

РАДИОУГЛЕРОД C^{14} И СПОСОБ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ТАЛЛОМЕ ЛИШАЙНИКОВ РОДА *Cladonia* Web.

*А.А. Очеретенко**, *Г.П. Киселев**

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Российской академии наук
(г. Архангельск)

Поиск эффективных индикаторов, способных отражать взаимодействие геосферных оболочек, является в настоящее время актуальной проблемой. Исследование взаимосвязей в системе «космосфера–атмосфера–биосфера–гидросфера» представляется возможным с использованием радиоактивных изотопов космогенного происхождения, в частности радиоактивного углерода-14. Изотоп C^{14} в малых количествах есть во всех природных средах и принадлежащих к ним объектах, постоянно образуется в нижних слоях атмосферы. Атмосферный углекислый газ является главным источником углерода, усваиваемого растениями. Неорганические углеродсодержащие соединения, растворенные в воде океанов, находятся в обменном равновесии с атмосферной углекислотой. В результате ее кругооборота в обменной природной системе C^{14} переносится из атмосферы в биосферу, гумус и океаны. Представляет интерес зафиксированное неоднородное накопление космогенных изотопов в атмосферных выпадениях и растениях Европейского Севера России. Лишайники выступают индикаторами загрязнения атмосферы. Авторы предположили неоднородное накопление изотопа C^{14} в лишайниках рода *Cladonia* Web. на территории Северо-Запада России и западного сектора Российской Арктики в течение года и 11-летнего солнечного цикла активности. Предложен способ выделения радиоизотопа в составе жидкого неокрашенного экстракта из талломов данных лишайников, позволивший определить радиоизотоп в экстрагируемом естественном соединении лишайника на жидкосцинтилляционном бета-спектрометре «HIDEX 300 SL». При аккумуляции в лишайниках радиоуглерод служит изотопным индикатором взаимодействия атмосферы и биосферы. В результате анализа подготовленных проб на радиоизотоп C^{14} установлено, что существует зависимость высоких и низких концентраций общего углерода от способа приготовления пробы.

Ключевые слова: космогенные изотопы, радиоуглерод, *Cladonia* Web., лишайник, Северо-Запад России, западный сектор Российской Арктики.

Изучение скоростей взаимодействия в системе «биосфера–атмосфера» на Северо-Западе России и в западном секторе Российской Арктики в период глобального техногенного

воздействия и изменяющегося климата приобретает особую актуальность. Современные исследования связаны с разработкой методов изучения взаимосвязи атмосферы и биосферы

Контактное лицо: Очеретенко Алина Александровна, адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 109; e-mail: pieerpl@yandex.ru

с использованием изотопно-радиоактивных индикаторов космического и антропогенного происхождения. К таким индикаторам относится углерод-14 (C^{14}), который на Земле имеет космогенное и антропогенное происхождение, что позволяет использовать его как индикатор взаимосвязи атмосферы и биосферы. Представляет интерес зафиксированное неоднородное накопление космогенных изотопов в атмосферных выпадениях и растениях Европейского Севера России [1].

Целью исследования является разработка эффективного способа определения содержания радиоизотопа C^{14} в лишайниках рода *Cladonia* Web.

Общеизвестно, что лишайники являются признанными объектами биоиндикации состояния атмосферы. Это определяется несколькими факторами: симбиотической природой организма, большой абсорбционной поверхностью, высокой гидрофильностью, средой обитания и длительностью жизни. Наиболее чувствительны к загрязнению атмосферы эпифитные лишайники. Лишайники рода *Cladonia* относятся к эпигейным. Содержание в их талломах радиоуглерода связано с поступлением этого элемента из почвы и атмосферы, что позволяет использовать результаты анализа этого изотопа в исследованиях взаимодействия атмосферы и биосферы применительно к территории Северо-Запада России и западного сектора Российской Арктики.

Выбор изотопа обусловлен его преимуществами по сравнению со стабильным изотопом C^{13} : возможностью количественного определения малых концентраций радиоактивных атомов C^{14} посредством измерения его бета-активности, достаточным периодом полураспада для изучения современных процессов в системе геосферных оболочек.

Изотоп C^{14} – мягкий β -излучатель, испускающий из ядра β -частицы с максимальной энергией 150 кэВ, при этом ядро C^{14} превращается в ядро азота N^{14} с периодом полураспада $T_{1/2} \approx (5730 \pm 40)$ лет. Благодаря указанным ценным свойствам C^{14} применяют для радио-

активной индикации и радиоуглеродного датирования. Метод широко используют в археологии, четвертичной геологии и почвоведении [2].

Углерод-14 в атмосфере Земли является продуктом природных ядерных взаимодействий непрерывного, но неравномерного потока заряженных частиц космического происхождения с атмосферными газами. Происходящие реакции приводят к появлению ряда радиоактивных космогенных изотопов: H^3 , He^3 (стабильный), Be^7 , Be^{10} , C^{14} , Na^{24} и др. [3]. Впервые предположение о том, что радиоуглерод постоянно образуется в нижних слоях стратосферы в результате воздействия вторичных нейтронов космического излучения на ядра азота по реакции $N^{14} + n \rightarrow C^{14} + p$ [4], высказал S. Korff в 1940 году [4]. В 1946 году W.F. Libby зарегистрировал радиоуглерод в атмосфере и пришел к выводу, что C^{14} должен содержаться в биосфере [3].

Другими космогенными источниками образования изотопов являются постоянно выпадающая на земную поверхность космическая пыль (около 10^6 т в год) и метеориты. При облучении космической пыли образуется группа радиоактивных изотопов, в т. ч. C^{14} .

Рассматриваемый изотоп образуется также по указанной выше реакции в ходе широких атмосферных ливней (ШАЛ). Они представляют собой потоки космических частиц высокой энергии, попадающих в атмосферу Земли, которые взаимодействуют с атомами и ядрами газов, составляющих атмосферу. Эти частицы вызывают каскадные процессы потоков вторичных частиц: пионов, протонов, нейтронов, мюонов, электронов, позитронов и фотонов. Далее они взаимодействуют с компонентами атмосферы. Такие процессы покрывают большую территорию [5]. Средняя космогенная скорость образования C^{14} – 2,2–2,3 атом/с·см², что по активности составляет около 4,1 ТБк/сут, или 1,5 ПБк/год. Образующийся изотоп быстро окисляется до $C^{14}O_2$. Так как атмосферный углекислый газ является главным источником углерода, усваиваемого растениями, то вся живая органическая материя содержит

определенное количество изотопа C^{14} . Кроме того, неорганические углеродсодержащие соединения, растворенные в воде океанов, находятся в обменном равновесии с атмосферной углекислотой и также содержат изотоп C^{14} . Удельная активность C^{14} , участвующего в углеродном кругообороте Земли, составляет около 15 расп./мин·г.

Искусственное образование изотопа C^{14} в атмосфере произошло вследствие взрывов атомных и водородных бомб. По данным Н. Таубер, это привело к ежегодному увеличению его содержания на 10 % начиная с 1955 года [4]. Однако с 1968 года концентрация ядерного изотопа C^{14} в атмосфере убывает по экспоненте до настоящего времени.

В ядерных реакторах изотоп C^{14} получают при взаимодействии нейтронов с ядрами азота. В настоящее время антропогенными источниками поступления изотопа C^{14} в окружающую среду являются атмосферные выбросы и сточные воды АЭС.

В результате кругооборота $C^{14}O_2$ в обменной природной системе C^{14} переносится из атмосферы в биосферу, гумус и океаны. Для атмосферы глобальная средняя скорость образования C^{14} (с учетом неточности знаний о параметрах, используемых в расчетах: потоке нейтронов, вероятности их захвата ядрами атомов воздуха, альбедо нейтронов, пробегах частиц в атмосфере, сечении реакций и т. п.) была оценена в $(2,50 \pm 0,50)$ атомов $C^{14}/см^2 \cdot с$ [2]. Предполагается, что концентрация радиоуглерода в атмосфере постоянна, экспериментальные исследования по определению радиоактивности образцов земной биосферы, отобранных на различных широтах и высотах относительно уровня моря, подтверждают это с высокой степенью точности [6].

Содержание C^{14} в дождевой воде и водах небольших поверхностных водоемов почти равновесно его содержанию в атмосфере. Предварительные работы К.О. Munnich и J. Vogel показали, что 85 % C^{14} в современных подземных водах входит в состав современных пород [7].

Коэффициент перехода в цепи «атмосфера–наземные растения» равен 1. Равновесие устанавливается через 2–3 мес. В растения C^{14} может поступать в небольшом количестве также из почвы. Содержание C^{14} в организме животных коррелирует с содержанием его в растениях в предыдущем году (при мониторинговых исследованиях). В окружающей среде могут создаваться локальные очаги загрязнения C^{14} : растения, находящиеся на расстоянии 1–2 км от трубы АЭС, содержат на 50–90 % больше C^{14} , чем находящиеся на расстоянии 20–30 км [2].

Методы, применявшиеся в прошлом и используемые в настоящее время при углубленном изучении изотопа C^{14} в природных средах, имеют сложную технологию пробоподготовки и измерений, что не позволяет широко использовать их в геоэкологии и экологии. В доступной литературе авторы не обнаружили результатов замеров концентраций C^{14} в таких организмах, как лишайники. Эти данные могли бы показать вариации концентрации C^{14} в атмосфере, т. к. лишайники способны поглощать различные вещества из атмосферы всей поверхностью тела, что и определяет их индикаторную роль. Л.Г. Бязров утверждает, что лишайники могут накапливать C^{14} в зависимости от климатических условий [8]. В литературных источниках представлены теоретические данные о высоких содержаниях полисахаридов в лишайниках рода *Cladonia* и методах их обработки [9–12]. Содержание полисахарида лихенан $(C_6H_{10}O_5)_n$ в лишайниках: цетрарии исландской – от 43,72 [9] до 75 % [11], кладонии оленьей – 82 %, кладонии лесной – 76 %, кладонии приальпийской – 60 % [11].

Материалы и методы. Приняв во внимание вышеуказанные данные, авторы предлагают способ экспериментального определения содержания радиоуглерода в экстрактах, полученных из таллома кустистых лишайников рода *Cladonia*, что существенно упрощает методику изучения изотопа C^{14} в геосфере. Способ предполагает гидролиз в течение 2 ч лишайника с предварительным выщелачиванием (24 ч) органических соединений, мешающих анализу и

последующему измерению полисахаридов, на жидкосцинтилляционном бета-спектрометре «HIDEX 300 SL», (производитель – «HIDEX Oy», Финляндия). Для 15 проб лишайников рода *Cladonia* определены радиоактивность C^{14} (распад/мин) и количество общего углерода (мг/л). Данные проходят обработку.

На этапе физической пробоподготовки исследуемые лишайники дважды механически пинцетом очищают от различных примесей (насекомые, мхи, грунт, листья, хвоя, ветки и т. д.). Работы производят в хирургических перчатках во избежание загрязнения пробы углеродом. В дальнейшем от высушенного и очищенного таким образом лишайника методом квартования отбирают образец. На этапе химической пробоподготовки образец массой 12–14 г выщелачивают 0,5 % раствором NaOH (чистым для анализа) (5 г NaOH на 1000 мл дистиллированной воды [9], объем – 250 мл). Выщелачивание занимает 24 ч, при этом производится двукратное промывание дистиллированной водой через 12 ч [9–11]. Образец тщательно промывают в 1 л дистиллированной воды через трехслойную марлю, декантируют. Промывание осуществляют четырехкратно. Декантант – раствор щелочи бурого цвета – в дальнейшем не используется [11]. После каждой декантации образец помещают в двухлитровую колбу с 1 л дистиллированной воды, полученную смесь взбалтывают на максимальной скорости шейкера в течение 10 мин. При промежуточных и окончательной декантациях лишайник механически чистится от примесей 4 раза. Количество примесей оценивают визуально. Полноту удаления щелочи определяют двумя способами: 1) визуально, по прекращению пенообразования при взбалтывании; 2) проверка фильтрата по универсальному лакмусу, pH нейтральный. Отмытый образец высушивают 45–60 мин в сушильном шкафу при +70 °С и взвешивают (все взвешивания осуществляют на аналитических весах с точностью до 0,0002 г). Далее снова выщелачивают в течение 12 ч. Процедуру промывания от щелочи повторяют в том же объеме. Прошедший двукратное вы-

щелачивание, декантацию и очистку от примесей образец (10 г) измельчают в фарфоровой ступке и подвергают гидролизу в кипящей дистиллированной воде в течение 2 ч. При гидролизе химический стакан закрыт наполовину часовым стеклом, т. к. потери от испарения составляют свыше 50 %. Полученный раствор охлаждают и фильтруют от лишайника. Выдерживается отношение 20 частей воды к 1 части лишайника [9]. При необходимости раствор надо упарить или разбавить кипяченой дистиллированной водой до требуемых объемов (150 мл). Упаривание производят на плитке в фарфоровых чашах. Полученный экстракт проходит фильтрацию с применением бумажных фильтров «белая лента» пористостью 3,0–3,5 мкм (3 раза), бумажных фильтров «синяя лента» пористостью 1,0–1,1 мкм (3 раза) и стеклянного фильтра пористостью 160 мкм (3 раза). Вся процедура фильтрования проводится при атмосферном давлении. Также однократно, после фильтрования через стеклянный фильтр, дополнительно в качестве поглотителя использовался активированный уголь марки «БАУ-А». При другом способе раствор фильтруют через воронку Шота с пористостью стекла 160 мкм после использования бумажных фильтров. К недостаткам описанных способов можно отнести, во-первых, невозможность учета потерь C^{14} в то время, когда бумажные фильтры высушиваются в сушильном шкафу и в дальнейшем озоляются в муфельной печи; во-вторых, трудность промывки стеклянных фильтров от примесей. Стеклянные фильтры не отмывались кипящей смесью Комаровского. Лучшим способом их чистки было применение хромовой смеси. Следует отдельно отметить сложность очистки фарфоровых тиглей (используется размер № 5) после озонирования проб. Предполагаемые оксиды тяжелых металлов пробовали последовательно удалять кипящей в течение 10–15 мин смесью Комаровского, концентрированной азотной кислотой при нагревании, концентрированной соляной кислотой при нагревании, смесью концентрированной азотной кислоты (10 мл) и концентрирован-

ной соляной кислоты (30 мл) при нагревании, хромовой смесью при нагревании. Тигли очищаются от оксидов только протиранием с небольшим количеством плавиковой кислоты, что растворяет и вымывает фарфор тигля.

Далее работы проводят в стерильных хирургических перчатках. От полученной отфильтрованной пробы отбирают 8 мл в стеклянную пробирку 20 мл, добавляют к ним 10 мл специального реагента-сцинтиллятора, получают измерительный коктейль. Используемый сцинтиллятор (уже смешанный с растворителем при производстве) марки «Ultima Gold LLT» – это коктейль для жидкостного сцинтилляционного счета с высоким выходом для замера образцов с низкой радиоактивностью. Производитель – «PerkinElmer Inc.» (США). Пробирку закрывают пластиковой пробкой и механически перемешивают несколько минут. Пробирку и крышку протирают снаружи техническим этиловым спиртом для удаления загрязнений со стекла. На крышке сбоку маркером ставят номер пробы. Препарат следует оставить на 12 ч в темноте для опалесцирования. Полная обработка одной пробы занимает около месяца, поэтому целесообразно делать серию проб.

В препарате, который предположительно содержит сахароколлоид лишая, трехкратно измеряют радиоактивный изотоп C^{14} на жидкостно-сцинтилляционном бета-спектрометре «HIDEX 300 SL». Данный прибор работает с программой «MicroWin 2000». В ходе анализа пробы получают показатели: количество отсчетов в минуту (CPM), количество распадов в минуту (DPM), отношение двойных и тройных совпадений (TDCR), химическое и физическое гашение (Chem). Время экспозиции – 3600 с. Кроме получения данных непосредственно об активности радиоуглерода (DPM) в лишайниках рода *Cladonia* Web. изучалось влияние химического гашения на регистрацию изотопа C^{14} . Чем ниже показатель химического и физического гашения в ходе замера пробы, тем достовернее полученные радиоактивные активности. При улучшении технологии по очистке

пробы от мешающих анализу примесей снижаются погрешности измерения [12].

Способ отработывался на 4 пробах, отобранных в ходе экспедиционных работ в 2012–2014 годы с территории государственного природного заповедника «Костомукшский» (Республика Карелия), наименее подверженной атмосферному загрязнению. Всего было отобрано 23 пробы: Архангельская область – 12 проб, северная часть Мурманской области – 2 пробы и Республика Карелия – 9 проб. В настоящее время они проходят обработку. Результаты определения общего углерода в экстрактах получены на анализаторе общего углерода «ТОС-Lcsn». Анализ произведен в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Критические технологии РФ в области экологической безопасности Арктики» Института экологических проблем Севера РАН.

Результаты и обсуждение. Полученные авторами данные (см. таблицу) показывают, что наименьшее значение Chem имеет проба Кладония № 1 (28.01.13), очищенная дополнительно методом осаждения на активированный уголь. Условия анализа общего углерода ($C^{общ}$): каталитическое окисление при 720 °С, определение газа бездисперсионным методом инфракрасной спектроскопии (ИК NDIR), мультиинжекция; четыре параллельных измерения. В таблице указано одно конечное значение для каждой пробы.

Статистические показатели прибора (не метода): стандартное отклонение (SD max) составляет 0,1, коэффициент вариации (CV) – 2,0 %. Общий углерод определен в 15 пробах (данные проходят обработку), его содержание колеблется в диапазоне от 180,2 до 539,1 мг/л. Вероятно, оно зависит от способа химической пробоподготовки и вида кладонии.

В ходе исследования установлено, что существует зависимость концентрации общего углерода от способа подготовки пробы. Таким образом, подготовленные образцы удовлетворяют цели исследования и позволяют определять радиоизотоп C^{14} в экстрагируемом есте-

ДАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОУГЛЕРОДА В ПРОБАХ ЛИШАЙНИКА РОДА *Cladonia* Web.

Наименование пробы, дата измерения	CPM	DPM	TDCR	Chemi	$C^{обш}$ (ТС), мг/л	$C^{14} / C^{обш}$
Кладония (Костомукшский заповедник) № 1, 09.01.13	544,00	12087,00	0,045	517,000	676,2	1,605
	394,00	7135,00	0,055	347,000		
	327,00	4702,00	0,070	281,000		
Кладония (Костомукшский заповедник) № 2, стеклянный фильтр 5 раз, 21.01.13	51,05	91,98	0,555	4,250	327,4	0,162
	53,13	98,59	0,538	5,630		
	55,23	109,93	0,502	7,360		
Кладония (Костомукшский заповедник) № 1, фильтрование через уголь, 28.01.13	58,80	93,70	0,627	0,000	–	–
Кладония (Костомукшский заповедник) № 1, фильтрование через уголь, 29.01.13	45,03	79,11	0,569	0,310	–	–
	47,18	83,32	0,566	0,410		
Кладония (Костомукшский заповедник) № 1, 12.11.13	44,11	78,79	0,559	1,850	394,5	0,111
	43,15	76,30	0,565	2,290		
	45,13	80,46	0,560	2,890		
Кладония (Костомукшский заповедник) № 2, часть 1, 24.12.13	43,53	73,79	0,589	1,000	491,4	0,089
	44,53	73,68	0,604	1,230		
	44,35	74,64	0,594	1,550		
Кладония с Беломоро-Кулойского плато, проба 2s, 3 раза белая лента, 3 раза синяя лента, 28.06.14	43,46	74,67	0,582	0,920	391,2	0,191
	42,85	72,00	0,595	1,100		
	44,51	77,71	0,572	1,420		

ственным органическом соединении лишено. Среднее значение общего углерода составляет порядка 300–600 мг/л, что обеспечивает решение поставленной задачи. Данные в настоящее время проходят обработку [12].

По сравнению с методами органического синтеза, при которых получают такие углеродсодержащие соединения, как бензол, этилбензол, этан, метан из карбида лития, предложенный способ характеризуется меньшим количеством стадий обработки пробы и требуемых химических реактивов. Перечисленные соединения летучи и ядовиты в отличие от получаемого полисахарида. Следует отметить, что предлагаемая радиохимическая подготовка позволяет сделать одновременную серию проб в отличие от вышеуказанных методов. При этом время экспозиции одного измерения C^{14} на жидкостинциллиационном бета-спектро-

метре составляет 1 ч, тогда как замер пробы в исследованиях Х.А. Арсланова требует до 12 ч [13].

Технологическая трудность заключается в получении прозрачного неокрашенного жидкого экстракта для корректного замера на бета-спектрометре «HIDEX 300 SL». Выбор способа пробоподготовки лишайника рода *Cladonia* Web. для анализа содержания в нем изотопа C^{14} на данном приборе определяется наибольшим выходом общего углерода при минимальном химическом и физическом поглощении сцинтилляционного эффекта (Chemi).

Заключение. Полученные результаты удовлетворяют поставленной цели исследования. Теоретическая информация о высоком содержании полисахарида лишено в работах ряда авторов [9–11] позволила разработать эффективный способ определения содержания изото-

па C^{14} в естественных химических соединениях углерода, который может широко применяться в геоэкологии и экологии. Отметим, что в научной литературе подобный подход к измерению концентраций C^{14} для таких симбионтов, какими являются лишайники, не встречался.

Список литературы

1. Дружинин С.В., Киселев Г.П., Очеретенко А.А. Особенности распределения бериллия-7 в атмосферных выпадениях и растениях Европейского Севера России // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Междунар. конф. (Томск, 4–8 июня 2013 г.) Томск, 2013. С. 184–187.
2. Дергачев В.А., Векслер В.С. Применение радиоуглеродного метода для изучения природной среды прошлого. Л., 1991. 258 с.
3. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М., 2009. 632 с.
4. Тупицын И.Ф. Радиоактивный углерод – C^{14} . М., 1961. 36 с.
5. Сокуров В.Ф. Физика космических лучей: космическая радиация. Ростов н/Д., 2005. 188 с.
6. Куццов В.М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М., 1986. 271 с.
7. Углерод-14 // Гидрогеология: курс лекций Стэнфорд. ун-та. URL: <http://www.geohydrology.ru/uglerod-14.html> (дата обращения: 11.07.2016).
8. Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М., 2005. 467 с.
9. Берсон Г.З. Дикорастущие съедобные растения. Л., 1991. URL: http://www.skitalets.ru/books/dikorast_rast/index.htm (дата обращения: 28.01.2013).
10. Пат. 2251309 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524, А23L/06. Способ получения желирующего агента / Г.В. Иванова, Е.О. Никулина; патентообладатель Краснояр. гос. торгово-экон. ин-т. № 2003104773/13; заявл. 17.02.2003; опубл. 20.11.2004.
11. А. с. 64753 СССР: МПК: С13К 1/02. Способ получения глюкозной патоки из лишайников / А.Л. Курсанов, Н.Н. Дьячков. № 3806 (322937); заявл. 09.09.1943; опубл. 01.01.1945.
12. Очеретенко А.А. Разработка методики для определения радиоактивного изотопа углерод-14 в лишайниках рода кладония // Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.: материалы докл. Всерос. конф. с междунар. участием (15–18 сентября 2014 года). Архангельск, 2014. С. 200–203.
13. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л., 1987. 300 с.

References

1. Druzhinin S.V., Kiselev G.P., Ocheretenko A.A. Osobennosti raspredeleniya berilliya-7 v atmosferykh vypadeniyakh i rasteniyakh Evropeyskogo Severa Rossii [Features of Distribution of Beryllium-7 in Atmospheric Precipitation and Vegetation of the European North of Russia]. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka: materialy IV Mezhdunar. konf. (Tomsk, 4–8 iyunya 2013 g.)* [Radioactivity and Radioactive Elements in Human Environment: Proc. IV Intern. Conf. (Tomsk, June 4–8, 2013)]. Tomsk, 2013, pp. 184–187.
2. Dergachev V.A., Veksler V.S. *Primenenie radiouglernogo metoda dlya izucheniya prirodnoy sredy proshlogo* [The Use of the Radiocarbon Method to Study the Natural Environment of the Past]. Leningrad, 1991. 258 p.
3. Ferronskiy V.I., Polyakov V.A. *Izotopiya gidrosfery Zemli* [Isotopy of the Earth's Hydrosphere]. Moscow, 2009. 632 p.
4. Tupitsyn I.F. *Radioaktivnyy uglerod – C^{14}* [Radioactive Carbon – C^{14}]. Moscow, 1961. 36 p.
5. Sokurov V.F. *Fizika kosmicheskikh luchey: kosmicheskaya radiatsiya* [Cosmic-Ray Physics: Cosmic Radiation]. Rostov-on-Don, 2005. 188 p.
6. Kuptsov V.M. *Absolyutnaya geokhronologiya donnykh osadkov okeanov i morey* [Absolute Geochronology of Bottom Sediments of the Oceans and Seas]. Moscow, 1986. 271 p.
7. Uglерod-14 [Carbon-14]. *Gidrogeologiya: kurs lektsiy Stendford. un-ta* [Hydrogeology: Series of Lectures of the Stanford University]. Available at: <http://www.geohydrology.ru/uglerod-14.html> (accessed 11.07.2016).
8. Byazrov L.G. *Lishayniki – indikator radioaktivnogo zagryazneniya* [Lichens – the Contamination Indicators]. Moscow, 2005. 467 p.
9. Berson G.Z. *Dikorastushchie s'edobnye rasteniya* [Wild Edible Plants]. Available at: http://www.skitalets.ru/books/dikorast_rast/index.htm (accessed 28.01.2013).

10. Ivanova G.V., Nikulina E.O. *Sposob polucheniya zheliruyushchego agenta* [A Method of Producing a Jellifying Agent]. Patent RF, no. 2251309 C2, 2003.

11. Kursanov A.L., D'yachkov N.N. *Sposob polucheniya glyukoznoy patoki iz lishaynikov* [The Method for the Production of Glucose Syrup of Lichens]. Certificate of Authorship SSSR, no. 64753, 1943.

12. Ocheretenko A.A. *Razrabotka metodiki dlya opredeleniya radioaktivnogo izotopa uglerod-14 v lishaynikakh roda kladoniya* [Technique Development for the Radioactive Isotope Carbon-14 Determining in the Cladonia Lichen Genus]. *Yudakhinskie chteniya. Geodinamika i ekologiya Barents-regiona v XXI v.: materialy dokl. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (15–18 sentyabrya 2014 goda)* [Yudakhin Readings. Geodynamics and Environment of the Barents Region in the XXI Century: Proc. All-Russ. Conf. with Int. Participation (September 15–18, 2014)]. Arkhangelsk, 2014, pp. 200–203.

13. Arslanov Kh.A. *Radiouglerod: geokhimiya i geokhronologiya* [Radiocarbon: Geochemistry and Geochronology]. Leningrad, 1987. 300 p.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.2.16

A.A. Ocheretenko, G.P. Kiselev**

*Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences
(Arkhangelsk, Russian Federation)

RADIOCARBON C¹⁴ AND THE METHOD OF ITS DETERMINATION IN THE THALLUS OF THE LICHEN GENUS *CLADONIA* WEB.

The search for the effective indicators of the interaction of geosphere shells is an actual problem. The research of correlations in the system of “cosmosphere–atmosphere–biosphere–hydrosphere” is possible with the use of radioactive isotopes of the cosmogenic origin, in particular the radioactive carbon-14. The isotope C¹⁴ is available in small quantities in all natural environments and objects belonging to them; and it is constantly formed in the lower atmosphere. Atmospheric carbon dioxide is the main carbon source assimilable by plants. Inorganic carbon-containing compounds dissolved in water of the oceans are in exchange equilibrium with the atmospheric carbon dioxide. C¹⁴ is transferred from the atmosphere into the biosphere, humus and the oceans as a result of the circulation of atmospheric carbon dioxide in the natural exchange system. The fixed non-uniform accumulation of cosmogenic isotopes in atmospheric precipitation and plants of the European North of Russia is of interest. Lichens are the indicators of air pollution. The authors suggest the non-uniform accumulation of the isotope C¹⁴ in the lichens genus *Cladonia* Web. in the North-West of Russia and the western sector of the Russian Arctic during the year and 11-year solar activity cycle. The method of allocation of the radioisotope in the composition of the liquid non-colored extract from the lichen thallus is presented. The method allows us to determine the radioisotope in the extracted lichen natural compound by the liquid scintillation beta spectrometer HIDEK 300 SL. When the accumulation in lichens the radiocarbon serves as an isotopic indicator of the interaction between the atmosphere and the biosphere. The analysis of prepared samples for C¹⁴ radioisotope demonstrates the dependency of high and low concentrations of total carbon on the sample preparation method.

Keywords: cosmogenic isotopes, radiocarbon, *Cladonia* Web., lichenan, North-West of Russia, western sector of the Russian Arctic.

Received on April 01, 2015

Corresponding author: Alina Ocheretenko, address: Naberezhnaya Severnoy Dviny, 109, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: pieepl@yandex.ru