

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.583:547.2:550.42

О влиянии потоков углеводородов в системе лито-, гидро-, атмосфера на состояние современного климата

С.Х. Лифшиц^{*}, В.Б. Спектор^{**}, Б.М. Кершенгольц^{***}, В.В. Спектор^{**}

^{*}Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск

^{**}Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

^{***}Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

В последние 200 лет, наряду с увеличением концентрации CO_2 , беспрецедентно растет содержание CH_4 в атмосфере, обусловленное антропогенном. По принципу положительных обратных связей увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере может привести к потеплению, достаточно для разложения природных метановых гидратов, особенно тех, которые находятся в арктических морях и тундровой зоне в метастабильном состоянии. Вместе с тем известно, что в истории Земли выбросы CH_4 в атмосферу в связи с массовым разложением метановых гидратов приводили к климатически обусловленным биосферным катастрофам – это мезозойские и кайнозойские катастрофические потепления. Планетарная климатическая система в настоящее время находится в состоянии детерминистического хаоса. В этом состоянии даже относительно небольшие вклады в парниковый эффект могут вызвать значительные изменения в её функционировании, вследствие чего повышается ответственность человечества за выбор климатической системой дальнейшей траектории её развития.

Ключевые слова: разложение арктических метангидратов, биосферные катастрофы, планетарная климатическая система.

In the last 200 years, together with the increase of CO_2 concentration there is unprecedented growth of CH_4 content in the atmosphere, caused by anthropogenic influence. According to the principle of positive feedback the increase of concentration of greenhouse gases in the atmosphere can lead to the warming up, sufficient for decomposition of natural methane hydrates, especially those, which are located in the Arctic seas and tundra zone in the metastable state. It is at the same time known that in the history of the Earth the ejections of CH_4 into the atmosphere in connection with the mass decomposition of methane hydrates led to the climatic-caused biospheric catastrophes which were Mesozoic and Cenozoic catastrophic warming ups. The planetary climatic system at present is in the state of deterministic chaos. In this state even relatively small contributions to the greenhouse effect can cause significant changes in its functioning, in consequence of which the responsibility of the humanity for selection by the climatic system of further trajectory of its development rises.

Key words: decomposition of arctic methane hydrates, biospheric catastrophes, planetary climatic system.

Планетарная климатическая система в настоящее время находится в состоянии детерми-

нистического хаоса. В этом состоянии даже относительно небольшие вклады в парниковый эффект могут вызвать значительные изменения в её функционировании. Значимую роль в парниковом эффекте играют выбросы метана, причем антропоген вносит преимущественный вклад в этот процесс. Вместе с тем известно, что в истории Земли выбросы метана в атмосферу в связи с массовым разложением метангидратов приводили к климатически обусловленным биосферным катастрофам – это мезозойские и кай-

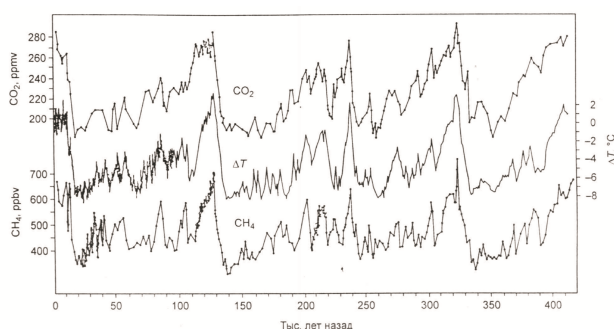
^{*}ЛИФШИЦ Сара Хаимовна – к.х.н., в.н.с., s.h.lifshits@ipng.ysn.ru; ^{**}СПЕКТОР Владимир Борисович – д.г.-м.н., г.н.с., vspektor@mail.ru;

^{***}КЕРШЕНГОЛЬЦ Борис Моисеевич – д.б.н., проф., зам.директора по научной работе, kerschen@mail.ru;

^{**}СПЕКТОР Валентин Владимирович – к.г.н., и.о. зав. лаб., vvspektor@mpi.ysn.ru.

нозойские катастрофические потепления. В этой связи повышается ответственность человечества за выбор самоорганизующейся климатической системой дальнейшей траектории ее развития.

Современное потепление климата многие ученые связывают с увеличением парникового эффекта. Обогащение атмосферы различными газовыми примесями обусловлено источниками природного и антропогенного происхождения. Чередование относительно теплых и холодных периодов в истории Земли хорошо известно из геологических, геохимических и палеоклиматических данных. Наибольшие значения температуры и значительное повышение концентрации парниковых газов отмечены около 420 тыс. лет, 320, 235, 130 и 10 тыс. лет назад, т.е. с периодичностью 90–120 тыс. лет концентрации CO_2 и CH_4 интенсивно возрастали примерно от 180 до 280 ppmv и от 300 до 650–750 ppbv соответственно (рисунок), а амплитуда изменений среднегодовой температуры достигала 8–12 °C [1].



Корреляция концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере с изменениями температуры воздуха в Антарктиде в ледниковые и безледниковые периоды за 420 тыс. лет согласно [1]

С точки зрения влияния парниковых газов важно то, что эти колебания климата происходили по естественным причинам, когда антропогенное воздействие на окружающую среду, в том числе и на потоки парниковых газов в атмосферу, было крайне незначительным. Вклад техногенных источников в парниковый эффект стал значимым лишь в последние 200 лет. То

есть чисто антропогенным фактором невозможно объяснить наблюдающийся в последние 420 тыс. лет колебательный режим изменения планетарного климата.

Авторы работы [2] полагают, что климатический механизм можно рассматривать как саморегулируемую систему, а климатические автоколебания — как суммарный результат действия многих различных факторов, ведущую роль среди которых играет карбонатно-метановая система. В настоящее время наша планета пребывает на рубеже восходящей и нисходящей ветви последнего голоценового климатического планетарного цикла («климатический кризис»). То есть, самоорганизующийся климатический механизм функционирует в режиме «детерминистического хаоса», и в этот период даже относительно слабые воздействия биосферы и техносферы на ее карбонатно-метановый механизм саморегуляции могут оказать решающее влияние на выбор системой дальнейшей траектории ее эволюции [2].

В этой связи особенно возрастает роль антропогенного фактора, его вклад в потоки парниковых газов в атмосферу. Оценка потоков CO_2 в атмосферу представляет собой сложную задачу, поскольку их величина может существенно изменяться в зависимости от температуры земной поверхности и воды в Мировом океане, от активности вулканической деятельности и других факторов. Вклад антропогенного фактора в поток CO_2 в атмосферу оценивается в 21,3–27 млрд. т/год [1] (табл. 1). Антропогенные источники метана включают сельскохозяйственную деятельность человека, потери метана при добыче органического топлива и его промышленные выбросы, что дает среднегодовой поток по разным оценкам от 1,1 млрд. т/год [1] (табл. 1) до 0,35 млрд. т/год [3] (табл. 2).

Как видно из приведенных в табл. 1 данных, если антропогенный поток CO_2 составляет около 3,7% от полного потока диоксида углерода, то для CH_4 — 37%.

Согласно работе [3], антропогенный поток метана составляет уже около 73 % от его сум-

Таблица 1

Глобальные потоки газов в атмосферу [1]

Источник	Газ					
	CO_2 , млрд. т/год	CH_4 , млрд. т/год	CO , млрд. т/год	SO_2 , млрд. т/год	N_2O , млрд. т/год	Суммарный поток, млрд. т/год
Природный	700	1,9	5,0	0,20–0,30	0,31–1,09	707,4–708,3
Антропогенный	21,3–27	1,1	0,36–0,70	0,13–0,21	0,03–0,11	22,9–29,1
Всего	721,3–727	3,0	5,36–5,70	0,33–0,51	0,34–1,20	730,3–737,4

О ВЛИЯНИИ ПОТОКОВ УГЛЕВОДОРОДОВ В СИСТЕМЕ ЛИТО-, ГИДРО-, АТМОСФЕРА

марного потока, т.е. превышает природный приблизительно в 2,7 раза (табл. 2).

Т а б л и ц а 2
Мощность естественных и антропогенных источников метана [3]

Естественные источники, млн. т/год		Антропогенные источники, млн. т/год	
Болота	50–70	Рисовые поля	120±50
Озера	1–25	Животные	80
Океаны	1–17	Свалки	50±20
Тундра	15–35	Добыча угля	35±10
Насекомые	20	Потери при добыче газа	34±5
		Горение биомассы	30±15
Суммарная мощность	130±40	Суммарная мощность	350±100
Общая сумма 480±140			

При этом авторы не учитывают вклад легких углеводородов, испаряющихся при многочисленных разливах и утечках нефти и нефтепродуктов в процессах добычи, транспортировки, хранения и переработки. Нефтяная промышленность по опасности воздействия на окружающую среду занимает третье место в числе 130 отраслей современного производства [4]. На территории бывшего СССР ежегодно происходило 700 крупных аварий на газо- и нефтепроводах, при которых терялось 7–20 % добываемой нефти [4]. Общие мировые потери нефти составляют приблизительно 3 % от ее мировой добычи. 2 % от объема добываемой нефти теряется при транспортировке и хранении нефтепродуктов, около 75 % этих потерь приходится на испарение углеводородов из резервуаров и танкерных емкостей. Путем испарения из почвы удаляется от 20 до 40 % легкой фракции пролитой нефти [5], т.е. почти половина потерь нефти и нефтепродуктов поступает в атмосферу, усиливая парниковый эффект.

Концентрация основных парниковых газов CO₂ и CH₄ в атмосфере за последние 200 лет увеличилась соответственно на 30 и 145 %. В настоящее время их концентрация продолжает увеличиваться, и скорость ее роста составляет в год для CO₂ 0,42–0,5 %, для CH₄ – 0,6–1 % [1]. Очевидно, что в результате воздействия антропогенных источников современные концентрации CO₂ (360 ppmv) и особенно CH₄ (1720 ppbv) заметно превышают концентрации этих газов накануне индустриального периода (280 ppmv и 700 ppbv соответственно в 1800 г.) [1]. Углекислый газ является одним из основных парниковых газов, вклад которого в глобальное потепление наибольший и составляет 60 %. Доля антропогенных источников составляет 2–2,5 %, поскольку соотношение антропогенного и природного потоков 1: (25–30). Для метана, вклад которого в парниковый эффект оценивается в 15 %, антропогенный поток может составлять от 1/3 и более, следовательно, на долю антропогенных источников метана приходится от 5 % и выше глобального потепления [1, 3]. К этому необходимо добавить поток углеводородов, поступающий в атмосферу от испарения нефти и нефтепродуктов.

Концентрация метана в атмосфере примерно в 200 раз ниже, чем углекислого газа, однако радиационная активность его в 21 раз выше. Прирост концентрации метана беспрецедентен в последнее время и может привести к тому, что за ближайшие 50–60 лет произойдет удвоение его содержания в атмосфере [1, 6] (табл. 3).

Весьма возможно, что одним из источников метана в атмосфере служат наблюдаемые и скрытые выбросы метана при разложении природных газовых гидратов. Количество метана, которое таят в себе природные газовые гидраты, в 3000 раз превосходит его количество в атмосфере ((6–7)·10¹² м³) [6]. Освобождение этого парникового потенциала имело бы страшные последствия для человечества. Потепление мо-

Т а б л и ц а 3
Концентрация парниковых газов и их вклад в атмосферу [1]

Газ	Концентрация в приземной атмосфере		Скорость роста концентрации в настоящее время в год	Время жизни в атмосфере, годы	Вклад в потепление, %
	в 1800 г.	в настоящее время			
CO ₂	280 ppmv	360 ppmv	1,5 ppmv (0,42–0,5)%	120–250	60
CH ₄	700 ppbv	1720 ppbv	10–16 ppbv (0,6–1)%	10–12	15
CO	-	120 ppbv	1–1,5 ppbv (~1 %)	~0,3	-
N ₂ O	275ppbv	312 ppbv	~0,8 ppbv (0,2–0,25) %	120–150	5
NH ₃	-	60 ppbv	-	-	-
O ₃	-	10–50 ppbv	~0,15ppbv (0,5 %)	0,1	8
SO ₂	-	(0,1–2) ppbv	-	~0,02	-

жет вызвать разложение гидратов, а освобождающийся при этом метан, усиливая парниковый эффект, по принципу положительной обратной связи приведет к дальнейшему потеплению, т.е. начнется процесс самоускорения. В истории Земли такого рода события уже имели место. Это катастрофические мезозойские и кайнозойские потепления, так называемые «метановые катастрофы», сопровождающиеся глобальными океаническими аноксическими событиями (ОАЕ) [7, 8]. Последнее такое быстрое потепление (в течение нескольких тысячелетий) фиксируется на границе палеозоя и эоцена приблизительно 55 млн. лет тому назад. Для него употребляют климатическое название – PETM, что означает Paleocene-Eocene Thermal Maximum. Механизм катастрофы представляют в виде следующей причинно-следственной цепочки: на первом этапе по каким-то причинам (наиболее вероятно, вулканическим) резко повысилось содержание CO_2 в атмосфере. Накопление парникового газа в атмосфере привело к разогреву атмосферы и гидросферы, что, в свою очередь, по мнению многих ученых, спровоцировало разложение практически всех имеющихся на тот момент океанических газовых гидратов (около 1200 Гт, это примерно 1/10 часть современных запасов), что еще более усилило парниковый эффект. Температура поверхностных слоев океана повысилась по разным оценкам от 6 до 13 °C [7, 8].

В результате резкого потепления, таяния ледников, опреснения поверхностных вод создавалась плотностная стратификация океана: глубинные воды перестали снабжаться кислородом, что убило большую часть бентоса. Кроме того, обеднение океанических вод кислородом могло произойти частично и за счет расходования его на окисление метана. Аноксия предохраняет от аэробного окисления органическое вещество, опускающееся на дно. Коэффициент его фоссилизации (не превышающий в современном океане 0,05% от исходного содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ в живом веществе) резко подскакивает. Так вместо осадков с околосларковыми содержаниями $\text{C}_{\text{орг}}$ на уровне 0,1–0,5% формируются углеродистые осадки (будущие черные сланцы) с гораздо более высокими содержаниями $\text{C}_{\text{орг}}$, иногда превышающими 10 % [7]. Таким образом, по мнению [7], черносланцевые эпизоды, связанные с ОАЕ, оказываются «черными страницами летописи биосферы». Если учесть, что черносланцевые формации являются потенциально нефтематеринскими, то можно предположить, что климатически обусловленные биосферные катастрофы инициируют процессы формирования каустобиолитов, в том числе

нефтеобразование. Накопление черных сланцев означало уход больших масс углерода из гипергенного цикла «атмосфера–биосфера–атмосфера». Усиленное захоронение $\text{C}_{\text{орг}}$ на протяжении 200 тыс. лет привело к снижению pCO_2 атмосферы, парниковый эффект уменьшился, наступило похолодание, аномальная черносланцевая седиментация сменилась нормальной.

Скорость нарастания концентрации метана в атмосфере в настоящее время настолько велика (табл. 3), что это не может не вызвать беспокойство многих ученых. Согласно обзору [7], на 19-й ежегодной Гольдшмидтовской Международной геохимической конференции, состоявшейся в 2009 г. в Давосе, около трети всех докладов было посвящено данной проблеме.

По мнению новосибирских ученых [6], имеющиеся на сегодня упрощенные оценки изменения температурных профилей земной коры приводят к следующим заключениям. Субмаринные газовые гидраты, расположенные в акватории Мирового океана, внутренних морей и озер, опасений пока не вызывают. При любом развитии событий они останутся стабильными в ближайшую тысячу лет. Наибольшую опасность представляют гидраты, которые уже сейчас находятся в метастабильном состоянии (в зонах вечной мерзлоты и на дне Северного Ледовитого океана). Особенно подвержены изменению климата газогидратные отложения континентальных арктических шельфов. Благодаря поднимающемуся уровню моря они испытывают повышение поверхностных температур. Количество метана, освобождающегося из этого источника, в конце прошлого столетия уже составляло около $5,6 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$, т.е. около 1% всех известных источников атмосферного метана. Критической для данного источника является температура $-2-0^\circ\text{C}$, выше которой перестает действовать эффект самоконсервации и начинается обвальное разложение газовых гидратов.

Шельф морей Восточной Арктики (ВАШ) включает море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, является самым обширным и мелководным шельфом Мирового океана; вмещает значительную часть мелководных газогидратов и 80 % субаквальной мерзлоты [9, 10]. Вследствие этого ВАШ оказывает большое влияние на обеспечение устойчивости климатической системы Земли. Подсчет эмиссии метана со дна ВАШ свидетельствует о существенном вкладе региона в баланс парниковых газов атмосферы. В этой области имеют место аномально высокая концентрация метана в воде [11, 12], высокий фоновый поток метана и высокодебитные локальные источники газа [9]. Так эмиссия метана

в среднем составляет $3 \text{ мг/м}^2\cdot\text{сут}$, а из локализованных плюмов метана на шельфе — $13 \text{ мг/м}^2\cdot\text{сут}$ [9]. За период, свободный ото льда, локальные источники метана на шельфе поставляют до $13,7\cdot 10^4 \text{ г}\cdot\text{км}^2$ метана в течение года [11]. Со дна Ледовитого океана (в море Бофорта) в настоящее время также наблюдаются признаки подъема масс метана [13]. Просачивание из осадочных толщ и распад газогидратов поставляют на сегодняшний день метана примерно столько же, сколько все его источники на суше [14].

Многочисленные наблюдения показывают, что газогидраты могут находиться и у самой поверхности дна в том случае, если содержание гидратообразующего газа превышает предел растворимости его в воде [15]. Для поддержания высокой концентрации газа в случае образования метангидратов необходимо существование постоянного подтока метана у поверхности дна. Вероятно, имеет место образование диссипативных газогидратных структур на стоке выбросов глубинных флюидов. Это подтверждается и имеющимися наблюдениями: все известные гидратопоявления приурочены к местам разгрузки глубинных флюидов [15]. Вполне вероятно, что на дне морей Восточной Арктики присутствуют подобные газогидраты. Последние находятся в неустойчивом состоянии и разрушаются даже при небольших вмешательствах в окружающую среду. Так в море Лаптевых в районе дельты р. Лены наблюдались выбросы газа из донных источников, вызванные работой судового двигателя [16]. При этом в отдельных случаях возникали выбросы с мощностью $0,7\text{--}2,1 \text{ г CH}_4/\text{с}$, сопоставимые с мощностями глубоководных грязевых вулканов.

На территории одного из самых холодных регионов планеты, Северо-Востоке Азии, например, за последние 50 лет рост среднегодовых температур происходит с трендом $0,06\text{--}0,09 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$ [17]. При сохранении такого тренда современная температура мерзлоты на подошве слоя годовых теплооборотов ($-8\text{--}-6^\circ\text{C}$) в этом регионе может подняться до критического уровня за 60–80 лет.

Из вышеизложенного следует, что в условиях «климатического кризиса», который в настоящее время переживает наша планета, антропогенный фактор может внести необратимые последствия в выбор саморегулируемой климатической системой дальнейшей траектории ее развития. Не хочется, чтобы деятельность человека спровоцировала новую «метановую катастрофу» в истории Земли и современная биота стала источником накопления каустобиолитов для, возможно, последующих цивилизаций.

Работа выполнена в рамках партнерского Интеграционного проекта №9 СО РАН и ДВО РАН «Сопоставление эволюции природной среды Сибири и Дальнего Востока по основным временным срезам позднего кайнозоя», 2012–2014 гг.

Литература

1. Адушкин В.В., Соловьев С.П., Турунтаев С.Б. Соотношение антропогенной и природной составляющих в потоке газов в атмосферу // Глобальные изменения природной среды. – Новосибирск: СО РАН «Гео», 2001. – С. 249–264.
2. Спектор В.Б., Кершенгольц Б.М., Лифшиц С.Х., Спектор В.В. Карбонатно-метановая система саморегуляции планетарного климата // Известия РАН. Серия географическая. – 2007. – № 6. – С. 1–12.
3. Бажин Н.М. Метан в атмосфере // Соровский образовательный журнал. Химия. – 2000. – Т. 6, № 3. – С. 52–57.
4. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
5. Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И. и др. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. – М.: Наука, 2001. – 125 с.
6. Дядин Ю.А., Гуцин А.Л. Газовые гидраты // Соровский образовательный журнал. Химия. – 1998. – № 3. – С. 55–64.
7. Юдович Я.Э. Давосская геохимическая мода-2009 // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2009. – № 7. – С. 25–33.
8. Голицын Г.С., Гинзбург А.С. Оценка возможности «быстрого» метанового потепления 55 млн. лет назад // ДАН. Геофизика. – 2007. – Т. 413, № 6. – С. 816–819.
9. Сергиенко, И.П., Лобковский Л.И., Семилетов И.П. и др. Деграция подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // ДАН. – 2012. – Т. 446, № 3. – С. 330–335.
10. Криотермия и натуральные газогидраты в Северном Ледовитом океане / Под ред. В.А. Соловьева и др. – Л.: Севморгео, 1987. – 150 с.
11. Shakhova N., Semiletov I. Methane realize and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf // Journal of Marine Systems. – 2007. – V. 66. – P. 227–243.
12. Шахова Н.Е., Алексеев В.А., Семилетов И.П. Прогноз эмиссии метана на Восточно-Сибирском шельфе // ДАН. – 2010. – Т. 430, № 4. – С. 533–536.
13. Paull C.K., Ussler W., Dallimore S.R. et al. Origin of pingo-like features on the Beaufort Sea-

shelf and their possible relationship to decomposing methane gas hydrates // *Geophysical Research Letters*. – 2007. – V. 34, № 1.

14. Judd A.G., Hovland M., Dimitrov L.I. et al. The geological methane budget at Continental Margins and its influence on climate change // *Geofluids*. – 2002. – № 2. – P. 109–122.

15. Анфилатова Э.А. Аналитический обзор современных зарубежных данных по проблеме распространения газогидратов в акваториях ми-

ра // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. Т.3, №4. http://www.ngtp.ru/9/44_2008.pdf.

16. Шахова Н.Е., Юсупов В.А., Салюк А.Н. и др. Антропогенный фактор и эмиссия метана на Восточно-Сибирском шельфе // *ДАН*. – 2009. – Т. 429, № 3. – С. 398–401.

17. Гаврилова М.К. Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации // *Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации*. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2007. – С. 64–98.

Поступила в редакцию 12.03.2015

УДК 551.464.6.027:551.322

Изотопный состав атмосферных осадков и снежного покрова в г. Якутске

Н.С. Малыгина*, Т.С. Папина*, А.Н. Эйрих*, А.Ф. Жирков**, М.Н. Железняк**

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

**Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

Приводятся данные изотопного состава атмосферных осадков и снежного покрова в районе г. Якутска в зимний период 2013–2014 гг. Полученные результаты согласуются с опубликованными средними значениями изотопного состава атмосферных осадков для зимнего сезона 2000/2001 г. Совокупное использование результатов изотопного анализа атмосферных осадков и снежного покрова позволило получить уточнённое уравнение локальной линии метеорных вод для зимнего периода в районе г. Якутска, значения коэффициента и свободного члена в котором близки к значениям глобальной линии метеорных вод. Получены уточнённые зависимости изотопного состава зимних атмосферных осадков от температуры воздуха в районе г. Якутска, которые близки к значениям для холодных регионов Северного полушария.

Ключевые слова: атмосферные осадки, снежный покров, изотопный состав.

The paper presents the data on precipitation and snow cover isotopic composition in the area of Yakutsk city in winter 2013–2014. The results are in agreement with the published average data on the precipitation isotopic composition for cold seasons 2000/2001. The combined use of atmospheric precipitation and snow cover isotopic analysis results allowed us to specify the equation of local meteoric water line for the winter period in the area of Yakutsk, where the coefficient and the constant term are close to the global meteoric water line. Specified dependencies of the isotopic composition of winter precipitation on the temperature in the area of Yakutsk are obtained which are close to the values for the cold regions of Northern Hemisphere.

Key words: precipitation, snow cover, isotopic composition.

Введение

Значительные климатические изменения в последние десятилетия отмечаются в разных

регионах Земли, но особенно резкие, носящие экстремальный характер, чаще всего фиксируются в средних и высоких широтах Северного полушария [1]. В пятом докладе I Рабочей группы МГЭИК значительное внимание уделено оценке региональных климатических изменений в связи с тем, что именно совокупность региональных оценок и прогнозов этих изменений в климатической системе даст наиболее точный общий глобальный прогноз. Результаты моделирования, представленные в разделе «Климатические явления: актуальность для будущих изменений регионального климата», показали,

*МАЛЫГИНА Наталья Сергеевна – к.г.н. г., н.с., natmgn@gmail.com; *ПАПИНА Татьяна Савельевна – д.х.н., начальник Химико-аналитического центра, tanya.papina@mail.ru; *ЭЙРИХ Алла Николаевна – к.т.н., н.с., allnik608@gmail.com; **ЖИРКОВ Александр Федотович – н.с., zhirkov_af@mail.ru; **ЖЕЛЕЗНЯК Михаил Николаевич – д.г.-м.н., директор, fe@mpi.ysn.ru.