические характеристики донных отложений озер зависят от изменений, происходящих на их водосборах, а также от степени влияния речных вод протоки, омывающей остров. Например, возрастает поступление биогенных элементов в связи с увеличением слоя сезонного протаивания, а наибольшие концентрации кремния (>1000 мкг/л) наблюдаются в озерах, ежегодно затопляемых в половодье речными водами. Сезонное повышение концентраций фосфатов в воде озер острова связано с их поступлением из активного слоя почвы и наблюдалось до наступления периода активной вегетации.

Изучение геохимического состава донных отложений островных озер, подверженных речному влиянию р. Лены, дает возможность оценки самоочищающей способности озерных экосистем и их устойчивости к антропогенному воздействию. Донные отложения рассматриваемых озер характеризуются высокой для северных регионов емкостью катионного обмена. Концентрации геохимических характеристик находятся на уровне их присутствия в природной среде региона. Озера о. Самойловский способны к самоочищению за счет высокой аккумулирующей способности донных отложений, а также интенсивности обменных реакций с водной средой.

В последнее время отмечено увеличение водности района [Федорова, Большинов, Макаров, 2009] и интенсификация термокарстовых процессов, что выражается, прежде всего, в изменении морфометрических характеристик водоемов. Продолжение мониторинговых измерений на озерах острова даст много новой информации о процессах, происходящих в дельте и в зоне многолетней мерзлоты в целом.

Работы выполнялись при финансовой поддержке DFG и стипендиальной программы поддержки молодых ученых ОШЛ, финансируемой Федеральным министерством образования и науки Германии (BMBF).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 413 с.
- Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Федорова И.В., Жиров А.И.* Гидроморфогенез дельты р. Лены // Доклады и сообщения 23-го пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Калуга, 2008. С. 56–68.
- Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
- Гордеев В.В.* Микроэлементы в воде, взвеси и донных осадках Обской губы, Енисейского залива и дельты Лены и прилегающих областей Карского моря и моря Лаптевых // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Под ред. Х.Кассенс, А.П.Лисицына, Й.Тиде, Е.И.Поляковой, Л.А.Тимохова. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 202–224.
- Григорьев М.Н.* Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 1993. 175 с.
- Кортаев В.Н.* Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестник Моск. ун-та. География. 1984. № 6. С. 39–44.
- Макаров А.С.* Колебания уровня моря Лаптевых как фактор формирования дельты р. Лены в голоцене: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2009. 20 с.
- Методы определения гранулометрического и геохимического состава донных отложений и взвешенных наносов: Учебно-методическое пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 94 с.
- Петелин В.П.* Гранулометрический анализ донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
- Савенко В.С.* Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 174 с.
- Федорова И.В., Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Третьяков М.В., Четверова А.А.* Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Под ред. Х.Кассенс, А.П.Лисицына, Й.Тиде, Е.И.Поляковой, Л.А.Тимохова. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 278–292.
- Are F., Reimnitz E.* An overview of the Lena River Delta settings: geology, tectonics, geomorphology, and hydrology // Journal of Coastal Research. 2000. Vol. 16. P. 1083–1093.
- Boike J., Bolton B., Grüber M., Langer M., Muster S., Piel K., Sachs T., Stoof G., Westermann S., Scheritz M.* A high resolution orthorectified picture of Samoylov // The Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition Lena – New Siberian Islands 2007 during the International Polar Year 2007/2008, Reports on Polar and Marine Research. 2009. Vol. 584. P. 22.
- Holemann J.A., Schirmaher M., Prange A.* Seasonal variability of trace metals in the Lena River and the south-eastern Laptev Sea: impact of the spring freshet // Global and Planetary Change. 2005. Vol. 48. P. 112–125.
- Hubberten H.-W., Wagner D., Pfeiffer E.-M., Boike J., Gukov A.Yu.* The Russian-German Research Station Samoylov, Lena Delta – a key site for Polar research in the Siberian Arctic // Polarforschung. 2006. Vol. 73 (2/3). P. 111–116.
- Romanovskii N.N., Hubberten H.-W.* Results of permafrost modeling of the lowlands and self of the Laptev Sea region // Russia-Permafrost Periglacial Processes. 2001. Vol. 12. P. 191–202.
- Schirrmeister L., Siegert C., Kuznetsova T., Kuzmina S., Andreev A., Rienast F., Meyer H., Bobrov A.* Paleoenvironmental and paleoclimatic records from permafrost deposits in the Arctic region of Northern Siberia // Quaternary International. 2002. Vol. 89. P. 97–118.
- Wetterich S., Schirrmeister L., Meyer H., Andreas Viehberg F., Mackensen A.* Arctic freshwater ostracods from modern periglacial environments in the Lena River Delta (Siberian Arctic, Russiageochemical

applications or palaeoenvironmental reconstructions // Journal of Paleolimnology. 2007. Vol. 39. P. 427–449.

A.A.CHETVEROVA, I.V.FEDOROVA, T.M.POTAPOVA, J.BOJKE

HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE MODERN STATE OF LAKES OF SAMOYLOVSKY ISLAND IN THE LENA RIVER DELTA

Climatic fluctuations influence to many features of water objects in the Arctic. Big of them have longer period of adaptation for climatic and anthropogenic impacts than small objects such as polygonal and thermokarst lakes and small streams. Lakes of Samoylov Island of the Lena River delta are typical objects for the delta and could be used as markers for the region. New data about environmental changes were obtained as results of monitoring observation of natural objects in the Lena delta within the framework of Russian-German project «The System of the Laptev Sea». Results of hydrological and geochemical investigations of lakes on Samoylov Island in summer time 2008–2010 yy. are presented in the article. Several types of lakes were found out based on hydromorphological, geochemical characteristics of water and bottom sediments. Self-cleaning ability of the lakes was estimated.

Keywords: Russian Arctic, the Lena River delta, hydrology, hydrochemistry, geochemistry, lakes, lakes bottom sediments, self-cleaning.