

- parazitologii Instituta problem jekologii i jevoljucii im. A.N. Severceva RAN. T. 48. Sistematika i jekologija parazitov. – M.: KMK, 2014. – S. 192–195.
8. *Movsesjan S.O.* Davjenezaty – lentochnye gel'minty zhivotnyh i cheloveka // *Osnovy cestodologii.* – M.: Nauka, 2003. – Ch. 2. – S. 163–196.
 9. *Oliger I.M.* Parazitofauna rjabchika na severe Gor'kovskoj oblasti // *Ucheb. zap. LGU.* – L., 1940. – № 59. – Vyp. 13. – S. 17–18.
 10. *Oliger I.M.* Parazitofauna teterevinyh ptic lesnoj zony Evropejskoj chasti RSFSR // *Zoologicheskij zhurnal.* – 1957. – T. 36. – Vyp. 4. – S. 493–503.
 11. *Potapov R.L.* Kuroobraznye // *Pticy SSSR.* – M.: Nauka, 1985. – S. 3–27.
 12. *Savchenko I.A., Savchenko A.P., Kizilova N.A.* i dr. Resursy kuroobraznyh Krasnojarskogo kraja: sostojanie, ispol'zovanie i ohrana / gl. red. *A.V. Shkljaev.* – Krasnojarsk, 2008. – 77 s.
 13. *Savchenko I.A., Litvinenko N.A., Savchenko A.P.* Ob osobennostjah letne-osennego pitanija rjabchika *Tetrastes Bonasia* (L.) Ob'-Enisejskogo mezhdurech'ja // *Vestn. KrasGAU.* – 2011. – № 1. – S. 93–97.
 14. *Skryabin K.I.* Trematody zhivotnyh i cheloveka // *Osnovy trematodologii.* – M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1948. – T. 2. – S. 5–6.
 15. *Skryabin K.I.* Trematody zhivotnyh i cheloveka // *Osnovy Trematodologii.* – M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1948. – T. 23. – S. 253–263.
 16. *Savchenko A.P., Savchenko P.A.* Migracii ptic Central'noj Sibiri i rasprostranenie virusov grippa A. – Krasnojarsk: Izd-vo SFU, 2014. – 256 s.



УДК 502.521(1-924.82)

*Л.П. Захарченко, А.В. Климченко,
И.В. Борисова, И.Н. Безкоровайная*

**ЦЕЛЛЮЛОЗОРАЗЛАГАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРИОГЕННЫХ ПОЧВ
(ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЭВЕНКИЯ)***

*L.P. Zakharchenko, A.V. Klimchenko,
I.V. Borisova, I.N. Bezkorovaynaya*

CELLULOSE'S DECOMPOSING CAPABILITY OF CRYOGENIC SOILS (CENTRAL EVENKIA)

Захарченко Л.П. – магистрант каф. экологии и природопользования Института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: lubava1692@mail.ru

Климченко А.В. – канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. биогеохимических циклов в лесных экосистемах Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. E-mail: klimchenko@mail.ru

Zakharchenko L.P. – Magistrate Student, Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Economy, Management and Environmental Management, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: lubava1692@mail.ru

Klimchenko A.V. – Cand. Biol. Sci., Staff Scientist, Lab. of Biogeochemical Cycles in Forest Ecosystems, Institute of Wood named after V.N. Sukachyov, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: klimchenko@mail.ru

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-04-00796.

Борисова И.В. – канд. геогр. наук, доц. каф. экологии и природопользования Института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: irina_borisova77@mail.ru

Безкоровайна И.Н. – д-р биол. наук, проф. каф. экологии и природопользования Института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: birinik-2011@yandex.ru

Borisova I.V. – Cand. Geogr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Economy, Management and Environmental Management, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: irina_borisova77@mail.

Bezkorovaynaya I.N. – Dr. Biol. Sci., Prof. Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Economy, Management and Environmental Management, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: birinik-2011@yandex.ru

Глобальное экологическое значение лесных экосистем Сибири, сформированных на многолетней мерзлоте, заключается в сохранении биологического разнообразия и регулировании климата планеты, а также в адаптационных возможностях биоты к существованию в экстремальных условиях и воздействию на них глобальных климатических изменений. Диагностика почв с помощью биологических характеристик дает достаточно полную информацию об их актуальных и потенциальных возможностях и способствует наиболее точному прогнозированию реакции почвенной среды как компонента экосистем. Цель данного исследования – оценить потенциальную и актуальную целлюлозоразлагающую активность криогенных почв в лиственничниках северной тайги. Исследование проводилось в северной части Красноярского края ($64^{\circ}18' \text{с.ш.}$, $100^{\circ}11' \text{в.д.}$). Объектами исследования являлись лиственничники кустарничково-зеленомошные, сформированные на склонах южной и северной экспозиции. Целлюлозоразлагающая способность почв определялась с помощью аппликационного и весового методов Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой. Анализ актуальной активности целлюлозоразложения исследуемых почв за теплый период выявил депрессивное состояние биологических процессов – за три месяца экспозиции полотно в естественных условиях южного и северного склонов разложилось около 7 % целлюлозы, на северных склонах максимальной активностью характеризуются подстилки, на южных склонах – минеральный слой почвы. На одном из южных склонов исследование проводилось через год после пожара. Данные по актуальной активности целлюлозоразложения на южном

склоне говорят о стимулирующем влиянии пирогенного фактора – в первый год после пожара потеря клетчатки составила 62 %, что более чем в 10 раз превышает таковую на ненарушенных пожаром склонах. За холодный период более высокая активность целлюлозоразлагателей отмечена для южного склона, не затронутого пожаром: в подстилке процент разложения составил почти 40 %, в минеральной части почвы – в 2 раза ниже.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, актуальное и потенциальное целлюлозоразложение, пирогенный фактор, биологический потенциал.

The global ecological meaning of Siberian forest permafrost ecosystems is biological diversity conservation, the planet's climate regulating and biota adaptation possibilities to existence in extreme conditions and global climate changes impact on them. Soil diagnosis with biological characteristics gives sufficient information about their actual and potential capabilities and contributes to the most accurate prediction of the reaction of the soil environment as a component of ecosystems. The aim of the research was to evaluate potential and actual cellulose's decomposing cryogenic soil activity in the north taiga larch forest. The objects of the research were larch forest dwarf shrub – feather moss forms on the southern and northern slope exposure. Cellulose's decomposing soil ability was determined with applicator and weighting methods of E. Mishustin and A. Petrova. Actual activity cellulose's decomposing analysis of investigated soils in the warm period of the year showed depressive situation of biological processes. For three month expositions in natural conditions of southern and northern slopes about 7 per cent of cellulose was

decomposed. On the northern slopes the litter had a maximum activity, on the southern slopes mineral soil layer had it. On one of the southern slopes studies were carried out a year later after a fire. The data of cellulose's decomposing actual activity on the southern slope show that there was a stimulating impact from a pyrogenic factor – in the first year after the fire, the loss of fat was 62 per cent, which is more than 10 times higher than it was in the slopes undisturbed by fire. High activity of cellulose's decomposing on the southern undisturbed by fire slope was marked during the cold period of the year: cellulose's decomposing in the litter was about 40 per cent, and in the mineral part of the soil it was 2 times lower.

Keywords: *perennial permafrost, actual and potential cellulose's decomposing, pyrogenic factor, biological potencial.*

Введение. Многолетняя мерзлота сосредоточена главным образом в Северном полушарии и распространена на 25 % поверхности суши [1]. Глобальное экологическое значение лесных экосистем Сибири, сформированных на многолетней мерзлоте, заключается в сохранении биологического разнообразия и регулирования климата планеты.

В докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата за 2014 г. констатируется зафиксированное повышение глобальной температуры [2]. Следствием увеличения температуры приземного слоя является увеличение безморозных периодов, снижение количества осадков в летний период, увеличение числа лесных пожаров, деградация мерзлоты, что в конечном итоге отражается на биологической активности почв. Прогнозируется, что наиболее значимые изменения произойдут в бореальных и тундровых экосистемах, подстилаемых многолетнемерзлыми почвами [3]. Следствием таких изменений может быть увеличение доступности органического вещества почв, усиление процессов микробиологической деструкции, т. е. снижение аккумулирующей роли криогенных почв.

Несмотря на достаточную изученность почв криолитозоны с точки зрения генезиса, физических, физико-химических и химических свойств,

их биологические показатели изучены слабо [4–6]. Однако именно диагностика почв с помощью биологических характеристик дает достаточно полную информацию об их актуальных и потенциальных возможностях и способствует наиболее точному прогнозированию реакции почвенной среды как компонента экосистем. В связи с этим оценка потенциальных биологических возможностей криогенных почв является весьма актуальной.

Цель исследований: оценка потенциальной и актуальной целлюлозоразлагающей активности криогенных почв в лиственничниках северной тайги.

Объект исследований. Исследования проводятся на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. В качестве постоянного экспериментального полигона для мониторинга активности биологических процессов при различных гидротермических условиях и уровнях залегания многолетней мерзлоты используются два профиля, заложенных на склонах южной и северной экспозиции. Экосистемы представлены лиственничниками кустарничково-лишайниково-зеленомошными в зоне сплошного распространения мерзлоты (64° с.ш. 100° в.д.). Почвенный покров представлен подбурами глеевыми иллювиально-железистыми и оподзоленными и криоземами (криометаморфическими грубогумусовыми глееватыми почвами). Почвы, формирующиеся на склонах южных экспозиций, характеризуются большей мощностью почвенного профиля, его дифференцированностью, четко выраженными органическими и минеральными горизонтами (рис. 1). Почвы склонов северных экспозиций отличаются меньшей мощностью почвенного профиля и слабой дифференциацией слагающих почвенных горизонтов.

Склоны различаются интенсивностью поступающей солнечной радиации, густотой растительного покрова, мощностью подстилки и толщиной сезонно-талого горизонта почвы. Толщина сезонно-талого горизонта в средней части южного склона составляет 120 см, северного склона соответственно – 45 см.

Южный склон одного из профилей в 2013 г. был пройден пожаром.

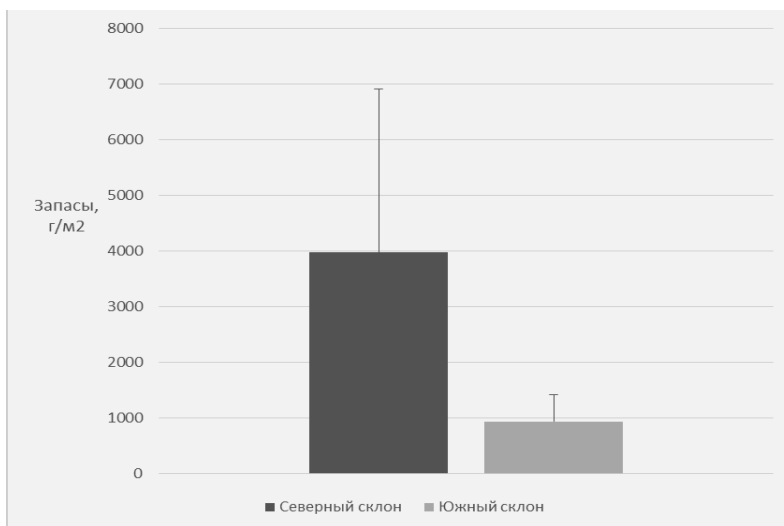


Рис. 2. Запасы подстилок на склонах разных экспозиций

Мощная мохово-лишайниковая подушка в криогенных экосистемах выполняет теплоизоляционную роль. Чем мощнее подстилка и мохово-лишайниковый ярус, тем хуже прогреваются нижележащие почвенные горизонты, что не способствует снижению уровня залегания многолетней мерзлоты. Низкие температуры в минеральных почвенных горизонтах лимитируют активность почвенной биоты и обуславливают низкую скорость деструкции органического вещества. В лиственничниках северной тайги Средней Сибири температура деятельного слоя находится в прямой зависимости от степени развития теплоизолирующего мохово-лишайникового покрова и мощности подстилки. В местобитаниях с мощным развитием мохово-лишай-

никового покрова биологически активные температуры могут наблюдаться лишь в органогенном горизонте [9].

Кроме мохово-лишайникового покрова особенности температурных условий почв определяются экспозицией склона. В августе, когда проводились измерения температуры, поверхность и верхние слои почвы на северном и южном склонегреваются одинаково (рис. 3). Основные различия показаны для слоя почвы 15–30 см. На одном из южных склонов отмечено влияние пирогенного фактора – температура поверхности и верхнего (30 см) слоя почвы на 10° выше таковой на склонах, не пройденных пожаром.

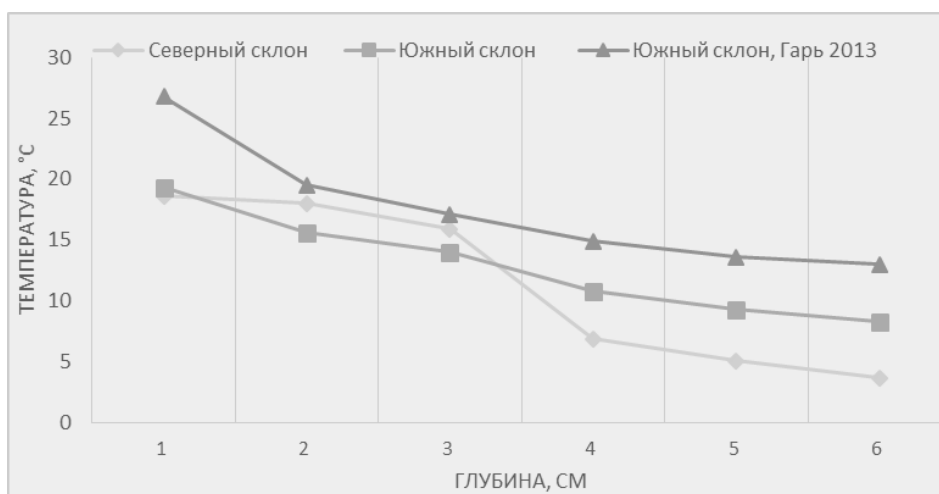


Рис. 3. Температура почвы под лиственничниками кустарничково-зеленомошными

Способность почв к целлюлозоразложению является одним из интегральных показателей их биологической активности и тесно связана со скоростью деструкции растительных остатков, поступающих в почву. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы осуществляют минерализацию клетчатки растительных остатков и принимают участие в гумификации органического вещества в почвах, что, в конечном итоге, определяет уровень почвенного плодородия и продуктивность биоты. В разложении растительных остатков, поступающих в почву, принимает участие обширная группа целлюлозоразлагающих микроорганизмов, например бактерии *Clostridium omelianskii*, *Clostridium thermocellum*, *Eubacterium cellulosolvens*. Но основная роль в этом процессе принадлежит грибам *Trichoderma viridae*, *Chaetomium globosum*, *Myrothecium verrucaria* и некоторым видам родов *Aspergillus*, *Stachybotrys*, *Penicillium*, *Monospora*, *Fusarium*, *Phoma* [10].

Анализ актуальной активности целлюлозоразложения исследуемых почв за теплый период выявил депрессивное состояние биологических процессов – за три месяца экспозиции полотно в естественных условиях южного и се-

верного склонов разложилось около 7 % целлюлозы, причем на северных склонах максимальной активностью характеризуются подстилки, на южных склонах – минеральный слой почвы (табл.). Возможно, пересыхание менее мощных подстилок южного склона лимитирует активность биологических процессов, тогда как в мощных подстилках северного склона складываются гидротермические условия, более благоприятные для активности почвенной биоты.

На одном из южных склонов исследования проводились через год после пожара. В результате воздействия огня полностью выгорел почвенный покров и подстилка. Черная поверхность способствует лучшему прогреванию почвы за счет снижения коэффициента Альбеда. Кроме того, происходит обогащение почвы минеральными элементами, это создает более благоприятные условия для функционирования почвенной микрофлоры [11]. Данные по актуальной активности целлюлозоразложения на южном склоне говорят о стимулирующем влиянии пирогенного фактора – в первый год после пожара потеря клетчатки составила 62 %, что более чем в 10 раз превышает таковую на ненарушенных пожаром склонах.

Целлюлозоразлагающая способность криогенных почв

Слой почвы	I профиль		II профиль	
	Северный склон	Южный склон (гарь)	Северный склон	Южный склон
Актуальная целлюлозоразлагающая активность, %*				
Теплый период				
Подстилка	4	51,3	7	5,3
0–20 см	1	62	4	6,2
Холодный период				
Подстилка	10	24	4	39
0–20 см	0	0	0	22
Потенциальная целлюлозоразлагающая активность, %**				
Подстилка	8,5	35	20	20
0–10 см	6,1	32	4	19
10–20 см	3	31	7	8

*Процент потери веса целлюлозы при разложении в условиях *in situ*.

**Процент потери веса целлюлозы при разложении *in vitro*.

За холодный период более высокая активность целлюлозоразлагателей отмечена для южного склона, не затронутого пожаром: в подстилке процент разложения составил почти

40 %, в минеральной части почвы – в 2 раза ниже. При наличии мощной мохово-лишайниковой подушки и подстилки в них и в прогретом за вегетационный период минеральном слое почвы

дольше сохраняются положительные температуры и влажность. На горячих, где нарушена теплоизоляционная функция напочвенного покрова и подстилки, во время первых заморозков происходит более быстрое промерзание верхних минеральных слоев, что не может не отражаться на динамике активности биологических процессов.

Определение способности почв к целлюлозоразложению способствует оценке потенциальных возможностей почв, их устойчивости к различным экзогенным факторам, таким как процессы деградации многолетней мерзлоты, пожары и др. За две недели компостирования почвы в оптимальных для микрофлоры условиях температуры и влажности процент потери целлюлозы на II профиле в подстилочном горизонте составил на обоих склонах 20 % (см. табл.). Однако более низкая потенциальная активность показана для минерального слоя почвы северного склона. Для северного склона I профиля выявлена крайне низкая потенциальная целлюлозоразлагающая способность как для подстилок, так и для минерального слоя почвы (3–8,5 %). В то же время пирогенный фактор способствовал увеличению потенциального целлюлозоразложения до 30–35 %.

Заключение. Криогенные почвы под северо-таежными лиственничниками кустарничково-зеленомошными (Центральная Эвенкия) характеризуются крайне низкой актуальной активностью целлюлозоразложения: за один год экспозиции в естественных условиях, вне зависимости от экспозиции склона, разлагается не более 40 % клетчатки. На склонах северных экспозиций активность целлюлозоразложения в подстилках значительно выше таковой в минеральном слое почвы 0–20 см, на склонах южной экспозиции биологические процессы более активны в минеральных слоях почвы.

В «теплый период» данные по актуальной активности целлюлозоразложения свидетельствуют о депрессивном состоянии биологических процессов исследуемых почв – за три месяца экспозиции полотно в естественных условиях на обоих склонах разложилось не более 7 % целлюлозы, причем на северных склонах максимальная активность характерна для подстилки, на южных склонах – для минерального слоя почвы.

В «холодный период» более высокая активность целлюлозоразлагателей отмечена для южного склона – в подстилках и минеральном

слое почвы 0–20 см она составила 40 и 22 % соответственно.

Выявлено стимулирующее влияние пирогенного фактора на активность биологических процессов: в первые годы после пожара потенциальная и актуальная активность целлюлозоразлагателей увеличивается более, чем в 2 раза.

Сравнительный анализ потенциальной и актуальной целлюлозоразлагающей активности криогенных почв показал, что они характеризуются биологическим потенциалом, способным обеспечить устойчивость этих почв к таким экзогенным факторам, как пожары и изменение климата.

Литература

1. *Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э.* Прогноз изменения мерзлотных условий в северном полушарии: применение результатов балансовых и транзитивных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы // *Криосфера Земли.* – 1998. – Т. 2. – № 2. – С. 53–57.
2. *Field C.B. et al.* IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2014.
3. *Карелин Д.В., Замолотчиков Д.Г.* Углеродный обмен в криогенных экосистемах. – М.: Наука, 2008. – 344 с.
4. *Краснощеков Ю.Н.* Микроэлементы в криоземах предтундровых лесов Приенисейской Сибири // *Почвоведение.* – 1999. – № 12. – С. 1455–1462.
5. *Shamrikova E.V., Gruzdev I.V., Punegov V.V. et al.* Influence of Biota on Low Molecular Weight Organic Acids in Soil Solutions of Taiga and Tundra Soils in the East-European Russia // *Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment.* – Springer Netherlands, 2013. – С. 107–111.
6. *Danilova A.A., Barashkova N.B., Arjakova A.P. et al.* Discriminating between biotic and abiotic contributions to CO² sub 2^o efflux from permafrost soil // *Eurasian Journal of Soil Science.* – 2014. – Т. 3. – № 3. – С. 152.

7. *Титлянова А.А.* Подстилки в лесных и травянистых экосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 137 с.
8. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – М.: Наука, 1980. – 287 с.
9. *Прокушкин А.С.* и др. Динамика запасов углерода в северотаежных листовничниках // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 156–159.
10. *Наплекова Н.Н.* Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. – 249 с.
11. *Богородская А.В.* и др. Послепожарная трансформация послепожарных микробеценозов и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири. – Красноярск: Изд-во СО РАН, 2011. – С. 86–95.
4. *Krasnoshhekov Ju.N.* Mikrojelementy v krioze-mah predtundrovyyh lesov Prienisejskoj Sibiri // Pochvovedenie. – 1999. – № 12. – S. 1455–1462.
5. *Shamrikova E.V., Gruzdev I.V., Punegov V.V.* et al. Influence of Biota on Low Molecular Weight Organic Acids in Soil Solutions of Taiga and Tundra Soils in the East-European Russia // Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment. – Springer Netherlands, 2013. – S. 107–111.
6. *Danilova A.A., Barashkova N.B., Arjakova A.P.* et al. Discriminating between biotic and abiotic contributions to CO² sub 2^o efflux from permafrost soil // Eurasian Journal of Soil Science. – 2014. – Т. 3. – № 3. – S. 152.
7. *Titljanova A.A.* Podstilki v lesnyh i travjanistyh jekosistemah. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012. – 137 s.
8. *Aleksandrova L.N.* Organicheskoe veshhestvo pochvy i processy ego transformacii. – M.: Nauka, 1980. – 287 s.
9. *Prokushkin A.S.* i dr. Dinamika zapasov ugle-roda v severotaezhnyh listvenichnikah // Lesnye biogeocenozy boreal'noj zony: geografija, struktura, funkcii, dinamika. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. – S. 156–159.
10. *Naplekova N.N.* Ajerobnoe razlozhenie cellju-lozy mikroorganizmami v pochvah Zapadnoj Sibiri. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1974. – 249 s.
11. *Bogorodskaja A.V.* i dr. Poslepozharnaja transformacija poslepozharnyh mikroboceno-zov i kompleksov bespozvonochnyh v poch-vah sosnjakov Central'noj Sibiri. – Krasno-jarsk: Izd-vo SO RAN, 2011. – S. 86–95.

Literatura

1. *Anisimov O.A., Nel'son F.Je.* Prognoz izmenenija merzlotnyh uslovij v severnom polusharii: primenenie rezul'tatov balansovyh i tranzitivnyh raschetov po modeljam obshhej cirkuljacii atmosfery // Kriosfera Zemli. – 1998. – Т. 2. – № 2. – S. 53–57.
2. *Field C.B.* et al. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2014.
3. *Karelin D.V., Zamolodchikov D.G.* Uglерodnyj obmen v kriogennyh jekosistemah. – М.: Nauka, 2008. – 344 с.

