

Изотопный состав грунтовых и поверхностных вод болотного массива Ламмин-Суо (Ленинградская область)

Болотный массив Ламмин-Суо – государственный гидрологический заказник, на базе которого создан учебный полигон Государственного гидрологического института. Впервые измерен изотопный состав подземных и поверхностных вод. По полученным данным $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ выделены два типа. В ходе дальнейших исследований проанализирован микрокомпонентный состав воды. Результаты анализов подтверждают выдвинутое ранее предположение о заметном вкладе дополнительного источника питания болота, а также указывают на сорбирующие свойства торфяной залежи.

Ключевые слова: *изотопы воды, микрокомпонентный состав подземных вод, воды Карельского перешейка, болото, происхождение болотных вод.*

T. A. STROGANOVA, E. M. PRASOLOV (VSEGEI)

Isotope composition of ground and surface waters of the Lammin-Suo swamp massif (Leningrad region)

Lammin-Suo swamp area is a State hydrological reserve, as well as a training ground of the State Hydrological Institute. The isotopic composition of groundwater and surface water has been measured for the first time. Two different types of water have been identified based on results of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values. The microcomponent composition of the water has been analyzed during further research. The resulting values confirm the earlier assumption of the contribution of additional swamp supply source. Moreover, these results indicate the sorbent properties of peat deposits.

Keywords: *water isotopes, microcomponent composition of groundwater, water of the Karelian Isthmus, swamp, the origin of swamp waters.*

Как цитировать эту статью: Строганова Т. А., Прасолов Э. М. Изотопный состав грунтовых и поверхностных вод болотного массива Ламмин-Суо (Ленинградская область) // Регион. геология и металлогения. – 2019. – № 77. – С. 20–26.

Введение. Изучение условий формирования комплекса болотных и подземных вод наиболее актуально для Северо-Запада России. Заболоченность территории оказывает значительное воздействие на остальные водные объекты, являющиеся внешними водоприемниками стока с болотных массивов. Государственный природный гидрологический (болотный) заказник «Болото Ламмин-Суо» образован решением Исполнительного комитета Ленинградского областного Совета депутатов трудящихся от 29 марта 1976 г. № 145. Ламмин-Суо – особо охраняемая природная территория регионального значения. Болотный массив Ламмин-Суо сохранен в нетронутном состоянии, что позволяет наблюдать протекающие процессы в естественном положении, и является учебным полигоном Государственного гидрологического института. Наблюдения за его гидрохимическим, гидрологическим и гидрогеологическим режимом ведутся с середины прошлого столетия [3], тем не менее определение изотопного состава природных вод было проведено впервые. Изучение изотопного состава кислорода и водорода ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$) подземных, поверхност-

ных и атмосферных вод должно способствовать выяснению их происхождения.

Физико-географические условия. Рассматриваемый район расположен на северо-восточном побережье Финского залива к северо-западу от Санкт-Петербурга (рис. 1). Сведения о физико-географических условиях взяты из материалов наблюдений болотных станций [3].

Болото Ламмин-Суо расположено в котловине на водоразделе р. Сестра и оз. Красавица, входящих в басс. Финского залива. Котловина вытянута с северо-запада на юго-восток, длина составляет около 2 км, ширина – около 1 км. Болотный массив резко выпуклый центрально-олиготрофного типа. По характеру водного питания и растительности болото относится к верховому типу, пополнение которого осуществляется атмосферными осадками. Местность, окружающая болото, характеризуется холмистокотловинным, камовым рельефом. Небольшие холмы высотой 10–15 м чередуются с замкнутыми впадинами, озовые гряды – с заболоченными долинами ручьев. С северо-востока болотную



Рис. 1. Схема расположения болотного полигона Ламин-Суо

котловину ограничивает вытянутая озовая гряда с наибольшими превышениями над поверхностью болота 15 м.

На территории изучаемого болотного массива имеются три небольших озера. Берега озер зарастают сплавиной. В юго-восточной части болота берет начало руч. Южный, впадающий в руч. Сала-Ойя, правый приток р. Сестра. Сток руч. Южный равен двум третьим стока с болотного массива. В северо-восточной части болота берет начало руч. Северный, впадающий в руч. Болотный, также относящийся к басс. р. Сестра. С западного склона болотные воды сбрасываются через руч. Западный, относящийся к басс. оз. Красавица. Ручьи Северный и Западный по объему пропускаемого стока примерно равны, вместе они сбрасывают одну треть стока с болотного массива [3].

Торфяная залежь болотного полигона Ламин-Суо сложена на 95 % верховыми видами торфа – фускум, пушицево-сфагновый, пушицево-комплексный. Средняя мощность торфяной залежи в центральной части – 4,3 м. Запасы торфа составляют 360 000 м³ [3].

Согласно научным данным [2], содержащиеся в водах болотного полигона ионы можно записать следующим образом: анионы $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ и катионы $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. В водах болотного массива гидрокарбонатного иона не обнаружено.

Для гидрохимии болотного массива характерно [2]:

1) воды верхового болота в течение почти всего года имеют ярко выраженный сульфатный характер с преобладанием Ca^{2+} в составе катионов;

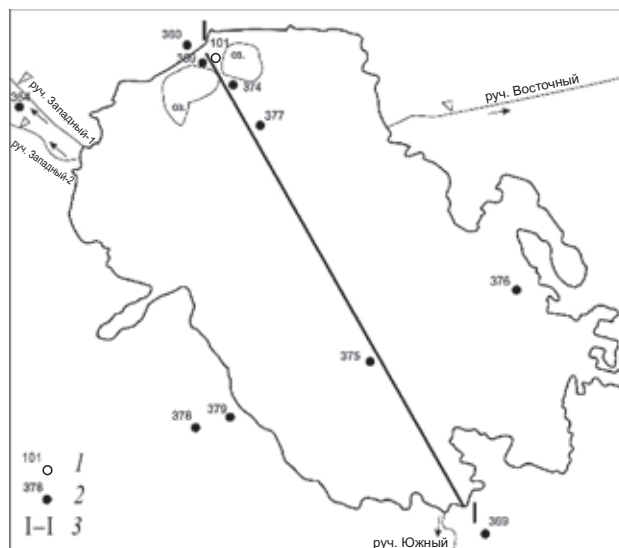


Рис. 2. Схема размещения исследованных скважин в зимний период

1, 2 – скважины, оборудованные на поверхностные (1) и грунтовые (2) воды, 3 – первый водомерный створ

2) наибольшая минерализация вод наблюдается перед паводком, и величина ее доходит до 60 мг/л. Этому способствует процесс промерзания, когда увеличение концентрации ионов происходит за счет вытеснения последних из замерзающего раствора. Минимальная минерализация отмечена в период весеннего половодья;

3) содержание главных ионов изменяется в пределах, мг/л: кальций 0,0–3,7, магний 0,0–2,4, хлор 1,9–27,3, сульфатный ион 0,1–30,0;

4) порядок убывания концентрации ионов, содержащихся в осадках, можно представить в виде следующей последовательности: анионы $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$, а катионы $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Такая же последовательность сохраняется и для болотных массивов с небольшим изменением для катионов $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$.

Методы, образцы. Полевые работы. Отбор проб воды осуществлялся зимой и летом 2014 г., всего отобрано 27 проб.

В зимний период (рис. 2) при участии А. В. Мухатметдинова опробована сеть из 11 скважин. Также были отобраны пробы из двух озер (Две Сестры) и атмосферные осадки (снег).

Летом опробование продублировано в сотрудничестве с В. И. Батуевым и О. М. Дедик (Государственный гидрологический институт). На месте опробования определялись рН, удельная электропроводность (УЭП), температура воды. Разброс значений рН воды небольшой, находится в пределах от 6,0 до 7,0. Озерная вода характеризуется пониженными показателями УЭП, рН озера северо-восточного – 23,26, а юго-западного – 25,71. Максимальное значение УЭП зафиксировано в скв. 377 и составляет 231,5.

Лабораторные работы. Определение $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ состава. Изотопный состав разных периодов опробования измерялся в двух лабораториях: «зимние» пробы воды анализировались в лаборатории «Изотопной геохимии флюидов СПбГУ» при участии Г. М. Ельцовой; «летние» – в Ресурсном центре «Геомодель» под руководством И. В. Токарева. Работы в обоих случаях проводились на лазерном инфракрасном спектрометре Picarro L2120i производства США. Каждая проба измерялась 4–6 раз, результаты представлены в табл. 1 и на рисунках в средних значениях.

При анализе изотопного состава воды «зимних» проб в качестве стандартов использовались: VSMOW, JLС-1 (вода из водопровода, откалиброванная по стандартам: VSMOW, GISP и SLAP. Точность измерений $\pm 0,2\text{‰}$ по $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 0,9\text{‰}$ по $\delta^2\text{H}$. Измерения в Ресурсном центре «Геомодель» выполнены в сравнении с лабораторными стандартами, откалиброванными с помощью эталонов МАГАТЭ VSMOW-2 (океаническая вода), GISP и SLAP. Точность измерений $\pm 0,1\text{‰}$ по $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 1\text{‰}$ по $\delta^2\text{H}$.

Изотопные данные выражены в относительных единицах:

$$\delta X = (R_{\text{пр}}/R_{\text{ст}} - 1) \times 1000 \text{‰},$$

где R – атомные отношения изотопов водорода ($^2\text{H}/^1\text{H}$) или кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) в пробе и стандарте; δ показывает, насколько проба обеднена ($\delta < 0$) или обогащена ($\delta > 0$) тяжелым изотопом относительно стандарта ($\delta = 0$). В качестве эталона используется стандарт средней океанической

воды – VSMOW (Vienna Standard of the Mean Ocean Water), для которого по определению $\delta^2\text{H} = 0$ и $\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$.

Определение элементного состава вод. Анализ микрокомпонентного состава воды летних проб проводился под руководством Г. А. Олейниковой, заведующей химико-аналитической лаборатории ВСЕГЕИ, на высокочувствительном оптическом эмиссионном масс-спектрометре ICPE-9000. Для анализа выбраны наиболее представительные пробы воды ($N = 6$). С помощью спектрометра установлено содержание 59 химических элементов в воде, представленных в миллиграмме на литр.

Результаты и обсуждение. Изотопы кислорода и водорода. Изотопный состав проанализирован в 27 пробах воды ($\Sigma = 27$). Результаты представлены в табл. 1.

Всего опробовано 14 объектов в зимний и летний периоды. Отобраны пробы атмосферных осадков, воды из озер, болотных и грунтовых вод.

Разброс точек находится в сравнительно узких пределах: для зимы $\delta^{18}\text{O}$ от $-13,5$ до $-9,9$ и $\delta^2\text{H}$ от $-91,9$ до $-75,5\text{‰}$; лета $\delta^{18}\text{O}$ от $-13,2$ до $-8,3$ и $\delta^2\text{H}$ от -91 до -64‰ .

Локализация на графике $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ (рис. 3, а) основной массы точек вдоль Глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ) подтверждает, что главным источником питания вод болотного массива являются атмосферные осадки, выпавшие на его поверхность. При укрупнении масштаба заметны некоторые отличия от ГЛМВ (рис. 3, б).

По изотопному составу четко выделяются два типа вод [1]. К первому типу относятся воды

Таблица 1

$\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в водах болотного полигона
Государственного гидрологического института

Тип источника/ номер скважины	Зима		Лето	
	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	$\delta^2\text{H}, \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	$\delta^2\text{H}, \text{‰}$
360	-13,5	-91,9	-13,2	-91
364	-12,9	-88,0	-12,7	-88
Снег	-12,8	-87,3		
376	-12,9	-85,8	-12,0	-78
375	-12,6	-85,5	-12,5	-84
378	-12,6	-84,9	-12,5	-83
369	-12,7	-84,8	-12,6	-84
379	-12,4	-83,5	-12,4	-81
377	-12,3	-83,4	-12,4	-82
359	-11,9	-80,7	-12,1	-82
101 (болото)	-11,7	-79,6	-12,5	-79
Озеро юго-западное	-11,0	-79,4	-8,4	-64
374	-10,3	-76,2	-10,7	-74
Озеро северо-восточное	-9,9	-75,5	-8,3	-61

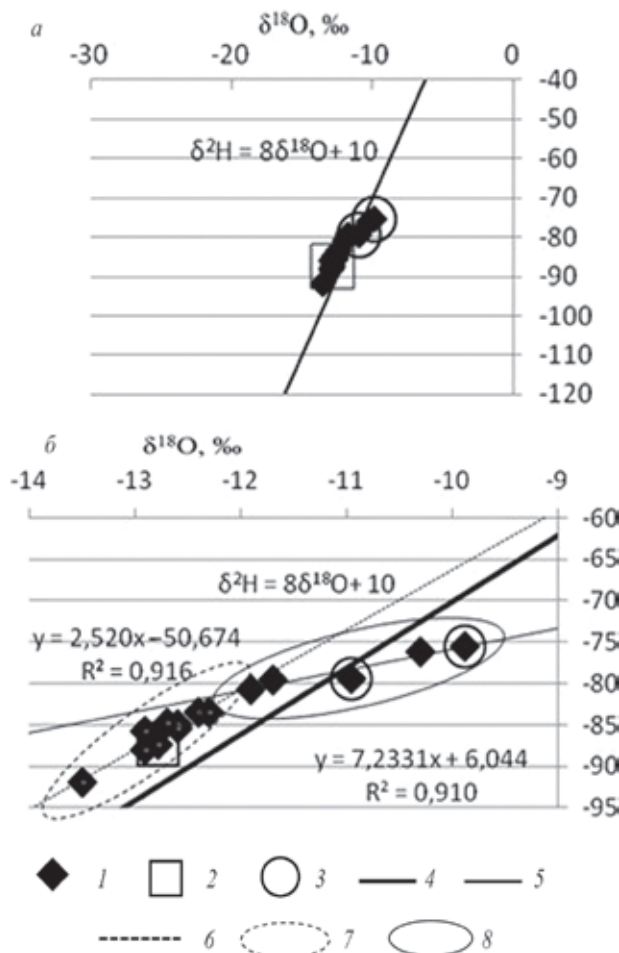


Рис. 3. Взаимосвязь $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в природных водах полигона Ламмин-Суо в мелком (а) и крупном (б) масштабах 1 – все точки; 2 – атмосферные осадки (снег); 3 – озера; 4 – глобальная линия метеорных вод; 5, 6 – локальная линия для типа вод I (5) и II (6); 7, 8 – тип вод: 7 – I (легкие), 8 – II (тяжелые)

скважин со сравнительно легким изотопным составом ($\delta^{18}\text{O}$ от $-13,5$ до -12 и $\delta^2\text{H}$ от $-91,9$ до $-83,4$ ‰), ко второму – с тяжелым ($\delta^{18}\text{O}$ от -12 до $-9,8$ и $\delta^2\text{H}$ от $-83,4$ до $-75,5$ ‰) (рис. 4).

Точки, относящиеся к первому типу, рассредоточены на периферии и в центре полигона, точки второго типа приурочены к озерам и скважинам между ними. Внутри группы точек первого типа выделяются некоторые отличия. Фигуративные точки, расположенные по периметру, обогащены легкими изотопами (по $\delta^{18}\text{O}$ от $-13,5$ до $-12,4$ ‰), по отношению к точкам, находящимся в центре (по $\delta^{18}\text{O}$ от $-12,6$ до $-12,3$ ‰).

Самые низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ принадлежат воде из скв. 101, что объясняется ее пространственным расположением – у подножья суходола, то есть в скважину поступает вода из области активного водообмена.

Летнее опробование было необходимо для закрепления существования изотопной аномалии в водах полигона. Как видно из табл. 1, значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в зимний и летний периоды опробования сходны. Отсюда следует вывод, что болотный

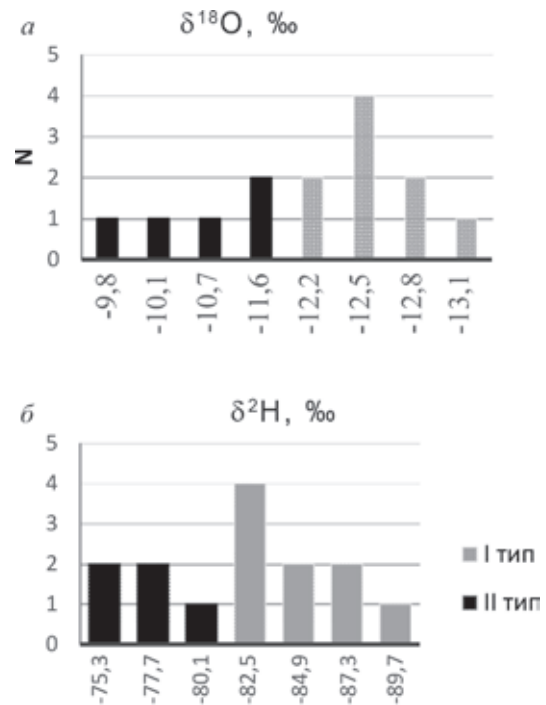


Рис. 4. Значение $\delta^{18}\text{O}$ (а) и $\delta^2\text{H}$ (б) в водах полигона ГГИ

массив работает как интегратор для вод. Иными словами, обнаруженная изотопная аномалия не может быть связана с сезонными вариациями изотопного состава атмосферных осадков.

Появление четкой положительной локальной аномалии в трех скважинах и двух озерах в северной части полигона удивительно. Необычно то, что на незначительном расстоянии в рамках одного объекта исследования наблюдается резкая смена изотопного состава воды. Эта аномалия отвечает, по-видимому, какому-то локально проявленному процессу.

Вероятнее всего, аномалия связана с разгрузкой вод иного изотопного облика по сравнению с водой почти всей остальной территории болота. Для того чтобы обеспечить наблюдаемую локальность, этот источник не может быть мощным. Воду из озер, скважин можно рассматривать в качестве смесей воды двух видов, т. к. фигуративные точки составляют определенную последовательность ($y = 2,520x - 50,674$, см. рис. 3). Один исходный вид подземных вод ясен – это «обычная» изотопно легкая вода, доминирующая в скважинах на большей части полигона. Другой вид (точнее, end-member со значениями $\delta^{18}\text{O} \sim -10$ ‰ и $\delta^2\text{H} \sim -75$ ‰) представлен водами северо-восточного озера и скв. 374. Примечательно, что последовательность объектов на тренде $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ совпадает с пространственной. Таким образом, можно предполагать, что, прежде всего, смешение вод из двух разных источников образовало вариации изотопного состава полигона. В пользу этого объяснения выступает контрастность изотопного состава на относительно небольшой территории.

Редкоземельные элементы в водах болотного полигона
Государственного гидрологического института, мкг/л

Химический элемент	Скв. 360	Озеро северо-восточное	Озеро юго-западное	Скв. 374	Скв. 1076	Скв. 375
La	0,021	0,034	0,150	34,200	0,062	0,290
Ce	0,038	0,086	0,310	68,100	0,170	0,650
Pr	0,006	0,010	0,038	6,430	0,022	0,074
Nd	0,029	0,066	0,140	22,700	0,022	0,290
Sm	0,007	0,009	0,023	3,750	0,020	0,046
Eu	0,001	0,003	0,003	0,570	0,010	0,020
Gd	0,001	0,006	0,024	5,340	0,026	0,049
Tb	0,001	0,002	0,002	0,700	0,002	0,008
Dy	0,002	0,005	0,012	3,840	0,015	0,033
Ho	0,001	0,002	0,002	0,760	0,006	0,009
Er	0,001	0,001	0,005	1,810	0,009	0,021
Tm	0,000	0,000	0,002	0,220	0,002	0,005
Yb	0,002	0,001	0,004	1,270	0,140	0,026
Lu	0,001	0,001	0,001	0,170	0,002	0,004

Один исходный тип, как сообщалось, очевиден – это обычная метеорная вода. Происхождение вод второго типа – более изотопно тяжелых – не столь очевидно. Возможно, изотопное утяжеление вызвано изотопным обменом воды и силикатов, карбонатов, окислов и др. Обмен более энергичен при повышенной температуре и приводит к утяжелению кислорода [5]. Соответственно, изотопное утяжеление должно указывать на пребывание таких вод на больших глубинах.

Таким образом, подпитка системы вод полигона глубинной компонентой представляется возможной.

Редкоземельные элементы. Для выявления причины возникновения локальной аномалии в изотопном составе воды был изучен химический

состав. При рассмотрении макрокомпонентного состава этой местности закономерных отклонений не обнаружено. Тогда мы прибегли к определению микрокомпонентного состава воды. Для проведения этого анализа выбрано шесть проб воды – по три представителя от каждой группы (табл. 2).

По опыту зарубежных коллег [6–11] нами была рассмотрена методика обработки данных по нормированным значениям редкоземельных элементов (рис. 5).

Выдвинутая нами ранее гипотеза о локальном подтоке глубинных вод [7], основанная на сведениях об изотопном составе кислорода и водорода ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$), подтверждается полученными данными о редкоземельных элементах.

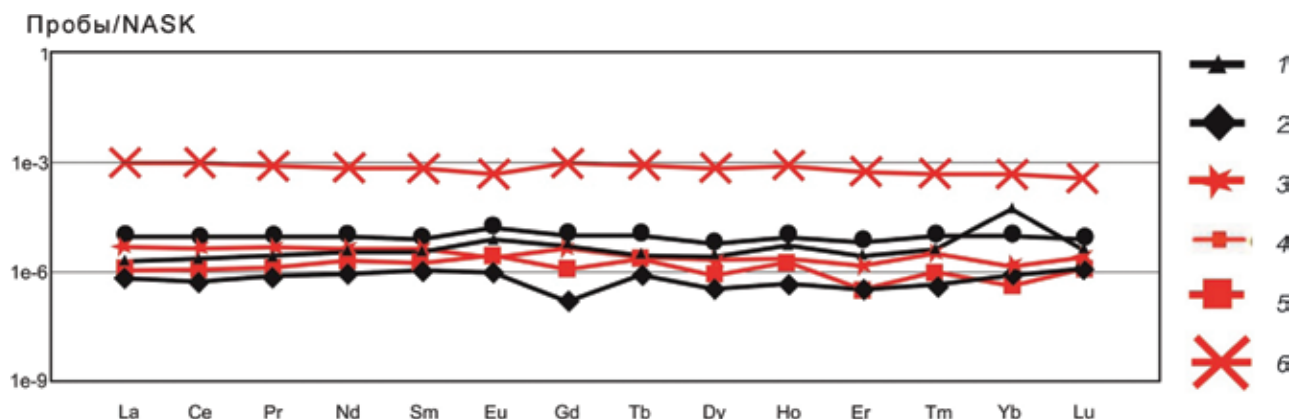


Рис. 5. Нормализованные значения содержаний редкоземельных элементов в логарифмическом масштабе относительно стандарта North American Shale Composite (NASC), мг/л [6–11]: по оси абсцисс – редкоземельные элементы, по оси ординат – отношение содержания редкоземельных элементов к NASC

1–3 – I тип воды (легкий): 1 – скв. 107 (болотная), 2 – скв. 360, 3 – скв. 375; 4–6 – II тип воды (тяжелый): 4 – озеро юго-западное, 5 – озеро северо-восточное, 6 – скв. 374

На рис. 5 наглядно иллюстрируется смешение вод различного происхождения. Значения на кривой, отвечающей химическому составу воды из скв. 374, значительно превышают значения основной группы кривых. Эта скважина находится между двумя озерами (рис. 2), и вода из нее по изотопному составу отнесена ко второму типу вод (тяжелому). Антиподом этой кривой служит линия, описывающая содержание редкоземельных элементов в воде из скв. 360 (I тип вод легкий), которая находится у подножия холмов (рис. 2), на пути движения регионального потока изотопически легких грунтовых вод. Воды из скважин 107 и 375, очевидно, являются смесью вод метеогенного и глубинного происхождения. Сильная обедненность озерной воды редкоземельными элементами, возможно, связана с сорбирующими свойствами торфяных отложений [4].

Выводы. Воды болотного полигона Ламмин-Суо, как и ожидалось, имеют преимущественно метеогенное происхождение.

По результатам изотопных исследований выделены два типа вод, различающихся по изотопному составу ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$), с тяжелым изотопным составом и легким. Вода, обогащенная тяжелыми изотопами, характерна для озер и скважин между ними; легкими — для периферии и центральной части полигона.

Наиболее вероятной причиной возникновения изотопной аномалии в водах северной части полигона является воздействие вод другого источника питания. В пользу этого свидетельствует также пространственная контрастность изотопной аномалии и высокое содержание редкоземельных и других тяжелых элементов в воде из скв. 374, находящейся между двумя озерами.

Торфяная залежь выступает в качестве очистителя-сорбента для вод.

Авторы выражают глубокую благодарность В. И. Батуеву, Г. М. Ельцовой, О. М. Дедик, П. К. Коносавскому, М. Л. Маркову, А. В. Мухатметдинову, Г. А. Олейниковой, И. В. Токареву, А. А. Шварц за неоценимую помощь в проведении работ.

1. Войлокова (Строганова) Т. А., Коносавский П. К., Прасолов Э. М. Особенности изотопного состава вод болотного полигона Ламмин-Суо (г. Зеленогорск) // Материалы IV Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского (16–20 февраля 2015 г., Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ). — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. — С. 424–426.

2. Калюжный И. Л., Левандовская Л. Я. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Труды ГГИ. — 1974. — Вып. 222. — С. 99–118.

3. Материалы наблюдений болотных станций за 1990 г.: Ежегодник. Вып. 1. — СПб., 1993.

4. Межибор А. М. Радиоактивные элементы в верховых торфах Томской области // Радиоактивность и радио-

активные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Междунар. конф. (г. Томск, 4–8 июня 2013 г.). — Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. — С. 358–361.

5. Хёфс Й. Геохимия стабильных изотопов. — М.: Мир, 1983. — 198 с.

6. Chandrasekhar K., Chary S. N., Kamala C. T. & Aparna V. Determination of trace metals in seawater by ICP-MS after matrix separation // Acta Chim. Slov. — 2003. — Vol. 50. — P. 409–418.

7. Cheung K., Sanei H. Produced fluids and shallow groundwater in coalbed methane (CBM) producing regions of Alberta, Canada: Trace element and rare earth element geochemistry // International Journal of Coal Geology. — 2009. — Vol. 77. — P. 338–349.

8. Ezoe M. Distributions of dissolved and acid-dissolvable bioactive trace metals // Geochemical Journal. — 2004. — Vol. 38. — P. 550.

9. Gammons C. H., Wood S. A., Pedrozo F., Varekamp J. C., Nelson B. J., Shope C. L. et al. Hydrogeochemistry and rare earth element behavior in a volcanically acidified watershed in Patagonia, Argentina // Chemical Geology. — 2005. — Vol. 222 (3–4). — P. 249–267.

10. Johannesson K. H., Stetzenbach K. J., Hodge V. F., Kreamer D. K., Zhou X. Delineation of ground-water flow systems in the southern great basin using aqueous rare earth element distribution // Ground Water. — 1997. — Vol. 35. — P. 807–819.

11. Smedley P. L. The geochemistry of rare earth elements in groundwater from the Carnmenellis area, southwest England // Geochim Cosmochim Acta. — 1991. — Vol. 55. — P. 2767–2779.

1. Vojloкова (Stroganova) T. A., Konosavskij P. K., Prasolov Eh. M. Features of the isotopic composition of the waters of the swamp landfill Lammin-Suo (Zelenogorsk). *Proceedings of the IV Intern. scientific practical conf. of young scientists and specialists in memory of academician A. P. Karpinsky (February 16–20, 2015, St. Petersburg, VSEGEI)*. St. Petersburg: VSEGEI. 2015. Pp. 424–426. (In Russian).

2. Kalyuzhnyj I. L., Levandovskaya L. Ya. Hydrochemical mode and chemical composition of oligotrophic marsh waters. *Proceedings of the State Hydrology Institute*. 1974. Iss. 222, pp. 99–118. (In Russian).

3. Materialy nablyudeniya bolotnykh stantsiy za 1990 g.: Yezhegodnik. Vyp. 1 [Materials of observations of swamp stations for 1990: Yearbook. Iss. 1]. St. Petersburg. 1993.

4. Mezhibor A. M. Radioactive elements in high-moor peats of the Tomsk region. *Radioactivity and radioactive elements in the human environment: Proceedings of the IV Intern. conf. (Tomsk, June 4–8, 2013)*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo un-ta. 2013. Pp. 358–361. (In Russian).

5. Hyofs J. Geohimiya stabil'nyh izotopov [Geochemistry of stable isotopes]. Moscow: Mir. 1983. 198 p.

6. Chandrasekhar, K., Chary, S. N., Kamala, C. T. & Aparna, V. 2003: Determination of trace metals in seawater by ICP-MS after matrix separation. *Acta Chim. Slov.* 50. 409–418.

7. Cheung, K., Sanei, H. 2009: Produced fluids and shallow groundwater in coalbed methane (CBM) producing regions of Alberta, Canada: Trace element and rare earth element geochemistry. *International Journal of Coal Geology*. 77. 338–349.

8. Ezoe, M. 2004: Distributions of dissolved and acid-dissolvable bioactive trace metals. *Geochemical Journal*. 38. 550.

9. Gammons, C. H., Wood, S. A., Pedrozo, F., Varekamp, J. C., Nelson, B. J., Shope C. L. et al. 2005: Hydro-

geochemistry and rare earth element behavior in a volcanically acidified watershed in Patagonia, Argentina. *Chemical Geology*. 222 (3–4). 249–267.

10. Johannesson, K. H., Stetzenbach, K. J., Hodge, V. F., Kreamer, D. K., Zhou, X. 1997: Delineation of ground-water

flow systems in the southern great basin using aqueous rare earth element distribution. *Ground Water*. 35. 807–819.

11. Smedley P. L. 1991: The geochemistry of rare earth elements in groundwater from the Carnmenellis area, southwest England. *Geochim Cosmochim Acta*. 55. 2767–2779.

Строганова Татьяна Александровна – аспирант, ВСЕГЕИ¹. <stroganova.t.a@mail.ru>

Прасолов Эдуард Михайлович – доктор геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ (ЦИИ ВСЕГЕИ¹). <edward_prasolov@vsegei.ru>

Stroganova Tatyana Alexandrovna – Ph.D. Student, VSEGEI¹. <stroganova.t.a@mail.ru>

Prasolov Eduard Mikhailovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Scientist, Center for Isotopic Research of VSEGEI (CIR VSEGEI¹). <eduard_prasolov@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.