

УДК 582.29:378.016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛИШАЙНИКОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

А.В. Пчёлкин¹

Пропитка лишайников различными составами (стабилизация) резко увеличивает их прочность, что важно при их изучении студентами. Были протестированы составы на основе глицерина. Наиболее оптимальным для стабилизации лишайников оказался состав на основе воды и 15–30%-го глицерина. По критериям удобства изучения морфологии и прочности талломов студенты дали по пятибалльной шкале более высокие оценки стабилизированным лишайникам, чем обычным. Стабилизация особенно эффективна при изучении лишайников из р. *Cladonia*.

Ключевые слова: лишайники, видовая идентификация, стабилизированные лишайники, учебный практикум, *Cladonia* spp.

Видовая идентификация лишайников – важнейшая часть спецкурса «Лихенология» (Гимельбрант и др., 2013). Как правило, студенты работают с готовым гербарным материалом (учебными гербариями). Такие гербарии ориентированы на использование только в учебном процессе и не предназначены, в отличие от научных гербариев, для длительного хранения. Работая с образцами лишайников, студенты многократно проводят с ними различные эксперименты, включающие скарификацию, воздействие реагентов на ковровый слой, сердцевину или осевой тяж (например, у видов из р. *Usnea*). Следовательно, образцы лишайников из учебных гербариев испытывают многократное химическое и механическое воздействие. Однако гербарные образцы некоторых видов обладают значительной хрупкостью. Особенно это относится к некоторым видам из р. *Cladonia*. Эта особенность связана со способом размножения фрагментами талломов. Хрупкие талломы легко крошатся (например, при прохождении стада оленей), обломанные фрагменты лишайников прилипают к шерсти и разносятся животными на значительные расстояния. Такая особенность лишайников мешает при их видовой идентификации в учебном процессе. Частично эту проблему можно решить, размачивая талломы, однако многократное проведение этого процесса и последующая сушка не лучшим образом сказываются на сохранности материала. Сушка под прессом делает талломы более устойчивыми, но при этом

студентам нередко трудно определить тип ветвления, наличие или отсутствие перфораций в местах ветвления и в сцифах, а у видов из р. *Hypogymnia* наличие перфораций на нижней поверхности. Практика показывает, что зачастую хрупкие гербарные образцы настолько разрушены, что это затрудняет их изучение и видовую идентификацию студентами. Желательно иметь талломы лишайников, сохранивших естественную форму и эластичность только что собранных образцов, но при этом пригодных для длительного хранения в гербарных условиях и дающих при идентификации характерные химические реакции.

Цель данной работы – создание методики повышения сохранности учебного гербария, позволяющего изучать морфологию лишайников и проводить их видовую идентификацию.

В 70-е годы XX в. супруги Ламбер провели исследования по консервации растений, которые завершились разработкой соответствующей технологии, а в дальнейшем и созданием франко-бельгийской компании «Vermont» (Жентель, Братчикова, 2017), которая стала мировым лидером по производству и поставкам стабилизированных цветов и растений. В настоящее время существуют различные фирмы (например, «Verdissimo», «Floever» и др.), наладившие производство растений, законсервированных тем или иным способом. Такие растения поступают в продажу под названием «стабилизированные». Лишайники из р. *Cladonia*, законсер-

¹ Пчёлкин Алексей Васильевич – вед. науч. сотр. лаборатории антропогенных изменений климатической системы, ФГБУ Институт географии РАН, докт. биол. наук (pchelkin@igras.ru).

вированные тем или иным способом и окрашенные в различные цвета, продаются под названием «стабилизированный ягель» или «стабилизированный мох» и используются в производстве диорам (Завалий, 2004), а также для декорирования внутреннего убранства помещений, (создания настенных панно, фитостен, декоративных вставок), в моделировании (Барковсков и др., 1980). В настоящее время существуют различные способы консервации растительного материала: восковая и силиконовая пропитка, пропитка диметакриловым полиэфиром с его дальнейшей полимеризацией, покрытие лаком, лиофилизация и др. Из способов, позволяющих сохранить эластичность свежесобранных растений, наибольший интерес представляют минерально-солевая консервация (срок эксплуатации растений более 10 лет) и жидкостная консервация (срок эксплуатации около 10 лет).

Жидкостная стабилизация заключается в использовании гигроскопичных водорастворимых жидкостей, замещающих воду в клетках фото- и микобионта лишайников. Стабилизирующие смеси могут базироваться на различных жидкостях: гликоле (в частности, пропиленгликоле), глицерине и др. Наиболее простая и безопасная смесь состоит из водного раствора глицерина: 15–20%-го (Завалий, 2004), 25–30%-го (Барковсков и др., 1980; Витвицкая, 2004). В более сложных случаях в смесь помимо глицерина добавляют азотнокислое серебро, железный купорос, формалин и бриллиантовую зелень (Омельянович, 1978). Жидкостную стабилизирующую смесь на основе глицерина, имеющую относительную дешевизну и доступность, а также безопасность для здоровья, часто называют «глицериновой пропиткой». Глицерин бесцветен, вязок и очень гигроскопичен, смешивается с водой в любых пропорциях, безопасен, используется в пищевой и медицинской промышленности, производстве моющих и косметических средств, зарегистрирован в качестве пищевой добавки E422. Его используют для стабилизации древесины (Глазков и др., 2004).

Для стабилизации растений (не только лишайников, но и мхов и высших растений) используют глицериновые пропитки различного состава: глицерин–вода, глицерин–этанол–вода; глицерин–этанол–ацетон. Время выдерживания в растворах разное. Так, при использовании 25%-го водного раствора глицерина для очищенных и промытых лишайников рекомендуют не менее 24 ч (Барковсков и др., 1980). Смесь, содержащую спирт и ацетон, для стабилизации

лишайников нельзя нагревать, так как при этом возможна диффузия лишайниковых веществ из одних частей гетеромерного таллома в другие или вымывание из лишайников в стабилизирующий раствор.

Материалы и методы

Для оценки возможности использования стабилизированных лишайников в учебном процессе были изучены лишайники разных жизненных форм и экологических групп, стабилизированные в глицериновой пропитке. Применяли водно-изопропанол-глицериновую пропитку с содержанием глицерина 5, 10, 15, 20 и 30%. Для ускорения процесса пропитки в смесь был добавлен раствор изопропанола в воде (1:1). Пропитку осуществляли погружением воздушно-сухих талломо в смесь до достижения мягкости. После этого талломы высушивали в течение суток при относительной влажности воздуха 60% и температуре воздуха 20 °С. В качестве контроля использовали высушенные талломы после пропитки смесью изопропанол–вода без добавки глицерина.

Для сравнения хрупкости стабилизированных и нестабилизированных талломо был использован своеобразный краш-тест. Проводили пятикратное сжатие таллома лишайника (по 10 талломо для каждого значения концентрации глицерина) с поворотом на 90° после каждого сжатия при относительной влажности воздуха 60%. После каждого сжатия взвешивали выкрошившиеся фрагменты талломо и вычисляли их процентное содержание по отношению к весу тестируемого образца, т.е. проводили по 50 измерений для каждой концентрации глицерина.

Для проведения краш-теста использовали талломы четырех видов кустистых эпигейных лишайников: *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot., *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *Cladonia uncialis* (L.) Weber ex F.H.Wigg., *Stereocaulon alpinum* Lauret. Для статистических расчетов средней и ошибки средней была использована отечественная программа STADIA 8.0. Вычисление проведено до сотых долей. Если значение составляло менее 0,01, то в таблице его обозначали как 0,00.

Воздействие обычных в идентификационном процессе химических реакций (С – реакция с хлором (раствором монохлорамина-Б); К – реакция с КОН; Р – реакция с парафенилендиаминном; I – реакция с йодом (раствором йода в йодистом калии), КС – реакция с КОН и затем с хлором) было проверено на стабилизированных

талломах лишайников различных жизненных форм: *Caloplaca pyracea* (Ach.) Th.Fr., *Cladonia rangiferina* (L.) F.H. Wigg., *Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss, *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M. Choisy, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Parmelia saxatilis* (L.) Ach., *Parmelia sulcata* Tayl., *Platismatia glauca* (L.) W.L. Culb. & C.F. Culb., *Polycauliona polycarpa* (Hoff.) Frödén, Arup & Søchting, *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Stereocaulon alpinum* Lauret, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. Для этого исходный таллом каждого вида был разделен на две части: одна часть была пропитана стабилизирующей пропиткой, другую использовали в качестве контроля без пропитки в воздушно-сухом состоянии; химические реакции проводили на контрольных и стабилизированных талломах.

Удобство использования стабилизированных лишайников в учебном процессе было проверено при проведении учебного курса «Лихенология». В эксперименте участвовали пятеро студентов 4-го курса. Они проводили оценку обычных и стабилизированных талломов (*Cladonia arbuscula*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia stellaris*, *Cladonia uncialis*, *Cladonia crispata* (Ach.) Flot.) по пятибалльной шкале (где 5 – наивысшая оценка, 1 – наименьшая) по трем критериям: 1 – устойчивость талломов к разрушению в процессе их изучения; 2 – удобство изучения морфологии; 3 – удобство проведения химических реакций.

Возможность использования предварительно размоченных в воде талломов для пропитки стабилизирующим раствором была проверена на кустистых лишайниках *Cladonia arbuscula*, *Cladonia stellaris*, *Stereocaulon tomentosum*. Для этого подвергшиеся воздушной сушке талломы размачивали в воде до мягкости, давали стечь лишней воде и слегка обсушивали салфеткой, после чего талломы помещали на несколько часов в стабилизирующий раствор (30%-й раствор глицерина в воде), периодически перемешивая. После этого талломы извлекали и высушивали при комнатной температуре. Стабилизированные талломы подвергали краш-тесту.

Результаты и обсуждение

Талломы *Cladonia arbuscula*, *Cladonia stellaris*, *Cladonia uncialis*, *Stereocaulon alpinum*, пропитанные водно-изопропанол-глицериновым составом путем погружения свежесобранных сухих образцов в стабилизирующий раствор, были изучены с помощью краш-теста при влажности воздуха

60% и температуре 20 °С. Результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что даже небольшая концентрация глицерина в стабилизирующем составе резко снижает ломкость лишайников. Наибольшая эластичность отмечена при 30%-й концентрации глицерина. Эту величину желательно не превышать, так как при большей концентрации глицерин выступает в виде поверхностного слоя на талломе лишайников.

В табл. 2 показаны результаты сравнительных тестов взаимодействия лишайников (с пропиткой 15%- и 30%-м глицерином и контрольных образцов без пропитки) с наиболее часто употребляемыми при идентификации химическими реагентами.

У *Cladonia rangiferina* и *C. stygia* при снижении концентрации глицерина до 15% реакция хорошо выражена (практически, как и у контрольных образцов), при этом красно-оранжевое окрашивание образцов хорошо сохраняется и их можно использовать в качестве наглядных пособий. У *Hypocenomyce scalaris* реакция хорошо видна на соредиозных участках и сердцевине с глицериновой пропиткой, а на поверхности таллома она проявляется слабее. Пропитка *Parmelia sulcata* иногда дает желтое окрашивание на некоторых талломах и участках сердцевины; окраска выражена сильнее при большей концентрации глицерина. Талломы *Xanthoria parietina* после пропитки GL-30% становятся зелеными с желтовато-оранжевым оттенком, реакция с КОН дает темно-вишневое окрашивание. Результаты сравнительного тестирования студентами удобства использования стабилизированных лишайников приведены в табл. 3.

Балльная оценка всегда несколько субъективна, однако по таким критериям, как устойчивость талломов и удобство изучения морфологии, все студенты дали более высокий балл стабилизированным талломам для всех пяти видов лишайников, использованных для идентификации. По химическим реакциям результаты не столь однозначны: для *Cladonia arbuscula* студенты дали немного более высокую оценку контрольным образцам. Это связано с тем, что химические реакции на стабилизированных талломах иногда проявляются немного позже и выражены слегка слабее, чем на нестабилизированных. Однако это не критично, так как реакции все равно можно фиксировать и учитывать в процессе идентификации. Студенты оценивали не только проявление химических реакций, но и

Т а б л и ц а 1

Потери веса таллома (%) при разной концентрации глицерина в пропитывающем растворе (среднее и ошибка среднего)

Концентрация глицерина, % Вид лишайника	0	5	10	15	20	30
<i>Cladonia arbuscula</i>	26,11±0,29	2,03±0,03	0,33±0,04	0,11±0,00	0,05±0,00	0
<i>Cladonia stellaris</i>	25,23±0,32	2,50±0,02	0,41±0,05	0,08±0,00	0,06±0,00	0
<i>Cladonia uncialis</i>	29,43±0,31	2,47±0,02	0,20±0,02	0,13±0,00	0,11±0,00	0,05±0,00
<i>Stereocaulon alpinum</i>	18,61±0,39	1,28±0,01	1,10±0,01	0,78±0,01	0,30±0,00	0,22±0,00

Т а б л и ц а 2

Результаты сравнительных химических тестов

Вид лишайника	Цветная реакция с химическими реактивами		
	КТ	GL-15%	GL-30%
<i>Caloplaca pyracea</i>	K+	K+	K+
<i>Cladonia rangiferina</i>	P+	P+	P±
<i>Cladonia stygia</i>	P+	P+	P±
<i>Нурocenomyce scalaris</i>	C+	C±	C±
<i>Нурogymnia physodes – таллом</i>	K+	K+	K+
<i>Нурogymnia physodes – сердцевина</i>	P+	P+	P+
<i>Parmelia saxatilis – таллом</i>	K+	K+	K+
<i>Parmelia saxatilis – сердцевина</i>	K+	K+	K+
<i>Parmelia sulcata – таллом</i>	K+	K+	K+
<i>Parmelia sulcata – сердцевина</i>	K+, P+	K+, P+	K+, P+
<i>Platismatia glauca</i>	I+	I±	I±
<i>Polyscauliona polycarpa</i>	K+	K+	K+
<i>Pseudevernia furfuracea – таллом</i>	K+, KC+, P+	K+, KC+, P+	K+, KC±, P+
<i>Pseudevernia furfuracea – сердцевина</i>	KC+, C+	KC+, C+	KC+, C±
<i>Stereocaulon alpinum</i>	P+	P+	P+
<i>Xanthoria parietina</i>	K+	K+	K+

О б о з н а ч е н и я: КТ – контроль; С – реакция с хлором (раствором монохлорамина-Б); К – реакция с КОН; Р – реакция с парафенилендиамином; I – реакция с йодом (раствором йода в иодистом калии), KC – реакция с КОН и затем с хлором; GL-15%, GL-30% – глицериновая пропитка 15%- и 30%-м глицерином соответственно; «+» реакция хорошо выражена; «±» реакция проявляется медленнее или немного слабее).

Т а б л и ц а 3

Результаты студенческой оценки таллонов по пятибалльной шкале

Критерии оценки	Студенты	Виды лишайников									
		<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia stellaris</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia uncialis</i>		<i>Cladonia crispata</i>	
		КТ	GL	КТ	GL	КТ	GL	КТ	GL	КТ	GL
Устойчивость таллонов	1	4	5	4	5	4	5	4	5	–	–
	2	3	5	2	5	4	5	4	5	–	–
	3	4	5	3	5	3	5	3	5	2	5
	4	4	5	5	5	3	5	3	5	–	–
	5	–	–	3	5	4	5	4	5	2	5
Изучение морфологии	1	2	5	3	5	2	5	2	5	–	–
	2	2	5	2	5	2	5	2	5	–	–
	3	2	5	2	4	2	5	2	5	2	5
	4	2	5	2	5	2	5	2	5	–	–
	5	–	–	2	4	2	5	2	5	2	4
Химические реакции	1	5	4	4	5	4	5	4	4	–	–
	2	5	4	4	5	4	5	4	4	–	–
	3	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5
	4	5	4	5	4	2	5	4	3	–	–
	5	–	–	5	5	5	4	4	4	5	4
Среднее		3,6	4,6	3,4	4,8	3,2	4,9	3,2	4,6	3,0	4,7

Обозначения: КТ – талломы без пропитки; GL – талломы, стабилизированные глицериновой пропиткой.

удобство нанесения реактивов (для *C. crispata*, не дающей химических реакций). В случае использования тех лишайников, для которых химические реакции важны при идентификации, концентрацию глицерина в стабилизирующем составе можно уменьшить. Из протестированных лишайников наибольшие оценки получили стабилизированные талломы *Cladonia stellaris* и *Cladonia rangiferina* – 4,8 балла (у контрольных 3,4 балла) и 4,9 баллов (у контрольных 3,2 балла) соответственно.

Стабилизация полезна и для других видов. Так, у *Bryoria furcellata* важный признак – изидиозные сорали, а изидии у гербарных образцов легко осыпаются. Стабилизация придает изидиям большую устойчивость. Для *Peltigera polydactylon* характерны вертикальные апотеции, которые в гербариях обычно прижаты, а стабилизация позволяет сохранить естественную форму таллома. У таких видов, как *Cladonia*

bellidiflora и *Cladonia coccifera*, при стабилизации лучше сохраняются филлокладии. У видов р. *Cladonia* с красными плодовыми телами пропитка 30%-м раствором глицерина вызывает небольшое потемнение окраски апотециев, а пропитка 15%-м глицерином практически не изменяет окраску апотециев.

Жидкостная пропитка на основе глицерина имеет много достоинств: глицерин безопасен, нетоксичен, не вызывает цветных химических реакций с компонентами лишайников. Состав на основе глицерина относительно дешев и прост в изготовлении, а результат не зависит от влажности воздуха и температуры. Более слабое проявление химических реакций с идентификационными веществами можно нивелировать уменьшением концентрации глицерина, так как даже 10–15%-й глицериновый состав резко снижает ломкость таллонов. Недостаток предложенного метода заключается в том, что пропитка может

вызывать пожелтение у талломоов некоторых видов (*Parmelia sulcata*, *Parmelia saxatilis* и др.).

Заклучение

Наиболее эластичными талломоы становятся после пропитки 30%-м раствором глицерина, но при этом последний иногда выступает на поверхности лишайников, в таких случаях концентрацию желательно снизить до 15–20%. Для проведения стабилизации глицерин следует добавить в воду, тщательно перемешать до получения однородной жидкости, а затем погрузить талломоы лишайников в полученную смесь так, чтобы они были полностью покрыты жидкостью, выдержать несколько часов до полной пропитки лишайников, вынуть талломоы, дать стечь излишкам жидкости и высушить. Если после сушки лишайники стали недостаточно эластичными, пропитку можно повторить. Если талломоы лишайников слишком хрупкие, то их можно предварительно размочить в воде, дать стечь лишней воде и слегка подсушить бумажной салфеткой (талломоы должны быть мягкими, но не мокрыми) и после этого погрузить в

стабилизирующий состав, используя при необходимости груз, при этом талломоы нужно несколько раз переворачивать. Время пропитки в этом случае несколько увеличится. При таком методе концентрация глицерина в оставшейся жидкости постепенно снижается. Сушка талломоов в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха может длиться несколько дней.

Стабилизированные лишайники не следует длительное время хранить в бумажных конвертах, так как бумага постепенно впитывает жидкость, в результате чего эластичность талломоов снижается. Хранить лишайники нужно в темном месте, для хранения удобно использовать коробки из пластика. Как и другие гербарные образцы, стабилизированные лишайники следует предохранять от длительного воздействия солнечных лучей.

Автор выражает благодарность за участие в эксперименте студентам кафедры геоботаники биологического факультета МГУ: Варваре Бакуменко, Ивану Кривокорину, Наталье Копыловой, Александре Мягкой и Нине Фариш.

Исследования выполнены в рамках темы ГЗ № 0148-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[REFERENCES]

- Барковсков Б.В., Прохазка К., Рагозин Л.Н. Модели железных дорог. М., 1989. 263 с. [Barkovskov B.V., Prokhazka K., Ragozin L.N. Modeli zheleznykh dorog. M., 1989. 263 s.]
- Витвицкая М.Э. Искусство составления букетов: Великолепные букеты из цветов. Аранжировка, флористика, икебана. М., 2004. 400 с. [Vitvitskaya M.E. Iskusstvo sostavleniya buketov: Velikolepnye bukety iz tsvetov. Aranzhировка, floristika, ikebana. M., 2004. 400 s.]
- Гимельбрант Д.Е., Кузнецова Е.С., Степанчикова И.С. Лихенология на кафедре ботаники Санкт-Петербургского университета // Вестн. СПбГУ. Сер. 3. 2013. Вып. 3. С. 148–166 [Gimel'brant D.E., Kuznetsova E.S., Stepanchikova I.S. Likhnologiya na kafedre botaniki Sankt-Peterburgskogo universiteta // Vestn. SPbGU. Ser. 3. 2013. Вып. 3. S. 148–166].
- Глазков С.С., Зобов С.Ю., Снычева Е.В. Стабилизация древесины березы растворами глицерина // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего. Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию лесоинженерного факультета. Воронеж, 2004. С. 63–65 [Glazkov S.S., Zobov S.Yu., Snycheva E.V. Stabilizatsiya drevesiny berezy rastvorami glitserina // Tekhnologii, mashiny i proizvodstvo lesnogo kompleksa budushchego. Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu lesoinzhenernogo fakul'teta. Voronezh, 2004. S. 63–65].
- Жентель Д.Р., Братчикова Л.И. Стабилизированные растения: особенности технологии производства и использования в фитодизайне интерьера // Вестн. научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. Сборник статей по материалам научно-исследовательских работ: в 4 т. Составитель А. Я. Барчукова, Я. К. Тосунов; под редакцией А.И. Трубилина, ответственный редактор А.Г. Коцаев. Краснодар, 2017. С. 274–278 [Zhentel' D.R., Brat-chikova L.I. Stabilizirovannye rasteniya: osobennosti tekhnologii proizvodstva i ispol'zovaniya v fitodizaine inter'era // Vestn. nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva molodezhi Kubanskogo GAU. Sbornik statei po materialam nauchno-issledovatel'skikh rabot: v 4 t. Sostavitel' A. Ya. Barchukova, Ya. K. Tosunov; pod redaktsiei A. I. Trubilina, otvetstvennyi redaktor A.G. Koshchaev. Krasnodar. 2017. S. 274–278].
- Завалий А. Искусство диорамы. М., 2004. С. 21 [Zavaliy A. Iskusstvo dioramy. M., 2004. S. 21].

Омельянович Н.Ф. Средство для консервирования срезанных листовых растений. Пат. № 6055584. Гос. Комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. Бюл. № 17. 05.05.1978

[Omel'yanovich N.F. Sredstvo dlya konservirovaniya srezannykh listvennykh rastenii. Pat. № 6055584. Gos. Komitet Soveta Ministrov SSSR po delam izobretenii i otkrytii. Byul. № 17. 05.05.1978].

Поступила в редакцию / Received 29.01.2019
Принята к публикации / Accepted 19.05.2019

THE USE OF PRESERVED LICHENS IN THE LEARNING PROCESS

*A.V. Pchyolkin*¹

Preservation of lichens increases their strength, which is important in their study by students. The compositions based on glycerol were tested. The most optimal for the preservation of lichens was a composition based on water and 15–30% glycerol. According to the criteria of convenience for study, the morphology and strength of thalli, the students gave higher ratings on a 5-point scale for preserved lichens than for usual lichens. Stabilization is particularly effective in the study of lichens of the genus *Cladonia*.

Key words: preserved lichens, species identification, training workshop, *Cladonia spp.*

Acknowledgement. The studies were carried out within the framework of the theme of the CP No. 0148-2019-0009 “Climate change and its consequences for the environment and the vital activity of the population in Russia”.

¹ Pchyolkin Alexey Vasil'evich, Laboratory of Anthropogenic Changes in the Climate System (LACCS), Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (pchelkin@igras.ru).