

Отклик целостной экосистемы на потепление климата

© 2017. Н. Н. Зеленская, к. г. н., в. н. с.,

Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, 2,
e-mail: zelen_1@rambler.ru

Оценен отклик функциональных параметров (продуктивность, соотношение доминантов) изолированной лугово-степной экосистемы на потепление климата. Показано, что расположенная на северо-западном пределе ареала лугово-степная экосистема «До́лы» (Московская обл., Приокско-Террасный заповедник) за годы глобального потепления приблизилась по важнейшим структурным и количественным характеристикам к луговой степи в Курской области.

Продуктивность степной экосистемы «До́лы» возросла за период 1998–2011 гг. более, чем на 30%, по сравнению с периодом 1975–1985 гг. Проективное покрытие доминантных злаков составляет сейчас 17%. В период потепления доминируют ковыль и типчак. Даже в наиболее мезофитном сообществе в последние годы наблюдается переход от доминирования тимopheевки к доминированию типчака.

Таким образом, в период потепления экосистема по своим функциональным параметрам – продуктивности и проективному покрытию доминантных злаков – стала ближе к эталонной луговой степи.

Ключевые слова: экосистема, функционирование экосистем, изменение климата, луговые степи, Приокско-Террасный биосферный заповедник.

The response of holistic ecosystem to climate warming

N. N. Zelenskaya,

Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences,
2 Institutskaya St., Pushchino, Moscow region, Russia, 142290,
e-mail: zelen_1@rambler.ru

The “Doly” ecosystem in the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve (PTBR) is the most north-western site of the meadow steppes. We studied the changes in functional parameters of the ecosystem under the influence of global warming. In the Southern Moscow Region the global warming has manifested itself in the average annual air temperature increase of about 2 degrees. Despite the aridization of climate the annual aboveground production of steppe ecosystem “Doly” has increased by more than a third over the period from 1998 to 2011, reaching 330 g/m². It is important to know the contribution of the dominant species in the grass cover, since the ecosystem is affected by the Oka river floods once in 40 years. The mesophytic association *Phleum phleoides* – (*Festuca valesiaca*) – multigrass is most susceptible to flooding. However, the period of warming is accompanied by a significant drop in the Oka-river water level. This allowed us to fix the recoverable succession (demutation) of cereal dominants. In recent years even in the most mesophytic phytocenoses a tendency of transition from *Phleum phleoides* dominance to *Festuca valesiaca* dominance is observed. The structure of two more xerophytic phytocenoses virtually unchanged: in the projective cover *Festuca valesiaca* and *Stipa pennata* dominate. From 2005 to 2011 the projective cover of *Stipa pennata* has increased so that now the projective cover of *Festuca valesiaca* and *Stipa pennata* doubled to 20% and 8% respectively. According to the three stationary herbal field, the average cover of the Gramineae in “Doly” ecosystem makes up 17% of the total projective cover of herbage (by Ramensky method). Thus, in the period of global warming the isolated ecosystem “Doly” (in Moscow region) became closer to the reference meadow steppes ecosystem (in Kursk region) by functional parameters, such as productivity and projective cover of the basic dominant grasses.

Keywords: ecosystem, functioning of ecosystems, climate change, meadow-steppes, Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve.

В науках экологического профиля рождается новое научное направление – функциональная экология [1]. Задача изучения экосистем как функциональных ячеек биосферы

возникла в связи с необходимостью предвидеть и противостоять масштабным изменениям в природных комплексах под воздействием глобального потепления, антропогенного

пресса и нарастающего экологического кризиса. Необходимость функционального подхода при изучении биосферы первым осознал ещё В. И. Вернадский. Описывая геохимическую функцию живых организмов на Земле, он показал, что для познания механизмов изменений в биосфере требуется подход, «где на первый план выступает не морфологическое описание, а физиологические константы» [2]. Такой подход к исследованию экосистем основан на выделении значимого критерия в её функциональной организации [2, 3].

По нашему мнению, функционально значимым критерием для экосистем является пул органического вещества и его потоки в конкретной экосистеме. Вещество по качественному состоянию в экосистеме распределено на «живое» (ВМ – биомасса), «разлагающееся» (НМ – некромасса), «минерализованное» (ММ – минеральная масса), а магистральные потоки вещества в экосистеме (анаболизм, некроболизм и катаболизм) связаны двойственными процессами синтеза и распада органического вещества внутри каждого потока [1, 4]. С физиологической точки зрения любую экосистему можно представить как единство продуцентов (фитоценоз), консументов (зооценоз) и редуцентов (педоценоз), которые «прогоняют» вещество по метаболическому циклу, образуя относительно автономную систему, максимально пригодную в условиях конкретной климатической зоны. В процессе эволюции экосистема регулирует количество производимого органического вещества и скорость его обновления в соответствии с гидротермическими условиями географической зоны и, в конечном итоге, приводит свою структурно-функциональную организацию к динамическому равновесию с флуктуациями внешней среды в этой зоне. Таким образом, продуктивность экосистемы (способность продуцентов производить органическое вещество в результате фотосинтеза) и «рабочие» виды, производящие ежегодную продукцию, можно считать важнейшими функциональными характеристиками любой экосистемы.

В последние десятилетия одним из ключевых факторов функционирования экосистем стало глобальное потепление [5–7]. При этом наиболее выраженные признаки потепления наблюдаются на территории Европейской части России (ЕЧР), где темпы потепления почти вдвое превысили темпы глобального. Многолетний мониторинг эксклава луговой степи в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (ПТБЗ, Московская обл.) позво-

лил зафиксировать отклик целостной экосистемы на подобные значительные изменения климатических факторов. В нашем случае изолированная экосистема луговой степи, обитающая на северо-западном пределе ареала, попав в теплый климатический тренд, сама приблизилась к условиям среды, являющимся нормой для луговых степей. Это дало возможность сравнить её основные функциональные параметры в период потепления с параметрами эталонной лугово-степной экосистемы. Цель исследования – оценить изменение продуктивности и участия основных злаков в проективном покрытии травостоя в лугово-степной экосистеме «Долы» в условиях выраженного потепления климата.

Объект и методика исследования

Изолированный северо-западный фрагмент луговых степей в ПТБЗ локализован в урочище «Долы» на нижних надпойменных террасах р. Оки. По структуре и видовому составу экосистема «Долов» на 85% близка зональным луговым степям Центрально-Черноземного заповедника (ЦЧЗ) в Курской области [8]. Доминантами в обоих случаях являются плотнодерновинные злаки. Состав бобовых и разнотравья в экосистеме «Долы» также типичен для луговых степей. Для мониторинга выбраны три стационарных участка площадью в 100 м² каждый. Постоянные участки расположены вдоль градиента влажности, а их границы определены по доминированию более или менее ксерофильных злаков – ксерофитный с доминированием *Stipa pennata*, ксеромезофитный с доминированием *Festuca valesiaca*, мезофитный с доминированием *Phleum phleoides*. Последний фитоценоз, занимая пограничное положение, находится под влиянием редких (раз в 30–40 лет), но высоких разливов р. Оки. Это может приводить к сукцессионной смене основного доминантного злака в сообществе. Период потепления, напротив, позволил зафиксировать результат демулационной сукцессии в пограничном сообществе.

Геоботанические описания и учёт надземной продукции проводились по общепринятой методике [8]. Проективное покрытие измеряли методом Браун-Бланке [9] на 100-метровых и методом Раменского [3] – на метровых площадках. Сопутствующие метеорологические наблюдения выполняет станция фонового мониторинга (СФМ) заповедника.

Результаты и их обсуждение

Тренд потепления, фиксируемый в заповеднике с 1975-го по 2011 г., совпадает с общим трендом потепления по Подмосковию и выражается в повышении среднегодовой температуры воздуха приблизительно на 2 °С. Следствием потепления стало увеличение вегетационного сезона, сдвиг сроков вегетации (начала вегетации – на неделю, окончания – на две) и аридизация местообитаний. Каждый второй-третий сезоны отмечены повторяющимися засухами – в разгар фенологической весны и в разгар фенологического лета. Период исследований (1998 по 2011 гг.) характеризуется значительным падением уровня Оки. В период весеннего разлива максимальный уровень подъема реки снизился на 2,5 м, по сравнению со среднемноголетними данными за 100 лет. Это способствует дополнительному иссушению местообитаний степняков в ранне-весенний период.

Несмотря на аридизацию пограничного биотопа, в период потепления надземная продукция экосистемы «Долы» возросла. Сравнение продуктивности экосистемы «Долы» в период потепления (1998–2011 гг.) и в контрольном периоде (1975–1985 гг.) выявило увеличение средней надземной продукции экосистемы в теплом цикле более, чем на 30% по сравнению со значениями контрольного цикла. В абсолютном выражении надземная продукция в «Долах» в период потепления достигла величины 330±5 г/м² (или 3,3 т/га/год)

против 210 г/м² (2,1 т/га/год) в контрольном цикле.

Наибольшими величинами годовой продукции отмечены умеренно влажные и теплые вегетационные сезоны. Надземная фитомасса в эти годы составила от 360±5 до 416±10 г/м² за сезон (ошибка среднего для вероятности 0,95 составляет 7%). Минимальная продукция фиксируется в жаркие сезоны, сопровождаемые продолжительной засухой. В холодном цикле таких было два (1979 и 1981 гг.), а в теплом – пять (1999, 2002, 2007, 2010, 2011 гг.). Однако даже в экстремально засушливые сезоны (2010, 2011 гг.) теплого цикла надземная итоговая продукция степных сообществ оказалась почти вдвое большей, чем в подобные сезоны холодного цикла. Если потенциальные потери надземной продукции экстремальных сезонов контрольного цикла достигали 70% от среднемноголетних значений, то в подобные сезоны теплого цикла – вдвое меньше (до 35%). Нехватка атмосферных осадков и паводковых вод в жаркие годы последнего теплого цикла компенсировалась ранней вегетацией. Быстрое нарастание эффективных температур в период, когда ещё доступна влага талых вод сказывается на быстром приросте продукции (рис. 1). Количество надземной продукции, сравнимой со среднемноголетней (220–270 г/м²), достигается уже к концу мая – началу июня. Следовательно, влага от снеготаяния, поступающая в начале вегетации, может компенсировать недостаток атмосферных осадков. При этом в зависимости от количества

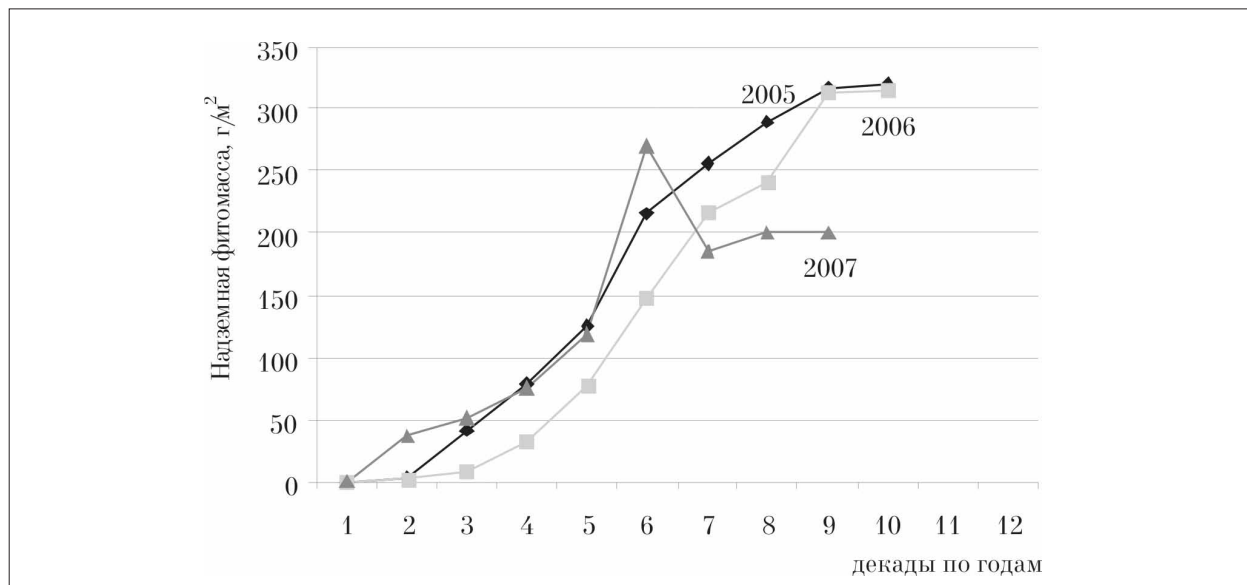


Рис. 1. Темпы прироста продукции в ксеромезофитной ассоциации «Долов» в различные вегетационные сезоны
 Условные обозначения: 2005 г. – близкий к норме сезон, 2006 г. – холодный и влажный сезон, 2007 г. – жаркий и сухой сезон.

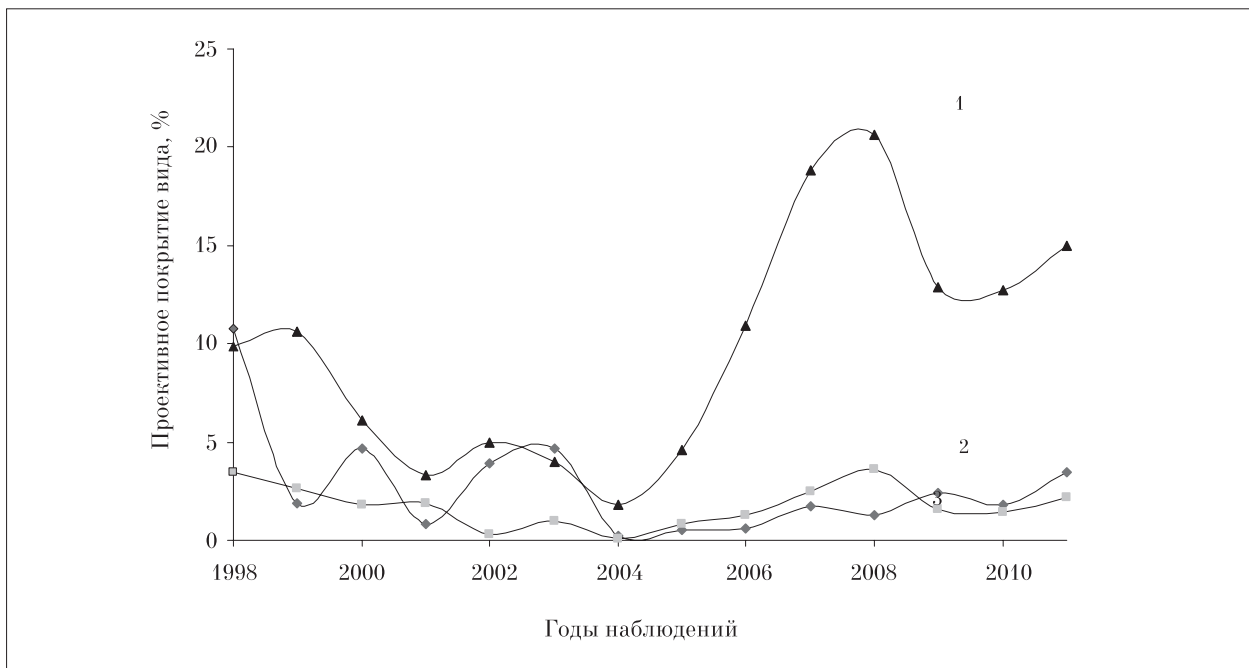


Рис. 2. Динамика проективного покрытия типчака на разных стационарах: 1 – мезофитный стационар; 2 – ксерофитный стационар; 3 – ксеромезофитный стационар
Примечание: по оси ординат – %.

весенней влаги, более благоприятные условия для старта получают то одни, то другие виды растений.

Анализ показал, что, несмотря на рост продуктивности в теплом цикле, в структуре доминантов более ксерофитных фитоценозов (с доминированием *Stipa pennata* и *Festuca valesiaca*) изменений не произошло; зато существенные изменения произошли в структуре мезофитного ценоза (с доминированием *Phleum phleoides*). В данном фитоценозе, подвергшемся паводку в 1994 г. и 1999 г., где на начало наших наблюдений доминировала тимофеевка, за последние годы из состава разнотравья выпали влаголюбивые виды (лисохвост луговой, марьянник гребенчатый), а затем произошла выраженная смена доминирующего злака. Впервые после воздействия паводка на мезофитном стационаре наблюдалась тенденция уменьшения проективного покрытия (ПП) типчака. Если в допаводковый год (1993 г.) проективное покрытие типчака в травостое этого стационара равнялось 19%, то после паводка шло постепенное уменьшение его доли: в 1998 г. ПП типчака составило 5%, в 1999 г. – 3,8%, в 2004 г. – только 2%. Во второй половине цикла исследований ПП типчака постепенно увеличивалось – с 5% в 2005 г. до 23% в 2011 г. (рис. 2).

Проективное покрытие ковыля на стационаре изменилось за этот же период ис-

следований с 1,9% до 8,7%, т. е. за период потепления в 7 лет (с 2005-го по 2011 г.) в ранее подверженном затоплению сообществе место рыхлокустовой тимофеевки занял плотнoderновинный типчак. За ксеромезофитным типчаком внедрился ксерофитный ковыль.

В итоге, за период потепления произошло сближение мезофитного и ксеромезофитного сообществ по составу доминантов за счёт ксерофитизации переходного, более мезофитного сообщества. Доминирование плотнoderновинных злаков указывает на установление типично степного состава растительности «Долов». Дерновинные злаки хорошо приспособлены переносить засушливые периоды и сохранять зачатки семян сопутствующих видов.

Часто смену доминантов в степных экосистемах связывают с уровнем залегания грунтовых вод. В ходе исследований проанализирован уровень грунтовых вод в непосредственной близости от урочища «Долы». Анализ показал, что с 2005-го по 2011 гг. произошло незначительное снижение их уровня, на 9–12 см. Но при залегании их на глубине более 7,5 м и при наличии мощного дренажа подстилающих пород в экосистеме «Долов», существенного влияния на произрастание травянистых видов грунтовые воды не оказывают.

При значительном увеличении надземной продукции в период потепления важно оценить степень участия злаков в её произ-

водстве, поскольку отнесение травянистой растительности к «остепнённым лугам» или «луговым степям» основано на соотношении доминантных злаков и сопутствующего разнотравья. Сообщества с доминированием плотнoderновинных злаков (как ковыль и типчак), относят к луговым степям. А сообщества с преобладанием мезоксерофильных злаков корневищного типа (как мятлики или вейник), даже с похожим составом разнотравья, относят к остепнённым лугам. Особенно важно наличие и долевое участие в травостое ковылей – в общем проективном покрытии луговой степи ковыли должны занимать от 5% до 50% [8].

Измеренное методом Раменского среднее проективное покрытие (ПП) злаков на всех стационарах составляет 17%; из них на долю ковыля приходится 8%, на долю типчака – 5%. Существенно, что за последние годы в ксерофитных сообществах проективное покрытие злаков практически не изменилось, а в наиболее мезофитном сообществе – значительно увеличилось. В период потепления на всех степных стационарах Долов стали доминировать плотнoderновинные ксерофильные злаки – типчак и ковыль. Даже в наиболее мезофитном сообществе в последние годы наблюдается отчётливая тенденция перехода от доминирования рыхлокустовой тимофеевки (*Phleum phleoides*) к доминированию плотнoderновинного типчака (*Festuca valesiaca*). За последние годы проективное покрытие ковыля и типчака увеличилось здесь вдвое. Доля же рыхлокустовой тимофеевки вдвое уменьшилась. Жаркие и засушливые сезоны последних лет закономерно привели к смене доминанта – в течение 5–7 лет тимофеевка сменилась типчаком, к которому интенсивно примешивается ковыль.

Заключение

Лугово-степная экосистема «Долы» (Приокско-Террасном биосферном заповеднике, Московская обл.), находясь на северо-западной границе распространения луговых степей, служит прекрасной природной моделью, демонстрирующей отклик целостной экосистемы на изменение климата и условий обитания. Период потепления 1998–2011 гг., совпавший с глобальным трендом, позволил зафиксировать изменение основных функциональных характеристик данной экосистемы – увеличение продуктивности и смену доминантных видов в пограничном сообществе.

На основе многолетнего мониторинга установлено, что потепление климата приблизило изолированную экосистему «Долы» к эталонной лугово-степной экосистеме (ЦЧЗ, Курская обл.) по продуктивности. Годовая надземная продукция лугово-степной экосистемы увеличилась более, чем на треть, и достигла 330 г/м² – в основном, за счёт сдвига вегетации на более ранние сроки.

Наблюдения на трёх стационарах, расположенных вдоль градиента влажности, показали, что структура двух более ксерофитных фитоценозов практически не изменилась – в проективном покрытии там доминируют типчак и ковыль. В более мезофитном ценозе к началу исследований доминировала *Phleum phleoides*, поскольку после воздействия паводка наблюдалась сукцессия, приведшая к уменьшению доли типчака в травостое и замене его тимофеевкой. При потеплении климата произошло сближение видового состава мезо- и ксеромезофитного сообществ, с восстановлением доли типчака в проективном покрытии травостоя за счёт ксерофитизации переходного, более мезофитного, сообщества.

В последние десятилетия на всех трёх стационарах экосистемы «Долы» проявляется ярко выраженный ксерофитный состав травостоя. Структура и продуктивность растительных сообществ соответствуют луговой степи.

Литература

1. Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 260 с.
3. Раменский Л.Г. Избранные работы (проблемы и методы изучения растительного покрова). Л.: Наука, 1971. 334 с.
4. Зеленская Н.Н., Керженцев А.С. Структурно-функциональное единство растительности и почвы – механизм функционирования экосистем (в связи с посадкой киотских лесов в степной зоне) // Научные ведомости Бел. ГУ. Сер. Ест. Науки, 2013. № 3 (146). Вып. 22. С. 121–126.
5. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. М.: Росгидромет, 2014. 61 с.
6. Mori A.S., Furukawa T., Sasaki T. Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change // Biological Reviews. 2013. V. 88. № 2. P. 349–364.
7. Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц. О глобальном изменении климата и его экосистемных

следствиях // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. № 3 (60). С. 5–13.

8. Данилов В.И. О некоторых вопросах погодичной динамики степных фитоценозов // Бюл. Моск. общества испытателей природы. Отд. биол. 1981. Т. 86. Вып. 5. С. 106–120.

9. Braun-Blanquet J. Planzensociologie. 3 Aufl. Wien., N.-Y.: 1964. 865 p.

10. Лавренко Е.М. Европейские луговые степи и остепнённые дуга // Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. С. 220–231.

References

1. Kerzhentsev A.S. The Functional Ecology. M.: Nauka. 259 p. (in Russian).

2. Vernadsky V.I. The Biosphere and Noosphere. M., Nauka, 1989. 260 p. (in Russian).

3. Ramenskiy L.G. Select of work (The Problem and methods of studying of a vegetative cover). L.: Nauka, 1971. 334 p. (in Russian).

4. Zelenska N.N. Kerzhentsev A.S. Structural and functional unity of vegetation and soil is a mechanism

of monitoring anthropogenically disturbed territories ecosystems functioning (in connection with the planting of Kyoto forests in the steppe zone // Nauchniye vedomosti BelGU. Ser. Estestv. nauki. 2013. № 3 (146). V. 22. P. 121–126 (in Russian).

5. The Second Assessment Report on climate change and their impact on the territory of the Russian Federation. In: Climate Change. T. 1. M.: Roshydromet, 2014. 61p. (in Russian).

6. Mori A.S., Furukawa T., Sasaki T. Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change // Biological Reviews. 2013. T. 88. № 2. P. 349–364.

7. Kulikov A.I., Ubugunov L.L., Mangataev A.Ts. Global climate change and its impact on ecosystems // Aridnye Ecosystemy. 2014. T. 20. № 3 (60). P. 5–13 (in Russian).

8. Danilov V.I. On some issues year-dynamics of steppe phytocenoses // Bul. Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel. Biologii. 1981. V. 86 (5). P. 106–120 (in Russian).

9. Braun-Blanquet J. Planzensociologie. 3 Aufl. Wien., N.-Y.: 1964. 865 p.

10. Lavrenko E.M. European meadow steppes and steppe meadows // Vegetation of the European part of the USSR. L.: Nauka. 1980. P. 220–231 (in Russian).

УДК 631.4:577.4

Анализ загрязнения нефтепродуктами и хлорорганическими соединениями почв и грунтов в окрестностях российских антарктических станций

© 2017. А. В. Лупачёв¹, к. б. н., с. н. с., Н. Ф. Деева², с. н. с.,
Д. Ю. Аладин², н. с., С. М. Севостьянов², к. б. н., зав. лабораторией,
Д. В. Дёмин², к. б. н., с. н. с.,

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Россия, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, 2,

² Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Россия, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, 2,
e-mail: a.lupachev@gmail.com

Проведены исследования содержания углеводородов нефти и её производных антропогенного происхождения (УВН) совместно с природными органическими углеводородами (ОУВ) в почвах и грунтах; хлорорганических соединений в орнитогенных отложениях, животных тканях и органогенных горизонтах почв в окрестностях российских полярных исследовательских станций в Антарктике. Почвы и грунты под линейными объектами и вблизи нефтебаз накапливают углеводороды нефти и её производные – в среднем от 150 до 600, а в локальных случаях 2200 мг/кг и более. В представленных образцах обнаружен ряд стойких органических загрязнителей (СОЗ) – пестицидов и их метаболитов. Во всех пробах присутствует гексахлорбензол (ГХБ). Присутствие повышенных доз дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и чрезвычайно высокое содержание его метаболитов в животных тканях свидетельствует о том, что не происходит снижения содержания этого химиката в экосистемах Антарктики. Накопление СОЗ связано как с трансграничной передачей в виде аэрозолей, так и с поступлением с океаническими водами.

Ключевые слова: Антарктика, антропогенное загрязнение, нефтепродукты, дизельное топливо, стойкие органические загрязнители, ДДТ.