ISSN 1993-3916

Том *Volume* **19** **Номер** **Number** **4 (57)** **Декабрь** **December** **2013**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ
ARID ECOSYSTEMS

Журнал освещает фундаментальные исследования и результаты прикладных работ по проблемам аридных экосистем и борьбы с антропогенным опустыниванием в региональном и глобальном масштабах. Издается с 1995 года по решению Бюро Отделения общей биологии Российской академии наук.

The journal is published by the decision Department of Biological Sciences of Russian Academy of Sciences (RAS). The results of fundamental and applied investigations on the problems of arid ecosystems and on struggle against anthropogenic desertification are published on its pages. Principles of system study of arid territories and the dynamics of their biology potential changes in global and regional aspects are put into basis.

МОСКВА: Товарищество научных изданий КМК
MOSCOW: KMK Scientific Press Ltd

2013

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOLOGICAL SCIENCES
DAGESTAN SCIENTIFIC CENTER
PRICASPIYSKIY INSTITUTE OF BIOLOGICAL RESOURCES
WATER PROBLEMS INSTITUTE

SECTION "Problems of arid ecosystems and combat against desertification"
Scientific council "Problems of ecology and biological systems"

ARID ECOSYSTEMS

Vol. 19, No. 4 (57), 2013, DECEMBER
Journal is founded in January 1995
Issued 4 times per year

Editor-in-chief Prof., Dr. biol. Z.G. Zalibekov**

Deputy editor Prof., Dr. geogr. N.M. Novikova*

Editorial Board:
B.D. Abaturov, S.-W. Breckle (Germany), M.G. Glants (USA), P.D. Gunin, Zhigang Jiang (China), L.A. Dimeeva (Kazakhstan), I.S. Zonn, R.V. Kamelin, Zh.V. Kuzmina, G.S. Kust, E. Lioubimtseva (USA), V.M. Neronov, L. Orlovsky (Israel), U. Safriel (Israel), I.V. Springuel (Egypt), A.A. Tishkov, V.I. Cherkashin, A.A. Chibilev, P. Shafroth (USA), Z.Sh. Shamsutdinov, A.K. Ustarbekov, T.V. Dikariova (*executive secretary*)

Responsibilities for issue:
N.M. Novikova*, Zh.V. Kuzmina*

Editorial council:
R.G. Magomedov** (*vice-editor-in-chief on organizational questions*), P.M.-S. Muratchaeva**, M.B. Shadrina*, M.Z. Zalibekova**

Addresses of Editorial Offices:
*Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3, WPI RAS
Tel.: (499) 135-70-41. Fax: (499) 135-54-15
E-mail: arid.journal@yandex.ru

**Russia, 367025 Makhachkala, Gadjieva str., 45, PIBR DSC RAS
Tel./ Fax: (872-2) 67-60-66
E-mail: pibrdncran@mail.ru

MOSCOW: KMK Scientific Press Ltd

2013

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
ДАГЕСТАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

СЕКЦИЯ "Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета по проблемам экологии биологических систем

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 19, № 4 (57), 2013, декабрь
Журнал основан в январе 1995 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор
доктор биологических наук, профессор
З.Г. Залибеков**

Заместитель главного редактора
доктор географических наук, профессор
Н.М. Новикова*

Редакционная коллегия:
Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), М.Г. Глянц (США), П.Д. Гунин, Джиганг Джанг (Китай), Л.А. Димеева (Казахстан), И.С. Зонн, Р.В. Камелин, Ж.В. Кузьмина, Г.С. Куст, Е. Любимцева (США), В.М. Неронов, Л. Орловская (Израиль), У. Сафриель (Израиль), И.В. Спрингель (Египет), А.А. Тишков, А.К. Устарбеков, В.И. Черкашин, А.А. Чибилев, П. Шафрот (США), З.Ш. Шамсутдинов, Т.В. Дикарева (*Ответственный секретарь*)

Ответственные за выпуск:
Н.М. Новикова*, Ж.В. Кузьмина*

Редакционный совет:
Р.Г. Магомедов** (*Заместитель главного редактора по оргвопросам*), М.З. Залибекова**, М.Б. Шадрина*, П.М.-С. Муратчаева**

Адреса редакции:
*Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, 3, ИВП РАН
Телефон: (499) 135-70-41, Fax: (499) 135-54-15
E-mail: arid.journal@yandex.ru

**Россия, 367025 Махачкала, ул. Гаджиева, 45, ПИБР ДНЦ РАН
Телефон: (872-2) 67-09-83
E-mail: pibrdncran@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

2013

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при финансовой поддержке
Прикаспийского института биологических ресурсов
Дагестанского научного центра Российской академии наук,
Института водных проблем Российской академии наук,
Товарищества научных изданий КМК
и содействии региональных отделений секции
"Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета "Проблемы экологии биологических систем"
отделения биологических наук Российской академии наук

The journal has been founded in 1995.
It is published under financial support of
Pricaspiyskiy Institute of Biological Resources
Dagestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences,
KMK Scientific Press Ltd
with assistance of regional departments of the section:
"Problems of Arid Ecosystems and Desertification Control",
Scientific Council "Problems of Biosystems Ecology"
Department of General Biology of Russian Academy of Sciences

Журнал включен в список Реферируемых журналов и
Базы данных ВИНИТИ, входит в Перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ, с 2011 г. переводится на
английский и распространяется издательством Springer за
пределами России. Сведения о журнале ежегодно
публикуются в международной справочной системе по
периодическим и продолжающимся изданиям
«Ulrich’s Periodicals Directory». Информация о журнале и
архив располагаются на сайте www.iwp.ru

The journal is included in the list of reviewed journals,
database of VINITI and in the list editions, recommended
by Higher Attestation Commission of Russian Federation.
It is translated from Russian to English and distributed by Springer
Publisher House outside of Russia.
Information about the journal is annually published in the
International inquiry system of the
«Ulrich’s Periodicals Directory». Information about Journal and
archive are at the site www.iwp.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Том 19, номер 4 (57), 2013 декабрь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О дифференциации экологических ниш некоторых доминантных видов растений в фитогенном поле саксаула черного *(Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) в пустыне Карнабчуль
З.Ш. Шамсутдинов, Ш.Р. Убайдуллаев, М.В. Благоразумова, Э.З. Шамсутдинова, Б.Н. Насиев 5-13

Опыт количественной оценки продукции надземной фитомассы и ее составляющих на степном пастбище
Б.Д. Абатуров, Ю.Д. Нухимовская 14-22

Изменение свойств аласных почв Центральной Якутии при пастбищной дигрессии
А.А. Данилова, П.П. Данилов, Г.Н. Саввинов, Л.Д. Гаврильева, А.А. Петров, Г.А. Алексеев 23-30

Наземные и спутниковые исследования продуктивности пастбищ Республики Калмыкии с различной степенью деградации растительных сообществ
А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Титкова, С.С. Уланова, Н.Л. Федорова 31-39

Мониторинг развития саксаула черного (*Haloxylon aphyllum*) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря
Ж.В. Кузьмина, С.Е. Трешкин 40-48

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Опасные и особо опасные пыльные бури в Средней Азии
Н.С. Орловский, Л. Орловская, Р. Индуиту 49-58

Выявление циклических колебаний во временном ходе условий увлажнения г. Воронеж
Л.М. Акимов 59-63

Региональные модельные оценки увлажнения засушливых земель России в 2011-2013 гг.
Е.А. Черенкова 64-69

Структурно-функциональная организация экотона побережья пересыхающего озера Булухта (Северный Прикаспий)
М.Б. Шадрина, А.В. Быков, А.В. Колесников, Н.П. Шабанова 70-76

Почвы песчаных массивов Баргузинской котловины: разнообразие, морфогенетические свойства и классификация
В.И. Убугунова, Ю.А. Рупышев, В.Л. Убугунов, Э.Г. Цыремпилов 77-85

Изменение дельты Дуная по данным дистанционного зондирования спутником Ландсат
В.М. Стародубцев 86-90

Некоторые результаты исследования зоопланктона озер Северного Казахстана
Н.И. Ермолаева 91-103

О природе глобального потепления и естественных причинах формирования климатических аномалий и катастроф
Д.Г. Осика, А.Ю. Отинова, Н.Л. Пономарёва 104-112

CONTENTS

Volume 19, Number 4 (57), 2013 DECEMBER

SYSTEMATIC STUDY OF ARID TERRITORIES

The differentiation of ecological niches of some dominant plant species in *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin phytogenic crowfoot in the desert Karnabchul

Z.Sh. Shamsutdinov, Sh.R. Ubaydullaev, M.V. Blagorazumova, E.Z. Shamsutdinova, B.N. Nasyiev 5-13

Experience of the quantitative assessment of production of aboveground phytomass and its components on the steppe pasture

B.D. Abaturov, Yu.D. Nukhimovskaya 14-22

Change of the alas soils properties in conditions of pasture digression in Central Yakutia

A.A. Danilova, G.N. Savvinov, P.P. Danilov, L.D. Gavrilyeva, G.A. Alekseev, A.A. Petrov 23-30

Terrestrial and satellite investigation of pasture productivity of Kalmykia with different degree of vegetation degradation

A.N. Zolotokrylin, T.B. Titkova, S.S. Ulanova, N.L. Fedorova 31-39

Monitoring of the growth of black haloxylon (*Haloxylon aphyllum*) on hydromorphic salt marshes of the dried bottom of the Aral Sea

Zh.V. Kuz'mina, S.Ye. Treshkin 40-48

BRANCH PROBLEMS OF ARID LANDS DEVELOPMENT

Severe dust storms in Central Asia

N.S. Orlovsky, L. Orlovsky, R. Indoitu 49-58

Identification of cyclical fluctuations in the temporal course of the conditions of moistening of Voronezh

L.M. Akimov 59-63

Regional model assessment of humidification of dryland of Russia in 2011-2030

E.A. Cherenkova 64-69

Spatial functional organization of ecotons on the shores of intermetent lake Buluhkta (North Caspian Lowland)

M.B. Shadrina, A.V. Bykov, A.V. Kolesnikov, N.P. Shabanova 70-76

Soils of sandy areas of Barguzin hollow: diversity, morphogenetic properties and classification

V.I. Ubugunova, Yu.A. Rupyshev, V.L. Ubugunov, E.G. Tsyrempilov 77-85

Changes of the Danube delta according to remote sensing data by Landsat satellite

V.M. Starodubtsev 86-90

Some results of study of freshwater zooplankton in oligohaline lakes of Northern Kazakhstan

N.I. Yermolaeva 91-103

About the origin of the global warming and the reasons for the formation of climatic anomalies and disasters

D.G. Osika, A.Yu. Otinova, N.L. Ponomareva 104-112

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 5-13

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК: 631.5+581.55+622.39

О ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НИШ НЕКОТОРЫХ ДОМИНАНТНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В ФИТОГЕННОМ ПОЛЕ САКСАУЛА ЧЕРНОГО (*HALOXYLON APHYLLUM* (MINKW.) ILJIN) В ПУСТЫНЕ КАРНАБЧУЛЬ[1]

© 2013 г. З.Ш. Шамсутдинов*, Ш.Р. Убайдуллаев, М.В. Благоразумова*, Э.З. Шамсутдинова*, Б.Н. Насиев*****

**Всероссийский научно-исследовательский институт кормов им. В.Р. Вильямса РАСХН*
Россия, 141055 Московская область, г. Лобня, Научный городок. E-mail: aridland@mtu-net.ru
***Каршинский инженерно-экономический институт*
Узбекистан, 180103 г. Карши, пр. Мустакиллик, д. 2. E-mail: kiei_info@edu.uz
****Западно-Казахстанский государственный университет*
Казахстан, 090000 г. Уральск, пр. Достык, д. 162. E-mail:zapkazgu@wksu.kz

Поступила 18.12.2013

Проведено исследование характера дифференциации экологических ниш некоторых доминантных видов полукустарниково-эфемеровых пастбищных экосистем (полынь развесистая, осока толстостолбиковая, мятлик луковичный) под влиянием фитогенного поля саксаула черного в пустыне Карнабчуль.

Ключевые слова: дифференциация экологических ниш, саксаул черный (*Haloxylon aphyllum*), фитогенное поле, полынь развесистая, осока толстостолбиковая, мятлик луковичный.

В аридных зонах Средней Азии и России находятся более 300 млн.га природных пастбищных экосистем, которые являются материальной основой и исходной базой развития важнейших отраслей пастбищного животноводства – овцеводства, скотоводства, верблюдоводства, козоводства и табунного коневодства. В результате нерационального природопользования эти пастбищные экосистемы подверглись деградации и нуждаются в восстановлении утраченной продуктивности (Нечаева и др., 1979; Шамсутдинов, 1986; Петров, 1997; Кулик, Петров, 1999; Шамсутдинов и др., 2000; Шамсутдинов, Шамсутдинов, 2012). Для восстановления деградированных пастбищных экосистем широко используется технология создания черносаксауловых пастбищезащитных полос (Шамсутдинов, Ибрагимов, 1983; Шамсутдинов, Савченко, Шамсутдинов, 2000; Шамсутдинов, 2006; Шамсутдинов, Шамсутдинов, 2000, 2008).

При разработке эффективных методов восстановления биоразнообразия и продуктивности аридных пастбищных экосистем на основе создания черносаксауловых полос существенное значение имеет знание характера дифференциации экологических ниш.

Многие исследователи рассматривают концепцию экологических ниш в качестве главного содержания современной экологии. Р. Макинтош (Mcintosh, 1974) назвал экологию наукой об экологических нишах.

На формирование современной концепции экологической ниши большое влияние оказал Дж. Хатчинсон (Hutchinson, 1957). Согласно Хатчинсону нишу любого вида можно представить как часть многомерного пространства, отдельные оси которой соответствуют факторам, необходимым для нормального функционирования и размножения вида (Гиляров, 1978). При этом, Хатчинсон предложил различать два состояния экологической ниши вида: фундаментальную нишу, охватывающую все множество оптимальных условий в которых данный вид может обитать в отсутствие конкурентов, и реализованную нишу, или тот фактический комплекс условий, в которых этот вид обычно живет. Как правило, реализованная ниша меньше фундаментальной или равна ей (Джиллер, 1988).

Концепция экологических ниш все чаще используется как действенный метод изучения структурной организации, устойчивости и продуктивности растительных сообществ. Состояние и

[1] Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 12-05-00818-а.

возможные аспекты дальнейшего развития концепции экологических ниш и роль ее в решении прикладных вопросов луговодства, пастбищного хозяйства и растениеводства с той или иной полнотой освещены во многих работах (Шенников, 1964; Уиттекер, 1980; Работнов, 1982, 1983, 1984; Василевич, 1982, 1983; Миркин, 1985, 1986; Каленов, 1983; Шамсутдинов, 1975, 1986; Шамсутдинов, Убайдуллаев, 1988; Шамсутдинов, Шамсутдинов, 2012).

Современная научная концепция фитомелиорации пустынных пастбищ базируется на теоретических положениях экологии – концепции экологических ниш, взаимной дополняемости видов в сообществах, флористической и ценотической полночленности и экологической емкости ценозов, типов адаптивной стратегии жизни растений (Шамсутдинов, 1975, 1986; Шамсутдинов и др., 2000; Шамсутдинов и др., 2009).

Исследованиями З.Ш. Шамсутдинова (1975), З.Ш. Шамсутдинова, И.О. Ибрагимова (1983) в условиях полынно-эфемеровой пустыни Карнабчуль установлено, что создание пустынных пастбищных экосистем из смеси различных видов и жизненных форм растений способствует заполнению свободных экологических ниш как в надземной, так и в подземной средах, остающихся незаполненными в естественных фитоценозах. Эти работы являются хорошей иллюстрацией принципа «упаковки экологических ниш» (Уиттекер, 1980). Благодаря этому, полнее используются вещественно-энергетические ресурсы пустынных пастбищных экосистем и, как следствие этого, происходит сукцессионное восстановление зонально типичного биоразнообразия и продуктивности нарушенных пастбищных экосистем.

П.Д. Гунин и В.П. Дедков (1984) на основе анализа экологических ниш эдификаторов травяного покрова песчаной пустыни рекомендуют внедрение мятлика луковичного, как конкурентно-мощного компонента этих фитоценозов, для борьбы с замоховением пастбищ в Центральных и Восточных Каракумах.

Таким образом, метод анализа экологических ниш является важным способом обоснования возможности и определения принципов экологического восстановления флоро-ценотической структуры и продуктивности деградированных пастбищных экосистем.

Анализ и оценка накопленных материалов по вопросу концепции экологической ниши показывают, что в экологии сложились два основных подхода к трактовке понятия экологической ниши: 1) трактовка экологической ниши как позиции вида в сообществе относительно других видов; 2) учет физического пространства, занимаемого видом в сообществе, и его положения относительно градиентов среды.

С точки зрения тематики наших исследований, более корректной является трактовка концепции экологической ниши, подразумевая при этом весь спектр экологических факторов, обеспечивающих нормальный рост и развитие растений. Полное описание экологических ниш растений – это совокупность множественного ряда биологических, водно-физических, агрохимических свойств почв и микроклиматических параметров. Наиболее желательной характеристикой экологической ниши вида, согласно В.П. Онипченко (1987), являются следующие параметры: 1) совокупность ресурсов трех основных типов – энергия, вещество, место; 2) их внутренние характеристики (например, химические формы элементов минерального питания, длина поглощаемой радиации, концентрация и пространственно-временная мозаика ресурсов и т.п.; 3) характеристика среды (нересурсные факторы), определяющие эффективность утилизации ресурсов (например, температура, соленость, наличие симбионтов, паразитов, конкурентов и т.д.). Все эти параметры могут быть представлены осями многомерного пространства. По отношению к объекту нашего исследования, чтобы выяснить дифференциацию ниш трех основных видов полынно-эфемерового сообщества под влиянием фитогенного поля[2] саксаула черного, представляется целесообразным подход, основанный на различиях между видами по одному или двум-трем наиболее важным параметрам. В этой связи для изучения экологических ниш растений в пределах фитогенного поля саксаула черного мы оценили три параметра: пространственный – объем среды, занятый тем или иным видом растения, экологические условия, время, когда функционируют популяции вида и фитоценотическую роль растений в сообществе.

[2] А.А.Уранов (1965, стр. 251) трактует понятие «фитогенное поле» как часть пространства, в пределах которой среда приобретает новые свойства, определяющие присутствие в ней данной особи растения».

Под фитогенным воздействием саксаула черного происходит перераспределение видов полынно-эфемеровой растительности на основе дифференциации экологических ниш. В этой связи возникла необходимость выяснения дифференциации экологических ниш растений, входящих в состав полынно-эфемеровых пастбищных экосистем, главным образом, их доминантов – полыни развесистой (*Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljak.), мятлика луковичного (*Poa bulbosa* L.) и осоки толстостолбиковой (*Carex pachystylis* L. Gay.).

Как правило, в практической работе с фитоценозами мы имеем дело с реализованными нишами, а не с фундаментальными. Отсюда все параметрические характеристики ниш полыни развесистой, мятлика луковичного и осоки толстостолбиковой будут касаться реализованной ниши.

Материал и методика

Исследования характера дифференциации экологических ниш проводились в фитогенном поле саксаула черного в эфемероидно-полынно-черносаксауловом фитоценозе, сформированном в результате самосева саксаула черного на межполосных пространствах пастбищезащитных насаждений, заложенных в 1949-1964 годах в пустыне Карнабчуль (госплемзавод «Карнаб» Самаркандская область, Узбекистан).

Карнабчуль, где проводились исследования, расположен на территории левобережья центральной части бассейна реки Заравшан у подножия Зирабулакских гор на высоте 240-350 м н.у.м. и относится к гипсовой пустыне (Закиров, 1955). Среднегодовая сумма осадков 160 мм с колебаниями по годам от 85 до 250 мм. Среднегодовая температура воздуха равна +15+16°С. Максимальная температура наблюдается летом (июль) достигает +40°С, минимальная – в январе (–20–30°С). Почва – светлые сероземы, по гранулометрическому составу – средние суглинки. Слабозасоленные. Уровень грунтовых вод – 14-16 м. Растительность – полукустарниково-эфемеровая. Основные доминантные виды – полынь развесистая (*Artemisia diffusa*), осока толстостолбиковая (*Carex pachystylis*) и мятлик луковичный (*Poa bulbosa*) с примесью эфемеров.

Объектом наблюдений была особь саксаула черного *(Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) средневозрастного генеративного состояния. Высота саксаула черного – 4.9 м; диаметр кроны – 3.0 м; диаметр ствола – 18.5 см.

Численность полыни раскидистой на кольцевидных площадках определяли путем подсчета их по возрастному состоянию. При определении возрастного состояния полыни руководствовались общим критерием выделения возрастных групп по Т.А. Работнову (1950) и О.В. Смирновой с соавторами (1976). Учет численности побегов мятлика луковичного и осоки толстостолбиковой проводили на трансектах шириной 50 см, состоящих из прямоугольных площадок расположенных друг за другом. Размер первого зависел от радиуса кроны саксаула черного, последующие были размером 50×30 см (рис. 1).

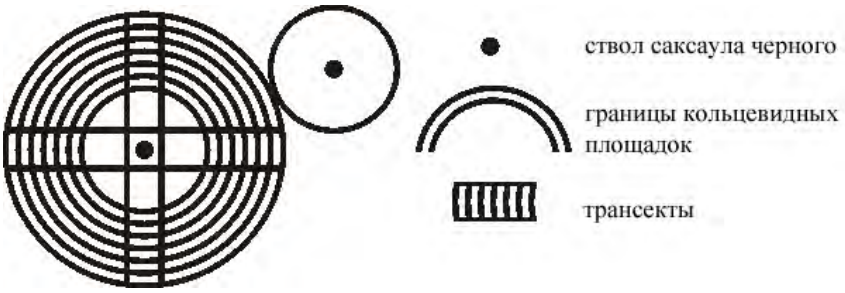


Рис. 1. Построение кольцевидных площадок и трансект вокруг особей саксаула черного.
Fig. 1. Construction of ring-shaped areas and transects around *Haloxylon aphyllum* individuals.

Высота растений полыни изучалась на кольцевидных площадках путем измерения всех растений по возрастным группам. Длина побегов мятлика и осоки измерялась на трансектах в 12-ти кратной повторности, в каждой повторности – 10-25 побегов. Вертикальные параметры растений в фитогенном поле определяли путем нанесения на миллиметровую бумагу сначала надземной части, а потом при помощи траншейного метода (Шалыт, 1960) подземной части. Определяли также корневой

коэффициент – произведение максимальной глубины проникновения корневой системы растений в почву на максимальный диаметр распространения ее в горизонтальном направлении в см (Ротмистров, 1907). Дифференциация экологических ниш эфемероидно-полынной растительности в горизонтальном направлении изучалась путем зарисовки расположений этих растений в фитогенном поле. Полученные экспериментальные материалы обрабатывались статистически по общепринятой методике (Доспехов, 1985).

Результаты исследований

Некоторые показатели, характеризующие дифференциацию экологических ниш трех основных видов – полыни развесистой, осоки толстостолбиковой, мятлика луковичного, входящих в состав полынно-эфемерового сообщества, приведены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, в минимальном фитогенном поле заметно сужается экологическая ниша, занимаемая полынью развесистой. В надземном пространстве этот полукустарник занимает горизонт 0-19.5 см высоты в северном и 0-21.0 см в южном направлениях. Эти показатели у полыни развесистой на границе внешней и внутренней частей фитогенного поля, соответственно, составляют 0-30 и 0-31 см, а во внешней части, где напряженность фитогенного поля сравнительно ниже, еще больше – 0-38.5 и 0-37.0 см. Такие отличия наблюдаются и в подземной среде.

По мере удаления от центра фитогенного поля, ниша, занимаемая полынью развесистой, расширяется. Если на границе внешней и внутренней частей фитогенного поля глубина проникновения корней достигает в северном направлении 0-82.0 см, в южном – 0-85.0 см, то во внешней части соответственно 0-95.0 см и 0-90.0 см. Расширение происходит и в горизонтальном направлении. Хорошей иллюстрацией увеличения ниши является значение корневого коэффициента (табл. 1).

Во внешней части фитогенного поля этот показатель почти в два раза больше, чем в минимальном фитогенном поле, и в 1.3-1.4 раза больше, чем на границе внешней и внутренней частей этого поля. Еще необходимо отметить, что на границе внешней и внутренней частей фитогенного поля, особенно в его внутренней части, полынь развесистая характеризуется меньшей разветвленностью (рис. 2).

Уменьшение размера ниши и меньшая разветвленность корневых систем полыни развесистой в результате фитогенного влияния саксаула черного вследствие засоления почвы и снижения освещенности приводит к уменьшению возможности использования вещественно-энергетических ресурсов этим полукустарником, вследствие чего ухудшается его жизненное состояние и, в конечном итоге, он погибает. Постепенно в фитогенном поле, особенно в его внутренней части, освобождается экологическая ниша занимаемая полынью развесистой.

Дифференциация экологической ниши осоки толстостолбиковой в фитогенном поле происходит аналогичным образом. Как видно из данных таблицы 1 и рисунка 2, в минимальном фитогенном поле этот эфемероид вытесняется на границе внешней и внутренней частей фитогенного поля саксаула черного. Отсюда рост и развитие, следовательно, и занимаемая экологическая ниша осоки толстостолбиковой как в надземной, так и в подземной средах, значительно уступает таковым во внешней части. Сужение экологической ниши этого вида – эдификатора с приближением к центру фитогенного поля, точнее в околокроновом пространстве объясняется его экологическими особенностями – меньшей солеустойчивостью по сравнению с конкурентом – мятликом луковичным, который здесь в отличие от осоки бурно развивается.

Очень показательно, что рост и развитие корневой системы, от которой зависит жизнедеятельность осоки толстостолбиковой, значительно отличаются в различных частях фитогенного поля. Корневой коэффициент во внешней части этого поля в 1.5-1.6 раза больше, чем у особей в околокроновом пространстве.

Динамика экологических ниш мятлика луковичного в фитогенном поле саксаула черного носит иной характер, чем у полыни развесистой и осоки толстостолбиковой. Если в минимальном фитогенном поле мятлик луковичный, как и другие виды-фитометры, вытеснен и освобождена занимаемая им ниша, то на границе внешней и внутренней частей и вблизи нее наблюдается резкое

увеличение его роста и развития как в надземной, так и в подземной средах, что проводит к расширению экологической ниши. Корневой коэффициент этого эфемероида здесь в 1.31-1.66 раза больше, чем во внешней части фитогенного поля. Это способствует лучшему использованию вещественно-энергетических ресурсов, в результате которого мятлик луковичный лучше растет, развивается и накапливает большую фитомассу.

Таблица. Некоторые показатели дифференциации экологических ниш доминантных видов полынно-эфемеровой растительности в фитогенном поле саксаула черного. **Table.** Some indicators of the differentiation of ecological niches of dominant species of wormwood-ephemeral vegetation in the *Haloxylon aphyllum* phytogenic field.

Показатели фитогенного поля	Северное направление						Южное направление					
	Надземная часть		Подземная часть		Корневой коэффициент, см	Соотношение высоты растений к длине корней	Надземная часть		Подземная часть		Корневой коэффициент, см	Соотношение высоты растений к длине корней
	Высота растений, см	Диаметр куста, см	Глубина проникновения корней, см	Горизонтальное распространение корней, см			Высота растений, см	Диаметр куста, см	Глубина проникновения корней, см	Горизонтальное распространение корней, см		
Полынь развесистая (*Artemisia diffusa*)												
Минимальное фитогенное поле	19.5	34.0	75.0	55.0	4125.0	1:3.85	21.0	31.0	72.0	50.0	3600.0	1:3.43
На границе внешней и внутренней частей фитогенного поля	30.0	35.0	82.0	68.0	5576.0	1:2.73	31.0	38.0	85.0	65.0	5525.0	1:2.74
Во внешней части фитогенного поля	38.5	50.0	95.0	85.0	8075.0	1:2.47	37.0	46.0	90.0	78.0	7020.0	1:2.43
Мятлик луковичный (*Poa bulbosa*)												
Минимальное фитогенное поле	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
На границе внешней и внутренней частей фитогенного поля	35.0	—	55.0	23.0	1265.0	1:1.57	33.0	—	48.0	20.0	900.0	1:1.45
Во внешней части фитогенного поля	30.5	—	40.5	20.0	810.0	1:1.33	28.0	—	38.0	18.0	684.0	1:1.36
Осока толстостолбиковая (*Carex pachystylis*)												
Минимальное фитогенное поле	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
На границе внешней и внутренней частей фитогенного поля	8.8	—	30.0	16.5	495.0	1:3.53	9.5	—	28.0	15.0	420.0	1:2.95
Во внешней части фитогенного поля	15.0	—	40.0	19.0	760.0	1:2.67	14.5	—	38.0	18.0	684.0	1:2.62

Как указывает В.И. Василевич (1983, с. 211), «... для успешного существования в сообществе вид должен найти в нем такое элементарное место, где условия для него благоприятны, и имеются все необходимые ресурсы». Видимо, для мятлика луковичного таким элементарным местом является околокроновое пространство в фитогенном поле саксаула черного.

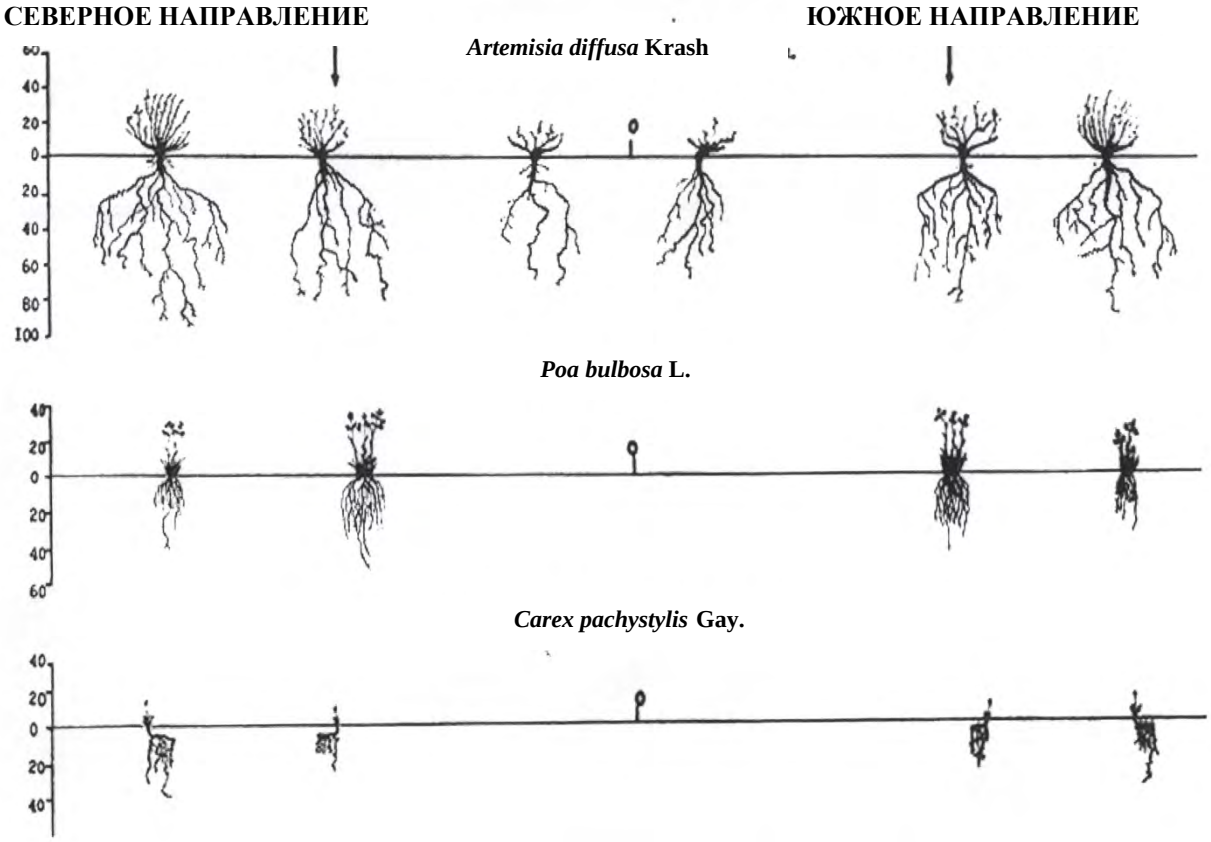


Рис. 2. Дифференциация экологических ниш (вертикальный профиль) полыни развесистой, мятлика луковичного и осоки толстостолбиковой в фитогенном поле саксаула черного. Условные обозначения: **°** – центр фитогенного поля (ствол саксаула), ↓ – граница внутренней и внешней части фитогенного поля.
Fig. 2. Differentiation of ecological niches (vertical profile) *Artemisia diffusa*, *Poa bulbosa* and *Carex pachystylis* in thick brow Phytogenic field *Haloxylon aphyllum.* Symbols**: °** – center Phytogenic field, ↓ – the border inside and outside Phytogenic field.

«В пределах сообществ нередко возникает мозаичность, обусловленная средообразующим воздействием самих растений. Такая фитогенная мозаичность приводит к размещению части видов по разным микрогруппировкам, что может привести к разделению экологических ниш некоторых видов сообществ» (Василевич, 1982, с. 5). Хорошей иллюстрацией этого тезиса служит перераспределение растений нижних ярусов в фитогенном поле саксаула черного (рис. 3).

В центре фитогенного поля в результате создания неблагоприятных условий для произрастания полынь развесистая, мятлик луковичный, осока толстостолбиковая и другие растения вытесняются и освобождаюся занимаемые ими экологические ниши. Эти ниши частично осваивают солевыносливые и теневыносливые растения – гелиопатиенты (Работнов, 1984). Здесь встречаются однолетние солянки: солянка Паульсена (*Salsola paulsenii),* солянка натронная (*S. nitraria*), галохарис (*Halocharis hispida*) и др. и, нередко, заячий ячмень (*Hordeum leporinum*). Вслед за этими растениями поселяются крестоцветные виды: костенец зонтичный (*Holosteum umbellatum*), заячий ячмень, гетерокарий жесткий (*Heterocaryum rigidum*) и другие растения, которые вместе с солянками образуют переходную зону от одного солянкового кольца к другому. Следующее кольцо на периферии кроны образует большое количество гетерокария жесткого, дескурайния (*Descurainia sophia*) с одиночными

особями костреца дантониевидного (*Bromopsis danthoniae*), неравноцветника кровельного (*Anisantha tectorum*), и других, за счет чего резко возрастает надземная фитомасса травяных растений. Здесь нередко встречается мятлик луковичный. С переходом во внешнюю часть фитогенного поля образуется кольцо шириной 100-150 см с преобладанием мятлика луковичного.

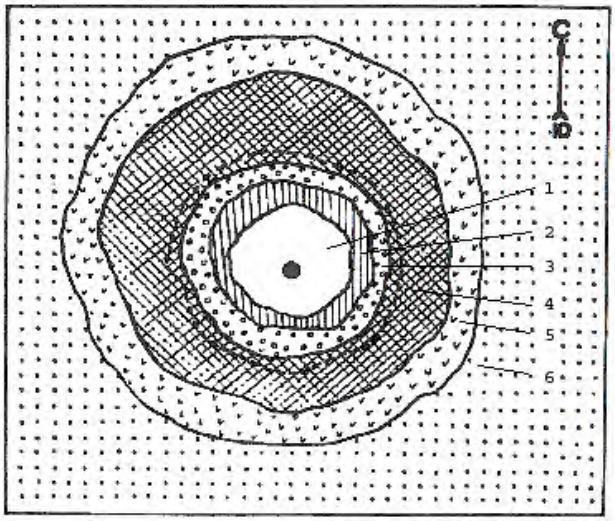


Рис. 3. Дифференциация экологических ниш в горизонтальном направлении в полынно-эфемеровом сообществе в фитогенном поле саксаула черного. Условные обозначения: 1 – кольцо вокруг ствола саксаула с редкой растительностью; 2 – кольцо с однолетними солянками (*Salsola paulsenii, S. nitraria, Halocharis lachnatha)* с заячьим ячменем (*Hordeum leporinum*); 3 – кольцо с заячьим ячменем, гетерокарием (*Heterocaryum rigidum*), малькольмией (*Malcolmia turkestanica*) и др. эфемерами, а также редкими особями полыни; 4 – кольцо с преобладанием мятлика луковичного с редкими экземплярами осоки толстостостолбиковой, гетерокария, неравноцветника кровельного (*Anisantha tectorum*) и мортука (*Eremopyrum orientale*); 5 – кольцо с мятликово-осоковым разнотравьем и полынью развесистой; 6 – полынно-эфемеровая растительность вне фитогенного поля. **Fig. 3.** Differentiation of ecological niches in the horizontal direction in the sagebrush community in the ephemeral field Phytogenic crowfoot *Haloxylon aphyllum.* Symbols**:** 1 – ring around the trunk crowfoot with sparse vegetation, 2 – ring with annual halophytes (*Salsola paulsenii, S. nitraria, Halocharis lachnatha*), *Hordeum leporinum;* 3 – ring *Hordeum leporinum, Heterocaryum rigidum*, four (*Malcolmia turkestanica*) and other ephemera, as well as rare bush sage; 4 – ring dominated *Poa bulbosa* bluegrass with occasional instances of *Carex pachystylis Anisantha tectorum* and *Eremopyrum orientale;* 5 – ring with Poa-sedge grasses and sagebrush branchy; 6 – sagebrush vegetation is ephemeral Phytogenic field.

На этом кольце нередко встречаются малькольмия туркестанская (*Malcolmia turkestanica*), пажитник крупноцветковый (*Trigonella grandiflora*), мортук восточный (*Eremopyrum orientale*), грыжник голый (*Herniaria glabra*) и другие. По мере удаления от центра фитогенного поля количество мятлика луковичного уменьшается, а осоки толстостолбиковой, наоборот, увеличивается. Вследствие подобной дифференциации экологических ниш в полынно-эфемеровом сообществе происходит «мозаичное» экологическое дополнение, а также пространственное дополнение в горизонтальном направлении (Раменский, 1971).

Выводы

1. Фитогенное влияние саксаула черного приводит к перераспределению растений нижних ярусов на основе дифференциации их экологических ниш. В минимальном фитогенном поле в результате отрицательного воздействия засоления почвы и снижения освещенности происходит смена видового состава. В первую очередь вытесняется полынь развесистая, мятлик луковичный и осока толстостолбиковая и эти ниши занимают солевыносливые и теневыносливые растения. Здесь остаются еще свободные пространства, следовательно, неиспользуемые вещественно-энергетические ресурсы. Таким образом, остается шанс для внедрения здесь более соле- и теневыносливых

растений – набор патиентов и эфемерных видов рудеральной стратегии, использующих весенние осадки.

2. Во внешней части фитогенного поля, в околокроновом пространстве, где освобождается экологическая ниша в результате вытеснения полыни развесистой и осоки толстостолбиковой, появляется возможность расширения экологической ниши мятлика луковичного. Благодаря некоторым важным экологическим особенностям мятлик луковичный (относительно высокая солевыносливость, вегетативный способ размножения, короткий вегетационный период) быстро захватывает освобожденные ниши, при этом значительно расширяя свою нишу. Следствием освоения большого объема экологической ниши мятликом луковичным и более полного использования весенних осадков является формирование им высокой фитомассы на единице площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Василевич В.И. 1982. Экологическая ниша у растений // Биология, экология и взаимоотношения ценопопуляций растений. Материалы конференции. М. С. 3-6.

Василевич В.И. 1983. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука. 248 с.

Гиляров А.М. 1978. Современное состояние концепции экологической ниши // Успехи современной биологии. Т. 85. Вып. 3. С. 431-446.

Гунин П.Д., Дедков В.П. 1984. Об экологических нишах эдификаторов травяного покрова песчаной пустыни // Проблемы охраны генофонда и управления экосистемами в заповедниках степной и пустынной зон. М. С. 221-226.

Джиллер П. 1988. Структура сообществ и экологическая ниша. Пер. с англ. М.: Мир. 184 с.

Доспехов Б.А. 1985. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 375 с.

Закиров К.З. 1955. Флора и растительность бассейна реки Зеравшан. Часть 1. Растительность. Ташкент.: Изд-во Академии наук Узбекской ССР. 204 с.

Каленов Г.С. 1985. Концепция «экологических ниш» растений пустынь на основе космических снимков // Проблемы освоения пустынь. № 6. С. 3-13.

Кулик К.Н., Петров В.Н. 1999. Древние очаги дефляции Черных Земель и возможности их фитомелиорации // Аридные экосистемы. Т.5. № 10. С. 57-64.

Миркин Б.М. 1985. Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука. 137 с.

Миркин Б.М. 1986. Что такое растительное сообщество. М.: Наука. 161 с.

Нечаева Н.Т., Антонова К.Г., Махмудов Г.М. 1979. Продуктивность растительности Центральных Кызылкумов в связи с различными режимами использования. М. 255 с.

Онипченко В.П. 1987. Механизмы обособления экологических ниш у надземных растений // Журнал общей биологии. Т. XIVIII. № 5. С. 687-695.

Петров П.М. 1997. Мелиорация земель на основе механизмов естественной пастбищной стабилизации полупустынных ландшафтов // Аридные экосистемы. Т. 3. № 6-7. С. 35-36.

Работнов Т.А. 1950. Жизненный цикл многолетних травянистых растений и луговых ценозов // Труды БИН АН СССР. Сер.3. Геоботаника. М.-Л.: Изд-во АН СССР Вып.6. С. 77-204.

Работнов Т.А. 1982. Некоторые вопросы изучения фитоценозов как система ценотических популяций // Журнал общей биологии. Т. XIIII. № 2. С. 168-174.

Работнов Т.А. 1983. Фитоценология. 2-е издание. М.: Изд-во МГУ. 296 с.

Работнов Т.А. 1984. О конкуренции между растениями в растительных сообществах // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 89. Вып. 5. С. 82-94.

Раменский Л.Г. 1971. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука. 334 с.

Ротмистров В.Г. 1907. Новый способ отмывки корней // Журнал опытной агрономии. Т. 7. С. 39-45.

Смирнова О.В. 1980. Поведение видов и функциональная организация травяного покрова широколиственных лесов Европейской части СССР // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т.85. № 5. С. 53-67.

Уиттекер Р. 1980. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс. 328 с.

Уранов А.А. 1965.Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.-Л.: Наука. С. 251-254.

Шамсутдинов З.Ш. 1975. Создание долголетних пастбищ в аридной зоне Средней Азии. Ташкент: Фан. 176 с.

Шамсутдинов З.Ш. 1986. Проблемы фитомелиорации пустынных пастбищ // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 34-43.

Шамсутдинов З.Ш., Ибрагимов И.О. 1983. Долголетние пастбищные агрофитоценозы в аридной зоне Узбекистана. Ташкент: Фан. 176 с.

Шамсутдинов З.Ш., Убайдуллаев Ш.Р. 1988. Распределение *Poa bulbosa* L.и *Carex pachystylis* Gay в пределах фитогенного поля черного саксаула // Проблемы освоения пустынь. № 1. С. 42-47.

Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. 2000. Творческое наследие Н.Т. Нечаевой и разработка научных основ пастбищного хозяйства // Аридные экосистемы. Т. 6. № 11-12. С. 10-25.

Шамсутдинов З.Ш., Савченко И.В., Шамсутдинов Н.З. 2000. Галофиты России, их экологическая оценка и использование. М.: ООО «Эдель-М». 309 с.

Шамсутдинов Н.З., Шамсутдинов З.Ш. 2003. Использование галофитов для устойчивого развития жизнеспособного сельского хозяйства в аридных районах России и Центральной Азии // Аридные экосистемы. Т. 9. № 19-20. С. 22-37.

Шамсутдинов Н.З. 2006. Генетические ресурсы и проблемы селекции галофитов // Аридные экосистемы. Т. 12. № 30-31. С. 107-116.

Шамсутдинов Н.З., Шамсутдинов З.Ш. 2008. Биотическая мелиорация засоленно-солонцовых почв с использованием галофитов // Аридные экосистемы. Т. 14. № 35-36. С. 18-33.

Шамсутдинов З.Ш., Косолапов В.М., Шамсутдинов Н.З. 2009. Экологическая реставрация пастбищ (на основе новых сортов галофитов). М. 295 с.

Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. 2012. Биогеоценотические принципы и методы экологической реставрации пустынных пастбищных экосистем Средней Азии // Аридные экосистемы. Т. 18. № 3(52). С. 5-21.

Шалыт М.С. 1960. Методы изучения морфологии и экологии подземной части отдельных растений и растительных сообществ // Полевая геоботаника. М.-Л.: Наука. Т. 2. С. 269-447.

Шенников А.П. 1964. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ. 447 с.

Hutchinson G.E. 1957. Concluding remarks // Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. V. 22. P. 415-422.

Mcintosh R.P. 1974. Plant ecology (1947-1972) // Annals of the Missouri Botanical Garden. Vol. 61. № 1. P. 132-165.

THE DIFFERENTIATION OF ECOLOGICAL NICHES OF SOME DOMINANT PLANT SPECIES IN *HALOXYLON APHYLLUM* (MINKW.) ILJIN PHYTOGENIC CROWFOOT IN THE DESERT KARNABCHUL

© 2013. Z.Sh. Shamsutdinov*, Sh.R. Ubaydullaev, M.V. Blagorazumova*, E.Z. Shamsutdinova*, B.N. Nasyiev*****

**V.R. Williams All-Russian State scientific Fodder research Institute*
of the Russian Academy of agricultural Sciences
Russia, 141055 Lobnya, Moscow Region, Nauchny gorodok, 1. E-mail: aridland@mtu-net.ru
***Karshi Engineering Economic Institute*
Uzbekistan, 180103 Karshi, Mustakillik str., 225. E-mail: kiei_info@edu.uz
****West Kazakhstan State University*
Kazakhstan, 090000 Uralsk, Dostyk str., 162. E-mail:zapkazgu@wksu.kz

The investigation of the nature of the differentiation of ecological niches main dominant species subshrub-ephemeral pasture ecosystems (wormwood branchy, thickbrows sedge, meadow grass) under the influence of the Haloxylon aphyllum phytogenic field in desert Karnabchul.

Keywords: differentiation of ecological niches, Haloxylon aphyllum, phytogenic field, wormwood branchy, thickbrows sedge, bluegrass bulbous.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 14-22

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК: 58.073

ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОДУКЦИИ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА СТЕПНОМ ПАСТБИЩЕ[1]

© 2013 г. Б.Д. Абатуров, Ю.Д. Нухимовская

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071 г. Москва, Ленинский пр., д. 33. E-mail: abaturov@sevin.ru

Поступила 03.03.2013

Оценена продукция надземной фитомассы на степном пастбище в северном Прикаспии. Она складывается из потребленной животными растительности, из отчужденной массы в результате вытаптывания (опад) и из фитомассы на корню (живая часть и ветошь). Потребленная масса определена исходя из массы фекалий, отложенных животными за учетный период, и коэффициента переваримости потребляемой растительности. К концу весеннее-летнего периода (апрель-сентябрь) после выпаса стада овец численностью 450 голов на площади 500 га (1.7 особи на 1 га) на корню осталось 29% продукции надземной фитомассы; потребленная масса составила 27%, отчужденная в результате вытаптывания – 44%. Суммарная надземная продукция составила 2070 кг/га, что равно продукции заповедного участка (2060 кг/га), но меньше, чем на пастбище со слабым зимним выпасом (2425 кг/га).

Ключевые слова: растительноядные млекопитающие, овцы, степное пастбище, заповедный участок, надземная растительная продукция, фитомасса на корню, потребленная растительная масса, живая фитомасса, ветошь, опад, подстилка, фекалии.

Продуктивность растительности – важнейший показатель, отражающий свойства и состояние растительных сообществ и природных экосистем. Он особенно востребован при характеристике травяных (луговых, степных, тундровых) экосистем, используемых в качестве пастбищ диких и домашних млекопитающих. Обычно о продуктивности растительных сообществ в таких экосистемах судят по состоянию видимой надземной фитомассы (фитомассы на корню). Однако, давно замечено, что видимая фитомасса на пастбищах не отражает истинной продуктивности растительности, поскольку определенная часть ее использована животными и не попадает в учет. Ясно, что оценка продуктивности пастбищной растительности требует особых подходов, прежде всего обязательного определения отчужденной животными растительности. Важно при этом учитывать, что отчуждаемая доля растительной массы складывается не только из съеденной растительности, но и из потерь в результате вытаптывания пасущимися животными. Специальные эксперименты показали, что потери надземной продукции от вытаптывания близки по величине непосредственно съеденной растительной массе, или превосходят ее (Шенников, Бологовская, 1927; Евсеев, 1954; Лейкок, Харнисс, 1974). Кроме того, оценка истинной продуктивности требует обязательного учета естественного отпада отмирающих частей вегетирующих растений, который составляет значительную часть продукции фитоценоза (Титлянова, 1977; Базилевич, Семенюк, 1982). Недоучет потерь растительной массы, связанный с этими особенностями, создает не всегда оправданное суждение о снижении продуктивности растительности под влиянием пастьбы животных. Уже давно было обнаружено, что продуктивность растительности под влиянием выпаса копытных животных как домашних, так и диких, может не только не снижаться, но в определенных условиях даже возрастать (Базилевич, Семенюк, 1983).

Были рекомендованы методы определения продуктивности пастбищной растительности, учитывающие указанные особенности. Обычно они основаны на определении потребленной

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-04-00242), Программы фундаментальных исследований Президиума РАН ”Живая природа: современное состояние и проблемы развития” и Программы фундаментальных исследований отделения биологических наук РАН ”Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий”.

фитомассы в условиях эксперимента с использованием пастбищных загонов, в которых потребленная растительность рассчитывается по разнице фитомассы до начала и по окончании пастьбы опытной группы животных, или путем экспериментальной обрезки растений, имитирующей стравливание растительности животными, а также по количеству и химическому составу откладываемых фекалий этими животными (Методика опытов …, 1971; McNaughton et al., 1996). Иногда с этой же целью используется сравнение надземной фитомассы на участках, огороженных от животных и открытых для их пастьбы. Однако, разность сравниваемых фитомасс, по которой в этом случае оценивается потребленная масса, не учитывает компенсаторный рост поедаемой растительности и поэтому не позволяет правильно определить потребленную массу (McNaughton et al., 1996). Имеются попытки учета потребленной фитомассы по количеству отложенных пасущимися животными фекалий. Оценка потребленной растительности по фекалиям пасущихся животных была выполнена нами на пастбищах Монголии (Абатуров и др., 2008). Однако, во всех этих отмеченных случаях в оценку продуктивности не попадает та часть надземной продукции, которая отчуждена животными в результате отторжения копытами (вытаптывания) или в виде кормовых остатков.

Совершенно очевидно, для объективной оценки продукции надземной фитомассы в условиях ее пастбищного использования дикими или домашними млекопитающими необходим полный учет всех ее составляющих, как сохранившихся после пастьбы, так и утилизированных животными. В предлагаемой работе изложены результаты оценки надземной продукции на многолетнем пастбище с учетом всех форм отчужденной пасущимися животными фитомассы в сравнении с продукцией на заповедном участке при отсутствии пастьбы животных.

Материал и методы

Исследования проведены в апреле-сентябре 2012 г. в северной части Прикаспийской низменности (Джаныбекский стационар Института лесоведения РАН, Волгоградская обл.). Здесь распространен комплексный почвенно-растительный покров, состоящий из трех элементов: «пустынного типа» с солонцовыми сильно засоленными почвами и ксерофильной полынно-солончаковой растительностью на микроповышениях; «степного» с лугово-каштановыми и черноземовидными почвами и разнотравно-злаковой растительностью в микропонижениях (западинах); «сухостепного» (полупустынного) со светлокаштановыми солонцеватыми почвами и ксерофильными злаками и разнотравьем на микросклонах[2]. Территория характеризуется континентальным климатом с высоким индексом сухости при более чем трехратном превышениии испаряемости (более 900 мм) над среднегодовой суммой осадков (около 300 мм; Сиземская, Сапанов, 2010).

Растительность «пустынных» элементов комплекса сложена преимущественно сообществами с доминированием длительновегетирующих видов (кохия простертая – *Kochia prostrata*, черная полынь – *Artemisia pauciflora*, солянка лиственничная – *Salsola laricina*), а также эфемероидов и эфемеров (мятлик луковичный – *Poa bulbosa*, перечник пронзеннолистный – *Lepidium perfoliatum*, бурачок пустынный – *Alyssum desertorum* и др.). В фитоценозах по западинам господствуют житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum)*, ковыли (*Stipa* spp.), типчак (*Festuca valesiaca*), люцерна степная (*Medicago romanica*), подмаренник русский (*Galium ruthenicum*), полынь австрийская *Artemisia austriaca* и другие степные виды (Каменецкая, 1952; Новикова и др., 2004, 2010; Сапанов, Сиземская, 2010).

Работы проведены на участках идентичных по физико-географическим условиям, но различающихся пастбищной нагрузкой: на пастбище с постоянным (многолетним) выпасом комплекса пастбищных животных (преимущественно овец) и на заповедном участке с длительным (многолетним) исключением пастьбы животных. Частично учеты растительности проводили также на участке со слабой зимней пастьбой животных. Опытная пастбищная площадь расположена на землях овцеводческого фермерского хозяйства (Палласовский район Волгоградской области) в пределах

[2] Разделение местообитаний на степные, полупустынные и пустынные элементы основано на представлениях о структуре почвенного и растительного покрова данной территории, и изначально было принято на Джаныбекском стационаре (Каменецкая, 1952).

постоянного многолетнего пастбища размером 500 га (49°22' с.ш., 46°46' в.д.). На ней в год исследования в течение всего пастбищного периода (апрель-ноябрь) и частично зимой выпасалось стадо овец 850 голов[3], что соответствует пастбищной нагрузке 1.7 голов/га. Используется непрерывная ротация пастьбы, при которой стадо овец по мере стравливания растительности на одной части пастбища перемещается на другую.

Заповедный участок площадью 20 га полностью идентичен по природным условиям пастбищному и расположен от него на расстоянии 2.5 км (49° 23' с.ш., 46° 47' в.д.).

В течение пастбищного сезона с апреля по сентябрь проведен трехкратный учет надземной фитомассы: (1) в начальный (весенний) период вегетации 20 апреля – 1мая, (2) в период завершения вегетации степных видов растений 10-25 июня, (3) в период летнего покоя поздневегетирующих видов с 1 по 20 августа. Следует отметить, что вегетационный период 2012 года характеризовался засушливостью, отсутствием осадков в вегетативный период и высокими температурами воздуха (днем более 40ºС).

Первый учет на пастбище проведен до начала летней пастьбы на опытной площади, т.е. при нетронутой стравливанием надземной фитомассе, второй – в период завершения его очередного пастбищного использования, т.е. в условиях стравленной растительности и, наконец, третий учет – в период начала очередной стадии выпаса на данной площади.

Учет растительности выполняли методом укосов на площадках размером 1 м^2 , а в некоторых случаях (в сообществах с сомкнутой растительностью) – 0.25 м^2. На первых площадках укосы проводили с 2-3-кратной повторностью, на вторых – 4-9-кратной. Растительность каждого укоса разбирали по видам и сушили до постоянного веса при 90ºС. На всех укосных площадках отдельно учитывали ветошь, текущий опад и подстилку. Следует отметить, что на пастбище опад и подстилка на первом этапе учетов (апрель) практически отсутствовали, в дальнейшем их образование было целиком вызвано пастьбой (вытаптыванием), т.е. отторжением растительной массы копытами животных. Травянистые растения срезали на высоте 1-2 см от поверхности почвы, у полукустарничков (кохия, полынь, солянка лиственничная) срезали текущий (годичный) прирост, который в условиях пастбища почти соответствовал всей первичной надземной продукции растения. Все учеты проводили раздельно в растительных сообществах двух типов: «степном» разнотравно-злаковом по западинам и в «пустынном» с доминированием галофильных полукустарничков и ксерофильного разнотравья по микроповышениям[4].

Для установления изъятой (потребленной) животными фитомассы на опытном пастбищном участке был использован метод учета массы фекалий (непереваренных остатков), отложенных пасущимися животными за определенный отрезок времени, с последующим пересчетом этой величины на потребленную кормовую массу. На учетных площадках периодически собирали свежеотложенные фекалии овец и взвешивали после сушки при 90°С до постоянного веса.

Пересчет учтенной массы фекалий на потребленную растительную массу выполняли исходя из коэффициента переваримости пастбищной растительности (55%), полученного нами ранее на этом же пастбище (Абатуров и др., 2003). Вносили поправку на массу отложенных фекалий в ночное время в загонах, на которую приходилось около ⅓ суточного отложения фекалий в летний пастбищный период. В итоге количество потребленной фитомассы (*C*, кг/га сухой массы) за учитываемый период времени рассчитывали по формуле:

$$C=F\times K\times 100/(100-D),$$

где *F* – количество фекалий, отложенных животными на пастбище за учитываемый отрезок времени (г/м^2 сухой массы); *K* – коэффициент доли суточного бюджета времени, приходящейся на ночное пребывание овец в загонах (в данном случае он равен 1.5); *D* – коэффициент переваримости (55%).

[3] Помимо овец в незначительном числе выпасаются козы, коровы и лошади.

[4] Границы «полупустынных» сообществ на микросклонах в настоящее время размыты и практически не поддаются вычленению среди «степных» и «пустынных», поэтому они отдельно в данном случае не выделялись.

Результаты и обсуждение

В период исследований видовое богатство растительных сообществ в условиях пастбища и на заповедном участке было невысоким, а доля основных видов в общей фитомассе на этих участках приблизительно одинакова (табл. 1). Среди сосудистых растений по западинам преобладали житняк гребенчатый, типчак, ковыли, подмаренник русский, люцерна степная, полынь австрийская, на микроповышениях – мятлик луковичный, полынь черная, кохия простертая, солянка лиственничная, перечник пронзеннолистный и в небольшом количестве острец ветвистый (*Leymus ramosus*). Доля других растений была незначительной. Характерно, что кохия и солянка лиственничная практически отсутствовали на пастбищном участке, а черная полынь, наоборот, была только на пастбище и отсутствовала на заповедном участке (табл. 1).

Таблица 1. Состав и надземная масса доминирующих видов растений на опытных участках (сухой вес, г/м^2, *M*±*m*). **Table 1.** Species composition and aboveground mass of predominant plants on different plots (dry matter, g/m^2, mean±S.E).

Растения	Сообщество в западине/ Phytocenosis at microdepression				Сообщество на микроповышении/ Phytocenosis at microelevation			
	Пастбищный участок/ Grazing plot		Заповедный участок/ Reserved plot		Пастбищный участок/ Grazing plot		Заповедный участок/ Reserved plot	
	Апрель/ April, *n*=2	Июнь/ June, *n*=3	Апрель/ April, *n*=3	Июнь/ June, *n*=3	Апрель/ April, *n*=2	Июнь/ June, *n*=3	Апрель/ April, *n*=2	Июнь/ June, *n*=3
Agropyron cristatum	24.0±2.08	19.3±4.2	87.1±19.3	117.4±27.0	0	0	0	0
Stipa spp.	4.6±3.25	31.3±9.4	9.50±3.88	16.1±13.14	0	0	0	0
Festuca valesiaca	8.2±5.30	3.6±1.47	4.4±3,59	0	0	0	0	0
Poa bulbosa	28.6±17.39	0	0	0	12.7±0.24	9.9±3.2	30.0±7.74	21.3±2.60
Leymus ramosus	0	0	0	0	2.0±1.4	1.1±0.9		
Artemisia austriaca	27.9±15.90	28.8±3.0	12.7±5.43	17.2±13.5	0	0	0	0
Artemisia pauciflora	0	0	0		48.5±0.99	16.9±0.58	0	0
Galium ruthenicum	0	0	17.96±4.46	35.57±15.18	0	0	0	0
Kochia prostrata	0	0	0	0	0	0	72.65±0.35	45.6±5.60
Lepidium perfoliatum	0	0	0	0	43.5±6.18	15.3±4.28	1.0±0.2	0
Medicago romanica	3.26±1.40	0	4.7±2.36	27.86±17.20	0	0	0	0
Прочие виды	9.04	1.7	22.2	16.3	4.4	0	1.7	1.7
Всего/ Total	105.6±8.16	84.7±13.4	158.6±11.7	230.4±21.15	111.1±2.93	43.1±0.3	105.3±6.9	68.6±8.1

На участке со слабым (зимним) выпасом видовое богатство растительных сообществ было выше. В начальный период вегетации (апрель до начала пастьбы стада овец) надземная масса растений на пастбище и в заповеднике различалась незначительно (табл. 1). Но уже в июне в процессе выпаса овец масса всех видов на пастбищном участке существенно снизилась, тогда как на заповедном участке в степных сообществах (в западинах) возросла.

Пастбищный участок. Надземная растительная масса на пастбищном участке в начальный вегетационный период характеризовалась почти полным отсутствием ветоши и подстилки как в степных, так и в пустынных сообществах (табл. 2). Лишь с середины лета (июнь) появляется ветошь

из закончивших вегетацию растений и подстилка в виде опада, образовавшегося в результате вытаптывания растений пасущимися животными. В степных сообществах в августе масса такой подстилки (опада) составила 165 г/м^2 (табл. 2). Важно отметить, что эта масса, образованная за счет отторжения побегов растений копытами животных, является частью продукции текущего вегетационного периода. В сообществах на микроповышениях растительный покров разрежен и представлен преимущественно полукустарничками, поэтому опад здесь незначителен. В расчете на всю площадь пастбища масса опада составила в среднем 90.3 г/м^2 (903 кг/га).

Таблица 2. Структура надземной растительной массы на участках с разным режимом использования (сухая масса, г/м^2). **Table 2.** Structure of aboveground plant mass on areas with a different type of use (dry matter, g/m^2, mean±S.E).

Опытный участок и растительные сообщества / Plot and plant communities		Растительная фракция / The vegetative fraction	Апрель / April	Июнь / June	Август / August
Заповедный (без выпаса) / Reserve (without grasing)	В западинах /At micro-depression	Живая масса /Alive part	158.6±11.7	230.4±21.15	133.6±17.46
		Ветошь / Standing dead plants	226.0±48.2	203.5±106.5	168.9±25.08
		Подстилка / Litter	566.8±146.4	482.0±81.0	986.5±123.6
		Всего / Total	951.4±154.6	915.9±135.4	1289.0±127.3
	На повышениях / At mikro-elevation	Живая масса / Alive part	105.3±6.9	45.6±6.8	71.1±7.9
		Ветошь / Standing dead plants	1.4±1.3	23.9±3.8	38.5±11.8
		Подстилка / Litter	0	9.4±2.8	0
		Всего / Total	107.0±7.0	78.9±7.7	109.6±14.2
Интенсивный выпас / Intesive grazing	В западинах / At micro-depression	Живая масса / Alive part	105.6±8.16	84.7±13.4	17.0±2.43
		Ветошь / Standing dead plants	0	36.1±5.8	68.1±15.1
		Опад / Fallen dead mass	0	62.0±16.4	164.5±28.1
		Всего / Total	105.6±8.16	182,8±22.0	249.6±28.4
	На повышениях / At mikro-elevation	Живая масса / Alive part	111.1±2.93	18.0±1.81	14.2±2.78
		Ветошь Standing dead plants	0	50.3±14.48	22.7±3.77
		Опад / Fallen dead mass	0	0	16.1±2.8
		Всего / Total	111.1±2.93	68.3±7.18	53.0±5.12
Слабый выпас (зимний) / Weak winter grazing (The winter)	В западинах / At microdepression	Живая масса Alive part	-	303.7±25.4	151.9±18.24
		Ветошь / Standing dead plants	-	87.3±38.9	257.9±62.19
		Подстилка / Litter	-	261.8±26.5	500.4±77.6
		Всего / Total	-	652.8±53.48	910,2±101.1
	На повышениях / At mikro-elevation	Живая масса / Alive part	-	-	44.2±10.77
		Ветошь / Standing dead plants	-	-	30.9±11.2
		Подстилка / Litter	-	-	0
		Всего Total	-	-	75.1±15.5

Ветошь образована здесь, в основном, закончившими вегетацию злаками (мятлик луковичный, житняк гребенчатый) и разнотравьем (перечник пронзеннолистный) и относится к продукции текущей вегетации. Масса ветоши на пастбище в западинах 68 г/м^2, на микроповышениях 22.7 г/м^2, а всреднем на всю площадь 45.4 г/м^2 (454 кг/га).

Что касается живой массы, то на пастбище в начальный период (апрель) она мало отличалась по величине от заповедного участка как в степных сообществах западин (соответственно 106 и 159 г/м^2), так и в пустынных на микроповышениях (111 и 105 г/м^2; табл. 2). В дальнейшем в процессе пастьбы живая масса на пастбище резко снизилась до 17 г/м^2 в западинах и 14 г/м^2 на микроповышениях, тогда как в заповедных условиях она изменилась не столь заметно (134 и 71 г/м^2; табл. 2).

Таким образом, в конце летнего периода сумма живой фракции с ветошью (т.е. видимая масса на корню) на пастбище в сравнении с заповедным участком как на повышениях (соответственно 53 и 110 г/м^2), так и в сообществах западин (85 и 303г/м^2) была значительно (в 2.0-3.5 раза) меньше.

Таблица 3. Отложение фекалий и потребленная овцами фитомасса на пастбище (сухая масса, г/м^2, *M*±*m*).
Table 3. Postponed feces mass and consumed phytomass by sheep for the registration period (dry matter, g/m^2, mean±S.E.).

Сроки учета и длительность учетного периода, сутки / Terms of the account and duration of the registration period	Отложено фекалий на пастбище, г/м^2 / Postponed feces mass, g/m^2	Потреблено растительности, г/м^2 / Consumed phytomass, g/m^2
Май-Июнь (57)	8.9±1.50	29.6±5.0
Июль-Сентябрь (87)	7.3±2.86	25.9±10.1

Примечание к таблице 3. Потребление растительности рассчитано исходя из переваримости корма 55% и коэффициента 1.5, отражающего отложение экскрементов в ночное время в загонах. **Note to Table 3.** Consumed phytomass is calculated on the basis of digestibility of forage 55% and the coefficient 1.5 reflecting postponed of feces at night in pens.

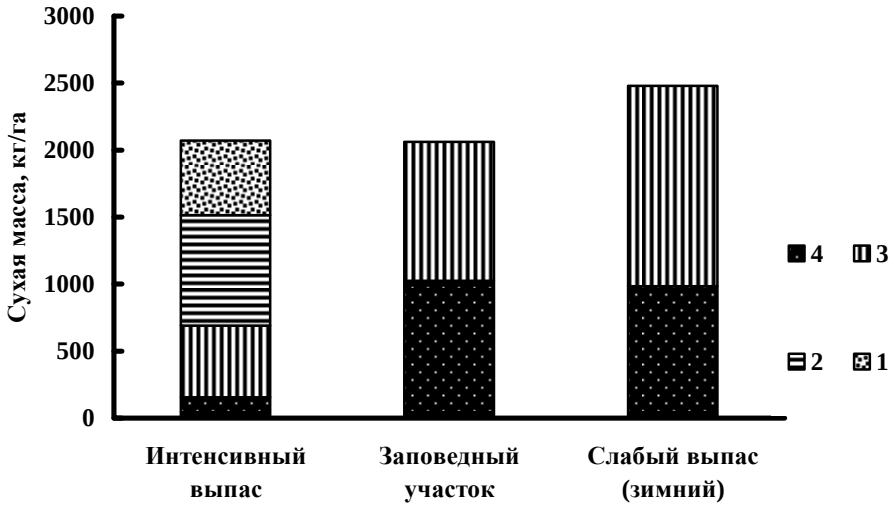


Рис. Продукция надземной фитомассы за вегетационный период (апрель-сентябрь 2012 г.) и ее структура в конце периода на участках с разным режимом использования. Условные обозначения: 1 – потребленная фитомасса, 2 – опад (отчужденная в результате вытаптывания мертвая растительная масса текущего года), 3 – ветошь, 4 – живая фитомасса. **Fig.** Production of aboveground phytomass (kg/hectare, dry matter) for a vegetative period (April-September 2012) and its structure in the end period on areas with a different type of use (intensive grazed site; ungrazed (reserve) site; weak grazed site). Symbols: 1 – plantmass consumed by animals, 2 – fallen dead mass of plants as a result of trampling in the current year, 3 – standing dead plants, 4 – alive part standing plants.

Совершенно очевидно, для окончательного суждения об истинной надземной продукции растительности на пастбище необходимо знать потребленную животными массу. Проведенный для этого учет фекалий показал, что овцами было отложено на опытном пастбищном участке в раннелетний и позднелетний периоды 8.9 и 7.3 г/м^2 фекалий (сухая масса), что в сумме за весь учетный период (144 суток) составило 16.2 г/м^2 (162 кг/га; табл. 3). Коэффициент переваримости растительного корма на этом пастбище, как отмечено выше, у овец равняется 55%, а масса фекалий, откладываемых в ночное время в загонах, составляет ⅓ суточного отложения фекалий. Отсюда следует, что овцы за указанный промежуток времени с апреля по сентябрь потребили 55.5 г/м^2

(555 кг/га) растительной массы (табл. 3). Важно отметить, что при указанной выше плотности поголовья овец 1.7 особи/га и длительности учетного периода пастьбы 144 суток среднесуточное потребление растительного корма одной овцой оказывается равным 2.26 кг/особь (сухая масса), что всреднем соответствует пастбищной норме питания овец.

Учет изъятой животными растительной массы позволил определить величину продуцированной на пастбище за вегетационный период фитомассы, которая составила 2070 кг/га (рис.). На долю живой массы в последний учетный период пришлась лишь небольшая часть этой величины – 155 кг/га (7.5%), а общая масса вместе с сохранившейся от выедания и вытаптывания ветошью (фитомасса на корню) и опадом составляла 609 кг/га (29%). Из всей отчужденной выпасом фитомассы (потребление, опад), которая составила 1458 кг/га (70%), на опад (подстилку), т.е. отчужденную растительность в результате вытаптывания, пришлось 62% (903 кг/га), и лишь 38% (555 кг/га) – на непосредственно потребленную растительность. Таким образом, на пастбищном участке потери от вытаптывания оказались существенно больше величины прямого потребления.

Заповедный участок. На заповедном участке в растительных сообществах в западинах большая доля надземной растительной массы в начале вегетации весной приходилась на прошлогоднюю ветошь (226 г/м^2), но к августу она практически полностью трансформировалась в подстилку, масса которой к этому времени возросла с 567 до 987 г/м^2 (табл. 2). Максимум зеленой наземной фитомассы (230 г/м^2) пришелся на середину лета (июнь), но к августу ее вес снизился до 134 г/м^2, частично трансформировавшись в ветошь с массой 169 г/м^2. В сумме фитомасса на корню (живая масса и текущая ветошь) в западинах составила 303 г/м^2, что приблизительно отражает надземную продукцию за учетный период. Такая же картина характерна для динамики фитомассы в сообществах на микроповышениях, где живая фитомасса с апреля по август снизилась со 105 до 71 г/м^2, а текущая ветошь увеличилась с 1.5 до 38.5 г/м^2, что в сумме на корню составило 110 г/м^2. Таким образом, в расчете на всю площадь средняя продукция надземной фитомассы на заповедном участке составила 2060 кг/га, т.е. ровно столько же, сколько и на пастбище (рис.). Доля живой массы и ветоши в этой величине к августу распределились поровну.

Участок со слабым (зимним) выпасом. На участке со слабым (зимним) выпасом в сообществах в западинах ветоши в начальный учетный период было немного, даже в середине лета она не превышала 87 г/м^2, что связано с ее утилизацией в период зимней пастьбы животных (табл. 2). Живая (зеленая надземная фитомасса) достигала максимума (304 г/м^2) к середине лета (июнь), но в августе в результате перехода в ветошь вдвое снизилась (до 152 г/м^2). Масса ветоши в это время достигла 258 г/м^2, что в сумме с живой массой отражает текущую продукцию надземной фитомассы (410 г/м^2) в западинах. С учетом надземной массы на микроповышениях (75 г/м^2), средняя надземная продукция для всего участка со слабым выпасом составила 242.5 г/м^2 (2425 кг/га), что заметно больше, чем на заповедном участке и пастбище (рис.).

Из всего сказанного следует, что продукция надземной фитомассы на пастбищном участке в учетный период складывается из видимой растительной массы, состоящей из текущего прироста живой фитомасссы, массы ветоши и подстилки (опада), образовавшихся в учетный период, и из потребленной животными растительности за этот же период. Характерно, что на живую фитомассу в нашем случае приходилась лишь небольшая доля всей надземной продукции – всего 7.5%, а вместе с текущими ветошью и опадом – 29%. Совершенно очевидно, ветошь представляет собой малопривлекательную фракцию кормовой растительности пастбища и избегается животными в летнее время. Непосредственно использована в пищу относительно небольшая часть растительной продукции – всего 27%. Характерно, что весьма большая доля продукции сохранилась в виде опада, представляющего собой в данном случае отчужденную растительную массу в результате отторжения копытами пасущихся животных. На нашем пастбище на такой опад пришлось 44% надземной продукции, что значительно больше, чем непосредственно потребили животные. Следует отметить, что потери продукции на пастбищах, вызванные вытаптыванием, – закономерное явление. На луговом пастбище (Вологодская обл.) потери фитомассы от вытаптывания скотом составили 500 кг/га, или 25% общей величины отчуждения (Шенников, Бологовская, 1927). При пастьбе овец на разнотравных пастбищах штата Монтана (Северная Америка) такие потери составляют 50%, коров – 25-55% общей величины отчуждения (Лейкок, Харнисс, 1974). В нашем случае, как показано выше, такие потери составили 62% общего отчуждения.

Примечательно, что учтенная продукция надземной фитомассы на всех трех участках оказалась близкой друг другу по величине и изменялась в пределах всего 2060-2425 кг/га, что связано с одинаковыми условиями среды на всех трех участках, прежде всего одинаковой влагообеспеченностью растительности. Однако, все же заметно некоторое превышение на 355-365 кг/га (15%) продуктивности на участке со слабым зимним выпасом над остальными участками.

Можно полагать, что более низкая продуктивность на пастбищном участке в этом случае указывает на некоторое негативное влияние пастьбы животных на продукционный процесс в экосистеме. В свою очередь более низкая продуктивность на заповедном участке служит признаком ослабления продукционных процессов, вызванных отсутствием пастьбы животных. Ранее нами было отмечено, что прекращение пастьбы скота на заповедном участке влечет за собой накопление слоя мертвой растительной массы (подстилки), которая влечет за собой нарушение растительного покрова, в частности, угнетение доминирующих здесь дерновинных злаков, особенно ковылей и типчака (Абатуров, 2001). В настоящее время эти злаки здесь уже стали редкими и занимают в фитоценозе явное подчиненное положение. Действительно, масса подстилки на заповедном участке достигает в степных ассоциациях (в западинах) почти 1000 кг/га, что негативно влияет на продуктивность фитоценоза.

Заключение

Оценка продуктивности растительности на пастбищах требует учета составных частей фитомассы, из которых складывается общая величина надземной продукции пастбищной растительности. Она включает фитомассу на корню, т.е. ту надземную часть растительной продукции, которая сохранилась после пастьбы животных и состоит из живой (зеленой) части растений и из ветоши текущего года. Другой обязательной частью этой продукции является отчужденная пасущимися животными растительная масса, которая в свою очередь состоит из двух форм: из потребленной растительности и из опада, образованного при вытаптывании растений пасущимися животными. Потребленную массу сложно измерить непосредственно, но ее хорошо отражает и позволяет количественно оценить масса отложенных за время пастьбы фекалий животных.

При пастьбе на полупустынном пастбище стада овец с плотностью 1.7 особей на 1 га (850 голов на 500 га) в течение весенне-летнего периода (апрель-сентябрь) на прямое потребление растительности пришлось 27% надземной продукции пастбищного фитоценоза, на опад (отчуждение при вытаптывании) – 44%, т.е. суммарное отчуждение составило 71%. На корню после пастьбы осталось 29% продукции надземной фитомассы, при этом живая часть составила всего 7.5%. Таким образом, при оценке на пастбище видимой части растительной продукции в учет попала бы лишь треть общей надземной продукции фитоценоза.

Суммарная надземная продукция пастбищного фитоценоза на таком пастбище составила 2070 кг/га. Это равно продукции заповедного участка (2060 кг/га), но несколько меньше, чем на пастбище со слабым (зимним) выпасом (2425 кг/га). Более низкая продукция на пастбище и на заповедном участке отражает негативное влияние на продуктивность растительности как интенсивной пастьбы животных, так и ее исключения. Тем не менее, полный учет всех составляющих продукции надземной фитомассы в условиях интенсивной пастьбы животных отразил достаточно высокую продуктивность растительности, лишь немного уступающую максимальной продуктивности в условиях оптимального функционирования степной экосистемы.

Благодарности. Авторы работы искренне признательны С.Е. Егорову и Е.Е. Егорову за поддержку и помощь в работе на пастбищных землях их фермерского хозяйства (поселок Вишневка Палласовского района Волгоградской области).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д. 2001. Экологические последствия пастьбы копытных млекопитающих для экосистем полупустыни // Экологические процессы в аридных биогеоценозах. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: РАСХН. С. 57-83.

Абатуров Б.Д., Дмитриев И.А., Жаргалсайхан Л., Омаров К.З. 2008. Утилизация фитомассы и отложение экскрементов копытными млекопитающими на степных пастбищах Восточной Монголии // Известия РАН.

Серия Биологическая. № 3. С. 350-359.

Абатуров Б.Д., Колесников М.П., Никонова О.А., Позднякова М.К. 2003. Опыт количественной оценки питания свободнопасущихся млекопитающих в естественной среде обитания // Зоологический журнал. Т. 82. № 1. С. 104-114.

Базилевич Н.И., Семенюк Н.В. 1983. Опыт количественной оценки природной и антропогенной составляющих функционирования пастбищных экосистем // Известия АН СССР. Серия географическая. № 6. С. 46-62.

Евсеев В.И. 1954. Пастбища Юго-Востока. Изд. 2-е дополненное. Чкалов: Чкаловское книжное издательство. 340 с.

Каменецкая И.В. 1952. Естественная растительность Джаныбекского стационара // Труды Комплексной научной экспедиции по вопросам полезащитного лесоразведения. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР. С. 101-162.

Лейкок В.А., Харнисс Р.О. 1974. Повреждения разнотравья на естественных пастбищах от вытаптывания при выпасе овец и крупного рогатого скота // Международный конгресс по луговодству. Ч. 1. М.: Всесоюзный институт кормов им. В.Р. Вильямса. С. 318-322.

Методика опытов на сенокосах и пастбищах 1971 / Ред. Игловиков В.Г., Конюшков Н.С., Мельничук В.П., Минина И.П., Якушев Д.В. М.: Всесоюзный институт кормов им. В.Р. Вильямса. 232 с.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Хитров Н.Б. 2004. Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы, Т. 10. № 22. С. 9-18.

Новикова Н.М., Вышивкин А.А., Шадрина М.Б., Бухарева О.А. 2010. Изменения растительности солонцового комплекса Джаныбекского стационара и его окрестностей при разной интенсивности выпаса // Аридные экосистемы. Т. 16. № 5(45). С. 98-110.

Сапанов М.К., Сиземская М.Л. 2010. Климатогенные изменения травянистой растительности на солончаковых солонцах Северного Прикаспия // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 185-194.

Сиземская М.Л., Сапанов М.К. 2010. Современное состояние экосистем и стратегия адаптивного природопользования в полупустыне северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 16. № 5(45). С. 15-24.

Титлянова А.А. 1977. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 222 с.

Шенников А.П., Бологовская Р.П. 1927. Введение в геоботаническое обоснование организации пастбищ на севере // Труды Вологодской с.-х. опытной станции. Вып. 1. Вологда: Типография акционерного общества «Северный печатник». 122 с.

McNaughton S.J., Milchunas D.G., Frank D.A. 1996. How can net primary productivity be measured in grazing ecosystems? // Ecology. Vol. 77. Issue 3. P. 974-977.

EXPERIENCE OF THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF PRODUCTION OF ABOVEGROUND PHYTOMASS AND ITS COMPONENTS ON THE STEPPE PASTURE

© 2013. B.D. Abaturov, Yu.D. Nukhimovskaya

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences
Russia, 119071 Moscow, Leninskyi prospect, 33. E-mail: abaturov@sevin.ru

Production of aboveground phytomass on a deserted-steppe pasture in northern Prekaspian lowland is estimated. It consist of the vegetation consumed by animals, mass of fallen dead plants as a result of trampling in the current year and of a standing plants (an alive part and standing dead plants). The consumed mass was measured by the account of the feces mass postponed by animals for the registration period, and digestibility coefficient of the consumed vegetation. At pasturing of sheep herd by number of 450 individual per 500 hectares (1.7 ind/hectare) during the spring-summer period (April-September) the mass of standing plants was remained 29%, the consumed mass has compounded 27%, removal mass as a result of trampling – 44% of the total aboveground production phytomass. Total above ground production has compounded 2070 kg/hectares that is equal to production of a reserved field (2060 kg/hectares), but it is less, than on a pasture with weak winter grazing (2425 kg/hectares).

Keywords: herbivorous mammals, sheep, semidesert pasture, reserved area, aboveground vegetative production, consumed vegetative mass, alive phytomass, feces mass.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 23-30

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 550.42 (571.54)

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АЛАСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ПРИ ПАСТБИЩНОЙ ДИГРЕССИИ

© 2013 г. А.А. Данилова*, П.П. Данилов, Г.Н. Савинов**, Л.Д. Гаврильева**, А.А. Петров**, Г.А. Алексеев****

**Институт земледелия и химизации сельского хозяйства РАСХН*
Россия, 630501 Новосибирская обл., п. Краснообск, а/я 356
***Институт прикладной экологии Севера Северо-Восточного Федерального университета*
Россия, 677027 г. Якутск, ул. Ленина, д. 1. E-mail: Danilova7alb@yandex.ru, DanPP@mail.ru

Поступила 13.06.2012

Изучены биологические свойства аласных почв в условиях пастбищной дигрессии при нагрузке 5-6 голов КРС[1]/га. Установлено, что поступление навоза (около 2 т/га с.в. в год) в криоаридных условиях позволяет поддерживать изученные показатели в слое почвы 0-20 см на уровне, не уступающем фоновым аласам. Оценена устойчивость формирующегося при этом микробного сообщества почвы.

Ключевые слова: Центральная Якутия, аласные почвы, биологические свойства, пастбищная дигрессия.

Выпас животных в естественных травяных экосистемах является необходимым фактором для их устойчивого функционирования. Чрезмерное усиление пастьбы и ее ослабление ведет к деградации экосистемы (Базилевич, Семенюк, 1983; Абатуров, 2006; Абатуров и др., 2008). Установлено, что стабильное функционирование пастбищной экосистемы в условиях Центральной черноземной области возможно при нагрузке 0.5 голов КРС/га (Базилевич, Семенюк, 1983), на пастбищах Восточной Монголии – 0.3 головы копытных/га (Абатуров и др., 2008). С учетом низкой продуктивности естественных аласных лугов Центральной Якутии предельная пастбищная нагрузка не должна превышать 0.5 голов КРС/га (Давыдов, 1982). Однако, на аласах, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов, показатель существенно превышает рекомендованный уровень. Естественно, что на этих участках наблюдается значительное нарушение травяного покрова.

Проблема пастбищной дигрессии широко изучается преимущественно с геоботанических позиций. Не являются исключением и аласные луга Якутии (Гаврильева и др., 1998; Иванов и др., 2004). Почвенные исследования по данному вопросу обычно выпас рассматривают как односторонний процесс выноса элементов из экосистемы (Котенко, 2011; Меркушева, 2012; Asner et.al., 2004; Martinez, Zinck, 2004; Milne, Haynes, 2004 и др.). Между тем в литературе представлены убедительные количественные сведения, доказывающие необходимость учета вклада пасущихся животных в круговороте вещества в этих экосистемах (Базилевич, Семенюк, 1983; Абатуров, Кулакова, 2010) .

В связи с этим цель исследования заключалась в попытке проследить роль экскрементов пасущихся животных в формировании свойств криоаридных почв при пастбищной дигрессии.

Объекты и методы

Аласы представляют собой геоморфологические образования, характерные только для криолитзоны. В термокарстовой котловине образуется специфическая экосистема, представляющая собой комплекс биомов, переходящих от озерного через болотный (нижний гидротермический пояс), луговой (средний пояс), остепнённый (верхний) к типичному лесному.

[1] КРС – крупный рогатый скот.

Низкая продуктивность растительности на аласах Центральной Якутии связана с резко континентальным криоаридным климатом территории. Годовое количество осадков достигает 247 мм. Из них за май-сентябрь выпадает 162 мм, октябрь – апрель 85 мм при испаряемости 420-500 мм. Средняя температура за год колеблется от –7°С до –10°С. Летние температуры часто достигают 30-35°С, поверхность почвы прогревается до 50°С. При этом близкое залегание многолетнемерзлых пород способствует формированию на данной территории самых холодных почв в Северном полушарии (Аласные экосистемы, 2005).

Судя по запасам надземной фитомассы, продуктивность изучаемых травяных экосистем в ненарушенном состоянии близка к показателям сухих степей Тувы и Забайкалья (Степи …, 2002).

Нами изучены два типичных зрелых котловинных провально-термокарстовых аласа, имеющих разную степень антропогенной нагрузки, расположенные на Тюнгюлюнской террасе (пятая надпойменная терраса р. Лена) в северной части Лено-Амгинского междуречья. Географические координаты сильно деградированного аласа Уолэн – 62° 33´ 24.3" с.ш. и 130° 54´ 01.4" в.д., фонового аласа Тобуруон – 62° 28´ 29.7" с.ш. и 130° 56´ 40.5" в.д. На фоновом аласе травостой используется под сенокос, выпас животных ограничен. Травяной покров аласа Уолан нарушен вследствие перевыпаса. При рекомендованной норме нагрузки, равной 0.5 голов КРС/ га, показатель на данном аласе достигает 6. Эта ситуация типична для большинства аласов Центральной Якутии, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов.

Исследования проведены 2009-2011 гг. на всех гидротермических поясах аласов. Согласно классификации (Еловская, 1987; Десяткин, 2008), почвы нижнего пояса определены как мерзлотные дерново–глеевые, среднего – мерзлотные луговые, верхнего – мерзлотные остепнённые. Почвы аласа Уолэн дополнительно охарактеризованы как антропогенно преобразованные. Все изученные почвы засолены (содово-хлоридный тип), pH (водная) достигает 9.5.

Функциональный спектр микробного комплекса почвы оценивали методом МСТ (мультисубстратный тест; Горленко, Кожевин, 2005). Метод позволяет оценивать активность микробного комплекса почвы по интенсивности утилизации спектра источников углерода, уровень которой оценивается по развитию цветной реакции с солями тетразолия. Унификация учета интенсивности потребления субстрата позволяет применение методов многомерной статистики для анализа результатов эксперимента.

Число КОЕ (колониеобразующих единиц) определяли стандартными методами (Методы …, 1980), скорость нитрификации оценили путем компостирования при оптимальных гидротермических условиях, нитратный азот – модифицированный по Грандваль Ляжу (Иодко, Шарков, 1994), разложение целлюлозы в полевых условиях – по Е.Н. Мишустину и А.Н. Петровой (1963).

Результаты и их обсуждение

В результате пастбищной дигрессии, оцениваемой по ботаническим критериям как третья стадия, на аласе Уолэн существенно изменился ботанический состав и продуктивность фитоценозов. Запас фитомассы всреднем за вегетационный период 2010 г. на этом аласе составил: на нижнем поясе – 0.31, среднем – 1.29, верхнем – 0.25 т/га, на фоновом аласе соответственно – 1.50, 1.35, 0.82 т/га. Продуктивность данных экосистем сильно колеблется по годам. По средним многолетним данным на аласах Лено-Амгинского междуречья эта величина колебалась в следующих пределах: при третьей стадии дигрессии: на верхнем поясе – 0.1-0.42, среднем – 0.5-0.75, нижнем – 0.75-1.63 т/га, при первой стадии (фон) – соответственно: 0.5-1.0, 0.92-4.41, 1.57-4.76 т/га (Гаврильева, 2000).

Снижение количества поступающего растительного вещества сопровождалось закономерным падением содержания в почве $С_{орг.}$ При этом соответствующего снижения количества подвижного углерода (С водной и солевой вытяжек) не было обнаружено (табл. 1).

Согласно результатам посевов на стандартные питательные среды (МПА, КАА, ГА, Эшби), уровень обогащенности слоя почвы 0-20 см клетками микроорганизмов по шкале Д.Г. Звягинцева (1978) оценивался как средний и высокий, слоя 20-40 см – средний и низкий. В таблице 2 приведены данные по числу КОЕ, полученные на разбавленной в 30 раз среде МПА (мясо-пептонный агар). Сведения, полученные на данной среде, отражали общие закономерности, отмеченные на стандартных средах. По количеству КОЕ сапротрофной микрофлоры почвы в слое 0-20 см среднего и

верхнего поясов деградированного аласа не уступали таковым фонового аласа, в слое 20-40 см наблюдалась преимущественно обратная закономерность.

Оценку метаболической активности микробного комплекса почвы по результатам МСТ проводили по сумме баллов оценки интенсивности утилизации по всем 23 задействованным в опыте субстратам.

Таблица 1. Содержание органического вещества в почвах исследуемых аласов. **Table 1.** Content of the organic matter in alas soils.

Название аласа и степень нарушенности	Гидротермический пояс	$C_{орг.}$,%		С водной вытяжки, мг/кг	
		0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
Уолэн, деградированный	Нижний	1.73	1.02	529	53
	Средний	2.51	1.77	940	835
	Верхний	1.32	0.83	384	400
Тобуруон, фоновый	Нижний	4.04	2.95	460	325
	Средний	2.47	0.97	200	580
	Верхний	5.58	1.00	534	110
Доверительный интервал при P=0.95		0.9		100	

Таблица 2. Число КОЕ (колонии образующих единиц на разбавленной среде МПА) в аласных почвах.
Table 2. Number of the CFU (colony forming units) in alas soils.

Название аласа и степень нарушенности	Гидротермический пояс	КОЕ в слое почвы, млн/г			
		0-10 см	10-20 см	20-30 см	30-40 см
Уолэн, деградированный	Нижний	7.9	1.7	0.8	1.0
	Средний	13.9	3.1	1.6	1.3
	Верхний	19.6	3.5	0.5	1.2
Тобуруон, фоновый	Нижний	7.8	5.5	1.3	2.3
	Средний	6.4	3.2	2.8	1.5
	Верхний	18.0	6.2	5.6	3.6
Доверительный интервал при P=0.95		2		0.5	

Общий уровень активности в слое почвы 0-20 см в нижнем и верхнем поясах по аласам достоверно не различался. В верхнем поясе показатель на деградированном аласе был выше в сравнении с фоновым (рис. 1). Основное различие между аласами отмечалось в слое 20-40 см, где активность микробного комплекса почв деградированного аласа существенно уступала показателям фонового.

Таким образом, число и активность микробного сообщества изученных почв в слое 0-20 см практически не зависели от степени деградации травяного покрова. Вывод оказался достаточно неожиданным, поскольку при отмеченном уровне снижения количества поступающего в почву растительного вещества логично было ожидать падения и биологической активности почвы. Это обстоятельство, вероятно, было связано с содержанием основного источника пищи для микроорганизмов подвижных фракций органического вещества (С водной и солевой вытяжек), количество которых практически не зависело от состояния аласа (табл. 1).

Таким образом, пастбищная дигрессия сопровождалась уменьшением мощности биологически активного слоя аласных почв. При этом число КОЕ и активность микробного сообщества слоя почвы 0-20 см не зависели от степени деградации аласа.

Следующая задача наших исследований заключалась в оценке устойчивости функционирования сформировавшейся таким образом системы. Для этих целей мы определили степень снижения показателей биологической активности почв и скорость накопления нитратного азота при компостировании почвы в лабораторных условиях. Образцы почв в течение 3 недель инкубировали в оптимальных условиях тепла и влаги. Исходное предположение заключалось в том, что при компостировании почва потеряет часть легкодоступного органического вещества и по остаточной активности мы сможем судить о степени устойчивости живой фазы почвы.

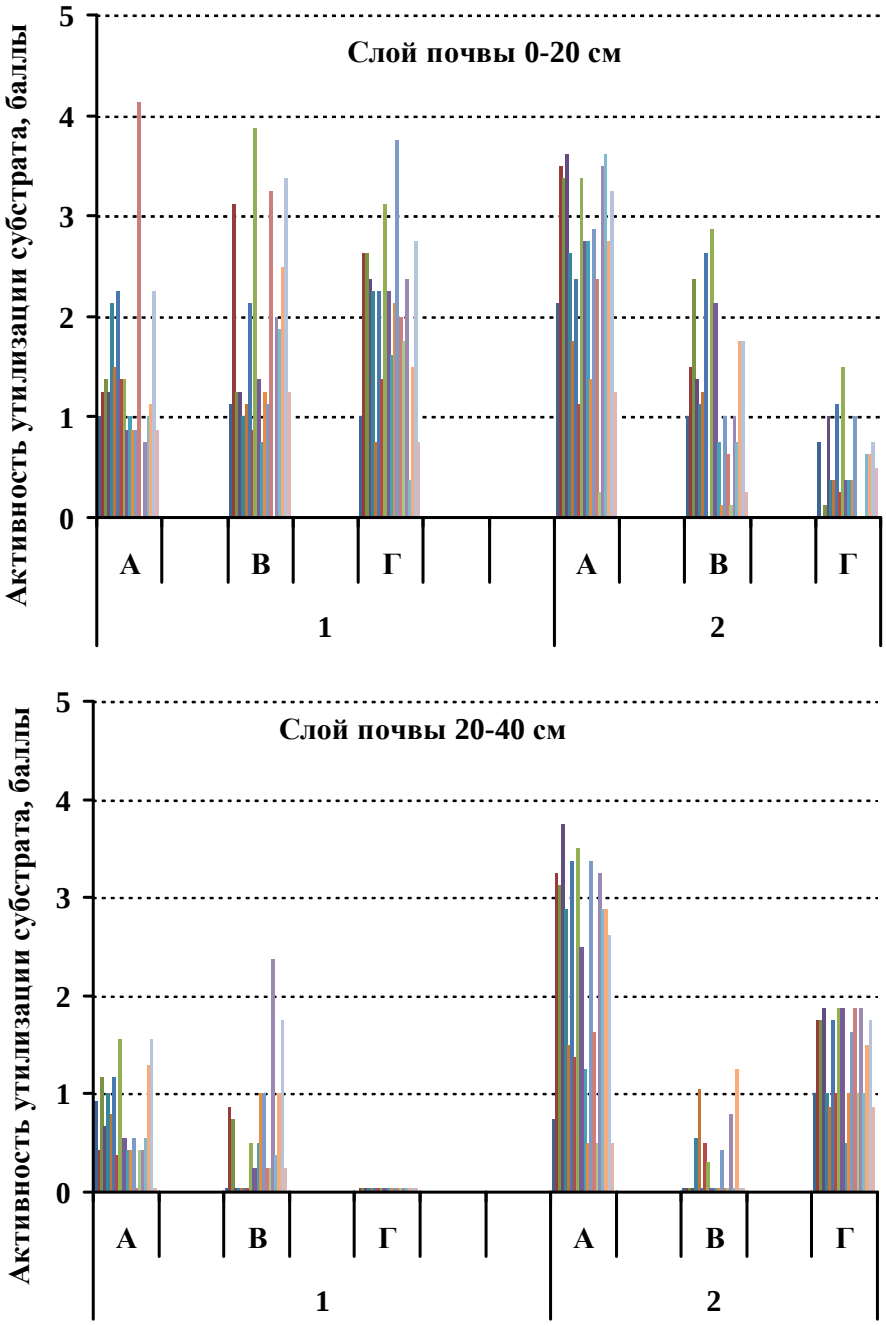


Рис. 1. Метаболическая активность микробного сообщества почв по гидротермическим поясам деградированного (Уолан) и ненарушенного (Тобуруон) аласов. Условные обозначения. Гидротермический пояс аласа: А – нижний, В – средний, Г – верхний; Почвы: 1 – деградированный алас, 2 – фоновый алас.
Fig. 1. The soil microbial community activity accoding to hydrothermal zones (А, В, Г) in degraded (Wolan, 1) and undisturbed (Toburuon, 2) alases.

Действительно, компостирование привело к снижению числа и активности микробиоты. При этом удельная активность ее, представляющая собой отношение суммы баллов активности к числу КОЕ, преимущественно возрастала. Этот показатель у почв фонового аласа был выше, чем у деградированного. То есть, функциональный спектр микробного комплекса нарушенного аласа оказался менее устойчивым в сравнении с таковым фонового аласа (табл. 3).

Таблица 3. Изменение показателей числа и активности микробного комплекса при компостировании почвы. **Table 3.** Change of the CFU number and the soil microbial community activity in conditions of laboratory incubation.

Название аласа и степень нарушенности	Гидротер-мический пояс	Сумма баллов при МСТ		Число КОЕ, млн/г		Удельная активность	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*
Уолэн, деградированный	Средний	62	19	10	1	6	17
	Верхний	76	2	11	0.5	7	4.5
Тобуруон, фоновый	Средний	46	35	11	1.3	4	27
	Верхний	72	50	19	1.8	4	28

Примечание к таблице 3: 1* – значения исходные, 2* – после компостирования.

В качестве дополнительного критерия для оценки устойчивости объектов исследования мы использовали скорость автотрофной нитрификации в почве в лабораторных условиях (рис. 2). Известно, что активность данного процесса в равновесной экосистеме обычно подавлена и его интенсификацию авторы склонны считать свидетельством нарушения баланса вещества в почве (Аристовская, 1988; Кураков, 2004).

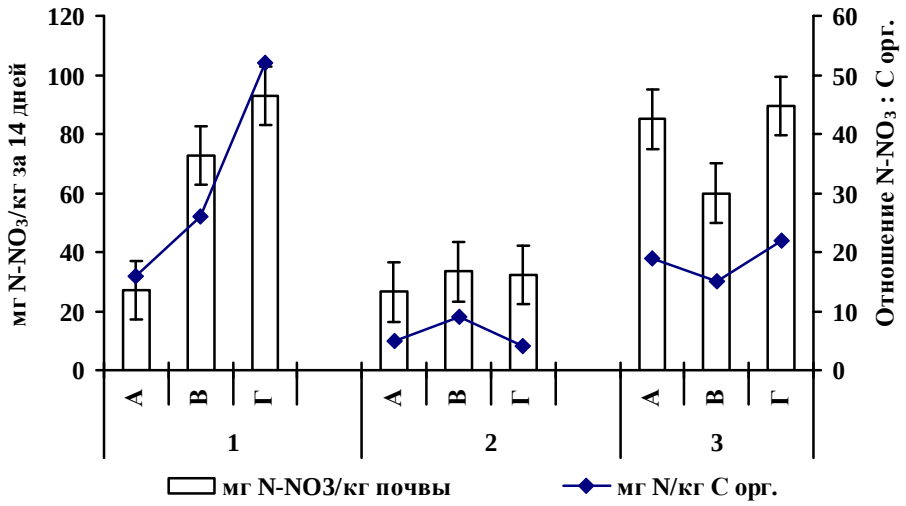


Рис. 2. Абсолютная и относительная интенсивность нитрификации в почвах аласов и черноземе Западной Сибири (по катене). Условные обозначения: Гидротермический пояс аласа: А – нижний, В – средний, Г – верхний; Почвы: 1 – деградированный алас, 2 – фоновый алас, 3 – чернозем; отрезком обозначен доверительный интервал при P=0.95. **Fig. 2.** Absolute and relative rates of nitrification in alas soils and chernozem of West Siberia. Symbols: hydrothermal alas belt: A – low, B – middle, Г – upper; Soils: 1 – degraded alas, 2 – background alsas, 3 – chernozem; vertical bars denote 0.95 confidence intervals.

Из наших данных следует, что, в слое почвы 0-10 см скорость образования нитратного азота на деградированном аласе была значительно (до 3 раз) выше, чем на фоновом. При этом абсолютная величина показателя на первом достигала уровня пахотных черноземов Западной Сибири. Если при

этом учесть, что органического вещества в аласных почвах существенно меньше, чем в черноземах, то интенсивность процесса, приходящаяся на единицу Сорг, в аласной почве значительно превышала показатели, присущие черноземам. То есть можно утверждать, что скорость разложения органического вещества в почве деградированного аласа при оптимальных условиях может достигать значительных величин, угрожающих стабильности экосистемы.

Данный вывод, сделанный нами на основе лабораторных наблюдений, подтвердился при полевых исследованиях. Так, скорость разложения льняного полотна в полевых условиях в течение года оказалась в 3 раза выше на деградированном аласе в сравнении с фоновым (табл. 4).

Таблица 4. Интенсивность разложения целлюлозосодержащего материала в аласных почвах за год (с августа 2010 г. по июль 2011 г.), потеря массы полотна в % от исходной. **Table 4.** The cellulose utilization in alas soils during a year (August, 2010 – July, 2011), loss of a dry weight, %.

Гидротермический пояс аласа	Алас Уолан деградированный	Алас Тобуруон фоновый
Нижний	27	18
Средний	39	14
Верхний	33	11
Доверительный интервал при P=0.95, n=5	8	

Таким образом, снижение продукции надземной фитомассы на изученных аласных экосистемах в 3-5 раз вследствие перевыпаса, следовательно и снижение количества поступающего в почву растительного вещества не сопровождалось снижением биогенности слоя почвы 0-20 см. В поисках причины этого обстоятельства мы провели предварительный расчет примерного количества навоза, поступающего в экосистему. Оказалось, что эта величина может достигать 12 т/га свежего или 2.0 – 2.5 т/га вещества в год в воздушно-сухом весе (среднесуточная продукция экскрементов 40 кг/голову КРС, пасется в среднем 150 голов, пастбищный период 100 дней, время пребывания на пастбище 12 ч/сут., площадь пастбища 24 га). Если учесть, что на фоновом аласе запас фитомассы всреднем приближается к 1.5-2 т/га в свежем весе, то расчетная величина сухой биомассы навоза, поступающего в почвы пастбища, оказывается сопоставимой с продукцией надземной биомассы на ненарушенном аласе. Следовательно, поступающее количество навоза, вероятно, может восполнять существенную часть потерь растительного опада, происходящего при снижении продуктивности деградированного аласа. Таким образом, можно утверждать, что именно значительное количество свежего навоза, поступающего в почвы деградированного аласа Уолэн, позволяет поддерживать биологические свойства почв на уровне, не уступающем показателям фонового аласа Тобуруон. Однако, устойчивость функционирования сформировавшейся при этом системы оказалась существенно ниже в сравнении с контролем.

Таким образом, деградация травяного покрова аласа вследствие перевыпаса и замещение поступающего в экосистему углерода растительных остатков на углерод навоза в особых, криоаридных условиях Центральной Якутии способствует образованию особой фракции органического вещества, поддерживающего численность и активность микробиоты почвы на уровне, не уступающем таковым фоновых аласов. При экспериментальном доведении влажности и температуры почвы до оптимальных значений данная фракция быстро разлагалась, и все изученные показатели потенциальной биологической активности почвы снижались не менее чем в 10 раз в сравнении с исходными величинами, что может свидетельствовать о высокой возможной чувствительности экосистем деградированных аласов к изменению климатических параметров.

По нашим данным эта неустойчивость была связана с избыточной интенсификацией процесса разложения органического вещества на деградированном аласе, о чем свидетельствует повышение скорости нитрификации и разложения целлюлозосодержащего материала в полевых условиях за год до 3 раз в сравнении с фоновым вариантом.

Полученный нами экспериментальный материал еще раз подтверждает и дополняет известное положение об единстве растительного и животного составляющих пастбища. Согласно этим

взглядам, в аридных условиях, неблагоприятных для функционирования обычных сапрофагов (микроорганизмов и беспозвоночных), роль последних берут на себя пасущиеся животные путем мобилизации, в частности, закрепленного в растительной биомассе азота (Абатуров, Кулакова, 2010). В криоаридных условиях (сухо и холодно) это явление, вероятно, еще более значимо. В наших исследованиях достаточно четко видна роль животных в интенсификации минерализационных процессов в экосистеме. Навоз, поступивший в экосистему, разлагается крайне медленно, образуя запас особой подвижной фракции органического вещества почвы. Роль этой фракции необходимо рассматривать, как минимум, с двух позиций. С одной стороны, будучи доступным источником питания для микробиоты, она является своеобразным буфером, не позволяющим резкое падение показателей биологической активности почвы при значительном снижении количества поступающего в почву растительного вещества. С другой стороны, лабильность обусловливает ее крайнюю неустойчивость к изменению условий среды. Это обстоятельство таит в себе опасность быстрой деградации аласных почв, переживающих поздние стадии пастбищной дигрессии, при известной тенденции изменения климата в высоких широтах в сторону потепления и повышения увлажненности.

Необходимо отметить, что вероятность реализации нашего прогноза довольно высока, так как уже в настоящее время полевые наблюдения фиксируют более высокую в сравнении с фоновым скорость разложения органического вещества в деградированном аласе.

Выводы

Число КОЕ и метаболическая активность микробного сообщества в верхнем (0-20 см) слое аласных почв не зависели от степени деградации травяного покрова при пастбищной нагрузке 6 гол КРС/га, что связано с поступлением в экосистему нарушенного аласа навоза в количествах, сопоставимых с продуктивностью фонового аласа (около 2 т/га в свежем весе)

Компостирование почвы при оптимальных условиях тепла и влаги сопровождается снижением изученных показателей на фоновом аласе до 30%, на деградированном – до 90% в сравнении с исходными значениями, что свидетельствует о более низкой экологической устойчивости микробного комплекса почв деградированного аласа в сравнении с таковым фонового.

Пастбищная дигрессия сопровождается интенсификацией процессов разложения органического вещества (нитрификация, разложение льняного полотна в полевых условиях) в аласных почвах примерно в 3 раза в сравнении с показателями фонового аласа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д. 2006. Пастбищный тип функционирования степных и пустынных экосистем // Успехи современной биологии. Т. 126. № 5. С. 435-447.

Абатуров Б.Д., Кулакова Н.Ю. 2010. Роль выпаса животных и степных палов в круговороте азота и зольных элементов в степных пастбищных экосистемах// Аридные экосистемы. Т. 16. № 2 (42). С. 54-64.

Абатуров Б.Д., Дмитриев И.А., Жаргалсайхан Л., Омаров К.З. 2008. Утилизация фитомассы и отложение экскрементов копытными животными на степных пастбищах Восточной Монголии // Известия РАН. Серия биологическая. № 3. С. 250-259.

Аласные экосистемы. 2005. Новосибирск: Наука. 263 с.

Аристовская Т.В. 1988. Микроорганизмы как трансформаторы и стабилизаторы биосферы // Почвоведение. № 7. С. 76-82.

Базилевич Н.И., Семенюк Н.В. 1983. Опыт количественной оценки природной и антропогенной составляющих функционирования пастбищных экосистем // Известия АН СССР. Серия географическая. № 6. С. 46-62.

Гаврильева Л.Д. 2000. Изменение видового состава растительности аласов при пастбищной дигрессии // Проблемы северного земледелия: селекция, кормопроизводство, экология. Новосибирск: РПО СО РАСХН. С.12 -16.

Гаврильева Л.Д., Миронова С.И. 1998. Пастбищная дигрессия растительности аласов Лено-Амгинского междуречья // Наука и образование. № 1. С. 20-24.

Горленко М.В., Кожевин П.А. 2005. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. М.: Макс Пресс. 88 с.

Давыдов Е.А. 1982. Экономика производства и заготовки кормов в Якутии. Якутск: Якутское книжное издательство. 119 с.

Десяткин Р.В. 2008. Почвообразование в термокарстовых котловинах-аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука. 323 с.

Еловская Л.Г. 1987. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 172 с.

Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. № 6. С. 48-58.

Иванов А.А., Миронова С.И., Саввинов Д.Д. 2004. Аласные луга Лено-Вилюйского междуречья Центральной Якутии. Новосибирск: Наука. 111 с.

Иодко С.Л., Шарков И.Н. 1994. Новая модификация дисульфофенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. № 4. С. 95-97.

Котенко М.Е. 2011. Влияние выпаса овец на гумусовое состояние светлокаштановых почв Терско-Кумской низменности // Аридные экосистемы. Т. 17. № 47. С. 63-67.

Кураков А.В. 2004. Роль бактерий и грибов в трансформации азота в почвах // Материалы 4 съезда Докучаевского общества почвоведов. Кн. 2. Новосибирск: Наука: Сибирское Отделение. С. 278-280.

Меркушева М.Г. 2012 Гумусовое состояние и структура микробоценозов в дефлированных каштановых почвах Баргузинской котловины (Западное Забайкалье) // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2. С. 44-53.

Методы почвенной микробиологии и биохимии. 1980. М.: МГУ. 223 с.

Мишустин Е.Н., Петрова А.Н. 1963. Определение биологической активности почвы // Микробиология. Т. 32. Вып. 3. С. 478-483.

Степи Центральной Азии. 2002. Новосибирск: Наука. Сибирское. Отделение. 298 с.

Asner G.P., Townsend A.R., Bustamante MC., Nardoto G.B., Olander L.P. 2004. Pasture degradation in the Central Amazon: Linking changes in carbon and nutrient cycling with remote sensing // Global Change Biology. Vol. 10. N.5. P. 844-862.

Martinez L.J., Zinck J.A. 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia// Soil &Tillage Research. Vol. 75. N. 1. P. 3-18.

Milne R.M., Haynes R.J. 2004. Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures // Biology and fertility of soils. Vol. 39. N. 3. P. 172-178.

CHANGE OF THE ALAS SOILS PROPERTIES IN CONDITIONS OF PASTURE DIGRESSION IN CENTRAL YAKUTIA

© 2013. A.A. Danilova*, G.N. Savvinov, P.P. Danilov**, L.D. Gavrilyeva**, G.A. Alekseev**, A.A. Petrov****

**Siberian Research Institute of Soil Management and Chemicalization for Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences*
Russia, 630501 Novosibirskya obl., Krasnoobsk, a/b 356

***Institute of Applied Ecology of the North Federal State Scientific*
Russia, 677027 Yakutsk, Lenin str., 1. E-mail: Danilova7alb@yandex.ru, DanPP@mail.ru

The biological properties of alas soils in conditions of pasture digression (grazing pressure 5-6 cattles/ha) had been studied. Because of manure release (about 2 t/ha of a dry substance a year) the properties of the 0-20 cm soil layer situated under the digressed pastures did not differ from normal one. But the low environmental sustainability of this ecosystem had been recognized.

Keywords: Central Yakutia, alas soils, biological properties, pasture digression.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 31-39

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.5

НАЗЕМНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПАСТБИЩ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИИ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДЕГРАДАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

© 2013 г. А.Н. Золотокрылин*, Т.Б. Титкова*, С.С. Уланова, Н.Л. Федорова****

**Институт географии РАН*
Россия, 119017 г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru
***Институт комплексных исследований аридных территорий*
Россия, 358005 Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Хомутникова, д. 111. E-mail: bekeevan@yandex.ru

Поступила 19.09.2012

Наземными методами изучено современное состояние пустынных экосистем в биосферном заповеднике “Черные земли” на территории Республики Калмыкия: дана оценка ботанического разнообразия, оценена сезонная и межгодовая динамика продуктивности растительных сообществ на заповедных и выпасаемых участках. По спутниковым данным NDVI MODIS и NDVI ETM+Landsat-7 исследовано пространственное изменение продуктивности растительности, выявлены участки, отличающиеся по степени деградации, оценены корреляционные зависимости между значениями NDVI и продуктивностью пустынных фитоценозов, измеренной наземными методами.
Ключевые слова: пастбища, деградация, растительные сообщества, продуктивность, NDVI, Черные земли, заповедные территории.

Пастбища Республики Калмыкия сильно деградированы в результате нерационального их использования и постоянно создают угрозу развития антропогенного опустынивания. Особенно опасен перевыпас в период усиления засушливости климата, как это было, например, в первой половине 1980-х годов на “Черных землях”. Только ослабление засушливости с конца 1980-х годов и последующее через несколько лет резкое сокращение выпасаемого поголовья в силу социально-экономических перемен в стране смягчили кризисное состояние пастбищ (Золотокрылин, Виноградова, 2007).

Наряду с известными отечественными методическими подходами к оценке степени деградации пастбищ (Виноградов и др., 1999; Методические указания ..., 2009; Рулев и др., 2011), сохраняет свое значение метод оценки по спутниковым данным нормированного разностного вегетационного индекса (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI; Борликов и др., 2000; Золотокрылин, 2003; Федорова, Уланова, 2012). Метод основан на результатах наземных и дистанционных наблюдений, проведенных в 1980-х годах на примере травянистой растительности Сахеля (Tucker et al., 1985; Prince, 1991). Эти результаты свидетельствуют о значимой корреляции между NDVI и зеленой фитомассой. Ранее применение этого метода сдерживалось невысокой разрешающей способностью радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) спутника NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), по измерениям которого вычислялся NDVI в 1982-2000 гг. Но значение метода возросло в связи с запуском спутников высокого разрешением (Landsat − 4, 5; ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) Landsat-7), а также с накоплением, начиная с 2000 г., данных NDVI с разрешением 250x250 м, получаемых по измерениям радиометром MODIS (the MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) спутника Terra (Aqua).

В настоящее время задача решается с помощью сопоставления данных разных спутников и наземных данных, позволяющих оперативно предоставлять полные сведения о состоянии пустынных экосистем и их динамики на обширной территории. Растительный покров, являясь довольно лабильной структурой, зависящей от динамики природно-антропогенных факторов, выступает индикатором происходящих изменений природных экосистем.

Целью проведенного исследования было определение современного состояния пустынных экосистем Республики, оценка их разнообразия наземными методами и выявление корреляционной

зависимости между NDVI и продуктивностью пустынных фитоценозов с различной степенью деградации растительных сообществ во времени на основе материалов космической информации с применением геоинформационных технологий (ГИС).

Для этого планируется использовать данные NDVI MODIS спутника Terra и NDVI ETM+ спутника Landsat-7 для изучения сезонной и межгодовой динамики продуктивности растительных сообществ на заповедных и выпасаемых участках “Черных земель”. В работе предполагается ответить на вопрос: можно ли с помощью NDVI достоверно разграничить деградированные пастбища и заповедные земли и при наличии такой возможности установить тенденцию их изменения.

Территория, материалы и путь решения задачи

Территория исследования охватывает Государственный природный биосферный заповедник (ГПБЗ) «Черные земли» и прилегающие к нему земли. Она расположена в северо-западной части Прикаспийской низменности и представляет собой слабоволнистую низменную равнину.

Согласно ботанико-географическому районированию, ГПБЗ "Черные земли" (его восточный участок) с прилегающими к нему территориями, расположен в пределах Прикаспийской подпровинции Сахаро-Гобийской пустынной области (Лавренко, 1965; Рачковская и др., 1990). Бóльшая часть заповедника представлена барханно-бугристыми песками и песчаными и супесчаными равнинами. На равнины с суглинистыми почвами приходится не более 5% площади. Растительность заповедника относится к пустынному типу Прикаспия и Турана, характеризующемуся сообществами ксерофильных и гиперксерофильных, микро- и мезотермных растений различных жизненных форм – полукустарничков, полукустарников, кустарников, а также многолетних трав и однолетников. Значительную роль в составе растительности играют коротковегетирующие эфемеры и эфемероиды, и длительно вегетирующие однолетники. Господствующей биоморфой является полукустарничек (Сафронова, 1996). Растительный покров заповедника был сильно изменен из-за перевыпаса и, поэтому здесь практически отсутствуют естественные растительные сообщества. Типичные для Прикаспия лерхополынные пустыни (*Artemisia lerchiana*[1]) почти не встречаются. На их месте сформированы разнообразные антропогенные варианты пустынных сообществ. В них преобладают злаковые сообщества с эфемерами. Господствуют злаки: тырсик (*Stipa sareptana*), ковылок (*Stipa lessingiana*), ковыль-волосатик или тырса (*Stipa capillata*), житняк сибирский (*Agropyron fragile*), мятлик живородящий (*Poa bulbosa*). В составе сообществ обильны эфемеры (*Anisantha tectorum, Lepidium ruderale, Descurainia sophia, Alyssum desertorum*; Федорова, 2011).

Простой количественный показатель фотосинтетической активности биомассы – NDVI равен разнице интенсивностей отраженной радиации в инфракрасном и красном диапазоне солнечного спектра, делённой на сумму их интенсивностей. Для радиометра MODIS Terra (Aqua) красный диапазон – это канал 0.62-0.67 мкм, а инфракрасный – канал 0.841-0.876 мкм. Для сканера ETM+Landsat-7 красный диапазон – канал 0.63-0.69 мкм, инфракрасный – канал 0.75-0.90 мкм.

Данные NDVI получены по наблюдениям радиометром MODIS Terra (модель MOD13Q1) за период май-октябрь 2008-2011 гг. Формат данных HDFEOS. Значения осреднены за 16-дневные периоды: 9-25 мая, 26 мая по 9 июня, 10-25 июня, 26 июня по 11 июля и т.д. Пространственное разрешение 250x250 м. В системе MRT Web данные привязаны к координатам с шагом 0.00301272°.

Сезонный ход NDVI в 2008-2011 гг. анализировался на территории (45.5-47° с.ш. и 45.3-47.1° в.д.) на площадках размером 250x250 м, которые соответствовали геоботаническим ключевым участкам на заповедных и на выпасаемых землях.

Для сравнения для этой же территории был синтезирован космоснимок в программе Multi Spek W 32 спутника ETM+Landsat-7 за 01.06.2011 с разрешением 30x30 м и вычислен NDVI (в программе Ilwis 3.6.).

Объект исследования – природные экосистемы заповедника «Черные земли» и прилегающие к нему земли.

Для установления закономерностей восстановительных сукцессий растительного покрова аридных экосистем на изучаемых участках в период с 2003 по 2011 гг. были проведены геоботанические исследования. Всего выполнено 188 геоботанических описания.

[1] Латинские названия растений даны по С.К. Черепанову (1995).

Наземные исследования включали: инструментальное профилирование рельефа с помощью нивелира, ключевые геоботанические описания участков, отбор укосов на биологическую продуктивность, закладка почвенных разрезов и отбор проб почв для лабораторных исследований. Список флоры растительных сообществ ключевых участков составлен по номенклатуре С.К. Черепанова (1995). Полевые исследования были сопряжены с анализом материалов космической информации и применением ГИС-технологий с обработкой топографических и геоботанических карт различного масштаба исследуемой территории.

Исследования проводились на 5 ключевых участках, различных по гранулометрическому составу почв (от легких до суглинистых вариантов), а также различной степени использования пастбищ (заповедная зона и зона выпаса). Площадь каждого ключевого участка составляла 1 км^2.

Ключевой участок № 1 расположен в 4.5 км на юго-запад от кордона «Ацан-Худук». Координаты: 46° 01' 37.58" с.ш. и 46° 17' 51.13" в.д. Рельеф территории представляет собой мелкобугристые пески с современными очагами дефлации. На участке в пределах профиля распространены эфемеровые (*Anisantha tectorum, Sisymbrium loeselii)*, эфемерово-джузгуновые *(Calligonum aphyllum, Anisantha tectorum, Sisymbrium loeselii)*, однолетниковые *(Eragrostis minor, Salsola tragus)* и однолетниково-вейниковые с кияком (*Calamagrostis epigeios, Sisymbrium loeselii*), кострово-колосняковые (*Leymus racemosus, Anisantha tectorum*), однолетниково-тырсовые *(Stipa capillata, Salsola tragus, Ceratocarpus arenarius)* сообщества. Общее проективное покрытие сообществ составило 30-55%, количество видов изменялось от 6 до 9, высота растений варьировала от 0.06 до 2 м. По понижениям отмечены многолетники: колосняк гигантский (*Leymus racemosus*), вейник наземный *(Eragrostis epigeios)*, ковыль волосатик или тырса (*Stipa capillata*); обильны однолетники и эфемеры: костёр кровельный (*Anisantha tectorum*), гулявник Лёзеля (*Sisymbrium loeselii*), дескурайния Софии (*Descurainia sophia*), полевичка малая (*Eragrostis minor*), рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), жабник полевой (*Filago arvensis*), солянка русская (*Salsola tragus*). Наземная фитомасса в воздушно-сухом весе в пределах профиля варьировала от 134 до 196 г/м^2.

В пределах профиля ключевого участка № 2, расположенного в 4.5 км на юго-восток от кордона (46° 03' 10.66" с.ш. и 46° 21' 23.45" в.д.), на пологоволнистой равнине были отмечены сообщества: однолетниково-ковыльные (*Stipa lessingiana, S. capillata, Bromus japonicus, Lepidium ruderale*)*;* осочково-кострово-лессинговоковыльные (*Stipa lessingiana, Anisantha tectorum, Carex stenophylla*)*;* ковыльно-костровые (*Anisantha tectorum, Stipa sareptana, S. capillata*) на бурых супесчаных и песчаных почвах. Доминирующими видами являются плотнодерновинные ковыли (*Stipa sareptana, S. capillata*), образующие довольно сомкнутый травостой вместе с эфемерами. Общее проективное покрытие данных сообществ изменялось от 40 до 70%. Число видов в травостое варьировало от 4 до 11, высота растений изменялась от 0.05 до 0.9 м. Доминирующие виды были представлены плотнодерновинными и рыхлодерновинными злаками: *Stipa sareptana, Stipa lessingiana, Stipa capillata, Agropyron fragile*. Среди многолетних видов обильна по западинам осока уральская (*Carex stenophylla*). Широко представлены однолетники, которые, в основном, являются рудеральными и сорными видами: *Sisymbrium loeselii, Eragrostis minor, Bromus japonicus* (костром японским), *Lepidium ruderale* (клоповником мусорным), *Ceratocarpus arenarius*, из эфемероидов − *Poa bulbosa*. Вес воздушно-сухой фитомассы в пределах профиля варьировал от 48 до 134 г/м^2.

Ключевой участок № 3 расположен в 10 км на северо-запад от кордона с географическими координатами 46° 05' 7.38" с.ш. и 46° 10' 15.96" в.д. В прошлом здесь образовались большие площади очагов современных песков, заросшие в результате фитомелиорации. В настоящее время рельеф участка сохранил бугристость. По вершинам бугров отмечены рудеральные (*Alhagi pseudalhagi, Xanthium spinosum*), колосняково-эфемеровые (*Anisantha tectorum, Leymus racemosus*), однолетниково-качимовые (*Gypsophila paniculata, Anisantha tectorum; Crepis tectorum, Filago arvensis*) сообщества. По склонам бугров распространены однолетниковые сорнотравные сообщества (*Sisymbrium loeselii, Centaurea diffusa, Salsola tragus, Ceratocarpus arenarius*). В межбугровых понижениях отмечены сообщества с доминированием эфемеров (*Anisantha tectorum, Sisymbrium loeselii*) и кустарника терескена (*Krasheninnikovia ceratoides).* На более выровненных территориях участвуют ковыли (*Stipa sareptana, S. capillata).* Общее проективное покрытие сообществ в пределах профиля изменялось от 30 до 70%, количество видов составило от 4 до 9, высота растений варьировала от 0.05 до 1.1 м. Наземная фитомасса в воздушно-сухом весе в пределах профиля изменялась от 84 до 262 г/м^2.

Таким образом, в заповедной зоне на бугристых песках преобладают сообщества с доминированием псаммофитов: кустарников и многолетних травянистых растений (*Calligonum aphyllum Leymus racemosus,*), эфемеров и однолетников (*Lepidium ruderale, Anisantha tectorum, Ceratocarpus arenarius*); на песчаной и супесчаной равнине – злаково-эфемеровые (*Stipa sareptana, S. capillata, Agropyron fragile, Sisymbrium loeselii, Anisantha tectorum,*), однолетниково-злаковые (*Stipa sareptana, S. lessingiana, Ceratocarpus arenarius, Lepidium ruderale, Filago arvensis*), осоково-ковыльные (*Stipa sareptana, S. capillata, Carex stenophylla*) сообщества.

В зоне выпаса растительный покров сильно деградирован. В ходе проведенных исследований ключевого участка № 4, расположенного в 11 км на север от кордона, с координатами: 46° 13' 13.39" с.ш. и 46° 20' 0.21" в.д. на бурых почвах легкосуглинистого гранулометрического состава широко распространенны сообщества: кострово-острецовые (*Leymus ramosus, Anisantha tectorum*), кострово-лерхополынные (*Artemisia lerchiana, A. tectorum*), однолетниково-полынно-ковыльные (*Stipa capillata, S. lessingiana, Artemisia lerchiana, A. austriaca, Sisymbrium loeselii, Anisantha tectorum*), комплекс лерхополынных и чернополынных (*Artemisia lerchiana, A. pauciflora*) сообществ на бурых почвах и солонцах. Общее проективное покрытие сообществ составляло от 20 до 45%. В изученных сообществах были отмечены виды от 7 до 13. Высота растений изменялась от 0.2 до 0.8 м. Наземная фитомасса в воздушно-сухом весе в пределах профиля изменялась от 65 до 108 г/м^2. В сообществах отмечены: полыни (*Artemisia austriaca, A. lerchiana, A. pauciflora*), прутняк стелющийся (*Kochia prostrata*), дерновинные злаки – ковыли (*Stipa capillata, S. sareptana*) и житняк (*Agropyron fragile*). Доля их участия невелика. Обильны эфемеры: *Lepidium ruderale, Descurainia sophia, Sisymbrium loeselii,* и эфемероид *Poa bulbosa.*

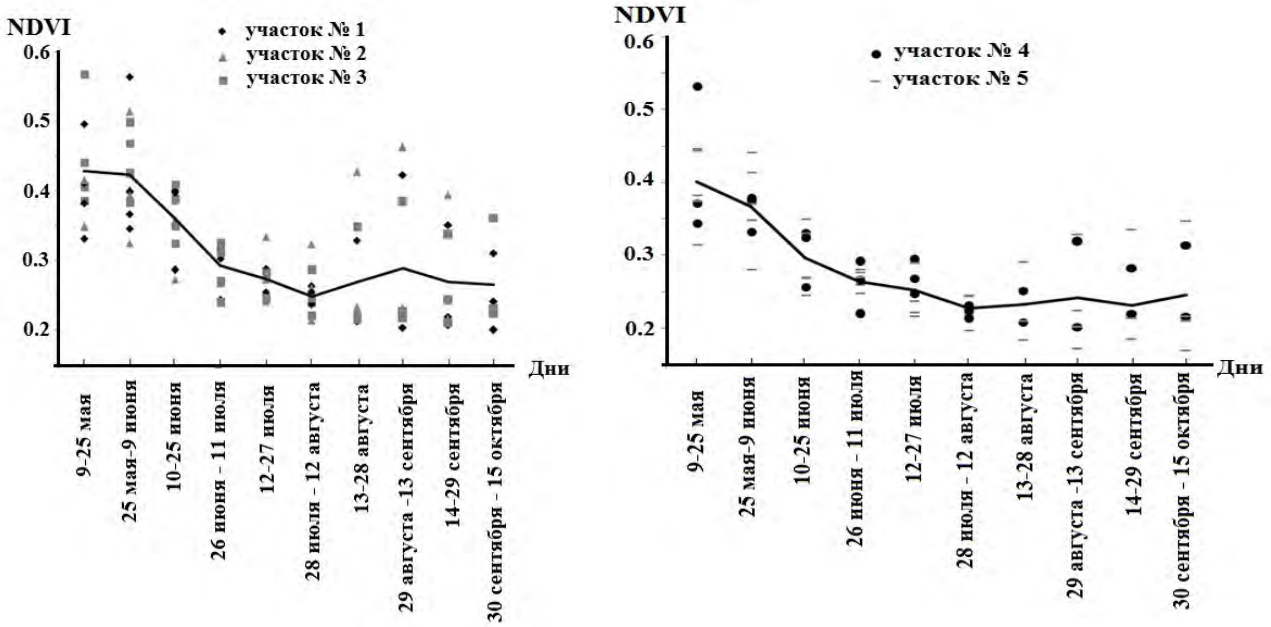
Ключевой участок № 5 расположен в 8.4 км на северо-восток от посёлка «Тавн-Гашун». Координаты 46° 05' 44.41"с.ш. и 45° 59' 18.57" в.д. Встреченные сообщества по профилю: прутняково-тырсиково-осочковые (*Carex stenophylla, Stipa sareptana, Kochia prostrata*); полынково-осочково-тырсиковые (*Stipa sareptana, Carex stenophylla, Artemisia austriaca*); осочково-злаково-полынковые (*Artemisia austriaca, Stipa sareptana, Agropyron fragile, Carex stenophylla*); полынково-тырсовые (*Stipa capillata, Artemisia austriaca*) в комплексе с чернополынными (*Artemisia pauciflora*) на супесчаной равнине в комплексе бурых почв с солончаками. Рельеф – пологоволнистая равнина. Общее проективное покрытие растительности в сообществах составляло от 40 до 55%; число видов изменялось от 6 до 10; высота растений в сообществах варьировала от 0.06 до 0.8 м. Надземная фитомасса в воздушно-сухом весе в пределах профиля и изменялась от 48 до 108 г/м^2. В сложении сообществ участвуют: полукустарнички – *Kochia prostrata,* полынь Лерха (*Artemisia lerchiana*), дерновинные злаки – *Stipa capillata, Agropyron fragile,* эфемероид – *Poa bulbosa,* многолетник – *Carex stenophylla,* а также эфемеры – *Lepidium perfoliatum, Lepidium ruderale, Sisymbrium loeselii.*

Таким образом, в зоне выпаса, на супесчаной и легкосуглинистой равнине преобладают сообщества с участием или доминированием *Ceratocarpus arenarius* – вида, свидетельствующего о деградации растительности, лерхополынно-эбелековые (*Ceratocarpus arenarius, Artemisia lerchiana*), однолетниково-злаково-лерхополынные сообщества (*Artemisia lerchiana, Stipa sareptana, Agropyron fragile*); на суглинистой равнине преобладают эфемерово-злаково-лерхополынные сообщества (*Stipa capillata, S. lessingiana, Artemisia lerchiana, A. austriaca, Sisymbrium loeselii, Anisantha tectorum*) в комплексе с *Artemisia lerchiana,* комплексы чернополынных *A. pauciflora* и *A. lerchiana* сообществ.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены сезонные изменения NDVI MODIS и их средний ход на заповедных и выпасаемых участках. Как видно (рис. 1а), на заповедных участках максимальные значения NDVI наблюдаются в период с 9 мая по 9 июня. Также для него характерен максимальный разброс значений NDVI. В период с 28 июля по12 августа значения NDVI плавно снижаются и становятся минимальными. Одновременно уменьшается разброс значений. Позднее в период с 29 августа по 13 сентября средние значения NDVI слабо повышаются и после этого периода вновь уменьшаются. При этом разброс данных вновь возрастает, даже в большей степени, чем весной. Второй максимум формируется за счет увеличения NDVI в отдельные годы. Анализ хода кривых NDVI (рис. 1) показывает, что на заповедных и выпасаемых участках значения индекса одинаково максимальны весной, потом снижаются к лету, несколько увеличиваясь осенью, с августа по сентябрь, имея при

этом большой разброс значений. Данный ход кривых можно объяснить флористическим составом видов в преобладающих сообществах в отдельные периоды. Весной в фитоценозах заповедных и выпасаемых участков – идет пик активной вегетации, доминируют однолетники и эфемеры, поэтому преобладают большие значения индекса. В летний период на заповедных участках низкие значения индекса обусловлены большим распространением усыхающих злаков (в частности ковылей), рудеральной и сорной растительности практически по всей территории. На выпасаемых участках – снижение индекса к лету объясняется сильным стравливанием растений скотом. Некоторое увеличение индекса осенью на заповедных участках можно объяснить началом периода вторичной вегетации злаков, а в отдельные годы повышенной влажности – вторичной вегетацией некоторых рудеральных видов (*Alhagi pseudalhagi, Salsola tragus, Sisymbrium loeselii* и др.), в этот же период в выпасаемой зоне начинают вегетировать полыни (*Artemisia austriaca, A. lerchiana, A. pauciflora).*



а) б)

Рис. 1. Сезонный ход NDVI в 2008-2011 гг. Участки: а) заповедные; б) выпасаемые**. Fig. 1.** Seasonal variation of NDVI in 2008-2011. Lands: a) protected: b) grazing.

Относительно большие положительные отклонения от среднего сезонного хода NDVI отмечались на заповедных участках в 2009 г. (29 августа – 13 сентября), причем отклонения были максимальными на участке № 2, а минимальными на участке № 3. Положительные отклонения NDVI на участке № 1 занимают промежуточное положение.

Кривая среднего сезонного хода NDVI плавно снижается на выпасаемых участках, начиная с первого майского периода. В период с 28 июля-12 августа почти не меняется до конца наблюдений (рис. 1б). Здесь разброс значений NDVI повышен в начале и конце наблюдений, в то время как на заповедных участках разброс в конце наблюдений уменьшается. Относительно большие положительные отклонения от среднего сезонного хода NDVI наблюдались на участке № 5 в 2009 г. (29 августа – 13октября). Причиной сильного разброса значений NDVI могут служить ландшафтно-экологические различия ключевых участков, например, в заповедной зоне: участок № 2 находится на равнинной территории, где доминируют злаки и однолетники, участки № 1 и № 3 – заросшие и зарастающие бугристые пески, где наряду с однолетниками и рудеральными видами произрастают фитомелиоранты – закрепители песков: кияк, терескен, джузгун. Большой разброс в значениях индекса дают сообщества с наличием кустарников и кустарничков, а также сообщества с низким проективным покрытием на бугристых песках.

На заповедных и выпасаемых участках максимальные значения NDVI наблюдались чаще всего в период 9-25 мая и реже в период 26 мая – 9 июня. В период 9-25 мая максимумы NDVI были как на заповедных, так и выпасаемых участках: в 2008 г. на участке № 1, 2009 г. на участке № 3, 2010 г. на

участке № 4, 2011 г. на участке № 2. Минимумы NDVI в этот период наблюдались преимущественно на выпасаемом участке № 5, за исключением 2009 г. (участок № 2).

Наиболее высокие значениями NDVI на всех участках за все годы наблюдались в период 9 мая-10 июня в 2011 г. Минимальный NDVI на всех участках был в 2008 г.

Высокая межгодовая изменчивость NDVI не позволяет использовать его в качестве отличительного признака растительных сообществ. Но NDVI может быть полезен для разграничения выпасаемых (деградированных) и заповедных земель. Средний NDVI заповедных участков устойчиво выше среднего по сравнению с выпасаемыми территориями (табл. 1, рис. 1). Но статистически значимая разность NDVI имела место только в период 10-25 июня. В этот период разность средних значений NDVI заповедного и выпасаемого участков становится максимальной, а вероятность их значимого различия приближается к 0.9. В остальные периоды разности статистически недостоверны. Таким образом, достоверное распознавание заповедной растительности и пастбищной становится возможным только по средним данным за несколько лет в короткий период (в июне), в период пика активной вегетации растительности.

Таблица. Среднее значение NDVI и среднеквадратическое отклонение (std) в разные периоды на заповедных и выпасаемых участках в 2008-2011 гг. **Table.** NDVI average and the standard deviation (std) at different times in the reserves and grazed areas in 2008-2011.

Периоды	09.05-25.05	26.05-09.06	10.06-25.06	26.06-11.07	12.07-27.07	28.07-12.08	13.08-28.08	29.08-13.09	14.09-30.09	01.10-16.10
NDVI заповед., среднее	0.43	0.42	0.36	0.29	0.27	0.25	0.27	0.29	0.27	0.27
std	0.09	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.08	0.10	0.07	0.06
NDVI выпас., среднее	0.40	0.37	0.30	0.26	0.25	0.23	0.23	0.24	0.23	0.25
std	0.07	0.05	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.07	0.07	0.07

Информация о межгодовой тенденции NDVI содержится на рисунке 2. В середине мая от года к году характерно нарастание NDVI как на заповедных участках, так и на выпасаемых. Отметим, что из четырех сравниваемых лет май 2011 г. был самым продуктивным. Синхронность межгодового хода свидетельствует о повышении запасов зеленой фитомассы вследствие улучшения условий вегетации от года к году. Из сравнения кривых в мае можно предположить, что перевыпас был сильнее в 2008 и 2011 гг. по сравнению с 2009-2010 гг.

Но картина существенно меняется к середине июня. Фитомасса на заповедных участках нарастала с 2008 по 2010 гг., а затем уменьшилась в 2011 г. предположительно из-за увеличения засушливости. Синхронность межгодового хода NDVI на заповедных и выпасаемых участках нарушилась в 2010 г., что можно объяснить усилением деградации (разность NDVI между заповедными и выпасаемыми площадками возросла в этом году). Деградация несколько уменьшилась в 2011 г., как это следует из незначительного сокращения разницы.

Сравнение средних значений NDVI на выпасаемых участках позволяет выявить сезонные особенности деградированных пастбищ (рис. 3). Как видно, деградация участка № 4 ниже, чем участка № 5 в мае и июне, но с июля она устойчиво становится ниже.

Представляет научный и практический интерес сравнение данных NDVI, полученных сканером ETM+ и радиометром MODIS с биологической продуктивностью, отраженной в растительных укосах (начало июня 2011 г.).

Полученные этими инструментами NDVI имеет положительную связь с биологической продуктивностью (рис. 4а, б). Коэффициент корреляции между NDVI ETM+ Landsat-7 и биологической продуктивностью оказался равен 0.62 даже для выборки из 8 значений, что свидетельствует о высокой тесноте связи между этими показателями и его статистической значимости (α=0.95). Коэффициент корреляции NDVI MODIS с биологической продуктивностью не превышает 0.35 и его статистическая значимость невелика. В этом случае спутниковый снимок

высокого разрешения имеет преимущество, так как передает почти 40% изменчивости продуктивности. В то же время данные NDVI MODIS из-за более грубого разрешения передают лишь 12% изменчивости продуктивности. Также обращает на себя внимание систематическое занижение данных NDVI Landsat-7 по сравнению с NDVI MODIS в 1.5-3 раза, что необходимо учитывать при использовании этих данных. Недостаточное количество укосов не позволяет пока прямо ответить на вопрос о существовании значимых различий между продуктивностью заповедных и выпасаемых участков с помощью спутниковых данных. В то же время данные NDVI MODIS, как показано выше, свидетельствуют о возможности достоверного распознавания заповедной и пастбищной растительности в период максимума вегетации.

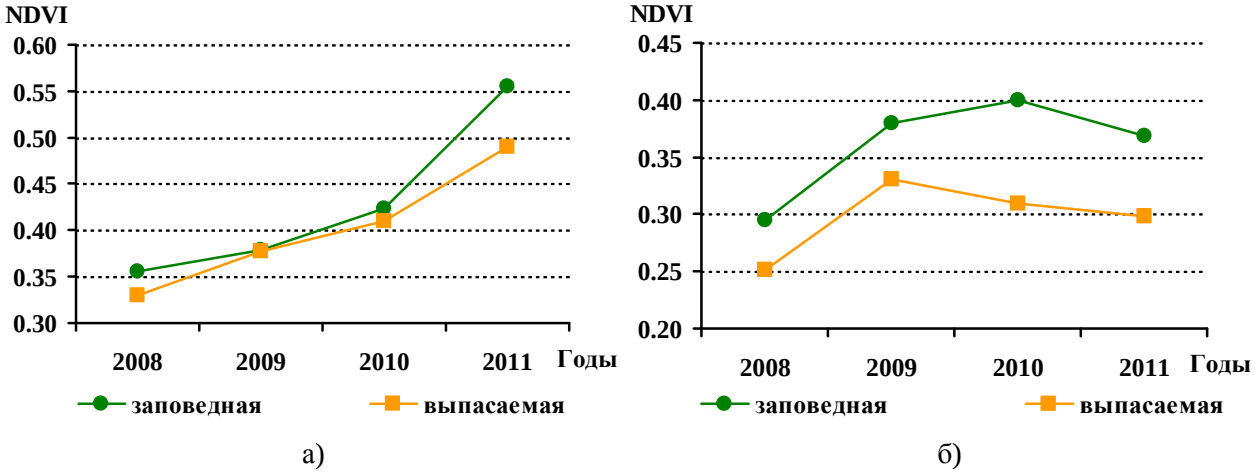


Рис. 2. Межгодовой ход среднего NDVI на заповедных и выпасаемых участках в разные периоды: а) 9-25 мая, б) 10-26 июня. **Fig. 2.** Interannual variations of the average NDVI in protected and grazed plots in different sroki: a) 9-25 May, б) 10-26 June.

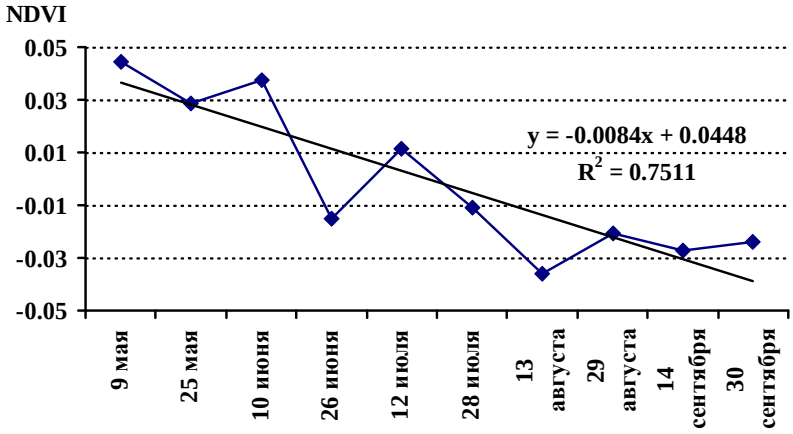


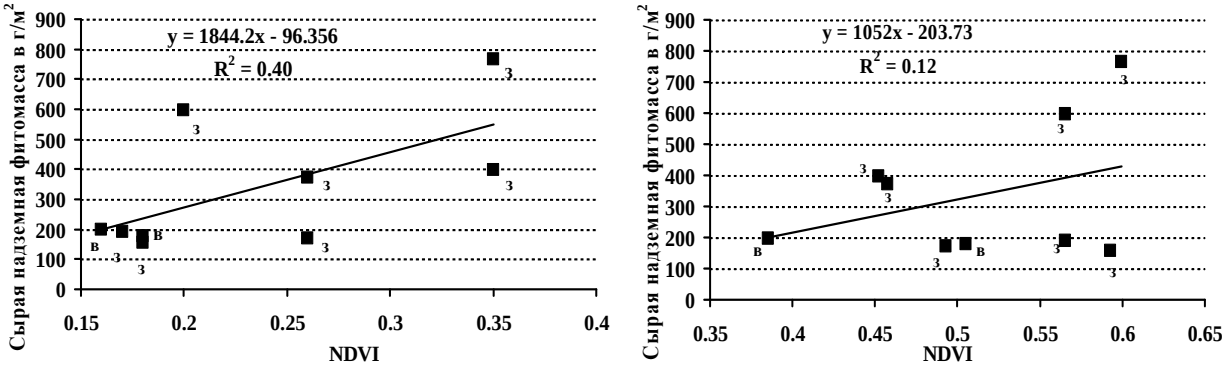
Рис. 3. Разность среднего NDVI по периодам на выпасаемых участках № 4 и № 5 в 2008-2011 гг.
Fig. 3. Difference in mean NDVI on a period of grazed plots№ 4 and № 5 in 2008-2011.

Выводы

Представлены количественные и качественные оценки нарушенности растительных сообществ в результате антропогенного воздействия, которые могут быть полезны в мониторинге состояния экосистем аридной зоны.

Высокая межгодовая изменчивость NDVI MODIS с разрешением 250x250 м не позволяет использовать его в качестве отличительного признака растительных сообществ. Но NDVI MODIS

может быть полезен для разграничения выпасаемых (деградированных) и заповедных земель. В этом случае распознавание заповедной и пастбищной растительности возможно по средним данным за несколько лет в период пика активной вегетации.



а) б)

Рис. 4. Значения NDVI и экспериментальные данные продуктивности сообществ (надземная фитомасса в сыром весе, в г/м^2) на ключевых участках заповедной и выпасаемой зон: а) спутниковый снимок сканером ETM+, Landsat-7, 01.06.2011; б) радиометр MODIS Terra. **Fig. 4.** NDVI value and productivity of wet weight in g/m^2 on key sites protected and grazing areas. a) satellite image scanner ETM +, Landsat-7, 01.06.2011; б) radiometer MODIS Terra.

По данным NDVI MODIS за период 2008-2011 гг. самым продуктивным был вегетационный сезон 2010 г.

Данные NDVI MODIS и ETM+Landsat-7 имеют корреляционную связь с биологической продуктивностью, причем она более тесная для сканера ETM+.

Рассмотренные методы исследований позволяют своевременно сигнализировать о процессах дигрессии в природных комплексах аридного региона для принятия наиболее верных в долгосрочной перспективе решений, направленных на повышение урожайности естественных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борликов Г.М., Харин Н.Г., Бананова В.А., Татеиши Р. 2000. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. Ростов н/Д: Изд-во СКЕЦ ВШ. 90 с.

Виноградов Б.В., Кулик К.Н., Сорокин А.Д., Федотов П.Б. 1999. Изодинамическое картографирование и долговременный мониторинг опустынивания и деградации земель с применением нелинейных методов моделирования // Почвоведение. № 4. С. 494-504.

Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. 2007. Соотношение между климатическим и антропогенным факторами восстановления растительного покрова юго-востока европейской России // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 7-16.

Золотокрылин А.Н. 2003. Климатическое опустынивание / Отв. ред. А.Н. Кренке. М.: Наука. 246 с.

Лавренко Е.М. 1965. Провинциальное разделение Центрально-азиатской и Ирано-Туранской подобластей Афро-Азиатской пустынной области // Ботанический журнал. Т. 50. № 1. С. 3-15.

Методические указания по дистанционному эколого-экономическому мониторингу аридных пастбищ на основе ГИС-технологий. 2009. / Автор. колл.: К.Н. Кулик, А.С. Рулев, В.Г. Юферев, К.Б. Бакурова, З.П. Дорохина А.В. Кошелев, О.Ю. Березовикова. М.: РАСХН. 37 с.

Рачковская Е.И., Сафронова И.Н., Храмцов В.Н. 1990. К вопросу о зональности растительного покрова пустынь Казахстана и Средней Азии // Ботанический журнал Т. 75. № 5. С. 17-26.

Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. 2011. Картографо-аэрокосмический мониторинг аридных агроландшафтов // Вестник Института. № 1 (22). С. 57-62.

Сафронова И.Н. 1996. Пустыни Мангышлака (очерк растительности) // Труды БИН РАН. Вып. 18. СПб. 212 с.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья. 992 с.

Федорова Н.Л. 2011. Фитоценотическое разнообразие аридных экосистем на примере биосферного заповедника «Черные земли» // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН С. 353-354.

Федорова Н.Л., Уланова С.С. 2011. Изучение процессов антропогенной динамики естественных экосистем с использованием ГИС-технологий и материалов дистанционного зондирования Земли // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. № 2 (23). С. 28-34.

Prince S.D. 1991. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988 // International Journal of Remote Sensing. Vol. 12. P. 1301-1311.

Tucker G.G., Vanpraet C.L., Sharman V.J., VanIttersum G. 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984 // Remote Sensing Environment. Vol. 17. P. 233-249.

TERRESTRIAL AND SATELLITE INVESTIGATION OF PASTURE PRODUCTIVITY OF KALMYKIA WITH DIFFERENT DEGREE OF VEGETATION DEGRADATION

© 2013. A.N. Zolotokrylin*, T.B. Titkova*, S.S. Ulanova, N.L. Fedorova****

**Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences*
Russia, 119017 Moscow, Staromonetny per., 29. E-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru
***The Institute of Complex Research of Arid Areas*
Russia, 358005 Republic of Kalmykia, Elista, Homutnikova str., 111. E-mail: bekeevan@yandex.ru

The purpose of research is to evaluate current state of desert ecosystems in Kalmykia, to estimate their diversity and to identify correlation between NDVI and productivity of desert plant communities with varying degrees of degradation of communities over time on the basis of space information.

The study area encompasses the State Nature Reserve "Black Earth" and the surrounding territory. Most of the reserve is barchan-bumpy sand and sandy and loamy plains. The vegetation of the reserve belongs to the Caspian Sea and desert type Turan characterized by xerophyte and hyper xerophyte communities, micro-and mezotermnyh plants of different life forms – semi-shrubs, dwarf shrubs, shrubs, perennials and annuals. Semi-shrubs are dominant form there.

Geobotanical studies were conducted from 2003 to 2011 at five key sections with different soil composition (from light to loamy options) and different degrees of economic usage (pastures and protected area). Key sections were 1 sq. km in area. Explore the current state of the Black Lands of desert ecosystems, evaluate the diversity of plant communities and defined their productivity.

Seasonal and annual productivity dynamics for vegetation in protected areas and pastures according NDVI MODIS were examined, as well as the spatial variation of productivity by NDVI ETM + Landsat-7. NDVI data obtained from the MODIS Terra radiometer observations for May-October period in 2008-2011.

Data values were averaged over a 16-day period: 9-25 May, 26 May and 9 June, 10-25 June, 26 June to 11 July, etc. NDVI seasonal variation in 2008-2011 were analyzed at the area of 250x250 m corresponded with geo-botanical key sites in the reserved lands and pastures.

NDVI MODIS can’t be used as plant communities marker because of high annual variability, but it can be used to distinguish grazed (degraded) and protected lands. In this case, protected land and pasture vegetation are recognized by average data over several years at the peak of the active growing season.

According NDVI MODIS data for 2008-2011, growing season in 2010 was the most productive. Space photo ETM + Landsat-7, 06/01/2011 30x30 m resolution was synthesized, and NDVI was calculated (program Ilwis 3.6). NDVI MODIS and ETM + Landsat-7 data correlates with vegetation productivity, correlation in closest for ETM+ scanner.

Considered methods enables to notify early of degradation processes in arid area landscapes, for long-term productivity support policy.

Keywords: grazing, degradation, pastures, vegetation, plant communities, productivity, NDVI, Black lands, protected lands.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 40-48

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.451.8:912(57)

МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ САКСАУЛА ЧЕРНОГО (*HALOXYLON APHYLLUM*) НА ГИДРОМОРФНЫХ СОЛОНЧАКАХ ОБСОХШЕГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ[1]

© 2013 г. Ж.В. Кузьмина*, С.Е. Трешкин**

**Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru
***Российская академия сельскохозяйственных наук*
Россия, 117218 Москва ГСП-7, ул. Кржижановского, д. 15, корп. 2. E-mail: biost@yandex.ru

Поступила 18.12.2012

Представлен анализ результатов мониторинга роста и развития саксаула черного в грядовых широкополосных посадках через 1.5 м в зависимости от разной степени засоления почвы и положения уровня грунтовых вод в опытах по фитомелиорации (2004-2011 гг.) на гидроморфных солончаках образованных на месте обсохшего дна Аральского моря.
Ключевые слова: саксаул *(Haloxylon aphyllum)*, показатели роста растений, уровень грунтовых вод, засоление почв, солончаки.

Катастрофическое развитие Аральского кризиса (Novikova et al., 2001) привело к образованию в 2001 году трех отдельных водоемов вместо единой акватории Аральского моря и к возникновению обширных оголенных солончаков на бывшем дне. Позже, в июне-июле 2009 года произошло полное высыхание основной наибольшей по площади Восточной части Арала (Кузьмина, Трешкин, 2009а; Трешкин, 2011). Возникла проблема предотвращения пыльных бурь и выноса солей с обсохшего дна Аральского моря (Семенов и др., 2006), решение которой тесно связано с рекультивацией солончаков путем фитомелиорации (Каверин, Салимов, 2000; Кузьмина, Трешкин, 2007, 2009а, б; 2010). Работы по фитомелиорации автоморфных солончаков морского и пойменного происхождения проводились авторами в Южном Приаралье в 2002-2011 гг. совместно с Институт биоэкологии Академии наук Республики Узбекистан при финансовой поддержке Университета им. Бен-Гуриона (Израиль), фонда USAID (США) и Европейской комиссии (Кузьмина и др., 2004; Кузьмина, Трешкин, 2007, 2009а, б, 2010, 2011; Трешкин, 2011). Однако, в данной статье приводится анализ результатов многолетнего мониторинга посадок саксаула черного на гидроморфных солончаках вновь образованной на дне Аральского моря суши при первоначальном неглубоком залегании грунтовых вод (0.5-0.7 м).

Материалы, методы, условия культивирования

В данной статье речь пойдет о мониторинге роста и развития только одного вида галофитных растений применяемых в фитомелиорации солончаков – о саксауле черном. Рассматриваются два модельных участка на обсохшем дне Аральского моря, которые освободились из-под воды в 2000-2001 гг. и имели первоначально – в период посадки – в декабре 2004 г. различный уровень грунтовых вод (УГВ). Участки расположены приблизительно в 45 км (дальний – № 1, фото 1) и в 42 км (ближний – № 2, фото 2) севернее пос. Муйнак на обсохшем суглинисто-песчаном дне Аральского моря. Они характеризовались слаборазвитыми несформированными почвами, которые представляли собой гидроморфные солончаки, образовавшиеся в результате обсыхания моря при неглубоком залегании УГВ с поверхностной плотной соляной корочкой. Первый участок (№ 1) – дальний на момент посадки растений имел УГВ 0.5 м и географические координаты 44° 09′ 31.30"-

[1] Работа выполнена в рамках темы 1.3 фундаментальных исследований ИВП РАН “Разработка научных основ теории формирования качества вод суши, методов исследования динамики водных и наземных экосистем, совершенствование комплексного мониторинга водных объектов“ (2013 г.) с финансовой поддержкой Европейской Комиссией научной программы CALTER “Многолетняя программа исследований по мониторингу эоловой эрозии почв в Центральной Азии” 2005-2010 гг.

44° 09′ 26.40" -44° 09′ 27.80" -44° 09′ 31.9" с.ш. и 58° 51′ 58.50"-58° 52′ 04.60"-58° 52′ 02.40"-58° 51′ 57.60" - в.д., второй участок (№ 2) – ближний отличался более глубоким УГВ (0.7 м) с координатами 44° 02′ 31.49"-44° 02′ 36.62"-44° 02′ 37.16"-44° 02′ 27.56" с.ш. и 58° 44′ 51.12"-58° 44′ 48.61"-58° 44′ 56.43" -58° 44′ 54.00" в.д. Основные работы по посадке саксаула черного проводились Муйнакским лесхозом Республики Каракалпакстан при финансовой поддержке Франции в декабре 2004 г.

Фото 1. Грядовые посадки саксаула черного на участке № 1 в 45 км к северу от пос. Муйнак, 31.08.2011 г.
Photo 1. Ridge plantings of black haloxylon grown in areas No 1, 45 km north Muynak village; August 31, 2011.

Фото 2. Грядовые посадки саксаула черного на участке № 2 в 42 км к северу от пос. Муйнак, 01.09.2011 г.
Photo 2. Ridge plantings of black haloxylon grown in areas No 2, 42 km north Muynak village; September 01, 2011.

Посадки проводились механизированным и ручным способом стандартным широкорядным методом: ширина между рядами составляла 10 м. Механизировано в каждом ряду делалось углубление на 25-30 см для удаления поверхностной солончаковой корки и последующего сбора атмосферных осадков. Затем вручную через каждые 1.5 м высаживались саженцы саксаула одного года. Никакого дополнительного обводнения или ухода за посадками в дальнейшем не проводилось. Ввиду чрезвычайной удаленности опытных участков от населенных пунктов на рассматриваемых территориях полностью отсутствует прямое антропогенное воздействие: нет выпаса, рубок или рекреационного воздействия. После высадки растений опытные территории можно считать находящимися в условно-естественном режиме развития, поскольку данная территория подвержена лишь косвенному воздействию – неверной региональной водохозяйственной деятельности, в результате которой обсохло Аральское море. В данной работе оцениваются также результаты

развития первого успешного самосева саксаула от плодоносящих растений из рассматриваемых опытных посадок двух участков. Основной анализ роста и развития саксаула в данной статье приводится для двух возрастов саксаула – 5.5 и 7 лет, т.е. спустя 4.5 года и 6 лет после высадки растений. Для анализа роста и развития растений саксаула для каждого из возрастных периодов измерялась высота растения, его диаметр кроны и диаметр его корневой шейки. Кроме того, устанавливалось засоление почв, положение и минерализация грунтовых вод в каждый из периодов для каждого из участков в троекратной последовательности.

Результаты и обсуждение

Территория на которой рассматриваются два модельных участка характеризуется постепенным плавным обсыханием с понижением грунтовых вод от года к году. К сожалению, данных по засолению почв и грунтовых вод на данных участках в год посадки и спустя несколько последующих лет отсутствуют, поскольку авторы статьи не принимали участия на первых этапах работ. На участке №1 наши данные по засолению почв и ГВ получены в мае 2008 года и в сентябре 2011 г., а на участке №2 – в мае 2010 г. и в сентябре 2011 г.

В мае 2008 года на дальнем участке №1 УГВ достигал 150 см, а на участке № 2 – 70 см. В мае 2010 года УГВ на участке 2 понизился до 160 см, а в сентябре 2011 года упал до 210 см. В то время как на участке 1 УГВ колебался совсем слабо и к сентябрю 2011 года он понизился лишь до 165 см, что связано с особенностями высыхания Восточной части Аральского моря. При этом грунтовые воды характеризовались очень сильным засолением, которое на дальнем участке (№ 1) было всегда выше и достигало 28.1-30.0%[2], в то время как на участке № 2 только 18.1-24.6%.

На участке № 1 (при УГВ=150 см) средневзвешенное засоление почв 02 мая 2008 года достигало 0.7-1.0% для разных разрезов, при этом почвы были достаточно равномерно и сильно минерализованы во всех горизонтах, однако, с поверхности (0-25 см) засоление было чуть выше – 1.4-1.6%, в средней части (25-60 см) почвенный профиль рассолялся до 0.3-0.6%, в то время как в более нижних горизонтах засоление вновь возрастало до 0.7-0.9%.

На участке № 2 (при УГВ=160 см) средневзвешенное засоление почв 03 мая 2010 года достигало 1.5%; при этом в первых 30 см почвы имели высокую минерализацию – засоление горизонтов составляло от 2.8 до 3.3%, в средней части профиля (31-100 см) почвы были слегка рассоленными – 0.9-1.6% и в нижних горизонтах (101-160 см) минерализация составляла 1.2-1.3%.

Средневзвешенное засоление почв на участке № 1 в сентябре 2011 г. при глубине УГВ 165 см значительно возросло и достигло 1.6%, при этом колеблясь в разных горизонтах от 2.4% с поверхности до 1.1-1.9% в более глубоких горизонтах. В это же время (09.2011) на участке № 2 при более глубоком залегании УГВ (210 см) средневзвешенное засоление почв было в полтора раза ниже, достигая 1.0%; при этом в верхних горизонтах (0-4 см) засоление почв составляло 5.2-5.3%, в то время как в средних горизонтах (12-149 см) – лишь 0.2-0.9% и в самых нижних (150-200 см) – вблизи сильно минерализованных ГВ – 1.7-2.1%.

Известно, что в первый год посадки по глубине залегания ГВ территории двух анализируемых участков отличались не сильно. На первом участке ГВ (0.5 м) располагались выше на 20 см к поверхности чем на втором (0.7 м). Можно предположить, что изначально (в период посадки – зимой 2004 г.) засоление почв и минерализация грунтовых вод на двух участках была очень высокой, поскольку обсыхание территории произошло только в 2000-2001 гг.

Анализ наших данных показал, что в 2008-2010 гг. положение УГВ и засоление почв на двух рассматриваемых участках несколько отличалось. Участок № 1 имел более близкие к поверхности (150 см) и более минерализованные (30.0%) ГВ с менее засолёнными почвами (до 1% по ср. взв. зас.) по сравнению с участком № 2, который в это время имел менее минерализованные ГВ (18.0%) с чуть более глубоким их залеганием (160 см) и более засолённые почвы (1.5% по ср. взв. зас.).

К осени 2011 года УГВ и засоление почв на участке № 2 значительно понизились (УГВ до 210 см, ср. взв. засоление – до 1.0%), в то время как на участке № 1 показатели положения УГВ понизился лишь немного, а засоление почв значительно повысилось (было 150 см и 1.0%, стало

[2] Засоление приводится в процентах по сухому остатку водной вытяжки.

165 см и 1.6%). В тоже время структура солевого профиля почв на двух участках изменилась одинаково, однако, не очень сильно. Из почти равномерно засолённых солончаков по всему профилю с максимальным засолением в первых 30 см почвы двух участков к осени 2011 года превратились в солончаки более рассолённые в средней части профилей, а их поверхностный горизонт максимального накопления солей сократился по мощности (до 4 см). Таким образом, осенью 2011 года на участке № 1 показатели положения ГВ и их минерализации немного понизились (на 15 см и 1.9% соответственно), в то время как средневзвешенное засоление почв значительно возросло (на 0.6-0.9%). В это же время на участке № 2 положение ГВ и средневзвешенное засоление почв значительно понизились (на 50 см и 0.5% соответственно), а минерализация ГВ повысилась (на 6.6%) таким образом, что стала близка к таковой на участке № 1. К осени 2011 года участки отличались по положению ГВ и засолению почв, но стали близки по минерализации ГВ. На участке № 2 условия стали более благоприятными: с меньшим засолением почв и оптимальным положением минерализованных ГВ – более заглубленным (210 см), в то время как на участке № 1 минерализованные ГВ находились ближе к дневной поверхности и продолжали существенно засолять почву под посадками саксаула.

Рассмотрим теперь особенности развития посадок и самосева саксаула черного на двух модельных участках.

Приживаемость растений на участке № 2 с более благоприятными условиями местообитания в широких грядовых посадках через 1.5 м составила 52%. Как видно на рисунке 1 основная масса растений саксаула в возрасте 5.5 лет на участке № 2 имела высоту от 110 до 260 см, при этом основной диаметр кроны у этих растений лежит в пределах от 90 до 270 см, а диаметр корневой шейки составляет от 1.5 до 6 см.

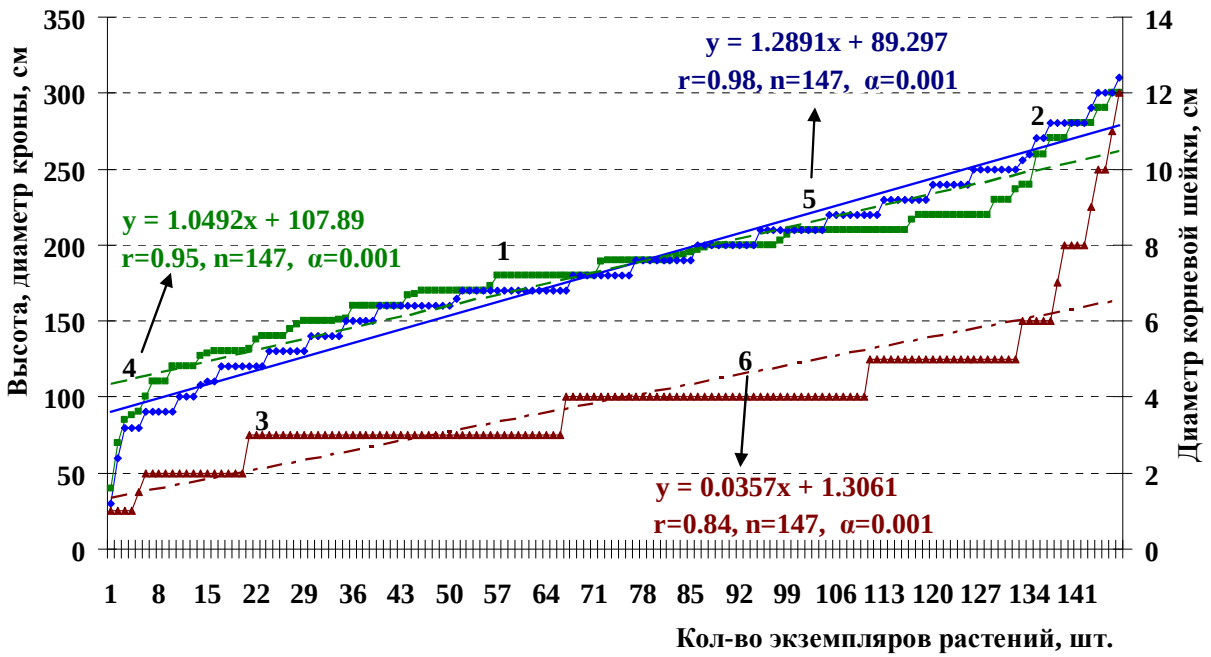


Рис. 1. Распределение высот растений, диаметров крон и диаметров корневой шейки (отсортированных независимых друг от друга параметров) в посадках саксаула через 1.5 м в возрасте 5.5 лет в начале мая 2010 г. на участке 2 обсохшего (в 2000 г.) дна Аральского моря. Условные обозначения для рисунков 1, 2 и 4: 1 – высота растений саксаула в см; 2 – диаметр кроны растения в см, 3 – диаметр корневой шейки в см; 4, 5, 6 – линейные тренды основных параметров роста растений с их формулами и коэффициентами корреляции.

Fig. 1. Distribution of plant heights, diameters of crown and root collar (sorted out regardless of the parameters of one another) in haloxylon plantings within 1.5 m of one another at the age of 5.5 years in the beginning of May 2010 in area N2 of the dried bottom of the Aral Sea (dried in 2000). Symbols for Figures 1, 2, and 4 are as follows: 1 – height of haloxylon plant, cm; 2 – diameter of crown, cm; 3 – diameter of root collar, cm; 4, 5, 6 – linear trends of main parameters of plant growth with formulas and correlation coefficients.

Средние показатели высоты, диаметра кроны и диаметра корневой шейки для саксаула в этих посадках в возрасте 5.5 лет, т.е. спустя 4.5 года после посадки на обсохшем дне Аральского моря составили 186, 185 и 4 см соответственно. Как видно из рисунка 1 распределения показателей высоты растения и диаметра кроны очень равномерные и не отличаются безусловным преобладанием значений высоты над диаметром. При этом в возрасте 7 лет саксаул на этом же участке имел уже другое распределение высоты и диаметра крон растений. С возрастом рост растений в высоту замедлился, а рост диаметра крон увеличился. 7 летние растения на этом же участке имели высоту основной массы растений от 150 до 340 см, диаметр их кроны от 160 до 360 см и диаметр их корневых шеек от 4 до 15 см при средних показателях 242, 264 и 9 см соответственно. Как видно (рис. 1 и 2), в более позднем возрасте у саксаула горизонтальная составляющая роста начинает преобладать на вертикальной. При этом вне зависимости от возраста растений по фактическим натурным данным роста саксаула (в соответствии с высотой, диаметром кроны и диаметром корневой шейки для каждого из растений) более плавно и равномерно возрастают значения высот растений ($r=0.95$, $n=147$, $\alpha=0.001$ для 5.5-летних и $r=0.96$, $n=181$, $\alpha=0.001$ для 7-летних растений) по сравнению со значениями диаметров их крон ($r=0.70$, $n=147$, $\alpha=0.001$ для 5.5-летних и $r=0.64$, $n=1815$, $\alpha=0.001$ для 7-летних растений) и диаметров их корневых шеек ($r=0.48$, $n=147$, $\alpha=0.001$ для 5.5-летних и $r=0.61$, $n=181$, $\alpha=0.001$ для 7-летних растений). Как видим, основное прирастание диаметров корневых шеек у саксаула активизируется после шестилетнего возраста, когда за 1.5 года приросло всреднем 5 см в диаметре, в то время как за предыдущие 5.5 лет – только 4 см.

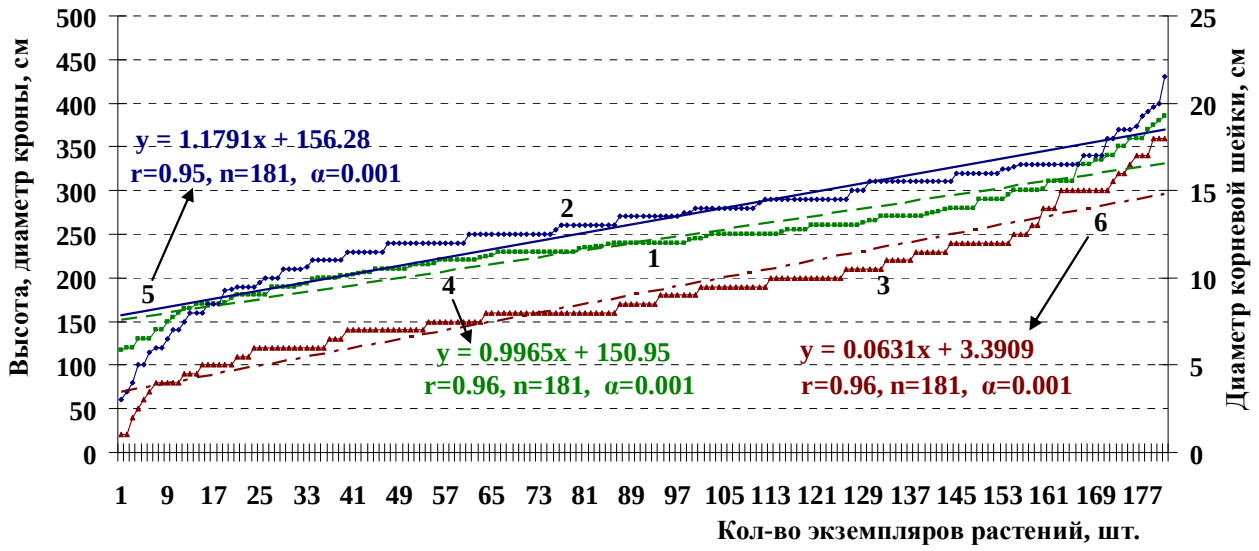
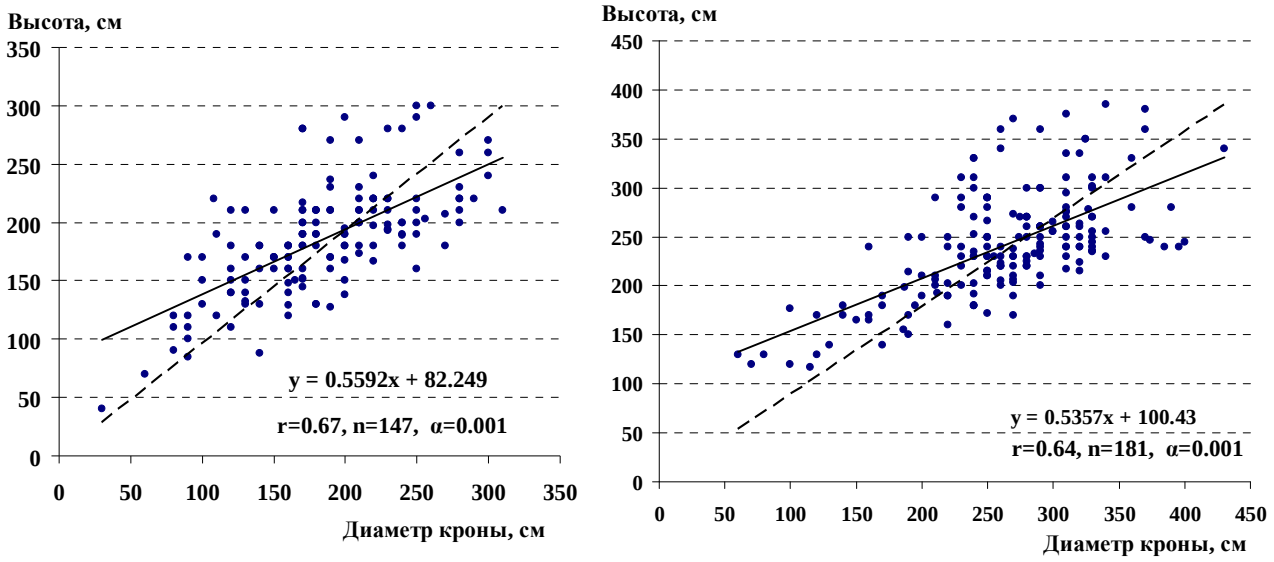


Рис. 2. Распределение высот растений, диаметров крон и диаметров корневой шейки (отсортированных независимых друг от друга параметров) в посадках саксаула через 1.5 м в возрасте 7 лет в начале сентября 2011 г. на участке 2 обсохшего (в 2000 г.) дна Аральского моря. **Fig. 2.** Distribution of plant heights, diameters of crown and root collar (sorted out independent parameters) in haloxylon plantings within 1.5 m of one another at the age of 7 years in the beginning of September 2011 in area N2 of dried bottom of Aral Sea (dried in 2000).

В тоже время в более молодом возрасте диаметр корневой шейки саксаула достоверно не очень сильно зависит от высоты растения ($r=0.52$, $n=147$, $\alpha=0.001$ для 5.5-летних) и совсем слабо коррелирует с диаметром его кроны ($r=0.30$, $n=147$, $\alpha=0.001$ для 5.5-летних). В то время как в более позднем возрасте (в 7 лет), когда горизонтальная составляющая роста в посадках саксаула начинает преобладать над вертикальной составляющей, корреляционные зависимости диаметра корневой шейки от высоты растений ($r=0.64$, $n=181$, $\alpha=0.001$) и от диаметра его кроны ($r=0.46$, $n=181$, $\alpha=0.001$) начинают увеличиваться. Однако, как видим все равно наибольшая зависимость роста корневой шейки наблюдается от высоты растений. В тоже время зависимость высоты растений саксаула от диаметра его крон в двух рассматриваемых возрастах (5.5 и 7 лет) имеют достаточно высокую

достоверную корреляцию (r=0.67, n=147, α=0.001 для 5.5-летних и r=0.64, n=181, α=0.001 для 7-летних растений (рис. 3 а, б).

В ходе исследований было установлено, что участок № 1 по характеристикам положения и засоления ГВ и почв был менее благоприятным, по сравнению с участком № 2, в то время как метод и агротехника посадок были на обоих участках идентичны. Такое положение существенно отразилось на развитии высаженных растений и формировании у них полноценной кроны. После посадки приживаемость саксаула на участке № 1 составила 32%, т.е. в полтора раза ниже чем на участке № 2, а средние показатели высоты растений, их диаметров крон и диаметров их корневых шеек в мае 2008 г. – в возрасте 4.5 года (спустя 4 года после посадки) составляли здесь 138.5, 154.0 и 1 см соответственно. При этом основная масса растений имела в высоту от 50 до 152 см с диаметром кроны от 100 до 175 см и с диаметром корневой шейки от 0.5 до 3.5 см. К осени 2011 г., т.е. в возрасте 7 лет основная масса растений на участке № 1 имела высоту от 65 до 220 см, диаметр кроны от 90 до 270 см (рис. 5а) и диаметр корневой шейки от 3 до 10 см (рис. 4) при средних показателях 157.9, 191.4 и 6.9 см соответственно. Таким образом, в возрасте 7 лет на участке с худшими условиями среды, посадки саксаула оказались в 1.5 раза мельче, чем на участках с более благоприятными условиями местообитаний, они не добрали в росте и в диаметре кроны примерно по 1 м, а их стволы были тоньше на треть (фото 1 и 2).



а) б)

Рис. 3. Зависимость диаметров кроны от высоты растений саксаула черного в разном возрасте: в 5.5 лет – а) и в 7 лет – б) на гидроморфных солончаках на участке 2 обсохшего (в 2000 г.) дна Аральского моря. Условные обозначения для рисунков 3 и 5: точка – элемент фактической выборки, сплошная линия – линейный тренд выборки с его уравнением и коэффициентом корреляции (r), пунктирная линия – прямая прямо пропорциональной зависимости y=x (для сравнения отклонения тренда). **Fig. 3.** Dependence of crown diameter on height black haloxylon plants of different ages: (a) 5.5 years, (b) 7 years; Haloxylon plants were grown on hydromorphic alkaline soils of area N2 of dried bottom of Aral Sea (dried in 2000). Symbols for Figures 3 and 5 are as follows: points correspond to the element of the actual sample; continuous line shows linear trend of sample with its equation and correlation coefficient (*r*); dotted line shows the direct dependence *y=x* (in order to compare the trend fluctuation).

Нужно отметить также, что разница в условиях местообитаний двух участков не отразилась на изменении возраста первого успешного плодоношения саксаула черного на гидроморфных солончаках, однако, существенно повлияла на количество, качество и сохранность самосева саксаула, который наблюдался нами в апреле-мае 2010 г. и осенью 2011 г. от осеннего плодоношения посадок 6-летнего возраста.

Так, всходы саксаула в возрасте 3 месяцев в начале мая 2010 г. на участке № 2 имели в основной

массе высоту от 2 до 9 см, при этом средняя, максимальная и минимальная высота растений из этой измеренной выборки (n=558) составляли 6.3, 10 и 1 см соответственно, а кривая изменения высот самосева растений достоверно подчинялась полиномиальному тренду 4-го порядка ($y=-2E-10x^4+3E-07x^3-0.0001x^2+0.036x+2.12$, r=0.99, n=558, α=0.001). К осени 2011 г. основная масса самосева саксаула на участке № 2 выроста и достигла высот от 27 до 109 см, а средние, максимальные и минимальные значения высоты 1.5-годовалых растений (n=102) составили 62.0, 109 и 20 см соответственно.

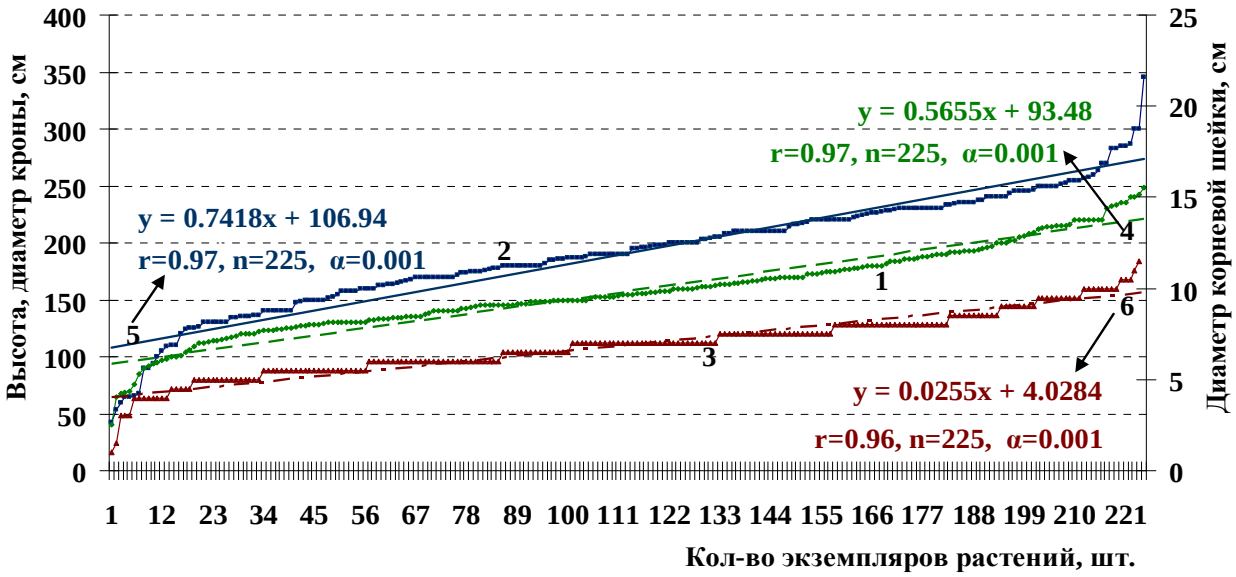
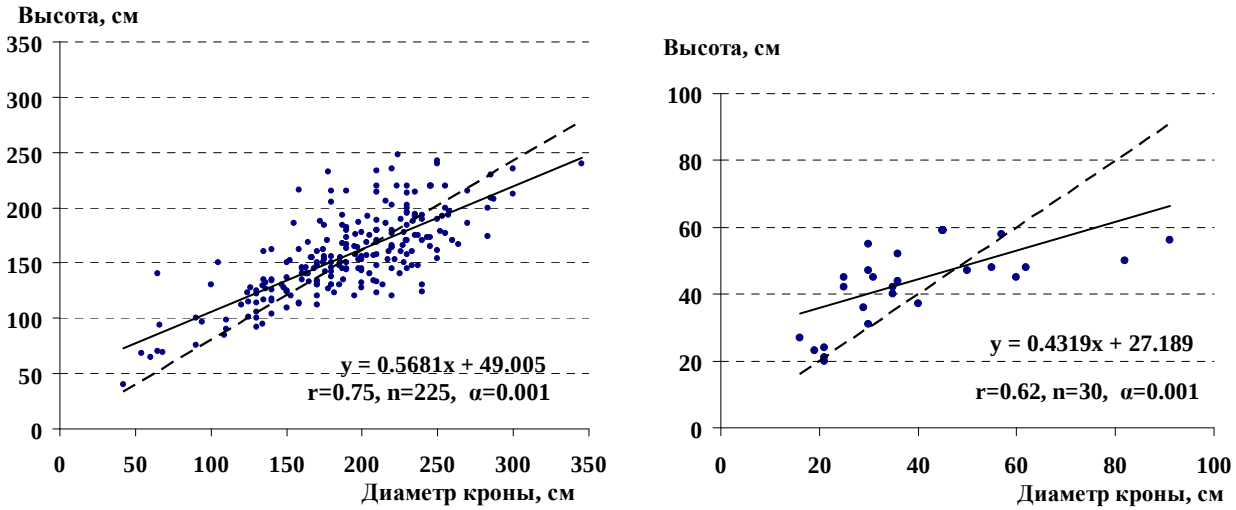


Рис. 4. Распределение высот растений, диаметров крон и диаметров корневой шейки (отсортированных независимых друг от друга параметров) в посадках саксаула через 1.5 м в возрасте 7 лет в начале сентября 2011 г. на участке № 1 обсохшего (в 2000 г.) дна Аральского моря. **Fig. 4.** Distribution of plant heights, crown and root collar diameters (sorted out independent parameters) in Haloxylon plantings within 1.5 m of another at the age of 7 years in the beginning of September 2011 in area No 1 of the dried bottom of the Aral Sea (dried in 2000).



а) б)

Рис. 5. Зависимость диаметров кроны от высоты растений саксаула черного в разном возрасте: 7 лет на участке №1 – а) и в 1.5 года на участке № 2 – б) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря.
Fig. 5. Dependence of crown diameter on height of black haloxylon plants of different ages: 7 years old in area No 1 (a) and 1.5 years old in area N2 (b); Haloxylon plants were grown on hydromorphic alkaline soils of dried bottom of Aral Sea.

Тренд изменения высоты растений остался прежнего типа ($y=-7E-05x^4+0.0086x^3-0.3191x^2+5.5162x+9.87$, $r=0.99$, $n=102$, $\alpha=0.001$).

Кривая изменения высот самосева саксаула в возрасте 1.5 года на участке № 1, в менее благоприятных условиях, в сентябре 2011 г. так же подчинялась полиномиальному тренду 4-го порядка ($y=2E-07x^4+5E-05x^3-0.0026x^2+0.0508x+3.42$, $r=0.96$, $n=138$, $\alpha=0.001$), а основная масса растений этого участка была существенно (в 6.5 раз) ниже, чем на участке № 2 и имела высоты от 4 до 16 см, при том, что средняя, максимальная и минимальная высота самосева составила 9.5, 30 и 3 см соответственно.

Весной 2010 года на участке № 2 было зарегистрировано огромное количество сеянцев 3-х месячного возраста. На стандартной модельной площадке 1 м^2 их насчитывалось всреднем 245 штук (от 208 до 350 шт.), в то время как на участке № 1 их было в 2-4 раза меньше.

К осени 2011 года на участке № 1 на стандартной площадке 1 м^2 сохранилось всреднем по 46 сеянцев (от 38 до 61 шт.) в возрасте 1.5 года. В это же время на участке № 2 на аналогичной площадке осталось таковых всреднем по 40 сеянцев (от 30 до 48 шт.; рис. 5б). Таким образом, видно, что благоприятные условия местообитаний благотворно влияют только на количество и всхожесть самосева, при этом его сохранность, по-видимому, в большей степени зависит от погодных условий.

Выводы

1. В изменяющихся условиях обсыхающего дна Аральского моря на рост и развитие саксаула черного на гидроморфных солончаках с сильноминерализованными грунтовыми водами определяющее положительное влияние имеют тенденции понижения УГВ и снижения засоления почв. На гидроморфных солончаках с меньшим засолением почв и более заглубленными грунтовыми водами показатели роста, приживаемости, сохранности и семенного возобновления саксаула значительно выше.

2. На гидроморфных солончаках в первые годы после посадки основной рост растений саксаула черного наблюдается в вертикальном направлении, в то время как с возрастом горизонтальная составляющая роста начинает преобладать над вертикальной. После 6-летнего возраста саксаул начинает более активно увеличивать диаметр кроны, в то время как рост в высоту замедляется.

3. Основное увеличение диаметра корневой шейки в посадках саксаула на гидроморфных солончаках отмечается также после 6-летнего возраста. Наибольшая корреляционная зависимость роста корневой шейки наблюдается от высоты растений, причем с возрастом посадок зависимость достоверно повышается.

4. На гидроморфных солончаках морского происхождения вне зависимости от возраста растений в зависимых данных (высота–диаметр кроны–диаметр корневой шейки) более плавно и равномерно возрастают показатели высот растений по сравнению с показателями диаметров их крон и диаметров их корневых шеек.

5. Первое успешное семенное возобновление от плодоносящих высаженных растений саксаула черного наблюдалось на гидроморфных солончаках в возрасте 6 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Каверин В.С., Салимов А.-Б.А. 2000. Перспективные улучшения экологической обстановки на осушившемся дне Аральского моря методами лесомелиорации // Новости науки Казахстана. Алматы. № 1. С. 13-21.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2007. Рекультивация солончаков обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. С. 391-408.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2009а. Влияние быстроменяющегося климата Приаралья на фитомелиорацию солончаков // Аридные экосистемы. Т. 15. № 3 (39). С. 46-58.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2009б. Формирование растительности на солончаках обсохшего дна Аральского моря в изменяющихся климатических условиях // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. Т. 35. № 1. С. 32-35.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2010. Влияние климатических флуктуаций и способов посадки галофитных кустарников на результаты фитомелиорации солончаков Приаралья // Аридные экосистемы. Т. 16. № 3 (43). С. 67-76.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2011. Результаты многолетнего мониторинга развития галофитных растений на солончаках Приаралья // Аридные экосистемы. №3 (48). С. 23-37.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. 2004. Влияние климатических изменении и полива на формирование растительности опытным путем в обсохшей части Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 9. № 21. С. 82-94.

Семенов О.Е., Шапов А.П., Галаева О.Е., Идрисова В.П. Ветровой вынос и песчано-солевые выпадения с осушенной части дна Аральского моря // Аридные экосистемы. № 29. Том. 12. 2006. С. 47-58.

Трешкин С.Е. 2011. Деградация тугаев Средней Азии и возможности их восстановления. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Волгоград. 444 с.

Трешкин С.Е., Кузьмина Ж.В. 2009. Тенденции изменения основных метеорологических характеристик в Приаралье // Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве / Под ред. Иванова А.Л., Кирюшина В.И. М.: Россельхозакадемия. С. 467-476.

Novikova N.M., Kuz'mina J.V., Dikareva T.V. et. al. Preservation of the tugai biocomplex diversity within the Amu-Darya and Syr-Darya river deltas in aridization conditions // Ecological research and monitoring of the Aral sea deltas. Boock 2. UNESCO 2001. (Pronting Sagraphic, Barcelona, Spain). P. 155-188.

MONITORING OF THE GROWTH OF BLACK HALOXYLON (*Haloxylon aphyllum*) ON HYDROMORPHIC SALT MARSHES OF THE DRIED BOTTOM OF THE ARAL SEA

© 2013. Zh.V. Kuz'mina*, S.Ye. Treshkin**

**Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*
Russia, 119333 Moscow, Gubkina str. 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru
***Russian Academy of Agricultural Sciences*
Russia, 117218 Moscow, Krzhizhanovskogo str., 15/2. E-mail: E-mail: biost@yandex.ru

The analysis of the results of monitoring the growth of black haloxylon in broadband ridge planting in 1.5 m depending on the varying degrees of salinity and groundwater level in experiments on phytomelioration (2004-2011) on hydromorphic saline soils formed in place of the dried bottom of the Aral Sea are introduced.

Keywords: saksaul (Haloxylon aphyllum), growth of plants, the level of groundwater, soil salinity, salt marshes.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 49-58

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 551.59

ОПАСНЫЕ И ОСОБО ОПАСНЫЕ ПЫЛЬНЫЕ БУРИ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

© 2013 г. Н.С. Орловский, Л. Орловская, Р. Индуиту

Институт Изучения Пустынь им. Я. Блауштейна при Университете им. Бен-Гуриона в Негеве Израиль, 84990 г. Мидрешет Бен-Гуриона, Кампус Сде Бокер. E-mail: nicolai@bgu.ac.il

Поступила 03.03.2013

Изучено пространственное и временное распределение повторяемости опасных и особо опасных пыльных бурь на территории Средней Азии. К опасным явлениям относятся пыльные бури продолжительностью 3-12 часов, бури при скорости ветра 10-14 м/сек и метеорологической дальности видимости 500-1000 м. К особо опасным пыльным бурям отнесены бури продолжительностью 12 час и более, при скорости ветра 15 м/сек и выше, или бури независимо от продолжительности и скорости ветра при метеорологической дальности видимости 50 м и менее.

Для анализа пространственного и временного распределения пыльных бурь на территории Средней Азии была проведена выборка из таблиц ежедневных метеорологических наблюдений по 144 метеорологическим станциям Казахстана и 29 метеостанциям Узбекистана и Туркменистана за период наблюдений 1936-1972 гг. Из этой совокупности выборки было выделено и подсчитано число дней с опасными и особо опасными пыльными бурями по критериям, описанным выше и была построена зависимость числа дней с опасными и особо опасными пыльными бурями от числа дней с пыльной бурей. Используя эту зависимость, было приближённо определено число дней с опасными и особо опасными пыльными бурями на территории Средней Азии. Приведен анализ особо опасных пыльных бурь, которые сопровождались выходом южных циклонов.

Ключевые слова: изменение климата, повторяемость пыльных бурь, опустынивание.

Климатические условия Средней Азии весьма благоприятны для возникновения пыльных бурь. Продолжительные периоды без дождя, наличие больших площадей песчаных и глинистых пустынь, бедность и слабая сомкнутость растительного покрова, частые штормовые ветры, – все это факторы, обусловливающие развитие пыльных бурь на территории Казахстана, Узбекистана и Туркменистана. На этой обширной территории пыльные бури наблюдаются круглый год и нередко наносят значительный ущерб многим отраслям хозяйства. Известно, что пыльные бури вызывают эрозию почв, что приводит весной к гибели семян и неокрепших всходов, наносит значительный вред пастбищному животноводству, нарушает нормальную работу транспорта, и оказывает негативное воздействие на здоровье населения. Поэтому всестороннее изучение распространения режима пыльных бурь имеет практическое значение.

Несмотря на то, что первые описания отдельных пыльных бурь на территории Средней Азии относятся к началу XIX века, строгого определения этому явлению дано не было. Вероятней всего все описания пыльных бурь этого времени относятся только к ярко выраженным явлениям, нанесшим значительный вред сельскому хозяйству. В тот период уменьшение видимости, как следствие пыльных бурь, не отражалось на деятельности транспорта и слабая пыльная буря оставалась незамеченной. В настоящее время, когда воздушный и наземный транспорт реагируют на ухудшение видимости, требования к наблюдениям над пыльными бурями повысились. Теперь уже не остаются без внимания и слабые пыльные бури.

Обзор литературы

В СССР систематические наблюдения над пыльными бурями на сети метеорологических станций начаты в 1936 году. Первые работы по климатологическому обобщению этих наблюдений для отдельных районов Средней Азии были выполнены в 60-ых годах прошлого столетия. Характеристика пространственного распределения пыльных бурь для северного Казахстана

выполнена А.С. Утешевым и О.Е. Семеновым (1967, 1977) и Ю.М. Чирковым (1970), для юго-востока – Л.П. Федюшиной (1972). Для западного и юго-западного Казахстана – А.П. Агарковой (1972). Районирование всей равнинной территории Казахстана по числу дней с пыльной бурей за год выполнено Е.А. Середкиной (1960), Л.П. Федюшиной и О.Е. Семеновым (1970). О.Е. Семенов и Л.П. Тулина (1978) опубликовали для территории Казахстана уточненную схематическую карту числа дней с пыльными бурями за год.

Пространственное и временное распределение числа дней с пыльными бурями на территории Туркменистана всреднем за 25-летний период наблюдений (1936-1960 гг.) рассмотрено Н.С. Орловским (1962). Пространственное и внутригодовое распределение и частота пыльных бурь на базе наблюдений за 60 лет по 56 метеорологическим постам Туркменистана были изучены Орловским с соавторами (2004). Схематическая карта распределения числа дней с пыльными бурями за год на территории Узбекистана опубликована в 1996 г. (Леухина и др., 1996). Л.Ю. Шардакова и Л.В. Усманова (2006) проанализировали ситуацию с явлениями пыльных бурь в Южном Приаралье за 1990-2000 гг. в связи с падением уровня Аральского моря.

Первая попытка обобщить данные о режиме пыльных бурь на территории Средней Азии, включающей Туркменистан, Узбекистан и южный Казахстан за период 1951-1955 гг. была сделана Н.Н. Романовым в 1960 г. В дополнение к анализу повторяемости и продолжительности пыльных бурь за этот период, Н.Н. Романов классифицировал синоптические условия развития пыльных бурь и разработал рекомендации для их прогнозирования. Он указал, что на основной части Средней Азии северные, северо-восточные и северо-западные ветры ведут к формированию пыльных бурь, в то время как в южной части (в Туркменистане) эту роль выполняют восточные и юго-восточные ветры.

В более поздний период было выполнено районирование всей территории Средней Азии. Так, С.А. Сапожникова (1970) построила карту-схему числа дней с пыльными бурями для аридной зоны СССР. На карте Л.В. Клименко и Л.А. Москалевой (1979) представлено распределение числа дней с пыльными бурями по всей территории СССР. В отличии от предыдущей работы, эти авторы рассматривают только районы Украины, Северного Кавказа и Поволжья. Эти карты построены за период наблюдений за пыльными бурями с 1936 по 1960 год и удовлетворительно согласуются друг с другом.

А.Н. Золотокрылин (1996) предпринял попытку диагноза географического распределения повторяемости пыльных бурь на Туранской низменности по наземным наблюдениям на 65 метеорологических станциях за период 1936-1985 гг. Основные черты географического распределения годовой повторяемости пыльных бурь выявляются по картам за последовательные периоды 1936-1965 и 1966-1985 гг. При сравнении этих карт выделяются как устойчивые, так и изменчивые черты географического распределения пыльных бурь на территории Центральной Азии. А.Н. Золотокрылин отмечает, что отличительной чертой распределения пыльных бурь на рассматриваемой территории является устойчивая локализация крупных очагов в Туркменистане и Восточном Приаралье и их приуроченность к песчаным массивам.

Нами был проведен мониторинг и дана оценка пространственного и временного распределения пыльных бурь в Средней Азии за период 1936-2000 гг. (Indoitu et al., 2012). В этой работе приведены карты годового распределения числа дней с пыльными бурями за периоды 1936-1960, 1936-1980 и 1970-2000 гг. (рис. 1 и 2). На большей части территории выявлено заметное снижение повторяемости пыльных бурь за период 1970-2000 гг. Однако, на фоне отрицательной тенденции повторяемости пыльных бурь на большей части территории с конца 1970-х годов начинает возрастать повторяемость пыльных бурь в Приаралье, на юге оз. Балхаш и севере Каспийского моря. Очаг повышенной повторяемости пыльных бурь в Центральных Каракумах сохраняется, но его интенсивность уменьшилась.

Материалы и их обсуждение

Опасные пыльные бури. Пространственная приуроченность и временное распределение повторяемости пыльных бурь для отдельных районов и в целом для территории Средней Азии изучены удовлетворительно. Однако, особую актуальность имеет вопрос о пространственном распределении числа дней с опасными и особо опасными пыльными бурями в Средней Азии. Этой проблеме посвящены две работы: «Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии»

(1977) и статья О.Е. Семенова и Л.П. Тулиной (1978). В первой работе повторяемость пыльных бурь различной интенсивности определяется по горизонтальной видимости и выделяются слабые, умеренные и сильные пыльные бури.

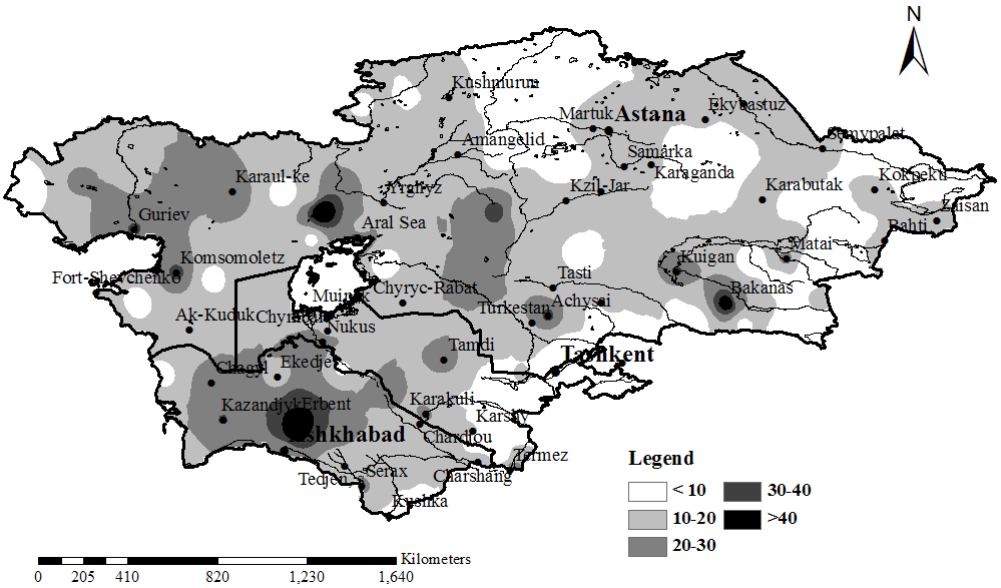


Рис. 1. Пространственное распределение пыльных бурь в Средней Азии за период 1936-1980 гг. (Indoitu et al., 2012). **Fig. 1.** Spatial distribution of the dust storms in Central Asia in 1936-1980 (Indoitu et al., 2012).

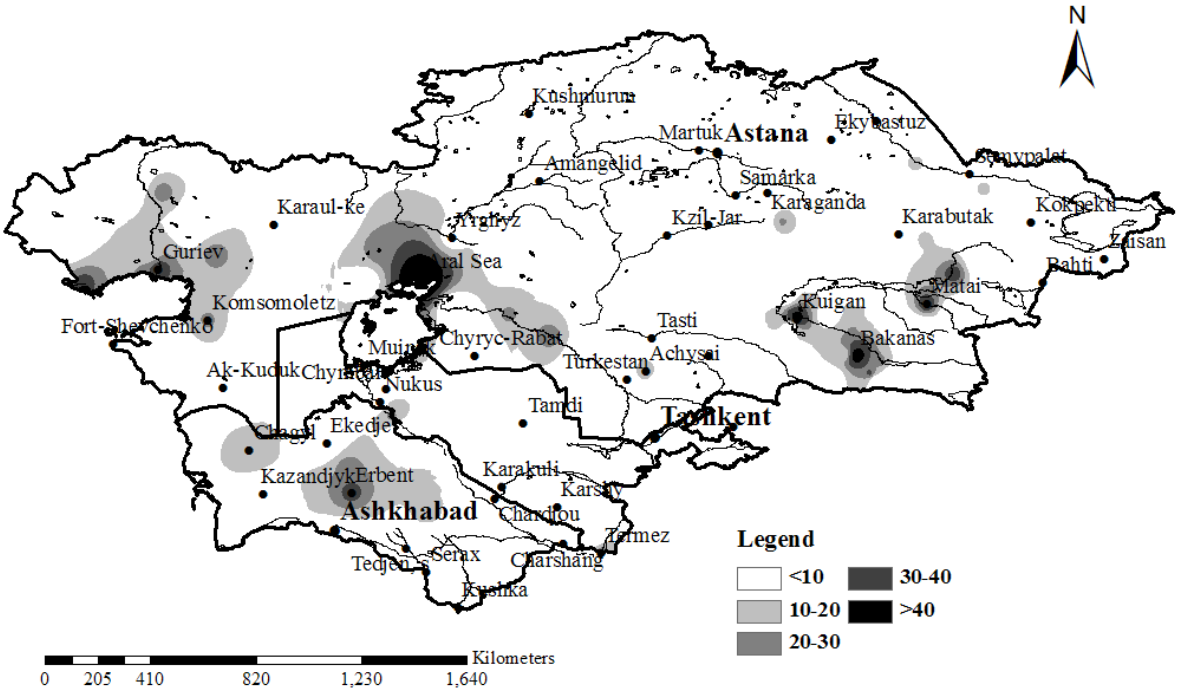


Рис. 2. Пространственное распределение пыльных бурь в Средней Азии за период 1980-2000 гг. (Indoitu et al., 2012). **Fig. 2.** Spatial distribution of the dust storms in Central Asia in 1980-2000 (Indoitu et al., 2012).

Наиболее достоверные данные по опасным и особо опасным пыльным бурям приводятся в работе О.Е. Семенова и Л.П. Тулиной (1978). В статье к опасным явлениям отнесены пыльные бури продолжительностью 3-12 часов при скорости ветра 10-14 м/сек и метеорологической дальности

видимости 500-1000 м. К особо опасным отнесены пыльные бури продолжительностью 12 часов и более, при скорости ветра 15 м/сек и выше, или бури независимо от продолжительности и скорости ветра при метеорологической дальности видимости 50 м и менее.

Для анализа пространственного и временного распределения пыльных бурь на территории Казахстана авторами была проведена выборка из таблиц ежедневных метеорологических наблюдений по 144 метеорологическим станциям за период наблюдений 1936-1972 гг. Из этой совокупности выборки было выделено и подсчитано число дней с опасными и особо опасными пыльными бурями по критериям, описанным выше и была выявлена зависимость числа дней с опасными и особо опасными пыльными бурями от числа дней с пыльной бурей. К выборке по Казахстану нами добавлены данные по Узбекистану и Туркменистану, полученные на 29 метеостанциях за тот же период (рис. 3). Значения точек не выходили за пределы совокупности данных по территории Казахстана. Это позволило нам принять единую зависимость опасных и особо опасных пыльных бурь от числа дней с пыльными бурями и получить следующую эмпирическую связь:

$$У=0.4004x-1.9836;\ R^2=0.827,$$

где У – число дней с опасными и особо опасными пыльными бурями, x – число дней с пыльными бурями.

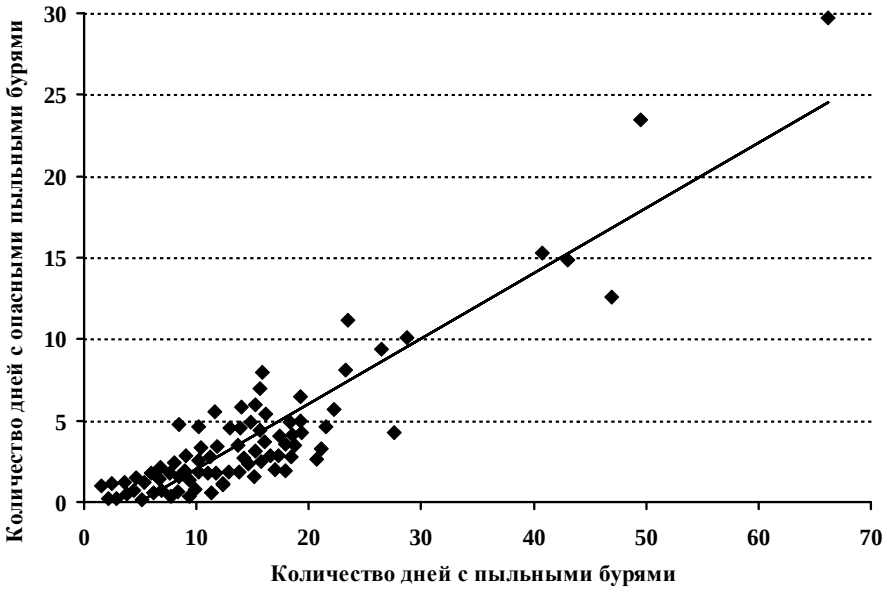


Рис. 3. Зависимость числа дней с опасными и очень опасными пыльными бурями от общего числа дней с пыльными бурями. **Fig. 3.** Relation of number of days with severe and very severe dust storms from the total number of days with dust storms.

Используя эту зависимость, было приближённо определено число дней с опасными и особо опасными пыльными бурями на территории Средней Азии. Это позволило получить пространственное распределение числа дней с этими явлениями на рассматриваемой территории (рис. 4).

Значительные по площади очаги опасных и особо опасных пыльных бурь занимают северо-западную часть рассматриваемого региона, долину реки Или, пески Каракумы и центральную часть Кызылкумов. Наибольшая повторяемость опасных и особо опасных пыльных бурь отмечается в районах метеостанций Челкар, Карсакпай, Баканас, Ачисай и Бохордок.

Отдельные особо опасные события. Одной из первых, описанных в научной литературе пыльных бурь, была небывалая по своей интенсивности пыльная буря, наблюдавшаяся на северо-западе современного Туркменистана в ноябре 1910 г, которая была вызвана западным холодным вторжением. И.А. Мосолов (1949) писал, что буря началась перед вечером сильным северо-восточным ветром. В первую же ночь ветер достиг предельной силы и бушевал затем без перерыва трое суток. Все это время люди не покидали кибиток, так как и днем было темно. Вместе с массой

пыли, песка и снега в воздухе неслись даже мелкие камешки. Ветер уносил в степь овец, где большинство из них погибло. Насколько велик ущерб от последствий этой бури, можно судить по следующим данным. Из 30 тысяч мелкого рогатого скота, выпасавшегося в данном районе, в живых осталось не более тысячи голов. Но и уцелевший скот вскоре начал голодать, так как пастбищная растительность была сорвана и унесена ветром. Поэтому за зиму 1910-1911 гг. только в бывшем Мангышлакском уезде пало 498 090 овец и коз, 37193 лошадей и 28279 верблюдов, что составляет 40% общего количества скота (Мосолов, 1949).

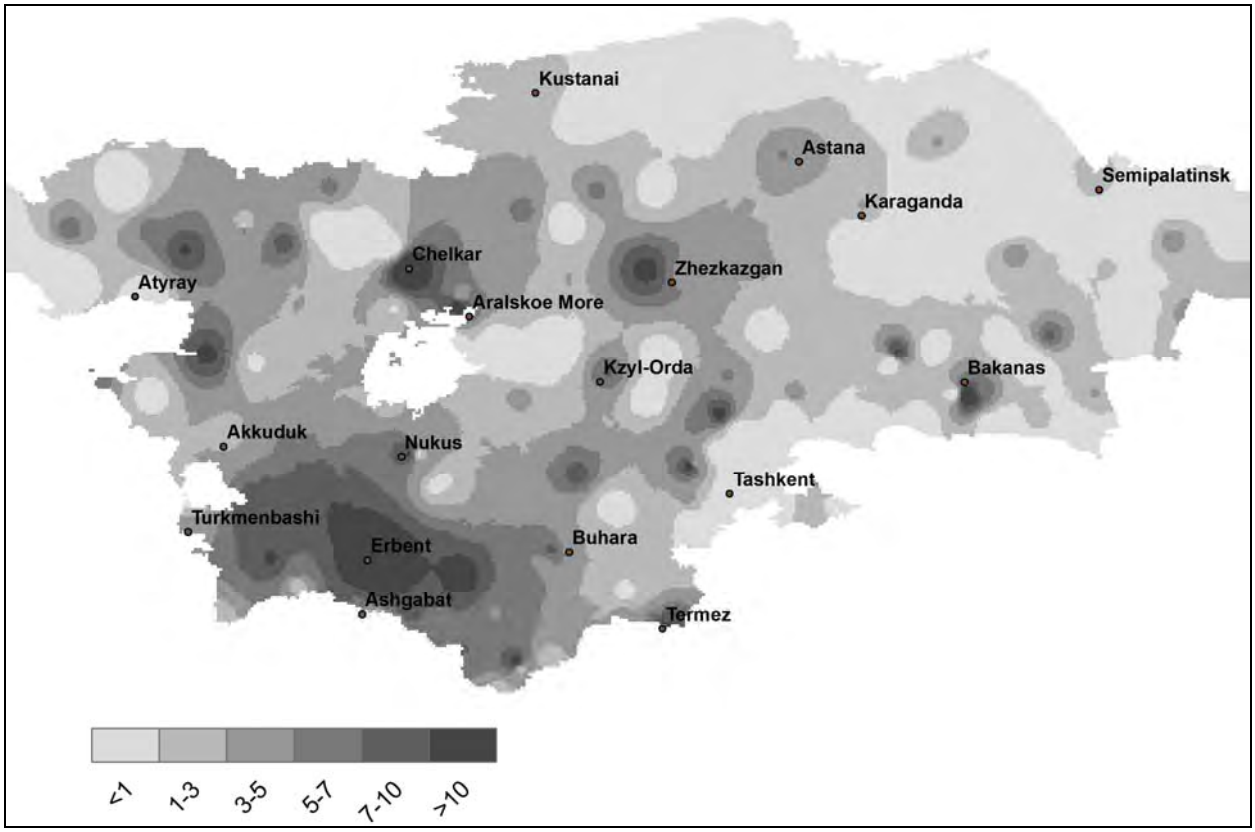


Рис. 4. Пространственное распределение числа дней с опасными и очень опасными пыльными бурями на территории Средней Азии. **Fig. 4.** Spatial distribution of severe and very severe dust storms in Central Asia.

Из особо опасных пыльных бурь, наблюдавшихся в Туркменистане за последние 60 лет, следует назвать бурю 13 марта 1953 г. (Астапович, 1955), 16 января 1968 г. (Балакирев, Петров, 1968; Орловский и др., 1968) и бурю 23 декабря 1975 г. (Балакирев, 1976). Эти уникальные пыльные бури возникали при вполне определенных синоптических процессах – выходах южных циклонов, включающих южно-каспийский, мургабский и верхнеамударьинский циклоны. Южные циклоны возникают, главным образом, в холодное время года, в период с октября по май. Сменяются южные циклоны, чаще всего, холодным вторжением с запада или северо-запада. Прохождение холодного фронта сопровождается осадками и усилением ветров западных румбов, нередко до штормовых, а также пыльными бурями.

Для жителей Ашхабада, как и для всей Средней Азии, пыльная буря – не такое уж редкое явление. Но за всю историю метеорологических наблюдений в Ашхабаде пыльной бури такой интенсивности, и с таким количеством пыли, как 16 января 1968 г., зарегистрировано больше не было.

Ночь с 15 на 16 января 1968 г. в Ашхабаде была тихой и необычайно теплой для этого времени года. В течение всей ночи температура воздуха не опускалась ниже +20°С. В 6 ч. 45 мин. по местному времени усилился южный ветер, начался пыльный поземок и резко повысилась температура воздуха; через 15 мин. порывы ветра достигли 20 м/сек. Быстро ухудшилась горизонтальная видимость и в

7 ч. 30 мин. она едва составляла 100 м. Состояние атмосферы было необычайное; вокруг все клубилось и бурлило. Запыленность атмосферы была настолько велика, что через тучи густой пыли не проникал дневной свет. Временами ветер ослабевал и тогда был слышен шорох оседающей пыли.

В 7 ч. 55 мин. ветер стих, но видимость из-за мглы все еще оставалась плохой. В 8 ч. 30 мин. вновь отмечалось кратковременное усиление ветра с порывами до 12 м/сек. А через два часа в северо-западной части города ветер усилился до 20 м/сек, горизонтальная видимость практически отсутствовала. Редкие автомашины передвигались медленно, с зажженными фарами, в домах пользовались электрическим освещением.

В то же время в Ак-Тепе, в 18 км к западу от Ашхабада, сила ветра достигала 34 м/сек, а в южной части города – 30 м/сек. Ветром были сорваны крыши домов, повалены деревья и опоры линий связи и электропередач. В некоторых районах города прекратилась подача электроэнергии, нарушилось водоснабжение. Занятия в школах были отменены, не смогли пойти на работу и многие жители Ашхабада.

Турбулентность воздуха при большом содержании пыли привела к увеличению электризации воздуха. При соприкосновении с выступающими над земной поверхностью предметами происходил с характерным потрескиванием знакомый всем электрический разряд.

К 11 ч. утра ветер перешел на северо-западный, резко понизилась температура воздуха, повысилось атмосферное давление и увеличилась относительная влажность (рис. 5). Началось более интенсивное оседание пыли. Небо окрасилось в красно-оранжевый цвет, затем – в золотисто-желтый и в 11 ч. 30 мин. в Ашхабаде начался “мутный рассвет”. Солнечный диск едва был виден через толщу пыли.

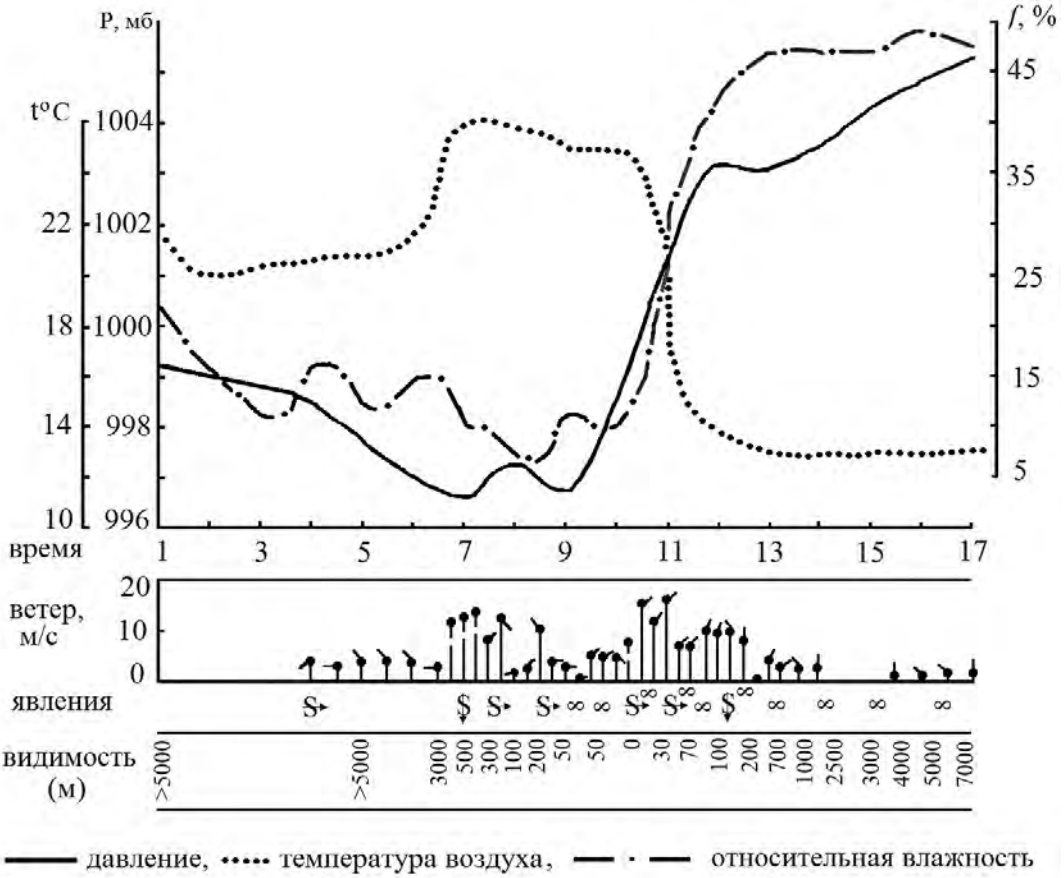


Рис. 5. Ход метеорологических элементов во время пыльной бури 16 января 1968 г. **Fig. 5.** Course of meteorological elements during the dust storm in January 16, 1968.

Заметное оседание пыли прекратилось к 13 ч., тогда горизонтальная видимость достигла 2-3 км. Как показали измерения, выполненные на метеостанции, за 6 часовой период слой пыли в ведре осадкомера на высоте 2 м составил 1.7 мм, а в дождемере при испарителе ГГИ-3000 – 2 мм, т.е. в районе метеостанции за это время осело от 20 до 30 тонн пыли на 1 га.

Исследования образцов пыли, взятых в различных частях города (табл.) показали, что по гранулометрическому составу пыль относится к легкому суглинку. Среди фракций преобладает крупная пыль – 45-52%. Содержание частиц 0.25 мм составляет сотые доли процента. Обращает внимание достаточно высокое содержание илистой фракции (частицы мельче 0.001 мм). Содержание этой фракции колеблется в пределах 11-13%. Определение органической массы показало, что пыль относительно богата гумусом (0.8-1.6%). Это соответствует содержанию гумуса в светлых сероземах и луговых почвах Средней Азии.

Таблица. Результаты аналитических исследований выпавшей пыли во время бури 16 января 1968 г. (Орловский и др., 1968). **Table.** Analysis of the dust deposited during the dust storm in January 16, 1968 (Orlovsky et al., 1968).

Механический состав					Солевой состав			Содержание органического вещества и азота, %				
Фракции, мм	Содержание фракции, %				ионы	%	мг/экв		Номер пробы			
	Номер пробы								1	2	3	4
	1	2	3	4								
1.00-0.25	0.06	0.04	0.07	0.04	HCO_3^-	0.03	0.56	Гумус	0.81	0.6	0.55	1.6
0.25-0.1	3.88	1.31	2.10	2.83	Cl^-	0.03	0.79	Азот общий	0.07	0.05	0.05	0.15
0.1-0.05	14.54	17.6	25.73	7.93	SO_4^{2-}	0.08	1.75					
0.05-0.01	52.14	51.5	44.98	64.84	Ca^{2+}	0.03	1.39	Углерод	0.47	0.29	0.32	0.93
0.01-0.005	7.00	8.42	7.74	4.36	Mg^{2+}	0.01	1.07	Отношение C/N	6.7	6	6.4	6.3
0.005-0.001	17.52	8.44	6.48	14.30								
<0.001	4.86	12.8	12.90	5.70	Na^++K^+	0.01	0.64					
Физ. глины <0.01	29.38	29.6	21.12	24.36	Плотный остаток	0.20	-					

Гумус, содержащийся в пыли, значительно обогащен азотом. На высокое относительное содержание азота в гумусе указывает узкое отношение C:N.

Материалы водной вытяжки показывают, что по содержанию воднорастворимых солей пыль можно отнести к слабозасолённой. По характеру засоления она относится к хлоридно-сульфатному. Отношение SO:Cl составляет 2.2, т.е. содержание сульфатов более чем вдвое превышает содержание хлоридов.

Среди катионов преобладает кальций и магний. Содержание натрия и калия в сумме составляет 0.014%, что говорит о крайне незначительном содержании натриевых солей, которые в большинстве своем наиболее токсичны для растительности.

Судя по ионному составу в пыли преобладает сернокислый магний ($MgSO_4$ – 2.14 мг/экв. на 100 г), содержание остальных солей распределялось так: $Ca(HCO_3)_2$ – 1.12; CaCl – 1.58; Na_2SO_4 – 1.28; $CaSO_4$ – 0.08 мг/экв. на 100 г.

Таким образом, на 1 га всреднем осело 2.85 т ила, 296 кг гумуса, 61.5 кг солей, из них азота – 24.9, хлора – 8.4 кг.

Сильные ветры, резкое потепление, пыльная буря и необыкновенная мгла в Ашхабаде были обусловлены орографической эволюцией многоцентровой атмосферной депрессии, расположенной над районами Турции, Черного моря, Кавказа и юга Украины. Утром 13 января над югом Турции и Ирака у земли и на высотах отмечались большие барические градиенты, в результате чего над этими районами усиливался южный и юго-западный ветер, а так как центральная часть Ирака является

предгорной впадиной, которая заполнена огромной толщей осадочных пород, то сильным ветром до больших высот поднималась легкая пыль этих лёссовых отложений. Такая обстановка над этим районом сохранялась более суток.

В течение 14 и 15 января над территорией Туркменистана происходила меридиональная перестройка высотного поля и одновременно над Ираном и Ираком увеличивались барические градиенты. В 03 часа 13 января ось высотной ложбины 700 мбар поверхности была ориентирована на западные районы Черного моря и Турции и в течение последующих дней она смещалась на восток со скоростью 20-25 км/час.

К 03 часам 15 января в тропосфере создались благоприятные условия для выхода южно-каспийского циклона, которому предшествовал интенсивный вынос тропического воздуха на территорию Туркменистана. В результате в Ашхабаде днем 15 января температура достигла 29 градусов, превысив абсолютный максимум 70-летнего периода наблюдений.

Такое интенсивное потепление было обусловлено не только проникновением тропического воздуха, но и явлением фена.

При дальнейшем перемещении южно-каспийского циклона у подветренной стороны хребта Копет-Даг в районе Ашхабада возник циклон с давлением в центре 997 мбар, в теплый сектор которого узкой полосой проникла запыленная до 9-10 км толща воздуха, принесенная с Аравийского полуострова (Орловский и др., 1968). Вследствие значительных нисходящих движений воздуха этот циклон, оставаясь малоподвижным, начал быстро заполняться. Скорости в струе запыленного воздуха ослабевали и началось оседание пыли в центре циклона, обуславливая над Ашхабадом явление мглы.

Особенностью выхода южно-каспийского циклона в данном случае является предшествовавшая благоприятная синоптическая обстановка для вовлечения взвешенных частиц пыли в большую толщу воздуха, перенос ее к районам Копет-Дага и ослабление скоростей в этой запыленной струе за счет мощных нисходящих движений воздуха над районом Ашхабада, где и произошло оседание пыли.

Мгла наблюдалась узкой полосой, так как в 18 км к западу от Ашхабада этого явления не было, в 10 км к востоку – мгла имела место, а в 35 км к востоку от Ашхабада она отсутствовала.

Подобная синоптическая ситуация сложилась и 23 декабря 1975 г., когда во время пыльной бури на один гектар земли осело 4-6 тонны пыли.

К 23 декабря 1975 г. в средней тропосфере, примерно на высоте 5 км, на участке от Аравии до Аральского моря образовался мощный юго-западный поток воздуха со скоростью до 140 км/час. Вслед за этим в нижней тропосфере под фронтальной зоной над Аравией сформировался циклон. Вобрав в себя тысячи тонн лёссовой пыли и мелкого песка, он направился на Багдад, Тегеран, Ашхабад (Балакирев, 1976). В южной Туркмении атмосферное давление понижалось особенно резко: за сутки до прихода циклона оно упало на 15 мбар. После прохождения циклона давление возросло за сутки на 30 мбар. Перевалив через Туркмено-Хоросанские горы и хребет Копет-Даг, циклон вышел на южную Туркмению, где он углубился.

Выход циклона на равнинную Туркмению сопровождался явлением фена. Температура воздуха в Бахардене в 8 часов утра 23 декабря была 23°С. В Ашхабаде температура воздуха ночью не опускалась ниже 11°С, а к 14 ч. 23 декабря достигала 27°С; относительная влажность воздуха снизилась до 21%. Район Ашхабада оказался в центре циклона. В результате циклон высыпал на город и его окрестности тысячи тонн лёссовой пыли при почти безветренной погоде. Оседание пыли продолжалось в течение полутора часов, с 14 ч. 03 мин. до 15 ч. 40 мин. местного времени, видимость практически равнялась нулю. Концентрация пыли достигала 270 мг/м^3.

После смещения центра циклона в Ашхабаде разразилась пыльная буря, которая началась в 15 ч. 40 мин. и продолжалась до 16 ч. 45 мин.

Порывистый северо-западный ветер достигал 108 км/ч (30 м/сек). Ветер несколько улучшил дальность горизонтальной видимости, которая при пыльной буре снизилась до 200 м. Затем началось вторжение влажных и довольно холодных воздушных масс воздуха с запада в тыл уходящему штормовому циклону. В 17 часов из кучево-дождевых облаков стали выпадать отдельные капли дождя; но вскоре этот слабый дождь прекратился. В 19 ч. 53 мин. пошел продолжительный дождь, от слабого до умеренного, который прекратился в 22 ч. 10 мин. Резко снизилась температура воздуха.

На следующий день в Ашхабаде в течение двух часов отмечался снегопад. Температура воздуха понизилась до нуля. Почти летняя погода сменилась зимней.

Сопоставление состава и свойств пыли, принесенной циклоном с Аравийского полуострова в 1968 и 1975 гг., показало, что пыль, осевшая в 1975 г., содержала почти в два раза меньше гумуса и почти в два раза больше калия. По объемным и удельным весам, пористости, содержанию растворимых солей, пылевые массы оказались схожими.

Выводы

На большей части территории Средней Азии в течение последних трех десятилетий наблюдается значительное снижение повторяемости пыльных бурь. Очаги повышенной повторяемости с опасными и особо опасными пыльными бурями совпадают с очагами повышенной повторяемости пыльных бурь с числом дней больше 20. Значительные по площади очаги опасных и особо опасных пыльных бурь занимают северо-западную часть рассматриваемого региона, долину р. Или, центральные части пустынь Каракум и Кызылкум. Наибольшая повторяемость опасных и особо опасных пыльных бурь отмечается в районах метеостанций Челкар, Карсакпай, Баканас, Ачисай и Бохордок.

Все вышеописанные опасные пыльные бури в Туркменистане наблюдались при выходе южных циклонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агаркова А.П. 1972. Распределение и продолжительность пыльных бурь на территории Западного и Южного Казахстана // Труды КазНИГМИ. Вып. 49. С. 111-117.

Астапович И.С. 1955. Пыльная буря над Центральным Копетдагом // Природа. № 7. С. 98-99.

Балакирев Е.К. 1976. Пылевой циклон // Метеорология и гидрология. № 11. С. 99-100.

Балакирев Е.К., Петров М.П. 1968. Небывалая пыльная буря над Ашхабадом // Природа. №. 10. С. 124-125.

Золотокрылин А.Н. 1996. Пыльные бури на Туранской низменности // Известия РАН. Серия Географическая. № 6. С. 48-54.

Клименко Л.В., Москалева Л.А. 1979. Повторяемость пыльных бурь на территории СССР // Метеорология и гидрология. № 9. С. 93-97.

Леухина Г.Н., Ляпина О.А., Веремеева Т.Л. 1996. Климат Узбекистана. Ташкент: Изд-во САНИГМИ. 71 с.

Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. 1977. Л.: Гидрометеоиздат. 349 с.

Орловский Н.С. Некоторые данные о пыльных бурях Туркмении // Сборник работ Ашхабадской гидрометеорологической обсерватории. Вып. 3. С. 17-42.

Орловский Н.С., Минина М.В., Байгушева А.В. 1968. Необычайная мгла над Ашхабадом // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 66-70.

Романов Н.Н. 1960. Пыльные бури в Средней Азии. Ташкент: Изд. СамГУ. 198 с.

Сапожникова С.А. 1970. Карта-схема числа дней с пыльными бурями в южной зоне СССР и на примыкающих к ней территориях // Труды НИИАК. Вып. 65. С. 61-68.

Семенов О.Е., Тулина Л.П. 1978. Пространственное и временное распределение опасных и особо опасных пыльных бурь на территории Казахстана // Труды КазНИГМИ. Вып. 71. С. 62-77.

Середкина Е.А. 1960. Пыльные бури Казахстана // Труды КазНИГМИ. Вып. 15. С. 54-59.

Мосолов И.А. 1949. "Кизыл"гай // Известия Туркменской АН СССР. № 3 С. 53-54.

Утешев А.С., Семенов О.Е. 1967. Климат и ветровая эрозия почв. Алма-Ата: Изд. Кайнар. 70 с.

Утешев А.С., Семенов О.Е. 1977. Метеорологические и климатические характеристики ветровой эрозии почв в Северном Казахстане // Труды КазНИГМИ. Вып. 62. С. 54-88.

Федюшина Л.П. 1972. Распределение пыльных бурь на территории Алма-Атинской и Джамбульской областей, к одной из форм проявления дефляции почв // Труды КазНИГМИ. Вып. 49. С. 76-83.

Федюшина Л.П., Семенов О.Е. 1970. Климатическая обусловленность дефляционных процессов на территории Казахстана // Труды КазНИГМИ. Вып. 35. С. 41-51.

Чирков Ю.И. 1970. Повторяемость пыльных бурь на территории СССР и возможность прогноза их возникновения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 69. С. 109-119.

Шардакова Л.Ю., Усманова Л.В. 2006. Анализ пыльных бурь в Приаралье // Проблемы освоения пустынь. № 3. С. 30-34.

Galaeva O., Idrissova V. 2009. Monitoring of dust storms in the Aral Sea region // Dust and Sand Storms and Desertification. Proceedings of the Marburg International Dust and Sabdstorm Symposium, 29th September-3rd October / Eds. In: Ch. Opp, M. Groll. Marburg, 2009. P. 42-45.

Indoitu R., Orlovsky L., Orlovsky N. 2012. Dust storms in Central Asia: spatial and temporal variations // Journal of Arid Environment. № 85 (10). P. 62-70.

Orlovsky L., Orlovsky N., Durdyev A. 2004. Dust storms in Turkmenistan // Journal of Arid Environment. Vol. 60. P. 83-97.

SEVERE DUST STORMS IN CENTRAL ASIA

© 2013. N.S. Orlovsky, L. Orlovsky, R. Indoitu

Jacob Blaustein Institutes for Desert Research of the Ben-Gurion University of the Negev
Israel, 84990 Midreshet Ben-Gurion, Sede Boqer Campus. E-mail: nicolai@bgu.ac.il

The study of the spatial distribution of the severe and very severe dust storms over the Central Asian area has been carried out. The dust storm event can be considered as severe if it lasts 3-12 hours, storms with wind speed 10-14 m/sec and meteorological visibility in the range of 500-1000 m. The extremely severe dust storms last more than 12 hours, with the wind speed exceeding 15 m/sec; the dust storms with meteorological visibility less than 50 m are considered as very severe regardless to duration and wind speed. The data of daily meteorological observations from 144 meteorological stations of Kazakhstan and 29 meteorological stations in Uzbekistan and Kazakhstan for the period 1936-1972 had been analyzed, and number of days with severe and very severe dust storms had been calculated using above criteria. Relation between the number of days with dust events and number of severe and very severe storms was calculated, and map of spatial distribution of severe events in Central Asia was compiled using this relation. The analysis of extremely severe dust storms, which developed under the exits of southern cyclones, was done.

Key words: climate change, dust storms frequency, desertification.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 59-63

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 551.524: 551.513.3(215-17)

ВЫЯВЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ВО ВРЕМЕННОМ ХОДЕ УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ ВОРОНЕЖА

© 2013 г. Л.М. Акимов

Воронежский государственный университет
Россия, 394020 г. Воронеж, ул. Хользунова, д. 40. E-mail: akl63@bk.ru, geoecolog@mail.ru

Поступила 02.04.2012

На основании автокорреляционного анализа гидротермического коэффициента Селянинова, рассчитанного по данным многолетних наблюдений за температурой воздуха и осадками Воронежа, выявлены наиболее значимые циклы для различных месяцев вегетационного периода, имеющие глобальный характер.

Ключевые слова: увлажнение, осадки, температура воздуха, вегетационный период, гидротермический коэффициент, циклы, автокорреляция.

Влияние погоды и климата во все времена было двояким: жестоким и драматичным – стихия разрушала жилища, размывала поля, уничтожала посевы. Люди проклинали бури и ураганы, уносившие сотни и тысячи человеческих жизней, и наслаждались теплом ранней весны, благодатным летом, благодарили природу за долгожданные дожди, столь необходимые посевам.

Одно из наиболее существенных воздействий на сельскохозяйственное производство оказывают засухи и избыточное увлажнение. Засухи по количеству погибших в ряду чрезвычайных ситуаций занимают третье место в мире после землетрясений и циклонов (Григорьев, Кондратьев, 2000).

Засуха – опасное природное явление, которое в экстремальных проявлениях приводит к гибели людей и к значительному материальному ущербу. Под засухой понимают сложное метеорологическое явление, в результате которого у растения нарушается водный баланс. Под влиянием недостатка влаги, вызванного усиленным испарением или длительным бездождьем, растение увядает или гибнет.

Засухи на всей территории стран СНГ наблюдаются не одновременно, а захватывают какой-либо крупный регион, и зачастую имеют локальный характер распространения. Так, летом 1972 г. на ЕТС была одна из самых жестоких засух за последние 100 лет, а в Северном Казахстане и на юге Западной Сибири сложились благоприятные погодные условия, в результате чего был собран рекордный урожай зерновых культур. Подобная асинхронность в условиях увлажнения и теплообеспеченности в разных регионах отмечается довольно часто.

Вопросами изучения засух и разработкой их количественных критериев занималось большое число исследователей. Первая попытка охарактеризовать условия увлажнения/засушливости различных климатических районов России была сделана академиком К.С. Веселовским (1857).

В описании климата России того времени, недостаток дождей, вызывающих неурожай, обсуждается пространственно, а причины неурожаев на юге, по мнению А.И. Воейкова (1901), объясняются неправильно, они связаны не с характером осадков, а с тем, что «у нас на юге выпадает не столько дождей, сколько было бы нужно при таком теплом лете». Это краткое замечание А.И. Воейкова метко определяет сущность явления и дает правильное направление мысли для познания сущности засухи.

Более конкретно идея засухи была выражена в работе В.В. Докучаева (1953), сопоставившего для характеристики условий увлажнения выделенных им почвенных зон годовые величины атмосферных осадков и испаряемости. Было установлено, что основной признак засухи – недостаток влаги на фоне теплой и даже жаркой погоды.

Материалы и методы

Среди индикаторов соотношения тепла и влаги простым для вычисления, и в то же время достаточно обоснованным, считается гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный

Г.Т. Селяниновым в 1928 г. По определению, ГТК характеризует увлажненность территории за сезон активной вегетации (T>10°C):

$$ГТК = \frac{\sum R}{0.1\sum T > 10^{\circ}C}, \quad (1)$$

где ∑R – сумма осадков за сезон активной вегетации, мм, ∑T – сумма температур выше 10°C за этот же период

Расчет ГТК проводился для каждого летнего месяца, а также для мая и сентября, за период наблюдений с 1918 по 2010 гг.

С целью выявления внутренних скрытых периодичностей и получения возможности их экстраполяции на предстоящий период в данной работе использован автокорреляционный анализ, который применен для параметров, описывающих временную структуру гидротермического коэффициента Воронежа.

Автокорреляционная функция характеризует общую зависимость значений параметров в некоторый фиксированный момент времени t от значений в предшествующий (t-τ) момент (Бендат, 1983; Крамер, 1975). Расчет автокорреляционной функции для гидротермического коэффициента ГТК осуществлялся по формуле:

$$\rho(\tau) = \frac{\sum_{m=1}^{N-\tau-1} ГТК_{m} ГТК_{(m+\tau)}}{(N-\tau-1)\sigma^{2}_{ГТК}}, \quad (2)$$

где ρ(τ) – автокорреляционная функция, зависящая от временного сдвига τ (τ=год); *m* – исходный момент времени; $\sigma_{ГТК}$ – среднее квадратическое отклонение ГТК; N – объем выборки (N=94).

При расчете автокорреляционной функции важным является вопрос о выборе максимального временного сдвига τ_{max}. Согласно (Бокс, Дженикс, 1974) количество сдвигов должно составлять 1/3 длины ряда, в данном случае τ_{max}=31 год.

Следует отметить, что значения ординат содержат не только детерминированную (причинно – обусловленную), но и случайную составляющую.

Граница доверительного интервала с 95% обеспеченностью $I_{\beta}(r)$, которая определяется по формуле:

$$I_{\beta}(r) = \left[\bar{\rho} - t_{\beta}\frac{1-\rho^{2}}{\sqrt{n}}; \bar{\rho} + t_{\beta}\frac{1-\rho^{2}}{\sqrt{n}}\right], \quad (3)$$

где $t_{\beta} = \Phi^{-1}(\beta/2)$ – выборочный порог достоверности, который является обратной функцией Лапласа, т.е. такое значение аргумента, для которого функция Лапласа равна β/2; ρ – выборочный коэффициент автокорреляции при сдвиге τ; *n* – объем выборки при сдвиге τ.

$$t_{\beta} = \frac{r}{\sigma_{\rho}} = \frac{r\sqrt{n}}{1-r^{2}} \quad (4)$$

при β=0.95, величина t_{β}=1.96≅2.

С целью достоверности рассчитанных коэффициентов автокорреляции согласно (Бендат, 1983), вычислялись средние квадратические отклонения σ_{ρ}, характеризующие случайную составляющую в значениях ординат ρ(τ):

$$\sigma_{\rho} = \frac{1-[\rho(\tau)]^{2}}{\sqrt{N-\tau-1}}, \quad (5)$$

где N – длина ряда; τ – сдвиг (лаг).

Для получения более надежных выводов о значимости экстремумов ρ(τ) использовался критерий Бартлетта (Бокс, Дженикс, 1974). Согласно его методики стандартную ошибку коэффициента автокорреляции можно определить по формуле:

$$var[\rho_{\tau}] \approx \frac{1}{N}\left\{1 + 2\sum_{u=1}^{q}\rho_{u}^{2}\right\}, \tau > q, \quad (6)$$

где N – объем выборки; ρ_{u} – истинная корреляция.

Результаты и их обсуждение

Зависимость автокорреляционной функции ГТК в мае от временного сдвига τ представлена на рисунке, где красной и синей линиями выделены границы доверительных интервалов для соответственно положительных и отрицательных значений ГТК.

Из рисунка видно, что первое значение автокорреляционной функции ρ(τ=3)=0.22 превышающее выборочный порог достоверности $t_\beta=\Phi^{-1}(\beta/2)$, наблюдается при сдвиге времени τ=3 года. Оценим значение экстремума ρ(τ) при этом сдвиге:

$$\sigma_{\rho(1)} = \frac{1-[0.22]^2}{\sqrt{94-1-1}} = 0.098 \cdot$$

Вероятность случайной ошибки определяется из соотношения $\sigma_{\rho(\tau)}/\rho(\tau)$. В данном случае отношение: $\sigma_{\rho(3)}/\rho(3)$=(0.098/0.22)100%=45% указывает на то, что вероятность случайной ординаты ρ(3) составляет 45%.

Оценим статистическую значимость ρ(τ). Значение ρ(τ) является достоверным, если ордината ρ(τ) в два и более раза превышает величину случайной ошибки $\sigma_{\rho(\tau)}$, при 95% интервале. Для данного случая отношение $\rho(3)/\sigma_{\rho(3)}$ превышает в 2.2 раза значение $\sigma_{\rho(1)}$, поэтому исследуемый экстремум ρ(3)=0.22, является значимым.

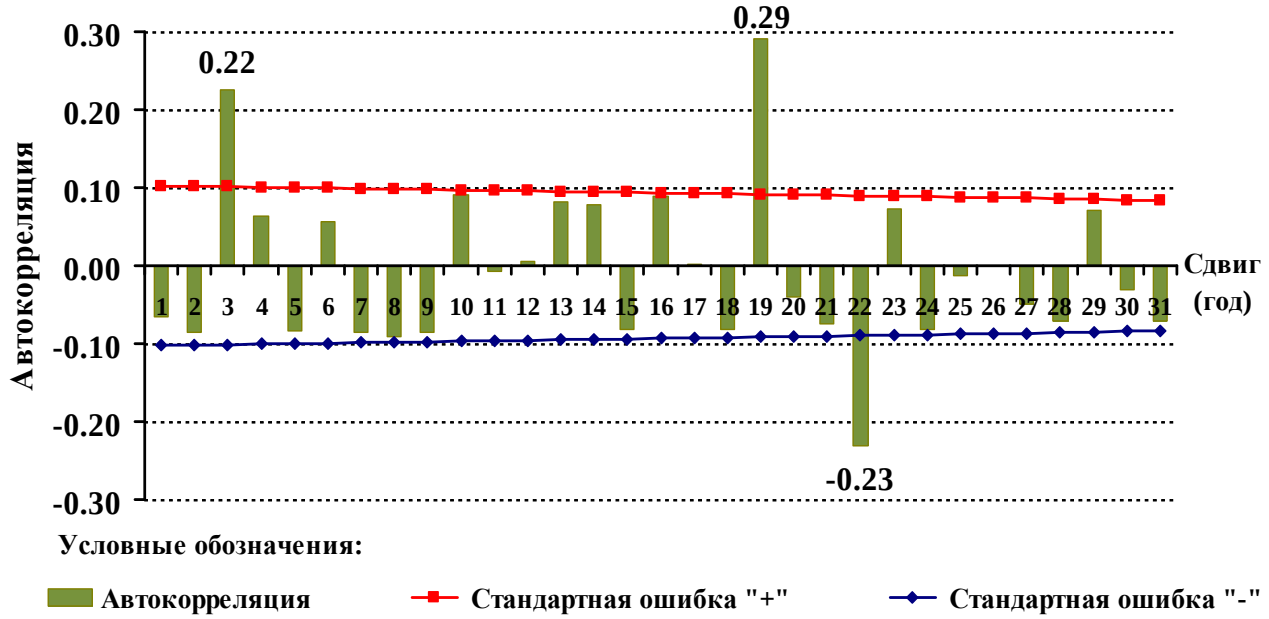


Рис. Автокорреляционная функция ρ(τ) гидротермического коэффициента в мае. **Fig.** Autocorrelation function ρ(τ) of hydrothermal coefficient in May.

Для данного случая критерий Бартлетта равен: $var[\rho_\tau] = \frac{1}{N} = \frac{1}{94} = 0.011$, тогда стандартная ошибка будет равна: $var[\rho_\tau] = \sqrt{0.011} = 0.1032$.

Таким образом, для данной длины выборки при β=0.95 значимый коэффициент корреляции с учетом удвоенной стандартной ошибки $\rho_{знач.}=2\cdot var[\rho_\tau]=0.2064$. В рассматриваемом случае: $\rho(3)=0.22>\rho_{знач.}=0.2064$. Следовательно, и критерий Бартлетта подтверждает не случайность ординаты ρ(3).

Исходя из описанных требований, в таблице 1 указаны сдвиги τ, при которых ρ(τ) ряда ГТК является значимым.

Таблица. Распределение значимых коэффициентов ρ(τ) ряда ГТК. **Table.** Distribution of significant factors ρ(τ) number hydrothermal parameters.

месяц	τ – сдвиг (лаг), год	ρ(τ) – коэффициент автокорреляции	$\rho(\tau)/\sigma_{\rho(\tau)}$ – порог достоверности	$\sigma_{\rho(\tau)}/\rho(\tau)$ – вероятность ошибки, %
май	3	0.22	0.0988	45
	19	**0.29**	0.0954	**33**
	22	-0.23	0.0981	43
июнь	**19**	**-0.26**	0.0988	**36**
	22	-0.21	0.1031	47
июль	3	-0.18	0.0981	49
	20	**0.24**	0.0997	**43**
	23	-0.23	0.1025	45
август	3	0.22	0.0988	46
	19	**0.24**	0.0981	**39**
	22	0.23	0.1034	41
сентябрь	3	0.21	0.0988	46
	28	**0.38**	0.1036	**23**

Из анализа таблицы следует, что во временном ходе коэффициентов автокорреляции ГТК, практически для всех исследуемых календарных месяцев, наблюдаются три характерных значимых цикла: 3-х, 19-и 22-летний, что свидетельствует о влиянии глобальных факторов определяющих формирование температурно-влажностного потенциала на рассматриваемой территории. Причем, наибольшие значения автокорреляционной функции и наименьшей вероятностью ошибки, практически во всех исследуемых месяцах, наблюдаются при 19-летнем цикле.

Как известно, атмосфера, океан и Земля (и климатическая система в целом) совершают согласованные колебания, одним из которых является квазидвухлетняя цикличность. Эта особенность общей циркуляции атмосферы в экваториальных широтах связана с тем, что в слое от 18-20 до 35 км в течение примерно одного года господствует восточный зональный перенос, а в течение следующего года – западный. Считается, что эта цикличность наиболее отчетливо выражена в зоне от 10° с.ш. до 10° ю.ш. и имеет наибольшую амплитуду на уровне 23 км; к тропикам и выше 35 км амплитуда колебаний убывает, уступая главную роль годовому периоду. Западная и восточная фазы среднего зонального ветра в стратосфере медленно распространяются вниз, сменяя друг друга с периодом от 24 до 30 мес. (Угрюмов, Кац, 1971; Астафьева, 2009).

Сидоренковым (Сидоренков, 1978, 1992, 2000) при исследовании спектров океанических и атмосферных процессов, выявил наличие в них субгармоник периода Чандлера колебания оси вращения Земли (свободная нутация), а также были обнаружены многолетние волны, порождающие эти периоды.

Значительный вклад в низкочастотную изменчивость атмосферы и океана вносят Эль-Ниньо – Южное колебание (ENSO) и квазидвухлетняя цикличность атмосферы (QBO). Характерное время осцилляции Эль-Ниньо – от 3 до 8 лет, однако, сила и продолжительность Эль-Ниньо в реальности сильно варьируется.

На основании этих фактов было сделано обобщение о том, что Земля, океан, и атмосфера совершают согласованные колебания, влияя друг на друга, т.е. имеют место совместные колебания системы Земля – океан – атмосфера (Сидоренков, 2003). Осредненные спектры дают пики на периодах 5.8, 3.8 и 2.8 лет.

В данном исследовании 3 – летние циклы колебаний гидротермического коэффициента Воронежа объясняются совместным взаимодействием субгармоник Чандлеровского периода, влиянием Эль-Ниньо – Южное колебание (ENSO), а также квазидвухлетней цикличностью атмосферы (QBO).

Движение Солнца по эклиптике вызывает годичный и полугодичный периоды в колебании земной оси, а движение Луны – период 18.61 года, соответствующий движению лунных узлов по эклиптике. Этими периодическими движениями оси вращения Земли в плоскости колюра равноденствий, перпендикулярными прецессии, называемые нутацией земной оси, вероятнее всего, можно объяснить наличие 19-летнего цикла во временном ходе ГТК Воронежа.

На наличие 19-летнего периода, связанного с долгопериодными приливами в атмосфере (прежде всего с 19-летним лунным нодальным приливом), указывал И.В. Максимов (1970).

22-летний цикл выявлен при анализе флуктуаций скорости вращения Земли (Сидоренков, 2003).

Колебания в значениях величины цикла объясняются влиянием атмосферных процессов, их сезонной перестройкой, на вращение Земли.

Выводы

Выявленные таким образом периоды, позволяют оценить вклад преобладающих факторов в формирование гидротермического режима на территории Воронежа и могут быть полезными в качестве прогностических рекомендаций в случае отсутствия методического прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бендат Дж., Пирсол А. 1983. Применение корреляционного и спектрального анализа Пер. с англ. М.: Мир. 312 с.

Бокс Дж., Дженикс Г. 1974. Прогноз и управление. Пер. с англ. М.: Мир. Вып. 2. 197 с.

Веселовский К. 1857. О климате России. СПб.: Издание Императорской Академии Наук. 326 с.

Воейков А.И. 1901. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири // Метеорологический вестник № 3. С. 16-27.

Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. 2000. Природные и антропогенные экологические катастрофы. Классификация и основные характеристики // Исследование Земли из космоса. № 2. С. 72-83.

Докучаев В.В. 1953. Наши степи прежде и теперь. М.: Сельхозгиз. 152 с.

Крамер Г. 1975. Математические методы статистики. М.: Наука. 648 с.

Максимов И.В. 1970. Геофизические силы и воды океана. Л.: Гидрометеоиздат. 447 с.

Селянинов Г.Т. 1928. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20. С. 165-172.

Сидоренков Н.С. 2003. Атмосферные процессы и вращение Земли. Л.: Гидрометеоиздат. 366 с.

Сидоренков Н.С. 1992. Механизм возбуждения Чандлеровского движения полюса // Астрономический журнал. Т. 69. Вып. 4. С. 905-909.

Сидоренков Н.С. 1978. Неравномерность вращения Земли и процессы в атмосфере // Труды Гидрометцентра. Вып. 205. С. 48-66.

Сидоренков Н.С., Свиренко П.И., Шаповалов Н.С. 1984. Некоторые результаты использования данных о неравномерности вращения Земли для изучения атмосферных процессов // Тр. Гидрометцентра. Вып. 230. С. 87-97.

Угрюмов А.И., Кац А.Л. 1971. Квазидвухлетняя цикличность весенне-летней циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 80 с.

IDENTIFICATION OF CYCLICAL FLUCTUATIONS IN THE TEMPORAL COURSE OF THE CONDITIONS OF MOISTENING OF VORONEZH

© 2013. L.M. Akimov

Voronezh State University
Russia, 394020 Voronezh, Kholzunova str., 40. E-mail: akl63@bk.ru, geoecolog@mail.ru

On the basis of the autocorrelated analysis of hydrothermal coefficient of Selyaninov calculated according to long-term supervision over air temperature and a precipitation of Voronezh, the most significant cycles for various months of the vegetative period, having global character are revealed.

Keywords: moistening, precipitation, air temperature, vegetative period, hydrothermal factor, cycles, autocorrelation.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 64-69

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК: 551.5

РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ УВЛАЖНЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ РОССИИ В 2011-2030 ГГ.[1]

© 2013 г. Е.А. Черенкова

Институт географии РАН
Россия, 119017 г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru

Поступила 31.05.2013

В статье по результатам численного моделирования на РКМ ГГО в период 2011-2030 гг. по сравнению с последним двадцатилетием XX-го века исследовано возможное изменение климата и увлажнения засушливых земель России в ближайшей перспективе. Установлено, что всреднем на территории может потеплеть за год на 0.6° С и в мае-августе на 0.4° С, а годовая сумма осадков может возрасти на значительной части территории, не превысив 10%.
Ожидается, что на большей части европейской территории засушливых земель России в период 2011-2030 гг. будет наблюдаться иссушение. Полученные на основе анализа модельных расчетов оценки вполне согласуются с тенденцией изменения увлажнения засушливых земель России в ближайшей перспективе, экстраполированной ранее по данным наблюдений. Таким образом, формирующаяся в настоящее время тенденция может стать устойчивой. На азиатской территории засушливых земель региональной моделью прогнозируется продолжение роста увлажнения.
Ключевые слова: коэффициент увлажнения, осадки, испаряемость, региональная климатическая модель РКМ ГГО, засушливые земли.

В изменении увлажнения территории засушливых земель равнин России выделяются периоды устойчивого роста и уменьшения увлажнения. Так, с начала XX-го века вплоть до середины 30-х годов наблюдалось снижение увлажнения, а затем начался его постепенный рост. На рубеже XX–XXI-го века на большей части территории засушливых земель увлажнение вновь начало понижаться (Золотокрылин, Черенкова, 2013; Золотокрылин и др., 2014). По данным наблюдений с применением эмпирического подхода была выдвинута гипотеза о том, что это изменение носит не временный, а устойчивый характер на территории всей зерновой зоны России (Золотокрылин, Черенкова, 2013). В этой ситуации вопрос, насколько устойчивой будет формирующаяся тенденция и каковы будут региональные особенности изменений, становится весьма актуальным. Ситуацию можно хотя бы частично прояснить с помощью анализа результатов численных экспериментов на климатических моделях, позволяющих дать представление о будущем климате в зависимости от различных сценарных прогнозов.

Цель данной статьи в попытке оценить предстоящие изменения увлажнения территории засушливых земель России в условиях меняющегося регионального климата в ближайшее двадцатилетие.

Территория, данные и методика исследования

Исследования проводились для территории засушливых земель России, представленной степными типичными, сухостепными и полупустынными ландшафтами (Ландшафтная карта СССР, 1988). Северная граница засушливых земель России была уточнена ранее (Золотокрылин, Черенкова, 2009) в соответствии с рекомендацией Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием на основании коэффициента увлажнения К. Торнтвейта (КУТ), представляющего отношение ресурсов влаги (ежегодного количества осадков) к потребности во влаге (определяемой посредством потенциальной

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ-13 РАН (Проект «Опустынивание засушливых земель юга России в контексте изменений климата»).

испаряемости), меняющееся в диапазоне от 0.05 до 0.65 (CCD, 1994). Увлажнение (влагообеспеченность) территории характеризуется соотношением между приходной и расходной компонентами водного баланса (количеством выпадающих атмосферных осадков и испаряемостью) и численно выражается с помощью коэффициентов увлажнения. Испаряемость является условной величиной, характеризующей максимально возможное (потенциально возможное, не ограниченное запасами воды) испарение в данной местности при существующих атмосферных условиях (Хромов и др., 1974). Годовое и летнее (в данном случае с мая по август) увлажнение исследовалось с помощью коэффициента увлажнения, в котором испаряемость получена по методу К. Торнтвейта.

КУТ рассчитывается следующим образом (Thornthwaite, 1948):

$$КУТ = \frac{P_{год}}{E_{O\,год}}, \qquad (1)$$

где $P_{год}$ – годовая сумма осадков в мм, а $E_{O\,год}$ – испаряемость за год в мм.

В свою очередь испаряемость вычисляется как функция температуры по формуле:

$$E_{O\,Торнтвейт} = 1.6(10T / I)^a \qquad (2)$$

где $E_{O\,Торнтвейт}$ – испаряемость, см·мес$^{-1}$; T – средняя месячная температура воздуха, ° С; $a = f(I)$, где I – тепловой индекс с поправкой на широту.

При расчете годовой испаряемости учитываются только месяцы с положительной средней месячной температурой воздуха. Оценки испаряемости по методу Торнтвейта широко используются в засушливых регионах мира (World …, 1992) и рекомендованы Конвенцией по борьбе с опустыниванием (CCD, 1994). Используемый метод адекватно отражает зональные изменения средних многолетних значений испаряемости на территории юга Русской равнины и показывает хорошую согласованность с другими методами определения испаряемости (Черенкова, Шумова, 2007).

В данной работе при анализе регионального климата, годового и сезонного увлажнения были использованы среднемесячные данные приземной температуры воздуха и месячных сумм осадков региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (РКМ ГГО) в период 2011-2030 гг. Региональная модель была создана в конце 90-х годов и с тех пор претерпела множество улучшений, среди которых одним их наиболее важных является увеличение пространственного разрешения по сравнению с предыдущей версией модели (Школьник и др., 2006, 2007). В этом смысле, перспективы использования региональных моделей, имеющих более высокое разрешение по сравнению с глобальными климатическими моделями, не вызывают сомнения.

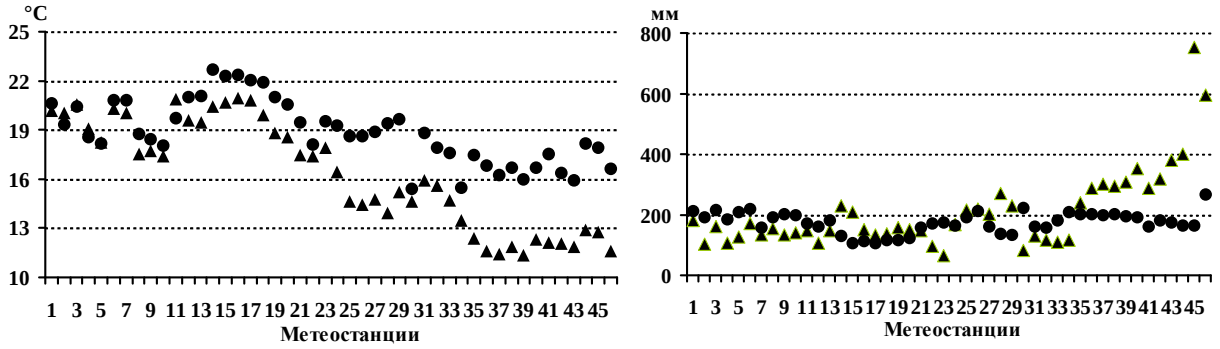
Региональная модель ГГО (Школьник и др., 2012; Shkolnik et al., 2010) встроена в глобальную модель общей циркуляции атмосферы ГГО T42L25. Обе модели включают описание всех основных физических процессов в атмосфере и на подстилающей поверхности – это конвекция и конденсация, радиационный перенос в облачной атмосфере с учетом суточного хода, горизонтальный и вертикальный турбулентный обмен теплом, влагой и моментом количества движения, гравитационно-волновое сопротивление, тепло- и влагообмен в деятельном слое почвы. В качестве граничных условий на поверхности океана использованы результаты расчетов совместных моделей из проекта CMIP3. Особенностью РКМ является то, что в отличие от глобальных моделей низкого пространственного разрешения, региональная модель с горизонтальным разрешением в 25 км и 25-ю вертикальными слоями учитывает географические особенности территории России с высокой степенью детализации: наличие больших внутренних естественных и искусственных водоемов и рек, играющих существенную роль в формировании локального влагооборота, а также мезомасштабную орографию, влияющую на перемещение воздушных масс над равнинами России. Все это очень важно для воспроизведения пространственно-временной изменчивости регионального климата. В модели использован сценарий увеличения концентрации парниковых газов и аэрозолей в атмосфере А2 по номенклатуре МГЭИК. Для уменьшения влияния внутренней климатической изменчивости рассмотрены ансамблевые оценки (3 расчета с разными начальными условиями).

В узлах сетки РКМ ГГО были рассчитаны средние многолетние значения климатических характеристик в указанные периоды. В качестве базового периода, относительно которого проанализированы будущие изменения, рассмотрен период активного потепления 1981-2000 гг. Для

сравнения «модель-климат» использованы данные наблюдений суточных значений температуры воздуха и сумм осадков из климатического архива ВНИИГМИ-МЦД (www.meteo.ru) за аналогичный временной интервал (46 метеостанций в пределах территории исследования).

На основе интерполированных методом кригинга данных с помощью ГИС MapInfo были построены карты пространственного распределения температуры воздуха, осадков и коэффициента увлажнения. Статистическая значимость результатов оценивалась с помощью критерия Стьюдента (t-test с уровнем значимости 0.95) для временных рядов разной длины.

Проведенное сравнение температур воздуха, осадков и КУТ в среднем за год, с мая по август по региональной модели с данными наблюдений за базовый период (1981-2000 гг.) показало, что модель воспроизводит несколько заниженные по сравнению с наблюденными значениями приземной температуры на всей исследуемой территории. Наиболее заметные погрешности РКМ обнаруживаются на азиатской части территории. В летний сезон 1981-2000 гг. модель воспроизводит заниженные по сравнению с наблюденными значениями приземной температуры на европейской части территории исследования (до 10%) и до 25-30% на азиатской части (рис. 1а). Занижение межгодовой изменчивости температуры немного больше (в отдельных точках достигает 50-60%). Модель завышает суммы годовых осадков и осадков с мая по август вблизи горных массивов – в Предуралье (до 25-40%), а отклонения от данных наблюдений на Алтае еще больше (рис. 1б). На остальной территории осадки занижены в пределах 7-10%. Аналогичные оценки справедливы в отношении коэффициента увлажнения, поскольку его изменения определяются в большей степени вариациями осадков. С учетом выявленных недостатков воспроизведения моделью рассмотренных показателей в работе оцениваются не их средние значения, а возможные изменения и тенденции.



а) б)

Рис. 1. Средние с мая по август за период 1981-2000 гг. значения температуры (а) и осадков (б) по РКМ ГГО (треугольники) и наблюдениям (круги). Метеостанции упорядочены по долготе с запада на восток.
Fig. 1. Average temperature (a) and precipitation (б) from May to August for the period 1981-2000 based on a regional climate model RCM MGO data (triangles) and observations (circles). Weather stations in order of longitude from west to east.

Результаты и их обсуждение

Как показал анализ расчетов, на территории засушливых земель России в период 2011-2030 гг. по сравнению с базовым двадцатилетием может потеплеть всреднем за год на 0.6°С. Увеличение годовой приземной температуры воздуха имеет достаточно равномерное широтное распределение, изменения будут возрастать с юга на север, достигая максимальных значений (до 0.8°С) на севере Волгоградской, юге Саратовской и Курганской области. Ожидаемое потепление в летний сезон может составить всреднем 0.4°С. При этом на европейской части засушливых земель возможен больший рост средней температуры с мая по август (всреднем 0.5°С), чем на азиатской части (0.2°С). Потеплеет на всей исследуемой территории, за исключением северной половины Ставропольского края, востока Краснодарского края, юга Омской и юго-запада Новосибирской области.

На значительной части территории в период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг. региональной моделью прогнозируется увеличение количества годовых осадков. Их наибольший

рост составит всреднем 10% на юге Омской области и в Приазовье (до 7%). Уменьшение многолетних сумм осадков всреднем на 3% ожидается на территории Волгоградской области, на 1.2% – на севере Ростовской и на юго-западе Саратовской области. Пространственное распределение годовых и летних осадков по знаку изменений имеет довольно схожую структуру. Основное отличие касается юга Оренбургской области, где количество осадков за год может вырасти всреднем на 2.2%, а в летний сезон напротив может сократиться всреднем на 4%. По сравнению с годовыми осадками региональной моделью прогнозируется, что изменения сумм осадков с мая по август на европейской территории будет больше. Наибольший рост суммарных летних осадков возможен на юге Омской области (10%) в Приазовье (9.6%). Количество осадков с мая по август в ближайшем будущем может уменьшиться на территории Волгоградской области на 5%, на севере Ростовской на 3.7% и на юго-западе Саратовской области на 3.4%.

Так как в вычислении коэффициента увлажнения участвуют температура и осадки, то в узлах модельной сетки, в которых оба параметра изменяются однонаправленно, важно понимать для каждого узла, какой из них меняется интенсивнее.

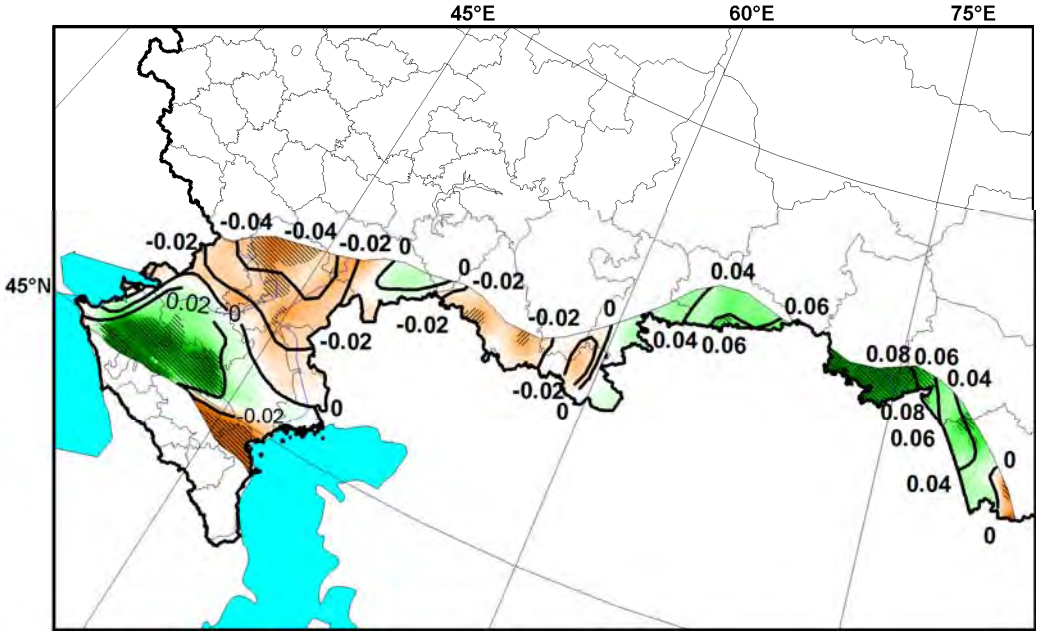
Рассмотрим, как может измениться увлажнение в период 2011-2030 гг. по сравнению с двадцатилетием активного потепления конца XX-го века. Согласно сценарию РКМ, годовое увлажнение понизится по сравнению с базовым периодом практически на всей европейской территории засушливых земель России (рис. 2а). Исключение составит Краснодарский край и южная половина Ростовской области, где прогнозируется статистически значимый рост годового увлажнения, а также небольшой участок в Саратовской области. Региональная модель показывает также статистическую значимость иссушения в предгорьях Кавказа, однако, большие значения изменений могут быть объяснены эффектом близости горных массивов и погрешностью модельных данных при переходе на другую подстилающую поверхность. На остальной части европейской территории будет наблюдаться медленное иссушение, статистически значимое только на территории Волгоградской области и юге Оренбургской области. В противовес европейской территории, на азиатской части в период 2011-2030 гг. будет наблюдаться повышение годового увлажнения. Наибольшим и статистически значимым оно будет на юге Омской области. Пространственное распределение изменений летнего увлажнения практически повторяет годовое увлажнение (рис. 2б). Необходимо отметить, что изменения за оба периода сильно коррелируют на всей территории, за исключением Русской равнины, где ожидаются меньшие и статистически незначимые изменения летнего увлажнения.

Заключение

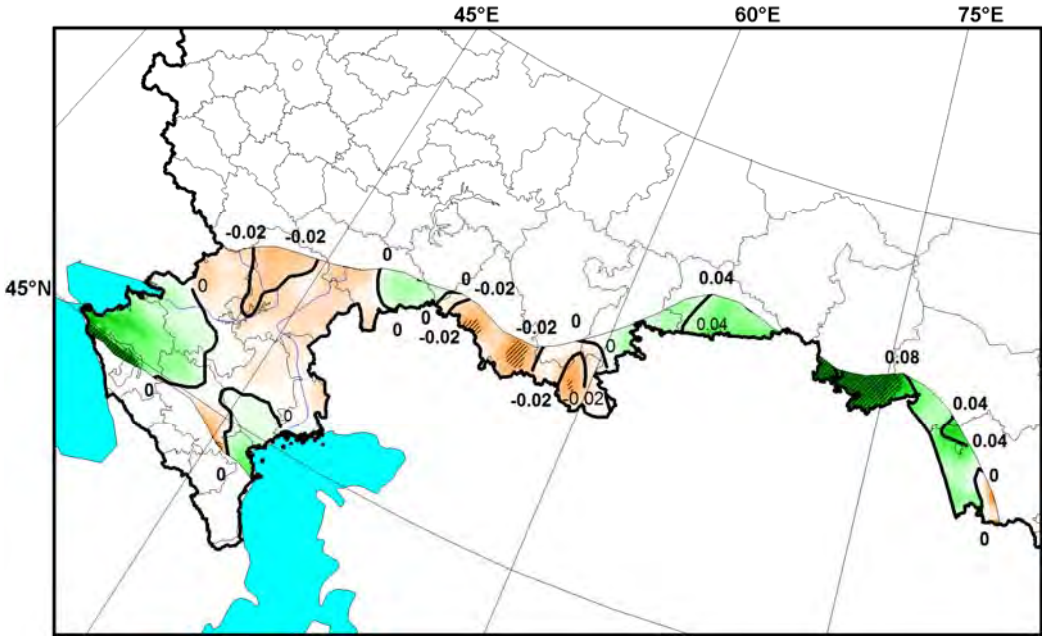
По результатам численного моделирования на региональной климатической модели ГГО на территории засушливых земель России в период 2011-2030 гг. по сравнению с последним двадцатилетием XX-го века годовое (и, соответственно, зимнее) потепление ожидается более сильным (за год всреднем на территории на 0.6°C), чем летнее (в мае-августе – на 0.4°C). На фоне увеличения средних годовых температур воздуха и температур в мае-августе практически на всей исследуемой территории количество осадков может также возрасти на значительной части засушливых земель (не превысив 10%).

Согласно сценарному прогнозу РКМ ГГО, в ситуации возможного потепления в ближайшем двадцатилетии XXI века ожидается, что на большей части засушливых земель Европейской территории России в период 2011-2030 гг. будет наблюдаться иссушение. Полученные на основе анализа модельных расчетов результаты вполне согласуются с тенденцией изменения увлажнения засушливых земель России в ближайшей перспективе, экстраполированной ранее по данным наблюдений. Таким образом, формирующаяся в настоящее время тенденция может стать устойчивой. С другой стороны, РКМ ГГО прогнозирует продолжение роста увлажнения азиатской территории засушливых земель в период 2011-2030 гг. С учетом этого факта можно предположить, что здесь смена направленности изменений увлажнения будет иметь место не раньше окончания рассмотренного временного интервала.

Благодарности. Автор благодарит И.М. Школьника за предоставление данных РКМ ГГО.



а)



б)

Рис. 2. Изменение годового (а) и летнего/с мая по август/ (б) увлажнения по данным РКМ ГГО в период 2011-2030 гг. по сравнению с 1981-2000 гг. в границах территории засушливых земель РФ (в период 1936-2008 гг.). Условные обозначения: штриховкой показаны статистически значимые изменения; тонкими линиями обозначены субъекты РФ. **Fig. 2.** Change of: annual (a) and summer/May to August/ (б) humidification according to RCM MGO data during the period 2011-2030 compared to 1981-2000 for drylands of Russia (boundaries in the period 1936-2008). Symbols: statistically significant areas of change are shaded; the thin lines are the administrative borders of the Russian Federation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. 2013. Тенденции увлажнения зернового пояса России в начале XXI века // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Том XXV. С. 251-264.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. 2014. Увлажнение засушливых земель европейской территории России: настоящее и будущее // Аридные экосистемы. № 3. 11 с. (в печати)

Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. 2009. Площадь засушливых земель равнин России // Аридные экосистемы. Т. 15. № 1(37). С. 5-12.

Ландшафтная карта СССР. 1988. М. 1:4000000 / Научн. ред. А.Г. Исаченко. ГУГК при СМ СССР. М.: 1988. 4 л.

Хромов С.П., Мамонтова Л.И. 1974. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат. 568 с.

Черенкова Е.А., Шумова Н.А. 2007. Испаряемость в количественных показателях климата // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 57-69.

Школьник И. М., Мелешко В.П., Катцов В.М. 2006. Возможные изменения климата на европейской территории России и сопредельных территориях к концу XXI века: расчет с региональной моделью ГГО // Метеорология и гидрология. № 3. С. 5-16.

Школьник И.М., В.П. Мелешко, В.М. Катцов. 2007. Региональная климатическая модель ГГО для территории Сибири // Метеорология и Гидрология. №6. С. 5-17.

CCD. 1994. Unated Nations Convention to Combat Desertification. In those Countries Experiencing Serioous Drought and/or Desertification, particulary in Africa. Interim Secretariat for the Convention to Combat Desertification. Geneve Executive Center-C.P.76-1219. Chatelaine/Geneve. 71 p.

Школьник И.М., Мелешко В.П., Ефимов С.В., Стафеева Е.Н. 2012. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI века: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО // Метеорология и гидрология. № 2. С. 5-23.

Thornthwaite C.W. An approach toward a rational classification of climate // Geographical Review. 1948. Vol. 38. No. 1. P. 55-94.

Shkolnik I.M., Nadyozhina E.D., Pavlova T.V., Molkentin E.K., Semioshina A.A. 2010. Snow cover and permafrost evolution in Siberia as simulated by the MGO regional climate model in the 20 and 21 centuries // Environmental Research Letters. Vol. 5. № 1. P. 1-8.

World Atlas of Desertification. 1992. UNEP. London: Edward Arnold. 63 p.

REGIONAL MODEL ASSESSMENT OF HUMIDIFICATION OF DRYLAND OF RUSSIA IN 2011-2030

© 2013. E.A. Cherenkova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences
Russia, 119017 Moscow, Staromonetnyi per., 29. E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru

The projected climate and moisture condition change of dry land of Russia is studied based on the results of numerical simulations on the RCM MGO during the period 2011-2030 compared to the last two decades of 20-th century. It is revealed that warming of the territory is projected at annual average of 0.6°C and Summer average of 0.4°C (May to August); and precipitation increase over most of the territory will not exceed 10%.

It is expected that a draining will be on the almost all European dry lands of Russia in the period 2011-2030. The model results are consistent with the trend of changes in moisture of the arid lands of Russia using weather stations data. Thus, the currently formed trend could be sustained. It is expected the continuous wetting in the Asian drylands according to Regional model.

Keywords: moisture index, precipitation, evapotranspiration, regional climate model RCM MGO, drylands.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 70-76

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК: 574.9

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОТОНА ПОБЕРЕЖЬЯ ПЕРЕСЫХАЮЩЕГО ОЗЕРА БУЛУХТА (СЕВЕРНЫЙ ПРИКАСПИЙ)

© 2013 г. М.Б. Шадрина*, А.В. Быков, А.В. Колесников**, Н.П. Шабанова****

**Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333 г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: shadrim@gmail.com
***Институт лесоведения РАН*
Россия, 143030 Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21.
E-mail: a.v_bykov@mail.ru

Поступила 16.08.2012

На базе натурных данных изучена пространственная структура природных комплексов на побережье озера Булухта, расположенного в северной части Прикаспийской низменности и имеющего непостоянный уровень. Выявлены закономерности состава и структуры почвенно-растительного покрова, особенности сезонной динамики уровня и минерализации грунтовых вод. Показаны возможности использования экотонной концепции как методического подхода к изучению структурно-функциональной организации и динамики почвенно-растительного покрова побережий водоемов с меняющимся уровнем в условиях аридного климата.
Ключевые слова: экотон, структурно-функциональная организация, динамика экосистем, почвенно-растительный покров, комплекс, видовое богатство.

Озеро Булухта выбрано в качестве объекта для комплексных географических исследований благодаря уникальности и малой изученности экосистем его побережий. Кроме того, исследователей природы региона всегда привлекала внимание роль кустарниковых сообществ (в том числе тамарисковых), распространенных на побережьях озер, в поддержании разнообразия компонентов экосистем, а также их роль в современной пространственно-функциональной организации экотонной системы «вода-суша» и изменениях, обусловленных как естественными, так и антропогенными факторами (Быков, 2013). Интерес к тамарисковым сообществам обусловлен также и тем, что они отнесены к экологическим реликтам Прикаспийской низменности, представляющим псаммофитную или луговую стадии сукцессий зарастания побережий Каспия (Димеева, 2011). В связи с этим целью исследования определено изучение особенностей пространственно-функциональной организации экосистем побережья озера Булухта, в которых представлены сообщества тамариска рыхлого (*Tamarix laxa* Willd).

Район исследований

Озеро Булухта расположено в северной части Прикаспийской низменности (Волго-Уральское междуречье), представляющей собой наклоненную к югу пологую равнину, осложненную сухими руслами, широкими балками, озерными котловинами, элементами солянокупольной тектоники (Ландшафтная карта СССР, 1987). Этот водоем остаточно-эрозионного происхождения, имеет сложную конфигурацию побережья, неглубоко расчлененного оврагами и местами осложненного понижениями суффозионно-карстового происхождения. Он располагается в пределах территории среднехвалынской стадии трансгрессии Каспийского моря с высотными отметками морских террас в +22, +16 и +6 м, отличающейся сложным сочетанием форм рельефа и отложений древних морских террас и более поздней аллювиально-эрозионной аккумуляции (Доскач, 1979; Рычагов, 1997; Маев, Чепалыга, 2002). Береговая линия на топографических картах обозначается горизонталью +16.7 м.

Питание озера осуществляется, в основном, за счет атмосферных осадков. Имея большой водосбор, оно заполняется весной, после таяния снега, но к лету большая часть его дна освобождается от воды и представляет собой мокрый солончак. Небольшая непересыхающая его

часть – мелководный горько соленый водоем. Самый высокий уровень воды в озере достигается не каждый год и зависит от снежности года и от условий весеннего снеготаяния.

В ботанико-географическом отношении территории, прилегающие к озеру Булухта, находятся на границе ксерофитно-полукустарничковых Северотуранских (Прикаспийских) пустынь, с преобладанием таких галофильных видов, как кокпек (*Atriplex cana* C.A.Mey), кермек полукустарниковый (*Limonium suffruticosum* (L.) O. Kuntze), галимиона бородавчатая или обиона (*Halimione verrucifera* (Bieb.) Aellen), сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb) и полукустарничково-дерновиннозлаковых опустыненных степей Евразиатской степной области (Карта растительности Европейской части СССР, 1974) с участием полыней и ковылей (*Artemisia lerchiana* Web., *Stipa lessingiana* Trin&Rupr.).

Материалы и методы

При сборе натурного материала использовали метод трансект на основе инструментального топо-экологического профилирования, что позволяет связать точки наблюдений с урезом воды водоема, высотной отметкой берегового уступа, рельефом, а все данные комплексных исследований – друг с другом. В ходе полевых работ для изучения зоологических комплексов, растительного и почвенного покрова использовались стандартные методики зоологических, почвенных и ботанических полевых маршрутных наблюдений с последующей камеральной обработкой.

При обработке экспериментальных данных для выделения функциональных блоков экотонной системы «вода-суша» использовались представления и методические приемы, рекомендованные для изучения побережий водоемов (Залетаев, 1997; Новикова, Волкова, 2011).

При использовании концепции блоковой структуры экотона, применялись стандартная терминология и понятийный аппарат, предложенные В.С. Залетаевым (1977) и развитые в последующих работах для естественных и искусственных водоемов аридных регионов (Новикова, 2006; Уланова, 2006). Собственно водоем представляет собой *аквальный* блок. На побережье выделяется 4 структурных блока экотона вода-суша: *амфибиальный* – полоса мелководий, через которую происходит прямой контакт воды и суши, *динамический* – территория, испытывающая регулярное или периодическое затопление. В пределах этого блока выделяется *флуктуационный*, который характеризуется ежегодным заливанием. Внешней границе динамического блока или границе между этим блоком и следующим далее вверх по рельефу, – *дистантным*, на местности соответствует высотная отметка территории, заливаемая в максимальные паводки. В дистантном блоке условия среды биотопов обусловлены изменением режима грунтовых вод, поэтому его внешней границе соответствуют высотные отметки, на которых грунтовые воды опускаются от поверхности глубже 3 (5) м и перестают участвовать в почвообразовательном процессе, становясь недоступными для основной массы растений. Завершает ряд *маргинальный* блок. Реакция биокомплексов в этом блоке также запаздывающая по отношению к уровню водоема и определяется влиянием процессов, происходящих как в водоеме, предыдущих блоках, так и на водосборе. В маргинальном блоке господствуют виды, характерные для плакорных, зональных биотопов, но при этом они могут иметь повышенный габитус; в растительных сообществах может быть выше общее проективное покрытие и число видов.

На восточном побережье озера в пределах зоны распространения тамарисковых сообществ были заложены 2 топо-экологических профиля, на которых предполагалось последовательно рассмотреть закономерности изменения видового богатства, пространственной структуры растительного покрова, почв в направлении от днища озера (от уреза воды весной) до предполагаемого условного плакора. Один профиль (Б1) – на абразионном участке побережья с хорошо выраженным уступом при переходе от задернованной части берега к солончаковому дну. Здесь тамарисковые сообщества представлены одной узкой полосой (шириной 10-15 м) невысоких кустов, с практически отсутствующим травяным ярусом. Второй профиль (Б2) заложен на выположенном аккумулятивном участке, без берегового уступа, в ложбине временного стока из обширного лиманообразного понижения – современного урочища Малая Булухта, расположенного к востоку от озера. Здесь тамарисковые сообщества представлены обширными участками – полосами шириной 80-100 м, с высокими (до 3 м) разросшимися кустами и хорошо развитым травяным ярусом.

Профили были заложены весной, в начале мая 2012 г. и отражают ситуацию после весеннего половодья. Наблюдения на профилях были повторены в осенний период того же года, в начале октября.

Результаты и обсуждение

Профиль Б1 начинается от линии, очерчивающей распространение растительности – от границы между амфибиальным и динамическим блоками, от отметки 16.6 м и тянется до второй террасы, на которой представлены фоновые природные комплексы, до высотной отметки 21.4 м, его длина 280 м. Превышение составляет 4.8 м, высота берега 1.04 м. Профиль привязан к триангуляционной вышке (22.3 м н.у.м.) и его высоты представлены в абсолютных значениях. Уровень грунтовых вод на начало мая соответственно 1.34 м на 1 террасе и 4.02 м на второй террасе, и на начало октября 1.7 м на первой террасе и 4.63 м на второй. На профиле в соответствии с рельефом, растительностью и положением грунтовых вод выделены пять структурных блоков экотоннной системы «вода-суша» (рис. 1, табл.). Амфибиальный блок представлен солончаком сульфидным, абсолютно лишенным растительности. Поэтому внешняя его граница хорошо маркируется по распространению растительности. Вглубь озера он плавно переходит в аквальный. Граница между ними постепенная и ее положение меняется в зависимости от количества, в основном, весенних паводковых вод. Изучать ее в полевых условиях технически сложно. В дальнейшем для водоема с непостоянным уровнем представляется эффективным использование дистанционных методов – для изучения динамики границы между аквальным и амфибиальным блоками по разногодичным снимкам. В данных исследованиях подробно амфибиальный и аквальный блоки нами не рассматривались.

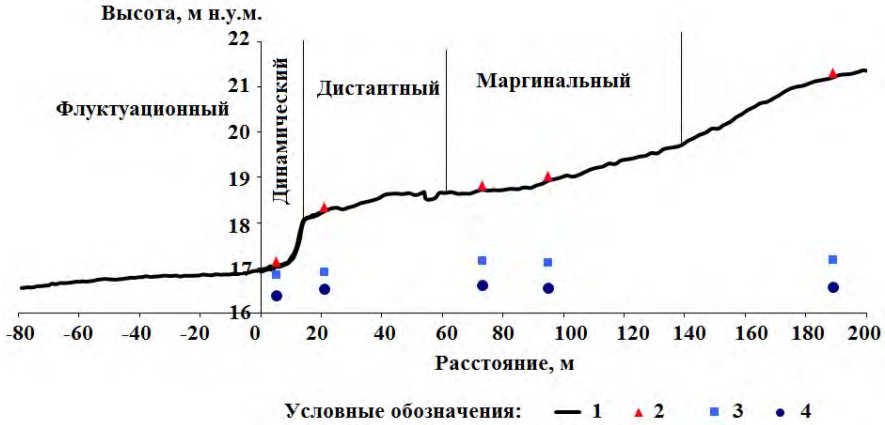


Рис. 1. Топо-экологический профиль Б1 и расположение выделенных блоков. Условные обозначения: 1 – рельеф поверхности, 2 – точки наблюдений, 3 – положение УГВ весной, 4 – положение УГВ осенью.
Fig. 1. Topo-ecological profile B1 with determined blocks.1- Profile in elevation, 2 – Research points 3 – Groundwater level in spring, 4 – Groundwater level in fall.

Флуктуационный блок, являющийся частью динамического, представлен разреженными однолетнесолянковыми (*Salicornia europaea* L., *Suaeda salsa* (L.) Pall.) сообществами пологого днища озера, заливаемого ежегодно в весенний период и обсыхающего к началу июня (рис. 1, табл.). Протяженность этого блока вглубь озера 100-120 м, при снижении высоты поверхности на 40 см. Наиболее точно граница блока определяется в осенний период, когда уровень воды в течение длительного периода остается стабильным, а однолетние галофиты достигают своего максимального развития на освободившихся от воды участках дна.

Далее флуктуационный блок переходит в собственно динамический, периодически заливаемый, что индицируют разногодичные полосы наносов прибойной полосы, остающиеся на поверхности земли. Растительность представлена тамарисковыми сообществами с участием в травяном покрове многолетников. Ширина его колеблется от 10 до 20 м. Внешняя граница хорошо маркируется как зоной распространения кустарников, так и береговым уступом. В пределах днища тамарисковые сообщества сомкнуты, тамариски достигают высоты 1.30-1.50 м, травяный покров представлен

разреженным сообществом сведы солончаковой (*Suaeda salsa* L. Pall.) иногда с участием кермека широколистного (*Limonium latifolium* (Smith)O.Kutze) и обионы. Почвы – солончак глеевый гумусово стратифицированный. Грунтовые воды на глубине 0.19 м весной и осенью 0.72 м. Минерализация грунтовых вод очень высокая, приближается весной к рассолам (47.14 г/л), а осенью существенно ниже (25.93 г/л; рис. 1, табл.). Далее по склону тамариск представлен отдельными кустами, высотой 50 см, травяный покров также разрежен, но видовой состав богаче. В основном, это обиона, кермек полукустарниковый, полынь сантонинная (*Artemisia santonica* L.). Поверхность первой приозерной террасы занимает дистантный блок. Его ширина около 40-50 м, растительность представлена разнотравно-галофитнополукустарничковыми (*Galium aparine* L., *Descurainia sofia* (L.) Webb ex Prantl, *Lamium paczoskianum* Worosch., *Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort, *Silene spp.*, *Artemisia santonica* L., *Halimione verrucifera* (Bieb.) Aellen, *Atriplex cana* C.A. Mey, *Limonium suffruticosum* (L.) O. Kuntze) сообществами на солонце светлогумусовом квазиглееватом маломощном солончаковом. Грунтовые воды здесь находятся на глубине 1.34 м (весной) и 1.58 м осенью, засоление высокое, соответственно 34.13 и 26.31 г/л. Почвы отличаются хорошей промытостью верхних горизонтов 20-25 см и резким увеличением содержания солей ниже по профилю (рис. 2).

Таблица. Легенда к профилю Б1. **Table.** Legend to the profile Б1.

Компоненты экосистем в блоках	Блоки и их протяженность, м				
	Флуктуационный, 100	Динамический, 14	Дистантный, 55	Маргинальный, 60	Фоновый
УГВ, м		0.19/0.72*	1.34/1.58	1.81/2.38	4.02/4.40
Минерализация, г/л		47.14/25.93	34.13/26.31	19.08/18.44	нет
Почвы	Солончак глеевый	Солончак глееевый гумусово-стратифицированный	Солонец светлогумусовый квазиглееватый маломощный солончаковый	Солонец светлый мелкий солончаковый	Солонец светлый мелкий солончаковатый
Сообщества	Солеросовое *(Salicornia europae)* с участием *Suaeda salsa*	Тамарисковое *(Tamarix laxa)*+ разреженное однолетнесолянково-обионовое сообщество (*Halimione verucifera-Suaeda salsa-Salicornia europae*)	Разнотравно (*Galatella villosa-Artemisia santonica, A. lerchiana*)–галофитнополукустарничковое (*Atriplex cana-Halimione verrucifera-Limonium suffruticosum)* с участием сарсазана *Halocnemum strobilaceum*)	Злаково (*Agropyron desertorum, Leymus racemosus, Poa bulbosa)*-полынная *(Artemisia lerchiana-A. santonica*) с участием *Halimione verrucifera* и *Limonium platyphyllum*	Злаково (*Agropyron desertorum, Leymus ramosus*)-прутняково *(Kochia prostrata)*-ромашниково *(Tanacetum achilleifolium)*-полынная (*Artemisia lerchiana, A. santonica*).
Количество видов	3	10	26	8	13

Примечание к таблице: * – в числителе данные для весеннего периода, в знаменателе – для осеннего.
Note to Table: * – in the numerator data for the spring period, in the denominator – for the autumn period.

В пределах этого блока очень заметна активная деятельность грызунов, следствием чего является мозаичность растительного покрова. На фоне разнотравно-галофитнополукустарничковых сообществ пятнами по норным системам разного возраста встречаются сообщества грудницы волосистой (*Galatella vilossa* (L.) Reincheb.f.), типчака (*Festuca valesiaca* Gaudin), мятлика луковичного (*Poa bulbosa* L.), лебеды татарской (*Atriplex tatarica* L.), костра кровельного (*Anizantha tectorum* (L.) Nevski). Здесь отмечено наибольшее количество видов в сравнении с другими участками профиля, в

том числе и наибольшее участие эфемеров (рис. 3). Внешняя граница со следующим блоком также хорошо маркируется по распространению галофитных полукустарничков и бурьянистому характеру растительного покрова в целом.

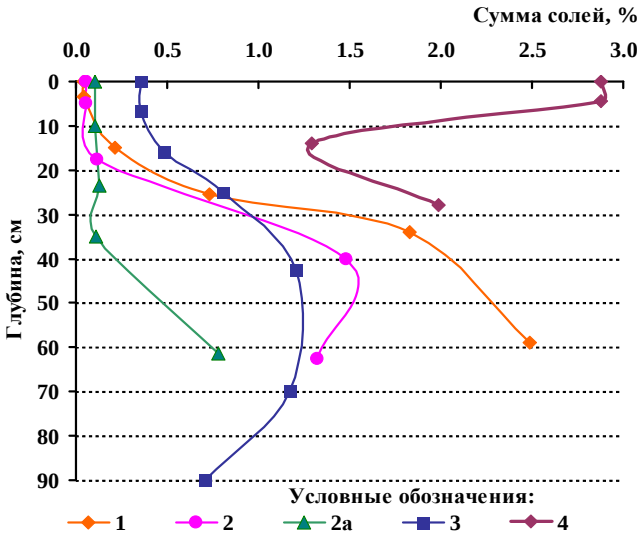


Рис. 2. Содержание легкорастворимых солей в почвах разных блоков экотона «вода-суша» на профиле Б1 в весенний период. Условные обозначения на графике, блоки: 1 – дистантный, 2 – маргинальный, 2а – маргинальный под колонией грызунов, 3 – фоновые сообщества, 4 – динамический блок. **Fig. 2.** Freely soluble salts in ecotone blocks‘ soiles (prof.B1) for spring time: 1 – Distant block, 2 – Marginal block, 2a – Marginal block, under rodents colony, 3 – Zonal communities, 4 – Dynamic block.

Маргинальный блок имеет протяженность порядка 100 м, занимает пологий склон. УГВ меняется здесь от 1.81 м в мае до 2.38 м в октябре. Минерализация значительно меньше по сравнению с предыдущем блоком. При этом она также уменьшается, но незначительно – от 19.08 г/л до 18.44 г/л весной и осенью соответственно. Растительный покров представлен злаково (*Agropyron desertorum, Leymus ramosus, Poa bulbosa.*) – полынными сообществами (*Artemisia lerchiana, A. santonica*) с участием обионы и кермека широколистного на солонце светлом мелком солончаковатом в комплексе со злаковыми (*Agropyron desertorum, Poa bulbosa*) с участием полыней (*Artemisia santonica, A. lerchiana*), грудниц волосистой и татарской (*Galatella vilossa, G. tatarica),* обионы на солонце светлогумусовом среднемощном по старым зоогенным системам. В этом блоке на доступность грунтовых вод для растений указывает как наличие фреатофитов, так и повышенная жизненность основных видов растений, в том числе злаков и весной, и в середине лета.

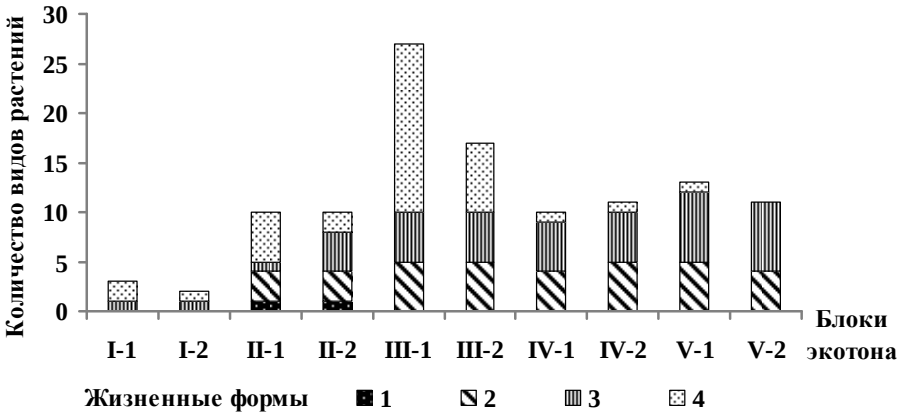


Рис. 3. Количество видов (на оси ***y***) и основные жизненные формы (на оси ***x*:** 1 – кустарники, 2 – полукустарнички, 3 – многолетники, 4 – однолетники) в блоках экотона. Условные обозначения. Подписи по оси X: римская цифра – номер блока (I – амфибиальный, II – динамический, III – дистантный, IV – маргинальный, V – фоновые сообщества); арабская цифра через тире – номер профиля (1 – профиль Б1, 2 – профиль Б2). **Fig. 3.** Species quantity (OY) and main life forms (OX: 1 – shrubs, 2 – dwarf semishrubs, 3 – perennial plants, 4 –annuals plants) for ecotone blocks (OX: I – Fluctuating, II – Dynamic, III – Distant, IV – Marginal, V – Zonal communities; 1 – profile B1 and 2 – profile B2).

В условиях аккумулятивного типа берега, который представлен на профиле Б2, прослеживаются такие же закономерности в последовательности и строении блоков экотонной системы побережья.

Некоторые отличия заключаются в том, что грунтовые воды находятся несколько выше к поверхности, менее минерализованы чем ГУ на профиле Б1. Почвы менее промыты с поверхности, хотя количество и характер распределения солей по почвенным профилям сходен по блокам на обоих профилях. Растительный покров характеризуется при практически том же составе доминантов-полукустарничков и многолетников, меньшим количеством видов в целом и наличием луговых галофильных видов в динамическом и дистантном блоках.

Наибольшие отличия характерны для динамического блока, который представлен достаточно широкой бугристой полосой порядка 100 м, на которой сменяются тамарисковые и тростниково (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)–тамарисковые сообщества с хорошо развитым ярусом из обионы, сарсазана, кермека на солончаке глеевом. Флуктуационный блок представлен узкой (20 м) полосой монодоминантного тростникового сообщества.

На обоих профилях маргинальный блок переходит в фоновую растительность – комплекс злаково-полукустарничковых (ромашник, прутняк, полынь лерха) и дерновиннозлаковых (типчак, ковыль) сообществ (рис. 1, табл.). УГВ более 4 метров, сезонная динамика составляет 40-50 см, минерализация порядка 20 г/л, практически не меняется в течение сезона.

Таким образом, растительный покров экотона «вода суша» представлен пространственным рядом сообществ от кустарниковых(тамариск) и полукустарничковых пустынных сообществ с доминированием таких галофильных видов как кокпек, обиона, кермек полукустарниковый, образующих подушковидные формы к комплексным полукустарничковым сухим степям с доминированием ромашника, полыни лерха, прутняка стелющегося и дерновинных злаков (ковыля Лессинга, типчака, остреца) -фоновых сообществ, близких к зональным на второй приозерной террасе. В динамическом и дистантном блоках преобладают представители семейства маревых, маргинальный блок характеризуется доминированием многолетних злаков, сложноцветных при значительном участии маревых. Фоновые сообщества отличает доминирование представителей семейства сложноцветных и злаков.

Тамарисковые сообщества приурочены на обоих профилях к динамическому блоку, периодически заливающемуся, что индицируют полосы наносов. В пределах абразионного берега блок выражен узкой полосой, с сильным засолением грунтовых вод, с резко меняющимся УГВ от весны к осени и достаточно высоким засолением поверхностного слоя почвы. Ширина динамического блока в пределах аккумулятивного берега на порядок больше, уровень грунтовых вод меняется незначительно, минерализация в два раза меньше, чем для этого же блока в пределах абразионного берега, но также уменьшается к осени. Однако, степень засоления верхних горизонтов и характер распределения солей по профилю сходный для обоих типов берегов.

Динамика УГВ и минерализации грунтовых вод, в целом, на профилях имеет следующие особенности: УГВ снижается к осени на обоих участках берега, причем значительней в динамическом и маргинальном блоке в пределах абразионного берега. Минерализация грунтовых вод наиболее высокая в пределах динамического и дистантного блоков на обоих профилях. К осени она уменьшается практически везде: наиболее значительно (в 2 раза) она уменьшается в пределах динамического и дистантного блоков. В маргинальном блоке она уменьшается незначительно, и даже незначительно повышается на участках разновозрастных колоний грызунов. На участках фоновых природных систем минерализация грунтовых вод при незначительном уменьшении глубины залегания имеет тенденцию не меняться в течение сезона. В целом, минерализация грунтовых вод выше в пределах экотона абразионного берега, при этом они находятся глубже. На солевых графиках почвенного профиля по блокам экотона прослеживается тенденция большей промытости верхнего 20 см слоя почвы на профиле Б1 за исключением динамического блока. Т.е. при меньшей минерализации грунтовых вод на профиле в пределах аккумулятивного берега, засолённость верхних горизонтов почвы выше.

Выводы

На горькосолёном озере Булухта, характеризующемся кратковременным заливанием побережья весной и резким обсыханием солончакового дна в летний период, выявлены все структурно-функциональные блоки экотонной системы «вода-суша» от аквального до маргинального, постепенно переходящего в фоновые природные системы.

К ведущему – водному фактору здесь присоединяется засоление. Высокая минерализация характерна для неглубоко залегающих грунтовых вод и, как следствие, солевые профили почв динамического и дистантного блоков имеют также повышенное засоление с поверхности и резкое увеличение на глубине. Растительность представлена преимущественно галофильными сообществами. Наиболее благоприятные экологические условия – менее минерализованные грунтовые воды (15-18 г/л), промытость от солей верхних корнеобитаемых горизонтов почвы, преобладание в растительном покрове дерновинных злаков (житняк, острец, типчак, ковыль), характерны для маргинального блока, не имеющего гидрологической связи с водоемом.

Тамарисковые сообщества распространены в динамическом блоке, для которого характерно ежегодное кратковременное заливание в половодье, близко залегающие наиболее минерализованные грунтовые воды (30-50 г/л), резко меняющие глубину и минерализацию в течение сезона, и наиболее засолённые как с поверхности, так и по всему профилю, почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Быков А.В., Бухарева О.А., Колесников А.В. 2013. Воздействие пожаров на естественные терновники озерных депрессий Прикаспийской низменности // Лесоведение. № 2. С. 31-37.

Димеева Л.А. 2011. Закономерности первичных сукцессий Каспийского побережья // Аридные экосистемы. Т. 17. № 3(48). С. 49-63.

Доскач А.Г. 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 142 с.

Залетаев В.С. 1997. Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере. М.: РАСХН. С.11-29.

Карта растительности Европейской части СССР. 1974. М 1:2 500 000 / Под ред. Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. М: ГУГК. 6 Листов.

Ландшафтная карта СССР. 1987. М 1: 2500000 / Под общ. ред. И.С. Гудилина М: ГУГК. 16 Листов.

Маев Е.Г, Чепалыга А.Л. 2002. Каспийское море // Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. Вып. 11. Общая палеогеография / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС. С. 182-191.

Новикова Н.М., Волкова Н.А. 2011. Методика сбора и анализа натурных данных для выделения границ и комплексной характеристики структурно-функциональных блоков экоктона // Экотонные системы «Вода-суша»: методика исследований, структурно-функциональная организация и динамика. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 16-34.

Новикова Н.М. 2006. Достижения и задачи в изучении экотонных систем ”вода-суша” // Аридные экосистемы. Т. 12. № 30-31. С. 12-19.

Уланова С.С. 2006. Применение экотонной концепции для оценки биоразнообразия, формирующегося в зоне воздействия искусственных водоемов Калмыкии // Аридные экосистемы. Т. 12. № 30-31. С. 97-106.

Рычагов Г.И. 1997. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ. 267 с.

SPATIAL FUNCTIONAL ORGANIZATION OF ECOTONS ON THE SHORES OF INTERMETENT LAKE BULUHKTA(NORTH CASPIAN LOWLAND)

© 2013. M.B. Shadrina*, A.V. Bykov, A.V. Kolesnikov**, N.P. Shabanova****

**Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*
Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3. E-mail: shadrim@gmail.com
***Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences*
Russia, 143030 Moscow area, Uspenskoe, Sovetskaja str., 21. E-mail: a.v_bykov@mail.ru

Spatial organization of nature systems on shores of lake Bulukhta with variable water level (North Precaspian lowland) was examined on the base of field investigations. Regularities of soil-vegetation cover composition and spatial structure, peculiarities of water-table seasonal dynamic and mineralization were determined. Capabilities of ecoton concept as a methodological approach in investigations of soil-vegetation cover spatial and functional organization and dynamic for shores of lakes with variable water level under arid climate conditions were presented.

Keywords: ecoton, spatial and functional organization, ecosystems dynamic, soil-vegetation cover, complex, species weald, groundwater mineralization.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 77-85

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.48 (571.54)

ПОЧВЫ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ БАРГУЗИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ[1]

© 2013 г. В.И. Убугунова*, **, Ю.А. Рупышев*, В.Л. Убугунов*, Э.Г. Цыремпилов**

**Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН*
Россия, 670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mai: ubugunova57@mail.ru
***Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова*
Россия, 670024 г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, д. 8. E-mail: enhetsyrempilov@mail.ru

Поступила 17.09.2012

Изучено разнообразие и морфогенетическое строение, а также дано классификационное положение песчаных почв Баргузинской котловины. Результаты исследований позволяют понять особенности функционирования экосистем песчаных массивов, оптимизировать их хозяйственное использование, что важно для классификации песчаных почв Внутренней Азии.
Ключевые слова: пески, почвы песчаных массивов, морфология, физико-химические свойства, классификация.

Песчаные почвы и пески широко распространены во всех природных зонах Азиатской части России. Значительные их площади встречаются в Забайкалье (Иванов, 1966), где они приурочены к днищам рифтогенных впадин (Муйско-Куандинской, Парамской, Верхнеангарской, Баргузинской, Нижнетуркинской, Котокельской, Тункинской, Усть-Селенгинской) и к высоким террасам рек Селенги, Чикоя, Хилки (Востокова и др., 2007). Экосистемы песчаных массивов с почвами легкого гранулометрического состава особенно чувствительны к антропогенным (вырубка лесов, лесные пожары, увеличение пастбищной нагрузки) и природным изменениям (флуктуации климата) (Востокова и др., 2007). Отмечается нарушение пространственной структуры, отчетливо проявляется развитие процессов опустынивания (Гунин, 1990).

Несмотря на значительное распространение песчаных массивов в регионе, почвы, формирующиеся на них, изучены чрезвычайно слабо. В литературе имеются материалы по водно-физическим свойствам, гидротермическому режиму каштановых эологенных почв Тугнуйской и Хилокской котловин (Цыбикдоржиев, Цыбжитов, 1999), микроморфологии песчаных почв бассейна р. Воровки (Балсанова и др., 2009), фрагментарные сведения о некоторых свойствах песчаных почв степных территорий Западного Забайкалья приведены в работах Н.А. Ногиной (1956). Несмотря на существенные различия морфологического строения и свойств, песчаные почвы рассматриваются на уровне подтипов каштановых почв (Почвы Баргузинской …, 1983); либо выделяют их внутри типа каштановых почв по степени дефлированности (Меркушева, 2012). Наиболее сложной является диагностика песчаных почв, приуроченных к толщам песчаных отложений межгорных впадин (высоты 500-800 м), на которых произрастают сосняки. Характерной их особенностью является присутствие большого числа степных растений, псаммофитов, но типичны и лишенные растительности бугры и котловины выдувания. Структурная организация почвенной толщи практически не выражена, имеются лишь генетические признаки того или иного процесса. В литературе они описаны под разными авторскими названиями: серая дерновая, лесная дерновая, дерново-серая, боровые пески и др. (Цыбжитов, 1971; Болонева, Корсунов, 2008; Балсанова и др., 2009).

Направленных исследований по изучению песчаных почв региона до настоящего времени не проводилось, нет материалов по их разнообразию, систематике и классификации. Поэтому целью исследований явилось изучение разнообразия и свойств почв Лесного, Верхнего, Нижнего и

[1] Работа поддержана проектами СО РАН 4.13 «Структурные и динамические изменения экосистем Южной Сибири и комплексная индикация процессов опустынивания, прогнозные модели и системы мониторинга» и 23.11 «Инвентаризация экосистем».

Сувинского песчаных массивов Баргузинской котловины, установление их квалификационного положения.

Объекты и методы

В основу статьи положены результаты исследований (2007-2011 гг.), проведенных в одной из крупнейших котловин Забайкалья – Баргузинской. Протяженность ее с юго-запада на северо-восток свыше 200 км, ширина около 36 км, высота днища от 470 до 600 м н.у.м. Эта территория представляет собой уникальный «остров» степных ландшафтов среди горной тайги. Она расположена между Баргузинским и Икатским хребтами и представляет собой мощный тектонический прогиб, значительно осложненный сбросовыми явлениями. Климат Баргузинской котловины резко континентальный. Среднегодовая температура отрицательная. Количество атмосферных осадков очень низкое (150-280 мм). Характерен выраженный максимум летнего выпадения осадков, сухость зимне-весеннего периода.

Объектом исследований явились почвы песчаных увалов высотой от 30-50 до 160-180 м, простирающихся вдоль подножья Икатского хребта (рис.). Они протянулись с севера на юг котловины, ограничены между собой реками Гарга, Аргада, Улан-Бурга, Ина, образуя Лесной, Верхний, Нижний и Сувинский куйтуны[2]. Формирование мощных песчаных толщ связывают с озерными условиями седиментации при ингрессии вод Байкала в эоплейстоцене и среднем неоплейстоцене (Мац и др., 2001), а также с лимно-флювиогляциальными и эоловыми факторами аккумуляции (Кривоногов, 2010). Эти морфоструктуры сложены мощной толщей песчаного материала и состоят из семи эрозионно-аккумулятивных и аккумулятивных террасовых уровней, которые в мезорельефе проявляются в эоловых грядово-бугристых формах: дюнах, котловинах выдувания и ветровых останцах (Коломиец, 2010).

При изучении использовались сравнительно-географические, морфологические, физико-химические, агрохимические методы (Агрохимические методы …, 1975). Классификационное положение почв и номенклатуру почвенных горизонтов приводили по «Классификации почв России» (2004) и «Полевому определителю почв России» (2008).

Результаты и обсуждение

Проведенные почвенно-ботанические исследования показали, что почвы песчаных массивов находятся на разных стадиях развития – от свежего, едва затронутого процессами почвообразования песка, до почв, далеко ушедших по пути эволюции.

На подвижных или слабо закрепленных песках растительность представлена пионерными группировками, сложенными преимущество *Oxytropis lanata* (Pall.) DC., однолетниками (*Chamaerhodos grandiflora* (Pallas ex Schultes) Bunge, *Corispermum sibiricum* Iljin), псаммофильными видами (*Bromopsis korotkoviji* (Drobov) Holub, *Acogonon bargusinense* (Peschkova) Sojak, *Carex sabulosa* Turcz. ex Kunth, *Leymus racemosus* (Kar. et Kir.) Tzvelev). Псаммофиты могут образовывать моно- и поливидовые группировки. Усиление экстремальности условий приводит к упрощению их состава. Чаще всего на подветренных склонах бугров и днищах котловин отмечаются относительно высокорослые монодоминантные группы, состоящие из *Acogonon bargusinense, Carex sabulosa, Leymus racemosus.* Наветренные склоны могут быть вовсе оголены или на них отмечаются несомкнутые группы растений с низкорослым *Thymus baicalensis* Serg., *Thymus pavlovii* Serg. и/или *Chamaerhodos grandiflora*.

Пионерные растительные группировки на слабозакрепленных песках распространены преимущественно на почвах первичного ствола. Песчаные отложения однородные, характеризуются преобладанием мелко- и среднепесчанных фракций (табл. 1). По морфологическому строению профиля (W-C¨, W-C^^) отчетливо видно, что признаки почвообразовательного процесса в этих почвах практически не выражены. Поверхностный маломощный (2-3 см) слабоокрашенный органическим веществом горизонт характеризуется начальной стадией аккумуляции гумуса. Почвы имеют слабощелочную реакцию среды, низкую емкость катионного обмена, окарбоначены (табл. 2).

[2] Местное название обширных песчаных массивов. *Примеч. ред.*

По морфологическому строению и свойствам эти почвы отнесены к отделу слаборазвитых почв первичного ствола почвообразования к псаммоземам гумусовым (W-C¨) и слоисто-эоловым гумусовым (W-C^^) типам почв.

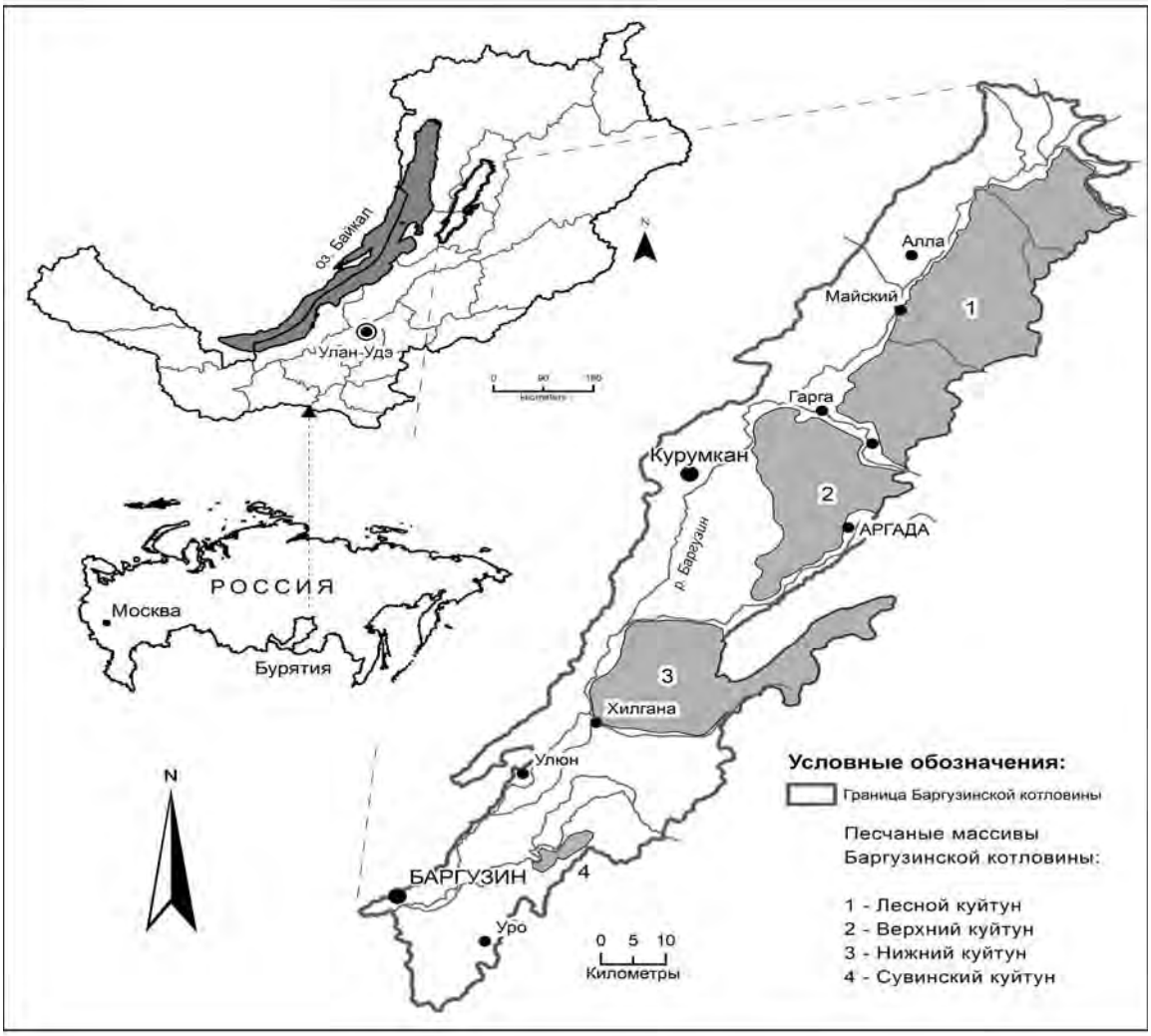


Рис. Географическое положение песчаных массивов Баргузинской котловины. **Fig.** Geographical location of sandy area of Barguzin Hollow.

Следующей ступенью развития почв являются почвы с выраженным чередованием песчано-супесчаных эоловых горизонтов. На стратифицированных массивах песков распространены степи с доминированием *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Roshev. Они находятся в окружении зональной ковыльной степи, поэтому в их составе довольно часто присутствуют *Stipa krylovii* Roshev., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Potentilla bifurca* L., *Stellera chamaejasme* L.. Неустойчивость субстрата и влияние выпаса скота проявляется в наличии сорных видов, таких как *Artemisia vulgaris* L. с заметной ролью малолетников: *Heteroppapus biennis* (Ledeb.) Tamamsch. ex Grub., *Chamaerhodos grandiflora*, *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.

Морфологическое строение этих почв.

Разрез ТВК 6А (54.329° с.ш.; 110.509° в.д.) заложен на высоте 543 м н.у.м. в северо-западной части Верхнего Куйтуна. Почва – стратозем светлогумусовый эолово-аккумулятивный на светлогумусовой почве.

RJaelC^^ 0-25(33) см. Светло-серый, увлажненный, песчаный, бесструктурный, рыхлый, встречаются единичные корни, вскипает от HCl; переход резкий, выражен по цвету, гранулометрическому составу и содержанию гумуса, граница ровная.

RJael 25(33)-40 см. Каштановый, увлажненный, песчаный, бесструктурный, рыхлый, встречаются единичные корни, вскипает от HC1; переход постепенный, выражен по цвету, вскипаемости от HCl, граница ровная.

[AJ] 40-48(54) см. Светло-каштановый, увлажненный, песчаный, бесструктурный, рыхлый, встречаются единичные корни, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету и вскипанию от HC1, граница ровная.

C¨ 48(54)-120 см. Желто-коричневый, увлажненный, песчаный, бесструктурный, уплотнённый, встречаются единичные тонкие корни, вскипает от HCl.

Таблица 1. Гранулометрический состав песчаных почв Баргузинской котловины. **Table 1.** Granulometric composition of sandy soils of Barguzin Hollow.

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций (мм), %						
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01
Псаммозем гумусовый отдела слаборазвитых почв первичного ствола (ТНК 10-2)								
W	0-3	30	60	6	2	1	1	4
C¨	3-40	35	59	4	0	1	1	2
Стратозем светлогумусовый эолово-аккумулятивный на светлогумусовой почве отдела стратоземов синлитогенного ствола (ТВК 6А)								
RJaelC^^	0-25(33)	15	75	6	1	1	2	4
RJael	25(33)-40	15	68	11	2	2	2	6
[AJ]	40-48(54)	16	67	11	1	3	2	6
C¨	48(54)-120	8	72	11	2	4	3	9
Серогумусовая ожелезнённая остаточно карбонатная почва отдела органо-аккумулятивных почв постлитогенного ствола (ТВК 7)								
AY	0-4(10)	1	26	55	8	5	5	18
AYC¨	4(10)-29	2	29	53	6	5	5	16
C¨	29-46(49)	3	55	30	4	3	5	12
2Cca¨	46(49)-99	3	72	17	3	3	2	8
Светлогумусовая остаточно-карбонатная почва отдела органо-аккумулятивных почв постлитогенного ствола (ТВК 10-2)								
AJ	0-7	12	70	11	2	3	2	7
AJC¨	7-35(45)	14	65	12	1	4	4	9
C¨	35(45)-64(78)	14	76	6	1	1	2	4
Cca¨	64(78)-125	14	85	1	0	0	0	0
Сероземовидная остаточно-карбонатная почва отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв постлитогенного ствола (ТВК 4)								
AJ	0-40	0	69	25	3	2	1	6
BCA	40(97)-100	0	72	19	4	2	3	9
Cca¨	97(100)-168	0	87	9	1	1	2	4
Каштановая почва отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв постлитогенного ствола (ТНК 9)								
AJ	0-26(34)	5	68	21	2	2	2	6
BMK	26(34)-51	4	62	25	3	3	3	9
1CAT	51-79	4	39	33	7	9	8	24
2CAT	79-88(92)	18	57	13	3	3	6	12
Cca	88(92)-108	43	47	4	2	0	4	6

Почвенная толща стратозема неоднородна по гранулометрическому составу. Различия проявляются по соотношению средней, мелкой и крупнопылеватой фракций (табл. 1). Механизм формирования стратифицированного материала изученных почв связан с эоловой аккумуляцией. Почвы имеют

нейтральную или слабощелочную реакцию, низкую емкость катионного обмена, не засолены, характерна аккумулятивная направленность процессов почвообразования. Мощность гумусового слоя незначительная, содержание органического вещества и азота низкое. Изученные почвы крайне слабо обеспечены подвижным фосфором и калием (табл. 2).

Таблица 2. Некоторые физико-химические и агрохимические свойства песчаных почв Баргузинской котловины. **Table 2.** Some physical, chemical and agrochemical properties of sandy soils of Barguzin Hollow.

Горизонт	Глубина, см	$pH_{водн.}$	CO_2	Гумус	N	ЕКО, мг. экв/100 г почвы	Плотный остаток, %	Подвижные формы, мг/100 г почвы	
			%					P_2O_5	K_2O
Псаммозем гумусовый отдела слаборазвитых почв первичного ствола (ТНК 10-2)									
W	0-3	8.3	0.15	0.32	0.01	7.1	0.037	1.6	1.8
Cca	3-40	8.6	0.84	0.08	0.004	3.5	0.035	0.4	1.2
Стратозем светлогумусовый эолово-аккумулятивный на светлогумусовой почве отдела стратоземов синлитогенного ствола (ТВК 6А)									
RJaelC^^	0-25(33)	7.6	1.88	0.26	0.06	8.0	0.031	1.6	2.4
RJael	25(33)-40	7.9	0.66	0.65	0.11	12.0	0.032	1.6	2.4
[AJ]	40-48(54)	7.5	н.о.*	0.61	0.10	21.6	0.019	1.6	2.4
C¨	48(54)-120	7.5	4.13	0.28	0.05	8.0	0.052	2.2	2.4
Серогумусовая почва отдела органо-аккумулятивных почв постлитогенного ствола (ТВК 7)									
AY	0-4(10)	6.3	н.о.	1.20	0.24	30	0.069	12.3	8.1
AYC¨	4(10)-29	6.5	0.18	0.62	0.13	25	0.067	11.5	7.2
C¨	29-46(49)	8.0	н.о.	0.28	0.06	13.9	0.048	2.2	2.4
2Cca¨	46(49)-99	8.2	3.29	0.21	0.04	8.0	0.044	2.0	2.4
Светлогумусовая остаточно-карбонатная почва отдела органо-аккумулятивных почв постлитогенного ствола (ТВК 10-2)									
AJ	0-7	7.0	н.о.	1.32	0.07	6.2	0.033	1.4	10.8
AJC¨	7-35(45)	7.3	н.о.	0.34	0.03	7.0	0.036	1.8	3.6
C¨	35(45)-64(78)	7.3	н.о.	0.19	0.009	7.5	0.051	1.3	3.6
Cca¨	64(78)-125	8.0	0.56	0.12	0.005	6.9	0.031	0.9	3.6
Сероземовидная остаточно-карбонатная почва отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв постлитогенного ствола (ТВК 4)									
AJ	0-40	7.6	н.о.	1.72	0.34	22.9	0.062	1.9	7.2
BCA	40(97)-100	7.9	3.66	0.46	0.08	10.0	0.056	1.6	2.4
Cca¨	97(100)-168	8.3	2.82	0.27	0.04	8.0	0.104	1.7	2.4
Каштановая почва отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв постлитогенного ствола (ТНК 9)									
AJ	0-26(34)	7.9	0.66	1.26	0.21	23.2	0.045	3.6	9.6
BMK	26(34)-51	7.9	0.32	0.86	0.16	18.6	0.036	2.4	4.8
1CAT	51-79	8.1	6.10	0.68	0.12	12.0	0.103	2.4	2.4
2CAT	79-88(92)	8.9	1.41	0.39	0.07	6.0	0.082	2.4	2.4
Cca	88(92)-108	8.8	1.41	0.28	0.04	4.0	0.067	1.9	2.4

Примечание к таблице 2: * н.о. – не обнаружено. **Note to Table**: * н.о. – no found.

По морфологическому строению, свойствам и механизму формирования стратифицированной толщи, изученные почвы отнесены к синлитогенному стволу, отделу стратоземов, типу стратоземов

светлогумусовых на погребенной почве, подтипу эолово-аккумулятивных почв.

Следующим этапом развития почв на песчаных отложениях являются почвы с ясно выраженным гумусовым горизонтом, постепенно сменяющимся в разрезе песчаной малоизмененной породой. Они наиболее часто встречаются в юго-восточной части Верхнего и западной части Лесного куйтуна. На них произрастают сосняки толокнянковые (*Pinetum arctostaphylosum*) и редкотравные (*Pinetum herbosum*). Эти леса восстанавливаются после сплошной рубки 40-летней давности. Кроме молодого жерднякового древостоя, достигающего высоты 9.9±0.5 м и сомкнутостью крон 0.6, отмечаются отдельные деревья, оставленные в качестве семенников высотой 22-24 м и диаметром 35 см. Подлесок практически не выражен, встречаются единичные кусты *Spiraea media* Franz Schmidt, тяготеющие к полянам. В травяно-кустарничниковом покрове преобладает *Aroctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel, произрастающая латками. Редкотравье представлено *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel, *Vicia pseudorobus* Fischer et Meyer, *Artemisia tanacetifolia* L. *и Pulsatilla flavescens* (Zucc.) Juz.

Морфологическое строение этих почв:

Разрез ТВК 7 (54.287° с.ш.; 110.705° в.д.) заложен на высоте 724 м н.у.м. в юго-восточной части Верхнего Куйтуна. Почва – серогумусовая ожелезнённая остаточно-карбонатная.

+1-0 см. Свежий лесной опад.

AY 0-4(10). Темно-серый, увлажненный, супесчаный, непрочно-комковатый, рыхлый, встречаются редкие корни, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету, граница волнистая, местами карманная.

AYC¨ 4(10)-29 см. Коричневато-бурый, увлажненный, супесчаный, непрочно-комковатый, рыхлый, встречаются корни деревьев, не вскипает от HC1; переход постепенный, выражен по цвету, граница ровная.

Cf¨ 29-46(49) см. Желто-коричневый, увлажненный, песчаный, непрочно-комковатый, рыхлый, встречаются тонкие корни, не вскипает от HCl; переход резкий, выражен по цвету, вскипанию от HCl, граница мелковолнистая.

2Cca¨ 46(49)-99 см. Светловато-серый, увлажненный, песчаный, непрочно комковатый, уплотнённый, встречаются тонкие корни деревьев и кустарников, бурно вскипает от HCl.

Разрез ТВК 10-2 (54.588° с.ш.; 110.846° в.д.) заложен в западной части Лесного куйтуна в 5 км восточнее поселка Майский. Почва – светлогумусовая остаточно-карбонатная.

+2-0 см. Свежий лесной опад.

AJ 0-7 см. Темно-серый, увлажненный, песчаный, непрочно-комковатый, рыхлый, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету, плотности, граница ровная.

AJC¨ 7-35(45) см. Светло-бурый, свежий, песчаный, бесструктурный, слабо уплотнён, встречаются корни деревьев различного диаметра, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету.

C¨ 35(45)-64(78) см. Серый, свежий, песчаный, бесструктурный, рыхлый, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету и гранулометрическому составу.

2Cca¨ 64(78)-125 см. Белесовато-серый, рыхлый, песчаный, увлажненный, бесструктурный, в нижней части горизонта слабо вскипает от HCl.

Изученные почвы имеют следующую систему горизонтов: AY-AYC¨-Cf¨-Cca¨ и AJ-AJC¨-C¨-Cca¨. Они диагностируются серо- или светлогумусовым горизонтом, который резко сменяется слабоизмененной почвообразующей породой. Срединный горизонт как самостоятельное генетическое образование не выражен. Общая мощность рыхлой толщи превышает 30 см. В профиле почв практически отсутствуют генетические признаки оподзоливания, элювиирования, метаморфизованности, квазиглееватости. По гранулометрическому составу изученные почвы супесчаные. Отмечается преобладание фракций среднего песка и крупной пыли (табл. 1). Распределение частиц по профилю почвы относительно равномерное. Реакция среды в гумусовом горизонте слабокислая – нейтральная, в почвообразующей породе – щелочная (8.0-8.2). Содержание гумуса, азота, обменных катионов, подвижных форм фосфора и калия низкое и очень низкое (табл. 2).

По морфологическому строению, выраженности признаков почвообразовательных процессов, физико-химическим свойствам изученные почвы отнесены к постлитогенному стволу, отделу органо-аккумулятивных почв, серогумусовому (ТВК 7) и светлогумусовому типам (ТВК 10-2).

Центральная часть песчаных массивов занята залежной растительностью. В период поднятия целины большие площади были распаханы, а естественная растительность уничтожена. Получаемые урожаи сельскохозяйственных культур с этих территорий обычно были очень низкие – 2-4 ц/га и только в наиболее влажные годы, повторяющиеся примерно раз в десятилетие, урожайность поднималась до 15-25 ц/га. В результате низкой рентабельности пашня была заброшена. В настоящее время на полях формируются полидоминантно-злаково-разнотравные и пырейные залежные сообщества. В ковыльно-холоднополынных степях заметную роль в травостое играет *Stipa krylovii* Roshev. Общее проективное покрытие этих фитоценозов колеблется от 40 до 70%. Травостой их не однородный, мозаичный. Сообщества характеризуются трех и двух ярусной структурой. Первый ярус (40-60 см) образует *Stipa krylovii*. Во втором ярусе (15-25 см) наиболее обильны *Artemisia frigida* Willd., *Chamaerhodos erecta* (L.) Bunge, *Stellaria dichotoma* L. В третьем (5-7 см) *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Potentilla acaulis* L., *Thymus baicalensis* Serg.

Для полидоминантно-злаково-разнотравных и пырейных сообществ на залежи характерен полидоминантный состав злаков: *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski, *Stipa krylovii*, *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Poa botryoides и Cleistogenes squarrosa.* Такой состав травостоя указывает на злаковую стадию восстановления растительности с вероятным возрастом залежи 20-25 лет. В пырейных сообществах на залежи преобладает длиннокорневищный злак – *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Разнотравная группа представлена бобовыми: *Melilotus suaveolens* Ledeb., *Medicago sativa* L., *Vicia cracca* L., малолетними и сорными видами: *Chamaerhohodos erecta* (L.) Bunge, *Artemisia scoparia*, *Artemisia vulgaris*, *Ixeris graminea* (Fisch.) Nakai, *Convolvulus bicuspidatus* Fischer ex Link, *Lappula squarrosa* (Retz) Dumopt., *Teloxis aristata* (L.) Moq., *Heteroppapus biennis.*

Морфологическое строения этих степных почв на песках

Разрез ТВК 4 (54.247° с.ш.; 110.538° в.д.) заложен на высоте 540 м н.у.м. в северо-западной части Верхнего куйтуна на выровненной слабонаклонной поверхности. Почва – сероземовидная остаточно-карбонатная.

AJ 0-40 см. Каштановый, влажный, супесчаный, мелко-комковатый, уплотнённый, пронизан корнями, не вскипает от HCl; переход постепенный, выражен по цвету и вскипанию от HCl, граница ровная.

BCA 40-97(100) см. Желтовато-коричневый, увлажненный, супесчаный, мелко-комковатый, уплотнённый, единичные корни, бурно вскипает от HCl; переход постепенный, выражен по цвету, гранулометрическому составу и плотности, граница ровная.

Cca¨ 97(100)-168 см. Светло-серый, свежий, песчаный, бесструктурный, слабо уплотнённый, вскипает от HCl.

Разрез ТНК 9 (53.995º с.ш.; 110.122º в.д.) заложен на высоте 534 м н.у.м. в западной части Нижнего Куйтуна на слабонаклонной поверхности. Почва – каштановая остаточно-карбонатная.

AJ 0-26(34) см. Каштановый, увлажненный, супесчаный, непрочно-комковатый, уплотнённый, пронизан корнями, не вскипает от HCl; переход ясный, выражен по цвету, обилию корней, граница языковатая.

BMK 26(34)-51 см. Желто-коричневый, увлажненный, супесчаный, плитчатой структуры, уплотнённый, не вскипает от HCl; переход постепенный, выражен по цвету, плотности и вскипанию от HCl, граница ровная (мелковолнистая).

1CAT 51-79 см. Белесый, свежий, легко суглинистый, непрочно-комковатый, плотный, встречаются единичные корни, бурно вскипает от HCl; переход заметный, выражен по цвету и плотности, граница ровная.

2CAT 79-88(92) см. Светлее вышерасположенного горизонта, свежий, легко суглинистый, бесструктурный, уплотнённый, встречаются единичные корни, бурно вскипает от HCl; переход заметный, выражен по цвету и гранулометрическому составу, граница слабоволнистая.

Cca 88(92)-108 см. Светло-коричневый с белесым оттенком, свежий, песок, бесструктурный, уплотнённый, бурно вскипает от HCl.

Песчаные почвы сухих степей с полноразвитым профилем представлены 2 типами профилей: AJ-BCA-C_{ca}¨ и AJ-BMK-CAT-Cca¨. По морфологическому строению почвы отчетливо диагностируются постлитогенным стволом светлогумусовым аккумулятивно-карбонатным отделом. Профиль сероземовидных почв характеризуется слабой цветовой и структурной дифференциацией.

Светлогумусовый горизонт сменяется аккумулятивно-карбонатным горизонтом. Ниже залегает почвообразующая порода. Каштановые почвы имеют ясную цветовую и структурную дифференциацию профиля. Характерной особенностью каштановых почв Баргузинской котловины является слабо выраженная структура горизонта ВМК, карбонаты представлены светлыми пропиточными пятнами.

Изученные почвы имеют легкий гранулометрический состав. Реакция среды в верхней части профиля слабощелочная, в нижней – щелочная. Максимальная концентрация карбонатов отмечается в сероземовидных почвах на глубине 21-40 см, а в каштановых – глубже 51 см. Содержание гумуса, валового азота, подвижных форм калия и фосфора в изученных почвах низкое (табл. 2).

Сероземовидные и каштановые почвы, в основном, используются или использовались в качестве пашни. Поэтому в зависимости от степени трансформации преобразованы в агроземы, агроземы светлые аккумулятивно-карбонатные и агроземы текстурно-карбонатные. Залежь, вспашка на которых не проводилась длительное время (более 15-20 лет), приобретают свойства постагрогенных аналогов естественных типов почв.

Проведенные исследования почв куйтунов Баргузинской котловины показали, что они сформировались на легких по гранулометрическому составу почвообразующих породах, на различных элементах рельефа, в условиях резко континентального засушливого климата. Неоднородность строения песчаных массивов обусловила формирование различных типов почв. Изучение морфологического строения и физико-химических свойств позволило диагностировать принадлежность почв к 3 стволам, 4 отделам, 10 типам: псаммоземам гумусовым, слоисто-эоловым гумусовым, стратоземам светлогумусовым эолово-аккумулятивным, стратоземам светлогумусовым на погребенной почве, серогумусовым, светлогумусовым, сероземовидным, каштановым, агроземам светлым аккумулятивно-карбонатным и агроземам (табл. 3).

Таблица 3. Основные типы почв песчаных массивов Баргузинской котловины. **Table 3.** Basic soil types of sandy areas of Barguzin Hollow.

Ствол	Отдел	Тип почвы (строение профиля)
Первичный	Слаборазвитый	Псаммозем гумусовый (W–C¨)
		Слоисто-эоловая гумусовая (W–C^^)
Синлитогенный	Стратоземы	Стратозем светлогумусовый эолово-аккумулятивный (RJ–C¨)
		Стратозем светлогумусовый на погребенной почве (RJael–[AJ]–C¨)
Постлитогенный	Органо-аккумулятивный	Серогумусовая (AY–C¨)
		Светлогумусовая (AJ–C¨)
	Светлогумусовый аккумулятивно-карбонатный	Сероземовидная (AJ–BCA–Cca¨)
		Каштановая (AJ–BMK–CAT–Cca¨)
	Агроземы	Агрозем аккумулятивно-карбонатный (P–BCA–Cca¨)
		Агрозем текстурно-карбонатный (P–BMK–CAT–Cca¨)
		Агрозем (P–C¨)

Выводы

Почвы песчаных массивов Баргузинской котловины находятся на разных стадиях развития. На свежих и едва затронутых процессами почвообразования песках формируются почвы первичного ствола слаборазвитого отдела: псаммоземы гумусовые и слоисто-эоловые почвы. Следующей ступенью развития песчаных почв являются стратоземы светлогумусовые, относящимися к отделу стратоземов синлитогенного ствола почвообразования. На закрепленных песках получают развитие почвы постлитогенного ствола почвообразования. При отсутствии выраженной педогенной организации средней части профиля почвы относятся к органо-аккумулятивному отделу: серогумусовым и светлогумусовым почвам, а при выраженной педогенной структуре – к отделу светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв: сероземам и каштановым почвам.

В дифференциации растительного покрова песчаных массивов наряду с ландшафтными позициями ведущее значение имеет гранулометрический состав почв. На подвижных или слабо закрепленных песках с преобладанием мелко- и среднепесчанных фракций формируются пионерные и первичные растительные группировки сложенные преимущественно псаммофитными и малолетними видами растений. К песчаным массивам с преобладанием крупнопылеватой фракции субстрата приурочены степи с доминированием *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Roshev. На светлогумусовых почвах, имеющих супесчаный состав с преобладанием фракций среднего песка и крупной пыли произрастают сосняки толокнянковые (*Pinetum arctostaphylosum*) и разнотравные (*Pinetum herbosum*). На постагрогенных сероземовидных и каштановых почвах развиваются злаково-разнотравные и пырейные сообщества на залежи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агрохимические методы исследования почв. 1975. М.: Наука. 656 с.

Балсанова Л.Д., Гынинова А.Б., Корсунов В.М. 2009. Диагностика лесных почв Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 148 с.

Болонева М.В., Корсунов В.М. 2008. Почвы автоморфных ландшафтов придельтовой части реки Селенги. Улан-Удэ: изд-во БНЦ СО РАН. 128 с.

Востокова Е.А., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Прищепа Е.В., Данжалова Е.В., Хадбаатар С. 2007. Особенности экосистем песчаных массивов Бурятии и Монголии (на примере меридиональной трансекты) // Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охраны. М.: РАСХН. С. 125-135.

Гладков А.А. 1985. Особенности почвообразования в Баргузинской котловине // Почвоведение. № 3. С. 20-27

Гунин П.Д. 1990. Экология процессов опустынивания. М.: ВАСХНИЛ. 354 с.

Иванов А.Д. 1966. Эоловые пески западного Забайкалья и Прибайкалья. Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во. 232 с.

Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с.

Коломиец В.Л. 2010. Седиментогенез плейстоценового аквального комплекса и условия формирования нерудного сырья суходольных впадин Байкальской Рифтовой Зоны. Автореф. дис. … канд. геолого-минерал. наук. Иркутск. 18 с.

Кривоногов С.К. 2010. Осадконакопление во впадинах Байкальской Рифтовой Зоны в позднем плейстоцене и голоцене. Автореф. дис. … д-ра геолого-минерал. наук. Иркутск. 32 с.

Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М., Алакшин А.М., Поспеев А.В., Шимараев М.Н., Хлыстов О.М. 2001. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: Строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 252 с.

Меркушева М.Г. 2012 Гумусное состояние и структура микробоценозов в дефлированных каштановых почвах Баргузинской котловины (Западное Забайкалье) // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2(51). С. 44-53.

Ногина Н.А. 1956. Сухостепные почвы Баргузинской котловины// Почвоведение. № 4. С. 59-69.

Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 150 с.

Почвы Баргузинской котловины. 1983. Новосибирск: Наука. С. 55-83.

Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов Ц.Х. 1999. Каштановые эологенные почвы бассейна озера Байкал // География и природные ресурсы. № 2. С. 58-66.

Цыбжитов Ц.Х. 1971. Почвы лесостепи Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство. 108 с.

SOILS OF SANDY AREAS OF BARGUZIN HOLLOW: DIVERSITY, MORPHOGENETIC PROPERTIES AND CLASSIFICATION

© 2013. V.I. Ubugunova*, **, Yu.A. Rupyshev*, V.L. Ubugunov*, E.G. Tsyrempilov**

***Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*
Russia, 670047 Ulan-Ude, Sakhyanovoy str., 6. E-mai: ubugunova57@mail.ru
***V.R. Phillippov Buryat State Agricultural Academy*
Russia, 670047 Ulan-Ude, Pushkina str., 8. E-mai: enhetsyrempilov@mail.ru

Diversity and morphogenetic structure are studied and classification of sandy soils of Barguzin Hollow is carried out. Results of researchers allow to understand features of functioning ecosystems of sandy areas, to optimize their economic use, matter for classification of sandy soils of Internal Asia.
Keywords: sand, soils of sandy areas, morphology, physical and chemical properties, classification.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 86-90

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 528.8:556.1/.5+551.4+631.4/6+911.5

ИЗМЕНЕНИЕ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СПУТНИКОМ ЛАНДСАТ

© 2013 г. В.М. Стародубцев

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, 03041 г. Киев, ул. Героев Обороны, д. 15. E-mail: vmstarodubtsev@ukr.net

Поступила 25.05.2013

Выявлены общие тенденции изменений ландшафтов дельты Дуная вследствие хозяйственной деятельности по результатам сравнительного анализа материалов дистанционного зондирования спутниками Ландсат. А пространственная и временная динамика природных процессов (абразия, аккумуляция, заболачивание или иссушение) исследована на 7 ключевых участках дельты по данным спутника Ландсат-5 за 1986-2011 гг. Для анализа космических снимков использованы результаты наземных исследований в украинской части дельты.
Ключевые слова: дельта, космический снимок, дистанционное зондирование, абразия, заболачивание, иссушение.

Изменения уникальных дельтовых ландшафтов (преимущественно – их деградация) вследствие регулирования стока рек и хозяйственной деятельности во всем речном бассейне становятся чрезвычайно важной и актуальной проблемой во всем мире (Михайлов, 2002; Стародубцев, 2008; Olli Varis et al., 2012; Starodubtsev, Petrenko, 2007; Starodubtsev, Bogdanets, 2010 и др.). Уже во второй половине прошедшего века многие дельты в пустынных и полупустынных регионах, бывшие в течение тысячелетий колыбелью цивилизации, стали терять свое биоразнообразие и продуктивность под влиянием гидротехнического строительства и чрезмерного использования водных ресурсов для промышленного, сельскохозяйственного и коммунального водопотребления (Кузьмина, Трешкин, 2008; Стародубцев, Трускавецкий, 2011; Стародубцев и др., 2013; Novikova et al., 1998; Starodubtsev, Petrenko, 2007 и др.). В самых экстремальных случаях на месте богатой природы образовались настоящие солевые или песчаные пустыни, во многих дельтах природный потенциал был существенно нарушен (дельты рек Колорадо, Инд, Тарим, Хуанхэ, Сырдарья, Амударья, Чу, Или и многие другие). В менее засушливых регионах деградация дельтовых ландшафтов менее глубокая (Черой, Лихоша, 2007; Новикова и др., 2011; Стародубцев и др., 2012; Mikhailova, 2006; Starodubtsev, 2010 и др.), но эти дельты служат бесценными водно-болотными угодьями, в которых сосредоточена богатая флора и фауна. Часто такие дельты расположены на путях миграции птиц и признаны Рамсарскими угодьями, охраняемыми государствами и ЮНЕСКО. Одним из ярких примеров является огромная дельта Дуная (рис. 1), в которой создан международный Дунайский биосферный заповедник, часть которого находится на территории Украины.

Материалы и методы исследований

Наличие открытого доступа к фондам НАСА предоставило неоценимую возможность использовать космические снимки Ландсат для изучения многолетней динамики ландшафтов дельты Дуная. Были использованы снимки Ландсат-5 за период 1986-2011 гг. как наиболее качественные. Снимки Ландсат-2 доступны за более ранние годы (1972-1973 гг.), но они не отличались высоким качеством. А снимки Ландсат-7 имеют с 2003 г. существенные недостатки из-за повреждения сенсора. Анализ снимков проводился при помощи программы ERDASimaginec использованием так называемой «неуправляемой классификации» (unsupervisedclassification). Для большей достоверности анализа космических снимков в августе 2012 г. был проведен наземный маршрут в украинскую часть дельты Дуная (Килийскую дельту) с достаточно точным (±2-3 м) позиционированием точек наблюдений GPS-приемником(Стародубцев и др., 2012). Полученные результаты считаем «первым

приближением», требующим дальнейших уточнений методами дистанционного зондирования и наземными исследованиями.

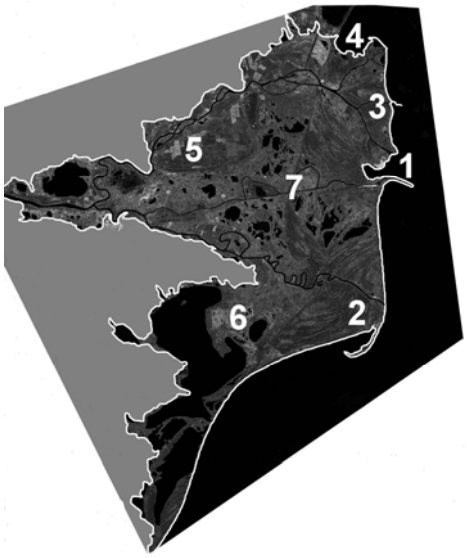


Рис. 1. Дельта Дуная с ключевыми участками 1-7. **Fig. 1.** The Danube Delta with the key sections 1-7.

Результаты исследований

Анализ многолетних материалов дистанционного зондирования региона, многочисленных опубликованных научных работ и наших полевых исследований позволяет утверждать, что зарегулирование стока реки Дунай и ведение хозяйственной деятельности в ее бассейне привело к существенным экологическим изменениям в дельте.

Во-первых, сократился объем водного стока в дельту и море, а также изменилось внутригодовое распределение стока. Расходы воды в разные периоды года различаются все меньше, весеннее половодье значительно ослабело. Эти изменения нарушаются лишь в годы экстремальной водности.

С уменьшением стока воды изменился и сток наносов (Михайлова, 2001). Основной причиной сокращения твердого стока послужило завершение строительства водохранилищ «Железные вороты 1 и 2», которые задерживают взвешенные наносы и не дают им проходить к дельте реки, а также местное регулирование стока многочисленными водохранилищами и прудами на притоках Дуная.

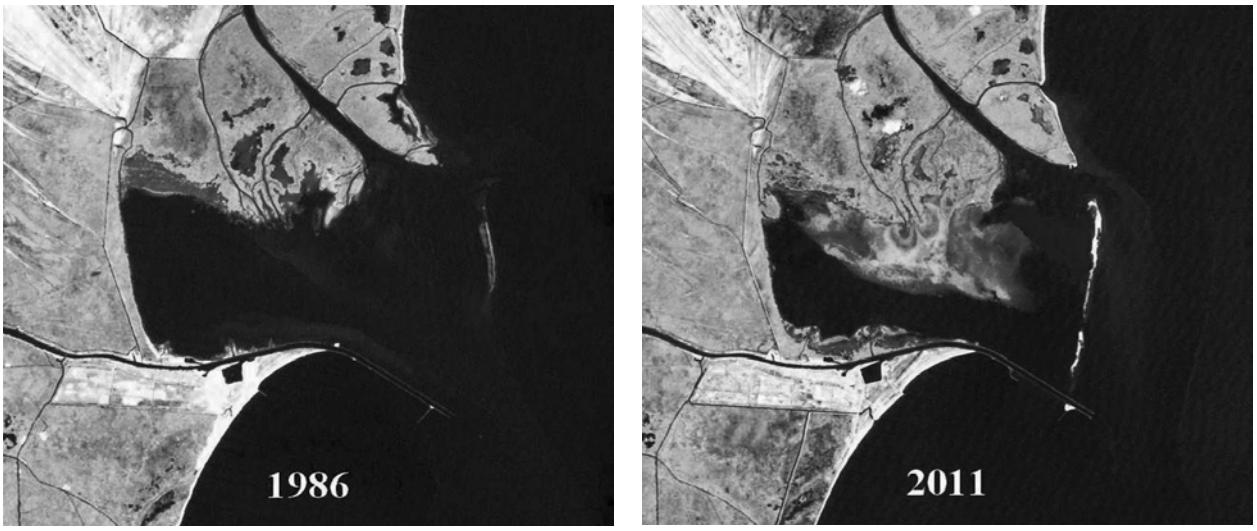
Во вновь сложившихся гидрологических условиях выдвижение дельты в море почти прекратилось, усилилась абразия морского края дельты волнами и вдольбереговыми течениями, а также аккумуляция наносов баров в устьях протоков, в том числе и в русле Быстрое (Глубоководный судовой ход). А в самой дельте усилилось зарастание и заиление водоемов.

Для общей оценки изменений экологической ситуации в дельте Дуная были проанализированы космические снимки Ландсат-5 всей дельты за 1986 и 2009 гг., а также Ландсат-2 за 70-е годы с помощью программы ERDASimagine. Выделялись 6 классов земной и водной поверхности методом неуправляемой классификации, определялись площади этих классов и диагностировались типы поверхности (или угодья). Визуализация космических изображений осуществлялась обычно в комбинации каналов 7-5-3 («truecolor»).

По результатам этого анализа было установлено, что абразионные процессы на побережье моря, а также «ренатурализация» некоторых ранее освоенных земель в водно-болотные угодья приводит к уменьшению площади наземных экосистем со скоростью 400-500 га/год. Но в то же время в пределах дельты около 800-900 га/год водной поверхности озер превращается в сушу или в водно-болотные угодья из-за заиления водоемов и хозяйственной деятельности. Следовательно, общий баланс в дельте складывается в направлении уменьшения водной поверхности и увеличения площадей наземных, гигрофильных и гидрофильных экосистем. Но эти изменения крайне динамичны в годы разной водности и проявляются неодинаково в разных частях дельты. Поэтому были выбраны 7 ключевых участков в характерных местах дельты Дуная (рис. 1) для более детального изучения за период с 1986 до 2011 года по материалам только снимков Ландсат-5, то есть сделанных одним и тем

же сенсором. В дальнейшем запланировано сделать такой анализ поэтапным (через каждые 5 лет) для получения динамичной картины процессов определенной ксеротизации дельты Дуная и уточнения основных факторов таких процессов.

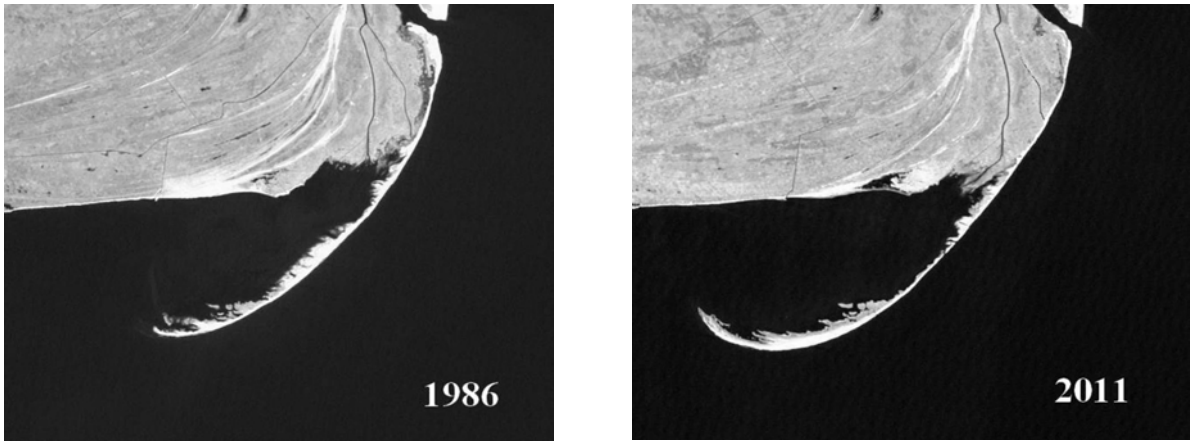
Исследование ключевых участков в дельте Дуная показывает, что, в целом, в дельте Дуная происходят как аккумулятивные, так и абразионные процессы. В Килийском устье (ключ 1, рис. 2) идут процессы зарастания, в основном, за счет камышово-рогозовой растительности, а также водной растительности с плавающими листьями. Украинская часть дельты здесь выдвигается в море в юго-восточном направлении, а между Килийским и Сулинским устьями образовался остров, названный «Новой землей». В пределах этого ключа площадь водной поверхности уменьшилась на 1463.0 га, зато увеличилась площадь камышово-рогозовых зарослей с участками песчаных кос, баров и застроенной территории (порт) на 790.1 га. Увеличилась и площадь мелководий на 673.0 га.



а) б)

Рис. 2. Ключевой участок 1 в устье Килийского и Сулинского русел в 1986 (а) и в 2011 (б) гг. **Fig. 2.** Key section 1 in the mouths of the Kiliya and Sulina channels in 1986 (a) and in 2011 (б).

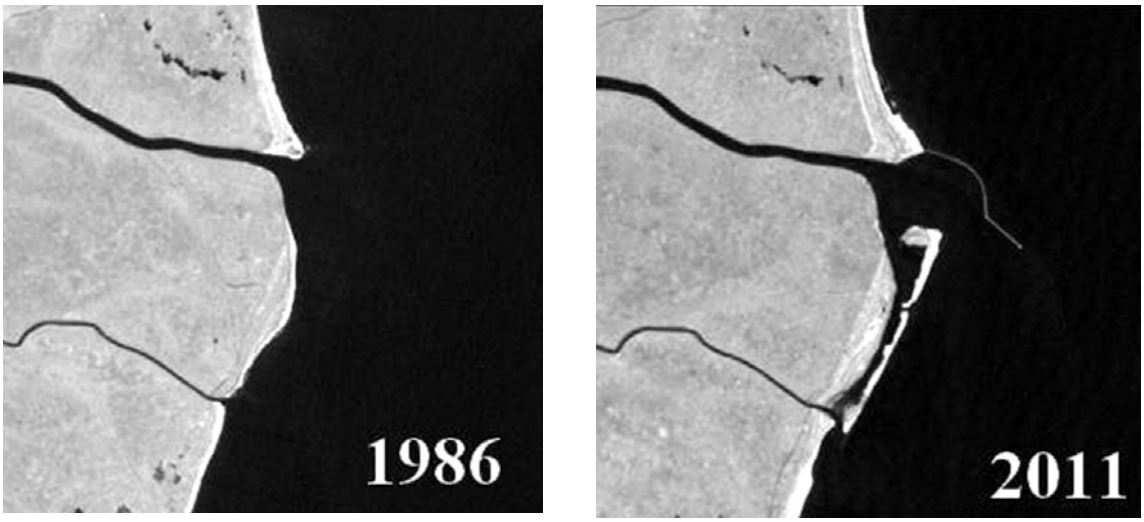
В приморской части дельты, около Георгиевского устья (гирла) четко выражены абразионные процессы совместно с зарастанием водной поверхности в средине контура и определённой ксеротизацией ландшафтов (рис. 3, ключ 2). Общая площадь водной поверхности здесь увеличилась на 316.5 га, но сильно увеличилась площадь глубоководной акватории за счет исследования мелководий.



а) б)

Рис. 3. Ключевой участок 2 в Георгиевском устье в 1986 (а) и в 2011 (б) гг. **Fig. 3.** The key section 2 in the mouth f the St. George channel in 1986 (a) and in 2011 (б).

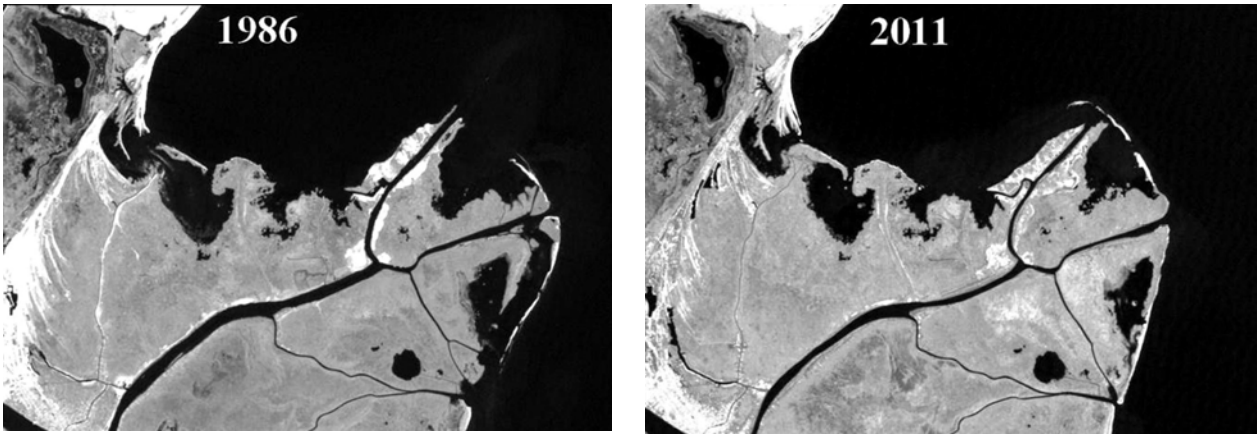
В устье Быстрое (ГСХ) изменения происходили, в основном, за счет антропогенной деятельности (рис. 4, ключ 3). Искусственное углубление русла для судоходства и ускорение течения привели к уменьшению площадей болот и формированию прирусловых валов.



а) б)

Рис. 4. Ключевой участок 3 в гирле Быстрое (Глубоководный судовой ход) в 1986 (а) и в 2011 (б) гг. **Fig. 4.** Key section 3 in the mouth of the Bystroye channel in 1986 (a) and in 2011 (б).

Очаковское устье (рис. 5, ключ 4) характеризуется выдвижением дельты в северо-восточном направлении и процессами абразии берега волнами и вдольбереговыми течениями. Это обусловлено уменьшением твердого и водного стока по этому руслу в последние годы. Площадь дельты здесь увеличилась на 468 га, вместе с тем существенно уменьшилась обводненность (озерность) дельты.



а) б)

Рис. 5. Ключевой участок 4 в Очаковском гирле в 1986 (а) и в 2011 (б) гг. **Fig. 5.** Key section 4 in the mouth of the Ochakovskoye channel in 1986 (a) and in 2011 (б).

На мелиорированных землях дельты (рис. 1, ключ 5) происходят процессы осушения и освоения новых земель под сельскохозяйственные угодья. Активизация хозяйственной деятельности на юге дельты Дуная приводит к ее расширению в сторону системы озер Резим и Синое (рис. 1, ключ 6) и уменьшению здесь площади водной поверхности, а также к частичному осушению болотных экосистем. Отмечена также тенденция осушения и в средине дельты (рис. 1, ключ 7), но здесь экологическая ситуация зависит главным образом от водности года.

Благодарности. Автор выражает благодарность Национальной аэрокосмической администрации США (NASA) за предоставленные бесплатно космические снимки за четверть века, использованные для анализа динамики ландшафтов дельты Дуная, а также коллегам В.А. Богданцу и В.С. Струк за методическую помощь при анализе космических снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2008. Методика определения и оценки нарушений пойменных экосистем при гидротехническом воздействии // Аридные экосистемы. Т. 14. № 35-36. С. 94-110.

Михайлов В.Н. 2002. Эти изменчивые речные дельты. ЭБ РФФИ. С. 1-10. http://www.rfbr.ru/rffi/ru/scientific_articles/o_16583#1

Михайлова М.В. 2001. Баланс наносов в устьеДуная // Водные ресурсы. Т .28. № 2. С. 203-207.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Шаповалова И.Б., Вышивкин А.А. 2011. Ответные реакции экосистем на изменение водного режима территорий в степной зоне // Аридные экосистемы. Т. 17. № 3(48). С. 38-48.

Стародубцев В.М. 2008. Регулирование речного стока и опустынивание почв в дельтах // Евро-Азиатский журнал политики устойчивой энергетики. Афины. №1. С. 99-106.

Стародубцев В.М., Трускавецкий С.Р. 2011. Процессы опустынивания в дельте реки Или под. влиянием антропогенной нагрузки // Водные ресурсы. Т. 38. № 2. С. 248-251.

Стародубцев В.М. Струк В.С., Урбан Б.В. 2012. Моніторинг екологічного стану дельт басейну Чорного моря за матеріалами дистанційного зондування та наземних спостережень // http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2012_6/12svm.pdf. 9 с. (На украинском).

Стародубцев В.М., Эсенов П.Э., Бурлибаев М.Ж., Струк В.С. 2013. Изменения дельтовых ландшафтов под. влиянием хозяйственной деятельности // ЭкологияАрала: устойчивое развитие и международное сотрудничество. Материалы международной конференции, 27-28 марта 2013 г. Дашогуз. С. 150-153.

Черой А.И., Лихоша Л.В. 2007. Процессы дельтообразования в устье Дуная // Экология моря. № 74. С. 91-94.

Mikhailova M. 2006. Deltas of the Rivers of the Black and Mediterranean Seas: Hydrological Regime, Ecological Conditions, Natural and Anthropogenic Changes // Environmental research, engineering and management. N. 1(35). P. 3-11.

Novikova N.M., Kust G.S., Kuzmina J.V., Dikareva T.V., Trofimova G.Yu. 1998. Contemporary plant and soil cover changes in the Amudarya and Syrdarya deltas // Ecological research and monitoring of the Aral Sea deltas. UNESCO. Aral Sea project 1992-1996. Final scientific reports. Paris. P. 55-80.

Olli Varis, MattiKummu, Aura Salmivaara. 2012. Ten major rivers in monsoon Asia-Pacific: An assessment of vulnerability // Applied Geography. № 32. P. 441-454.

Starodubtsev V.M., Petrenko L.R. 2007. Soil Desertification in River Deltas. Part II. The Syrdarya River. Kyiv: MAUP Publishers. 90 p.

Starodubtsev V.M. 2010. Landscapes changes in deltas of the Dnipro, Dnister and Danube Rivers / Mapping of and Policy Orientation for Adaptation to Climate Change Workshop. Budapest. http://www.fao.org/fileadmin /user_upload/Europe/documents/Events_2010/Climate2010/Starodubtsev_en.pdf. 22 p.

Starodubtsev V.M., Bogdanets V.A. 2012. deltas degradation as a global process // Environment and Ecology in the Mediterranean Region. Cambridge Publishing, Newcastle upon Tyne. P. 299-306.

CHANGES OF THE DANUBE DELTA ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA BY LANDSAT SATELLITE

© 2013. V.M. Starodubtsev

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Ukraine, 03041 Kiev, Geroyiv Oborony str., 15. E-mail: vmstarodubtsev@ukr.net

General tendencies of changes in the Danube delta landscapes as a result of economic activity were revealed due to comparative analyses of remote sensing datacarried out by Landsat satellites. A spatial and temporal differentiation of abrasion, accumulation, waterlogging or flooding processes was investigated on 7 key areas of the delta according to satellite images of Landsat-5 for the years 1986-2011. For the images interpretation the results of the terrestrial route into the Ukrainian part of the delta were used.

Keywords: delta, space imagery, remote sensing, abrasion, waterlogging, draining.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 91-103

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 574.51 (574.583)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

© 2013 г. Н.И. Ермолаева

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН
Россия, 630090 г. Новосибирск, Морской просп., д. 2. E-mail: hope@iwep.nsc.ru

Поступила 06.02.2013

В представленной работе описаны данные рекогносцировочного обследования экологического состояния 16 озер Северного Казахстана. Проведена оценка экологического состояния и трофического статуса водоемов методами биоиндикации. Приведены данные по сапробности и по количественным показателям зоопланктона озер. Выявлена зараженность одного из водоемов *Ergasilus sieboldi* Nordmann.

Ключевые слова: зоопланктон, озера, экология, биоиндикация, сапробность.

Критическое состояние водохозяйственных систем Казахстана становится угрозой для здоровья населения и развития экономики. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 9 ноября 2010 года № 1176 «Об утверждении Программы «Ақ-бұлақ» на 2011-2020 годы» решен вопрос о плановой поддержке системы водоснабжения в стране. В 2008-2010 гг. Институт водных и экологических проблем СО РАН, по поручению правительства Казахстана совместно с РГКП «Северо-Казахстанский государственный университет им. Манаша Козыбаева» Министерства образования и науки Республики Казахстан проводил работу: «Изучение закономерностей формирования и функционирования водных экосистем Северного Казахстана как источников обеспечения населения питьевой водой». Цель данной работы - охарактеризовать современное состояние некоторых озер, расположенных на территории Северо-Казахстанской области, методами биоиндикации с использованием зоопланктона. Данные озера планируют использовать в качестве источников водоснабжения ряда сельских населенных пунктов как для орошения, так и для бытовых нужд. Система биоиндикации с помощью зоопланктона позволяет оперативно оценить степень эвтрофикации водоема и возможности его самоочищения.

В последние годы активно изучался зоопланктон разнотипных водных объектов Северного, Центрального, Восточного и Южного Казахстана (Крупа, 2010). Проведены исследования ряда озер Акмолинской и Костанайской областей, соседних с Северо-Казахстанской, но они носили прикладной рыбохозяйственный характер (Аубакирова, 2010). Описанные в статье озера не были охвачены в работах других исследователей.

Материалы и методы

В июле–августе 2009-2010 гг. на 16 озерах Северного Казахстана (рис. 1) отобраны 64 пробы зоопланктона. Отбор проб осуществлялся путем процеживания 50 литров воды с поверхности через сеть Апштейна (газ № 64). На каждом озере отобрано по 4 точки – 2 в литоральной зоне и 2 в пелагической (или просто в прибрежье в центральной части, если разделение на пелагиаль и литораль было условным, как в очень мелких озерах). Собранный материал фиксировали 4% раствором формалина. Пробы обрабатывали счетно-весовым методом в камере Богорова.

Расчет индекса Шеннона производили с учетом показателей численности и биомассы (Шитиков и др., 2005), поскольку данная версия расчета ”гармонично сочетает оба фактора обилия” (Розенберг, 2010). При расчете индекса сапробности Пантле и Букка использованы значения региональных индексов индикаторной значимости, полученные для зоопланктонных организмов водоемов юга Западной Сибири (Ермолаева, Двуреченская, 2007). Трофность озер оценивалась по индексу трофности Е. Мяэметса (1980) и по шкале трофности С.П. Китаева (1984). Степень стабильности и устойчивости экосистемы оценивалась по видовому разнообразию зоопланктонного сообщества (индекс Шеннона) и по представленности стенобионтных видов (Алимов, 2000).

Рис. Карта-схема исследованных озер Северного Казахстана (номера озер соответствуют номерам в таблице 1).
Fig. Schematic map of the studied lakes of Northern Kazakhstan (numbers correspond to the number of lakes in Table 1).

По происхождению исследованные озера можно разделить на несколько типов:

1) суффозионно-просадочные, неглубокие водоемы в виде "блюдец", часто пересыхающие летом (Ближнее Долгое);

2) тектонические (Большой Таранколь**.** Имантау, Улыколь);

3) озера поймы р. Ишим (Аралькино, Кубыш, Полонское, Рявкино, Ситово);

4) озера надпойменных терасс (Горькое, Лебяжье, Пестрое, Полковниково);

5) озера долин исчезнувших рек Камышловки и Суери (Улькенжарма, Узынколь и Питное).

Все исследованные озера в летний период бессточные, их уровенный режим значительно меняется в течение сезона, что, как правило, характерно для озер аридных и семиаридных областей (Поползин, 1965). В связи с этим в таблице указаны даты обследования озер. Площадь акватории водоемов колеблется от 0.1 до 48.9 км^2, преобладают малые и очень малые озера (табл. 1). Форма озерных котловин простая – округлая или лентовидная с вытянутой ровной береговой линией и, как правило, с выраженной пологой литоралью. По уровню минерализации воды озера относятся к пресным и олигогалинным (общая минерализация не превышает 4 г/дм^3). Преобладают гидрокарбонатно-натриевые (Аралькино, Ближнее Долгое, Полковниково, Полонское, Рявкино, Узынколь, Улыколь) и хлоридно-натриевые (Улькенжарма, Большой Таранколь, Имантау, Горькое, Лебяжье, Пестрое, Ситово, Питное). Активная реакция среды колеблется от нейтральной до слабо щелочной (Долматова, 2011). Площадь зарастания водоемов макрофитами составляет от 5 до 85% (Зарубина, 2011).

Водосборы большей части озер находятся в густонаселенной местности, где основные источники загрязнения – сельскохозяйственные и хозяйственно-бытовые стоки.

Результаты

Исследованные озера значительно отличаются между собой количественными показателями зоопланктона, его видовым составом, уровнем трофности и сапробности. Основу зоопланктонного сообщества во всех озерах составляют, как правило, эврибионтные виды. При этом показатели численности и биомассы как всего зоопланктонного сообщества, так и отдельных групп отличались в различных озерах на 1-2 порядка (табл. 2).

Таблица 1. Основные характеристики исследованных озер Северного Казахстана (июль 2009, июль 2010 гг.).
Table 1. The main characteristics of the investigated lakes of Northern Kazakhstan (July 2009, July 2010).

Озеро	Дата исследования	Географические координаты	Площадь зеркала, км^2	Максимальная глубина, м	Прозрачность, м	Температура, °С	Минерализация, г/дм^3	pH
Полковниково	23.06.2009	55° 10' 12" с.ш. 69° 14' 49" в.д.	2.2	1.5	0.4	21.6	1.8	8.70
Лебяжье	27.07.2010	55° 08' 30" с.ш. 69° 12' 16" в.д.	5.8	3.0	0.7	21.2	2.9	7.35
Рявкино	24.06.2009	54° 58' 37" с.ш. 70° 64' 37" в.д.	2.5	1.8	1.8	19.1	0.8	9.00
Горькое	25.06.2009	54° 43' 39" с.ш. 66° 58' 20" в.д.	0.7	3.0	0.3	17.4	3.1	9.40
Питное	25.06.2009	54° 42' 20" с.ш. 66° 57' 17" в.д.	3.7	1.5	0.4	18.5	1.1	9.13
Ближнее Долгое	25.06.2009	54° 48' 40" с.ш. 68° 06' 30" в.д.	0.2	1.8	1.8	17.2	0.5	8.55
Улькенжарма	27.06.2009	54° 36' 14" с.ш. 69° 41' 30" в.д.	7.0	1.8	0.3	15.8	2.9	9.40
Большой Таранколь	29.06.2009	54° 01' 47" с.ш. 68° 22' 14" в.д.	34.8	3.2	0.9	16.8	8.3	8.5
Полонское	29.07.2010	54° 18' 11" с.ш. 68° 18' 14" в.д.	0.3	7.5	2.4	22.0	0.6	7.6
Ситово	29.07.2010	54° 36' 33" с.ш. 68° 44' 11" в.д.	1.0	1.0	1.0	21.2	1.2	9.1
Пёстрое	31.07.2010	54° 50' 02" с.ш. 69° 06' 49" в.д.	1.3	3.0	3.0	22.0	2.6	8.85
Аралькино	31.07.2010	54° 41' 30" с.ш. 68° 57' 45" в.д.	0.1	2.9	2.9	21.2	0.5	7.35
Имантау	01.07.2009	52° 59' 26" с.ш. 68° 14' 17" в.д.	48.9	10.0	1.3	18.0	1.1	8.9
Улыколь	02.07.2009	52° 56' 37" с.ш. 66° 52' 30" в.д.	20.0	4.5	0.3	19.8	0.7	8.8
Узынколь	03.07.2009	53° 54' 50" с.ш. 67° 00' 10" в.д.	1.1	0.7	0.7	23.0	1.2	9.6
Кубыш	07.08.2010	54° 11' 51" с.ш. 67° 48' 35" в.д.	0.2	5.3	0.8	24.6	1.5	7.45

Оз. Полковниково. Вдоль берегов бордюр, образованный *Phragmites australis*, рогозом *Typha angustifolia* с примесью камыша *Scirpus tabernaemontani*, в литоральной зоне активно развивается кладофора (Зарубина, 2012). Обнаружено 13 видов зоопланктона (табл. 3). Отмечено массовое развитие веслоногих рачков *Thermocyclops crassus* (Fisch.), *Eudiaptomus graciloides* Lill., крупных дафний, среди которых доминировала *Daphnia longispina* Müller и коловраток *Keratella quadrata quadrata* (Müller). В пробах встречались крупные хищные рачки *Bythotrephes longimanus* Leydig, не характерные для загрязненных водоемов. Водоем можно охарактеризовать как β-мезосапробный с чертами олигосапробности в пелагической части (табл. 4). Сообщество зоопланктона не отличается высоким видовым богатством, однако, высокая степень его выравненности, в совокупности с достаточно высокой численностью стенобионтных видов, позволяет предполагать, что оно достаточно устойчиво. По показателю индекса трофности Мяэметса 2.3 и по шкале трофности Китаева (табл. 4) озеро является β-эвтрофным.

Таблица 2. Численность (N, экз./м^3), биомасса (B, мг/м^3) и число видов (n) различных групп зоопланктона в озерах Северного Казахстана. **Table 2.** The number (N, individuals/m^3), biomass (B, mg/m^3) and the number of species (n) of different groups of zooplankton in Lakes of Northern Kazakhstan.

Озеро	$N_{общ.}$	$B_{общ.}$	Rotifera		Cladocera		Copepoda					
							Calanoida		Cyclopoida		Harpacticoida	
			N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Лебяжье	493440	1674.4	237600	349.7	260	3.7	0	0.0	255520	1320.0	60	1.0
Полковниково	285030	15897.6	51990	45.7	74820	6544.3	56900	6259.0	101320	3048.6	0	0
Рявкино	59796	2016.3	21130	86.0	12936	883.0	3520	387.2	23210	660.1	0	0.0
Питное	577500	27442.8	63360	217.8	301950	10632.0	133760	14713.6	78320	1875.3	110	4.1
Горькое	140888	3961.6	80960	151.0	34408	2668.8	440	48.4	25080	1093.4	0	0.0
Ближнее Долгое	31328	1311.6	7502	55.6	1386	104.0	6600	726.0	15840	426.0	0	0.0
Улькенжарма	89210	1999.0	30910	257.5	14520	763.4	660	72.6	43120	905.5	0	0.0
Большой Таранколь	156222	8697.6	11440	9.3	36960	2094.1	29920	3291.2	77880	3302.2	22	0.8
Полонское	245000	19739.3	40800	27.4	83000	18581.5	4400	316.8	116800	813.6	0	0.0
Ситово	354900	941.3	162200	70.9	300	15.0	880	63.4	191520	792.0	0	0.0
Пёстрое	565000	1783.8	506000	578.0	920	574.9	960	69.1	57120	560.8	0	0.0
Аралькин	498160	4220.6	46800	37.4	3120	74.1	0	0.0	448000	4108.8	240	4.1
Имантау	31812	1295.6	7920	6.3	7172	519.3	1760	193.6	14960	576.4	0	0.0
Улыколь	63206	3904.9	3080	2.5	9526	1526.8	0	0.0	50600	2375.6	0	0.0
Узынкель	601480	21238.4	93720	500.2	41360	741.1	47520	5227.2	418880	14769.9	0	0.0
Кубыш	1120820	15552.1	618000	254.4	17680	943.6	340	24.5	484800	14329.6	0	0

Оз. Лебяжье. Берега окаймлены поясом тростника, дно илистое. Выявлено 16 видов зоопланктона (табл. 3). Отмечено массовое развитие коловраток *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Filinia major* (Golditz) и циклопов *Mesocyclops leuckarti* Claus. Ветвистоусых рачков мало (табл. 2). По индексу сапробности озеро можно охарактеризовать как β-мезосапробное, умеренно загрязненное, по индексам трофности водоем β-олиготрофный (табл. 4). Сообщество зоопланктона достаточно устойчивое, признаков нарушения не наблюдается.

Оз. Рявкино. На дне черный ил с запахом H_2S. Акватория озера примерно на 40 % покрыта сплавинами из тростника *P. australis* и камыша *S. tabernaemontani*. На участках открытой воды наблюдались заросли роголистника *Ceratophyllum demersum* и телореза алоэвидного *Stratiótes aloídes*. В толще воды активно развивалась тройчатая ряска *Lemna trisulca*, а на поверхности - многокоренник *Spirodela polyrrhiza* (Зарубина, 2012). Зоопланктон представлен 19 видами (табл. 3). Доминировали веслоногие ракообразные *M. leuckarti* и *E. graciloides*; значительной численности достигали *D. longispina* и *K. quadrata* – эвритопные формы. Вода умеренно загрязненная, водоем β-мезосапробный. В озере представлен многовидовой биоценоз, основой которого являются

эврибионтные формы. Озеро β-олиготрофное (табл. 4).

Оз. Горькое. На литорали заросли рдеста пронзённолистного и гребенчатого (*Potamogeton perfoliatus, P. pectinatus*) (Зарубина, 2012). На дне заиленный песок с детритом. Зарегистрировано 15 видов (табл. 3). Максимальная численность зоопланктона составила 140 тыс. экз./м^3 за счет массового развития веслоногих рачков *Cyclops strenuus* Fisch и коловраток *Brachionus urceus urceus* Linn., биомасса достигала 3.9 г/м^3 за счет кладоцер *D. longispina* и *Daphnia pulex* (De Geer). Водоем β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). Наблюдался трансформированный биоценоз с доминированием двух-трех β-мезосапробных видов. По уровню трофии озеро α-мезотрофное.

Таблица 3. Видовой состав зоопланктона озер Северного Казахстана. **Table 3.** The species composition of zooplankton Lakes of Northern Kazakhstan.

Водоем	оз. Полковниково	оз.Рявкино	оз.Горькое	оз. Питное	оз. Ближнее Долгое	оз.Улькенжарма	оз. Большой Таранколь	оз. Аралькино	оз. Улыколь	оз.Узынкель	оз. Лебяжье	оз. Полонское	оз. Ситово	оз Пёстрое	оз. Имантау	оз. Кубыш
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Rotifera																
Anuraeopsis fissa Gosse										+						
Ascomorpha ecaudis Perty					+	+										
Asplanchna herrickii de Guerne	+					+	+	+								+
Asplanchna priodonta Gosse	+	+			+	+	+	+		+	+	+		+		+
Brachionus angularis Gosse			+		+	+	+			+		+	+			+
Br. calyciflorus anuraeiformis Brehm											+					
Br. quadridentatus Hermann										+						
Br. quadridentatus brevispinus Ehrenberg											+		+			
Br. quadr. cluniorbicularis Skorikov					+					+						
Br. quadridentatus melheni Barrois & Daday		+	+							+						
Br. urceus urceus Linnaeus			+	+		+										
Br. variabilis Hempel			+		+											
Cephalodella catellina Műller													+			
Cephalodella gibba gibba (Ehrenberg)													+			
Colurella obtusa Gosse						+	+	+		+		+				
Euchlanis deflexa (Gosse)										+		+	+	+		
Euchlanis dilatata Ehrenberg	+			+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	
Euchlanis incisa Carlin						+		+								
Euchlanis lyra larga Kutikova													+			
E. lyra lyra Hudson										+						
Filinia longiseta (Ehrenberg)				+		+	+	+			+		+	+		
Hexarthra mira (Hudson)											+			+		
Kellicottia longispina (Kellicott)									+						+	
Keratella cochlearis (Gosse)		+			+	+	+	+		+		+	+	+	+	+
Keratella cochlearis tecta (Gosse)													+			
Keratella quadrata dispersa Carlin					+											
K. quadrata quadrata (Müller)	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
K. q. longispina (Thiebaud)			+													
Lecane luna luna (Müller)				+		+		+		+		+	+	+		
Lecane ungulata (Gosse)										+						
Lecane (Monostila) hamata (Stokes)						+		+				+	+	+		
Lecane (Monostila) quadridentata (Ehrenberg)						+		+					+			
Lepadella ovalis (Müller)					+	+							+			
Lepadella patella(Müller)								+								
Lophocharis oxysternon (Gosse)														+		
Mytilina ventralis (Ehrenberg)						+		+					+			
Notholca acuminata (Ehrenberg)				+	+					+						
Plationus patulus (Müller)						+		+								
Pompholyx complanata Gosse								+								
Polyarthra dolichoptera (Idelson)								+								
Polyarthra major Burckhardt						+		+				+				+
Polyarthra minor Voigt						+		+				+	+	+		
Polyarthra remata Skorikov		+				+	+				+	+		+		
Polyarthra vulgaris Carlin					+											
Synchaeta pectinata Ehrenberg													+			
Testudinella patina patina (Hermann)		+			+	+		+					+			
Trichocerca capucina (Wierzejski & Zacharias)							+					+				
Trichocerca cylindrica (Imhof)												+	+			
Trichocerca elongata (Gosse)					+											
Trichocerca intermedia (Stenroos)													+			
Trichocerca rattus f. *carinata* Ehrenberg														+		
Trichocerca (Diurella) tenuior (Gosse)						+	+	+								
Trichotria pocillum pocillum (Müller)				+		+		+						+		
Trichotria truncata (Whitelegge)													+			
Cladocera																
Acroperus harpae (Baird)												+				
Alona affinis (Leydig)	+	+		+	+	+		+		+		+			+	
Alona rectangula Sars				+												
Alonella nana (Baird)												+				
Bosmina longirostris (O.F. Müller)		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+			+	
Bythotrephes longimanus Leydig	+															
Ceriodaphnia quadrangula (O.F. Müller)	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+	+	+		+
Chydorus ovalis Kurz				+	+	+		+		+	+		+			
Chydorus sphaericus (O.F. Müller)		+		+	+	+	+	+		+	+		+		+	+
Daphnia longispina O.F. Müller	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+
Daphnia pulex Leydig	+		+	+	+									+		
Daphnia (Ctenodaphnia) magna Straus	+															
Diaphanosoma brachyurum (Lievin)		+			+	+	+	+	+	+		+	+		+	+
Disparalona rostrata (Koch)																
Graptoleberis testudinaria (Fischer)		+		+						+						
Leptodora kindtii (Focke)							+		+							
Macrotrix hirsuticornis Norman et Brady										+						

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Macrothrix laticornis (Fischer)				+												
Moina brachiata (Jurine)			+													
Monospilus dispar Sars							+								+	
Peracantha truncata (O.F. Müller)					+							+				
Pleuroxus aduncus (Jurine)				+												+
Pleuroxus (Picripleuroxus) striatus Schödler						+		+			+				+	
Polyphemus pediculus (Linnaeus)		+			+							+				
Pseudochydorus globosus (Baird)					+							+				
Scapholeberis mucronata (O.F. Müller)										+						
Sida crystallina (O.F. Müller)					+				+			+			+	+
Simocephalus vetulus (O.F. Müller)						+		+								
Copepoda																
Acanthocyclops vernalis (Fischer)				+												
Criptocyclops bicolor (Sars)					+											
Cyclops kolensis Lilljeborg					+				+		+			+	+	+
Cyclops strenuus strenuus Fischer			+		+	+			+						+	
Cyclops vicinus Uljanin			+		+				+						+	
Diacyclops bicuspidatus (Claus)						+										
Eucyclops macruroides (Lilljeborg)						+	+	+							+	
Eucyclops macrurus (Sars)															+	
Eucyclops serrulatus (Fischer)					+											+
Macrocyclops albidus (Jurine)		+				+	+	+				+				+
Megacyclops viridis (Jurine)				+		+	+						+			
Mesocyclops leuckarti Claus		+	+		+	+	+	+		+	+		+	+	+	+
Microcyclops varicans (Sars)									+							
Paracyclops fimbriatus (Fischer)					+	+		+		+		+				+
Thermocyclops crassus (Fischer)	+	+		+		+		+	+				+	+		
Thermocyclops oithonoides (Sars)						+	+	+	+		+	+			+	+
Acanthodiaptomus denticornis (Wierzejski)										+						
Arctodiaptomus dentifer (Smirnov)				+			+			+						
Arctodiaptomus (Rhabdodiaptomus) acutilobatus (Sars)	+			+												
Eudiaptomus gracilis (Sars)			+				+					+	+	+	+	
Eudiaptomus graciloides (Lilljeborg)	+	+			+	+				+		+	+	+		+
Eudiaptomus vulgaris (Schmeil)						+					+				+	
Eurytemora affinis (Poppe)						+										
Laophonte mohammed Blanchard & Richard															+	
Nitocra hibernica (Brady)				+	+	+		+			+					
Ergasilus sieboldi Nordmann															+	
Количество видов в водоеме	13	19	15	25	35	45	12	35	13	30	16	31	32	21	23	19

Оз. Питное. В литоральной зоне разреженные заросли рдестов *Potamogeton perfoliatus, P. pectinatus, P. crispus, P. berchtoldii* (Зарубина, 2012). Дно песчаное. Выявлено 25 видов зоопланктона, при этом отмечено высокое видовое разнообразие всех трех групп (табл. 3). Помимо эврибионтных форм, таких как *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), *Megacyclops viridis* (Jurine), активно развиваются фитофильные группировки ветвистоусых рачков, а

также высокой численности достигают детритофаги (каляноиды) *Arctodiaptomus dentifer* (Smirnov). Состав зоопланктона характерен для заиленных некрупных озер Западной Сибири с развитой высшей водной растительностью (Ермолаева, 2010). По индексу Пантле и Букка озеро характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный водоем (табл. 4). По индексу Мяэметса озеро является мезотрофным, а по шкале трофности Китаева β-эвтрофным.

Оз. Ближнее Долгое. На дне жидкий ил с детритом. Вдоль берегов обширные заросли тростника, телореза и рдестов. На небольшой глубине активно развивается элодея *Elodea canadensis*, рдесты *Potamogeton lucens*, *P. praelongus* и роголистник *C. demersum* (Зарубина, 2012). Обнаружено 35 видов зоопланктона (табл. 3). Доминировали по численности и биомассе веслоногие рачки *M. leuckarti*, *Cyclops kolensis* Lill., *E. graciloides*. Из ветвистоусых рачков наибольшего развития достигали эврибионты *D. longispina*, *Ceriodaphnia quadrangula* (Müller) и *B. longirostris*. Однако, стоит отметить и развитие фитофилов, таких как *Peracantha truncata* (Müller) и *Sida crystallina* (Müller). Из коловраток доминировала *K. quadrata*. Водоем характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). В озере многовидовой биоценоз, характерный для прудов и малых озер, основой которого являются эврибионтные и фитофильные формы. По индексу Мяэметса озеро мезотрофное, а по шкале Китаева β-олиготрофное.

Таблица 4. Показатели трофности и сапробности озер Северного Казахстана. **Table 4.** Indicators of water fertility, and saprobity Lakes of Northern Kazakhstan.

Озеро	Индекс Пантле и Букка, S	Индекс видового разнообразия Шеннона, H	Фаунистический индекс трофности Мяэметса (1980), E	Тип водоема по шкале трофности Китаева (1984)
Лебяжье	1.73-1.76	1.84	0.8-1.0	β-олиготрофный
Полковниково	1.6	2.37	1.7-2.3	β-эвтрофный
Рявкино	1.58-1.64	2.37	0.2-0.3	β-олиготрофный
Питное	1.58	2.09	0.5-0.8	β-эвтрофный
Горькое	1.65-1.79	1.94	1.7-1.8	α-мезотрофный
Ближнее Долгое	1.65-1.68	2.04-2.57	0.4-0.8	β-олиготрофный
Улькенжарма	1.59-1.62	1.79-2.09	0.3-0.5	β-олиготрофный
Большой Таранколь	1.62-1.72	1.59-2.13	0.4-0.9	β-мезотрофный
Полонское	1.64	1.77	0.5	α-эвтрофный
Ситово	1.64	1.94	1.9-2.8	α-олиготрофный
Пёстрое	1.65	1.59	1.8-2.1	β-мезотрофный
Аралькино	1.66	1.84-1.87	0.5-0.6	α-мезотрофный
Имантау	1.59	2.08	0.1	β-олиготрофный
Улыколь	1.53	1.62-2.11	0.1-0.2	α-мезотрофный
Узынкель	1.63	2.48	1.1	β-эвтрофный
Кубыш	1.70	1.52	0.5	α-мезотрофный

Оз. Улькенжарма. Вдоль берегов широкий пояс тростника, по всей акватории заросли рдеста и урути сибирской *Myriophyllum sibiricum* (Зарубина, 2012). Дно – серый ил, местами с песком. При

высоком видовом разнообразии зоопланктона (45 видов) наблюдалось очень высокое видовое богатство веслоногих рачков (табл. 3), которые доминировали как по численности, так и по биомассе. Ветвистоусые рачки были представлены только эврибионтами, среди которых наибольшей численности достигали *D. longispina* и *Ch. sphaericus*. Среди коловраток активно развивалась хищная *Asplanchna priodonta* Gosse (до 27 тыс. экз./м^3). По индексу Пантле и Букка водоем характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). Индекс видового разнообразия Шеннона колебался от 1.79 до 2.09 бит. В настоящее время уровень трофии оценивается как β-олиготрофный.

Оз. Большой Таранколь. Литоральная зона хорошо выражена, с зарослями тростника рдестов и урути, вдоль берегов пояс тростниковых сплавин. На дне суглинок, заиленный песок и слой детрита. Зарегистрировано 12 видов (табл. 3). Численность зоопланктона достигала 156.2 тыс. экз./м^3, биомасса в литоральной зоне составила 8.7 г/м^3, за счет массового развития веслоногих рачков и *D. longispina*. В открытой пелагиали биомасса не превышала 1.8 г/м^3. Основу составляли ювенильные стадии веслоногих рачков *M. leuckarti* Claus и коловратки *Brachionus angularis* Gosse, *Polyarthra remata* Skorikov. По-видимому, зимой озеро является заморным (Ермолаева, Ядрёнкина, 2008). В связи с повышенной минерализацией воды, трофо-сапробиологическая оценка проведена по показателям численности и биомассы зоопланктона. Высокая прозрачность озера (0.9 м), значительное содержание кислорода (9.3-9.6 мг/дм^3), низкие значения БПК$_5$ (1.1-1.6 мг O_2/дм^3) в совокупности с большим количеством зоопланктона (табл. 2) и низким уровнем продуктивности зообентоса (Жукова, Безматерных, 2010), позволяют дать интегральную оценку качества воды – “чистая” (О-β-мезосапробная) (Жукинский и др., 1976; Шитиков и др., 2003). Индекс видового разнообразия Шеннона колебался от 1.59 до 2.13 бит (табл. 4). Озеро β-мезотрофное. Высокая доля представленности эврибионтных видов, в совокупности с невысоким видовым разнообразием позволяет предположить неустойчивое состояние экосистемы.

Оз. Полонское. Озеро представляет собой давно отчленившийся пойменный рукав р. Ишим, площадью около 0.2 км^2. На остальной акватории активно развивались заросли рдестов (*P. perfoliatus*, *P. pectinatus*), роголистника *C. demersum*, элодеи *E. canadensis*, шелковника (*Batrachium trichophyllum*) и телореза *S. aloídes*. В толще воды была широко распространена *L. trisulca* (Зарубина, 2012). Дно песчано-илистое с детритом, значительно засоренное щебнем и угольной пылью. Пояс тростников и рдеста выражен незначительно за счет узкой литорали. В зоопланктоне обнаружен 31 вид (табл. 3). Преобладали веслоногие ракообразные *Thermocyclops oithonoides* G.O. Sars, в прибрежье значительной численности достигла *S. crystallina*. Судя по индексу сапробности Пантле и Букка, вода в озере умеренно загрязненная, водоем β-мезосапробный (табл. 4). В данном озере наблюдался трансформированный зоопланктоценоз, основой которого являются несколько эврибионтных форм, а стенобионты встречаются единично, как правило, в литоральной зоне. По индексу Мяэметса озеро мезотрофное, а по шкале Китаева α-эвтрофное.

Оз. Ситово. Озеро мелководное, максимальная глубина не превышает 1 м. Грунт черный жидкий илистый, значительная часть озера заросла урутью *M. sibiricum* и шелковником *B. trichophyllum*, много ряски *L. trisulca* (Зарубина, 2012). Количественные показатели зоопланктона невысокие (табл. 2), в его составе обнаружено 32 вида (табл. 3). Доминировали веслоногие рачки *M. leuckarti* и коловратки *Brachionus angularis* Gosse, *Polyarthra minor* Voigt, *K. quadrata*. Ветвистоусых рачков мало, крупных фильтрующих фитофильных форм не отмечено. В целом зоопланктон представлен эвритопными формами. Водоем β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). Биоценоз многовидовой, но с явным доминированием двух-трех β-мезосапробных видов. По индексу трофности Мяэметса озеро эвтрофное, а по шкале Китаева – α-олиготрофное. Наблюдается несоответствие качественных и количественных показателей. Преобладание циклопов и коловраток свидетельствует в пользу происходящих процессов эвтрофирования (Мяэметс, 1980; Лазарева, 2010).

Оз. Пёстрое. Высокая прозрачность воды, почти везде видно дно. Литораль слабо выражена, вдоль берега узкая полоса тростника в литорали отмечены заросли урути. На дне черный жидкий ил. В зоопланктоне выявлен 21 вид (табл. 3), по численности доминировали циклопы *M. leuckarti* и коловратки *K. quadrata*, а основу биомассы составила *D. pulex*. Водоем β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). Низкие значения (1.59 бит) индекса видового разнообразия Шеннона свидетельствуют о нарушении структуры сообщества. Основой биоценоза являются эврибионтные формы с 1-2 доминантами. По составу индикаторов озеро эвтрофное, а по количественным

показателям – β-мезотрофное.

Оз. Аралькино – пойменный водоем петлеобразной формы, площадью около 0.05 км^2. Вода на всех участках прозрачна до дна. Дно илистое. Вдоль берега заросли рогоза *T. angustifolia* с включениями частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica*), стрелолиста (*Sagittaria sagittifolia*) и сусака зонтичного (*Butomus umbellatus*). В центральной части озера отмечены заросли роголистника *C. demersum*, рдестов (*P. perfoliatus*, *P. pectinatus*), часто встречались уруть (*M. sibiricum*) и пузырчатка (*Utricularia vulgaris*). Площадь зарастания составила 80-85% (Зарубина, 2012). В зоопланктоне зарегистрировано 35 видов, характерно высокое видовое разнообразие коловраток (табл. 3). При высокой численности зоопланктона биомасса невелика (табл. 2), поскольку доминировали науплиальные и копеподитные стадии небольшого веслоногого рачка *T. oithonoides*. Отмечен многовидовой биоценоз со стабильными доминантами, основой которого являются эврибионтные мелкие формы *A. priodonta*, *K. quadrata*, *C. quadrangula* и *B. longirostris*. Следует отметить, что в момент исследования в озере не зарегистрированы представители семейства Diaptomidae, которые по мнению ряда исследователей выпадают из сообщества при росте органического загрязнения (Лазарева, 2010). По индексу сапробности Пантле и Букка озеро характеризуется как β-мезосапробное, умеренно загрязненное (табл. 4). Трофический статус водоема α-мезотрофный.

Оз. Имантау – крупный, глубокий олиготрофный водоем (табл. 1 и 4). В литоральной зоне грунт щебнистый, на глубине – серый ил. Литораль выражена слабо. Зоопланктон представлен 21 видом (табл. 3). Видовой состав характерен для пелагиали крупных пресных озер юга Западной Сибири (Ермолаева, 2010). Доминировали эврибионты *M. leuckarti*, *C. kolensis*, *D. longispina*, *Keratella quadrata dispersa* Carlin. Следует отметить развитие коловратки *Kellicottia longispina* (Kellicott), характерной для чистых водоемов. По индексу Пантле и Букка озеро β-мезосапробное, умеренно загрязненное (табл. 4). В озере наблюдался устойчивый биоценоз, основой которого являются эврибионтные формы. В планктоне обнаружены свободно плавающие самцы жаберного паразита рыб *Ergasilus sieboldi* Nordmann (Змерзлая, 1972; Казаченко, Титар, 1980). В период исследования его численность доходила до 100 экз./м^3, что несомненно снижает рыбохозяйственное значение озера.

Оз. Улыколь – крупный водоем (табл. 1). На дне заиленный песок. Вдоль западного берега развитый пояс тростника со сплавинами, на всей литорали обширные заросли урути. В зоопланктоне отмечено 13 видов, из них только два вида коловраток (табл. 3). Показатели численности и биомассы для равнинных озер Казахстана невысоки (табл. 2). Доминировали эврибионты *C. kolensis*, *C. strenuus*, *D. longispina*. Водоем характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный, α-мезотрофный (табл. 4). Зоопланктоценоз трансформирован, сообщество неустойчивое. Наибольшее видовое разнообразие наблюдается среди тростниковых сплавин, а в середине озера зоопланктон малочислен и представлен всего 5 видами.

Оз. Узынкель. Более 90% площади дна зарастает макрофитами, по большей части рдестами. Дно илистое. Численность и биомасса зоопланктона достаточно высоки (табл. 2). В составе сообщества зарегистрировано 30 видов, отмечено очень высокое видовое богатство ветвистоусых и коловраток (табл. 3). Только в этом озере обнаружено 15 видов коловраток и 10 видов ветвистоусых рачков. Доминировали эврибионты *M. leuckarti*, *Ch. sphaericus*, *K. quadrata*. По индексу Пантле и Букка водоем характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный (табл. 4). Высокие индекс видового разнообразия Шеннона (2.48 бит) и количество стенобионтных видов (10 из 30) свидетельствуют о том, что сообщество зоопланктона достаточно устойчиво, признаков нарушения не наблюдается. По составу зоопланктона озеро эвтрофное**.**

Оз. Кубыш. На дне плотный серый ил и слой детрита. В литоральной зоне заросли рдестов (*P. perfoliatus*, *P. pectinatus*), урути (*M. sibiricum*) и роголистника (*C. demersum*), переплетенные кладофорой (Зарубина, 2012). Озеро подвергается сильному антропогенному прессу, поскольку непосредственно в водоохраной зоне находится село с крупными подсобными хозяйствами: выпас скота, водоплавающая птица, забор воды на полив, занос почвы с распаханных полей. Обнаружено 19 видов зоопланктона, отмечено невысокое видовое богатство всех трех групп при сравнительно высокой численности и биомассе (табл. 2, 3). Доминировали эврибионты *M. leuckarti*, *Br. angularis*, *K. quadrata*. Водоем характеризуется как β-мезосапробный, умеренно загрязненный, α-мезотрофный (табл. 4). Низкое видовое разнообразие и явное преобладание небольшого количества эврибионтных

видов характеризует биоценоз озера как трансформированный и неустойчивый.

Обсуждение результатов

Как показали многолетние исследования зоопланктонных сообществ малых озер юга Западной Сибири, расположенных в сходных условиях, видовое разнообразие зоопланктона начинает устойчиво снижаться при минерализации выше 3.0 г/л (Ермолаева, 2008, 2010). Для зоопланктона исследованных озер именно данный уровень предлагается использовать в качестве хорогалинной зоны. При пересечении этой границы методики определения трофности и сапробности, основанные на индикаторных видах, теряют свою индикаторную значимость, и закономерности изменения видового состава гидробионтов начинают преимущественно определяться уровнем содержания солей в воде (Гусаков, Гагарин, 2012). Таким образом, для озера Большой Таранколь уровень сапробности по видовому составу зоопланктона определить затруднительно. Для озер Лебяжье, Горькое, Улькенжарма индекс Пантле и Букка является показательным, поскольку видовое богатство зоопланктона в этих озерах не ниже средних показателей для олигогалинных озер (13-37 видов на пробу) и в составе зоопланктона отмечается значительное количество стенобионтных индикаторных видов.

В настоящий момент большинство исследованных нами озер находятся в состоянии экологического неблагополучия. Это может быть обусловлено как естественными причинами (эвтрофная стадия сукцессии, периодические заморы, изменение водного режима), так и повышенным антропогенным воздействием (Крупа, 2010; Новикова и др., 2011)). Большинство водоемов находятся рядом с достаточно крупными селами, либо среди распаханных полей. Отметим, что большая часть исследованных озер, за исключением Пестрого и Лебяжьего, обладают достаточно высоким потенциалом самоочищения, поскольку показатели видового разнообразия фильтрующих организмов в них достаточны для самостоятельного восстановления экосистемы. Буферная емкость озерных систем тем меньше, чем меньше объем котловины (Алимов, 2000). В настоящее время уже и крупные озера требуют проведения ряда восстановительных мероприятий, хотя бы в виде ограничения поступления органической нагрузки.

Наиболее низкие количественные показатели, как и наименьшее видовое разнообразие зоопланктона, отмечены в сравнительно недавно образовавшихся старичных озерах. Они, возможно, имеют связь с рекой во время высоких паводков, что мешает стабилизации лимнического комплекса зоопланктона. Озера Полковниково, Горькое, Улыколь и Лебяжье отличаются сильно обедненным видовым составом зоопланктона. В оз. Горькое это можно объяснить повышенным (>3 г/дм^3) уровнем минерализации воды, при котором развиваются только эврибионтные виды и галофилы. В остальных трех озерах нарушение зоопланктонного ценоза объясняется повышенным антропогенным воздействием. Озера достаточно крупные, с обширной литоралью, хорошо прогреваются, имеют значительные заросли макрофитов (площадь зарастания от 8 до 25%): тростники, рдесты, роголистник, уруть (Зарубина, 2012). Однако, фитофильные группировки зоопланктона в этих озерах не развиваются. Доминирующей группой по численности и биомассе, в них были циклопоидные копеподы, что служит дополнительным показателем загрязнения водоема (Иванова, 1976).

Во всех изученных озерах видовое богатство зоопланктона в зарослевой зоне выше, чем в открытой пелагиали, что характерно для небольших неглубоких водоемов (Китаев, 1984). Озера с более развитой зарослевой зоной и разнообразием растительных ассоциаций отличаются сложной видовой структурой зоопланктона, максимальное число видов отмечается в наиболее плотных и обширных растительных ассоциациях. В озерах с большой площадью акватории доминирует комплекс пелагических видов. Малая глубина большинства исследованных озер и интенсивное ветровое перемешивание воды способствуют выносу некоторых фитофильных видов в пелагическую зону, при безветренной погоде фитофилы преобладают в прибрежье.

В настоящее время наибольшее влияние на малые водоемы оказывает освоение их водосборов. Главными последствиями антропогенного преобразования водосборов и озер являются процессы эвтрофирования и токсификации (Крупа, 2010). Основным негативным процессом для малых озер служит антропогенное эвтрофирование, обусловленное сельскохозяйственным использованием водосборов. Распашка земель, интенсивный выпас скота, разведение водоплавающей птицы

неизбежно приводят к повышению потоков органического вещества, поступающего в озеро. Водоохранные зоны, как правило, не соблюдаются. По классификации О.П. Оксиюк с соавторами (1993) качество вод озер соответствует III классу.

Видовой состав зоопланктона исследованных озер Северо-Казахстанской области сходен с таковым водоемов равнинной части Алтайского края (Веснина, 2002) и юга Западной Сибири (Ермолаева, 2010). В описаниях лимнических систем Центрального и Южного Казахстана как фоновые виды фигурируют *Daphnia galeata* G. O. Sars, *Diaphanosoma lacustris* Korinek, *Acanthocyclops trajani* Mirabdullayev & Defaye (Крупа, 2010). В рассмотренных 16-ти озерах данные виды не отмечены, они не обнаружены также в водоемах соседних с Северо-Казахстанской областью (Малиновская, 1961; Диканская, 1972; Аубакирова, 2010). Возможно, эти различия объясняются климатическими факторами, обусловливающими ареалы расселения видов.

Выводы

В исследованных 16 озерах выявлено 108 видов зоопланктона, из них Rotatoria – 54 вида (50%), Cladocera – 28 (26%) и Copepoda – 26 видов (24%).

Видовой состав зоопланктона обедняется при росте минерализации выше 3 г/дм^3. Пресноводные виды замещаются галофильными, при этом показатели численности и биомассы, как правило, возрастают.

При повышении уровня сапробности видовой состав зоопланктона так же обедняется за счет выпадения стенобионтных видов.

Доминирующий комплекс зоопланктона, как правило, образуют 4-5 видов, главным образом, веслоногих и коловраток. Наиболее часто доминируют *M. leuckarti, C. kolensis, C. strenuus, E. graciloides, Br. angularis, K. quadrata, D. longispina, Ch. sphaericus, C. quadrangula, B. longirostris.*

Численность (32-1120 тыс. экз./м^3) и биомасса (0.9-27.4 г/м^3) зоопланктона довольно высоки. В целом, исследованные озера Северного Казахстана характеризуются как высококормные водоемы для планктоноядных рыб.

По величине индекса Шеннона наиболее нарушенными являются сообщества зоопланктона в озерах Полонское, Пёстрое и Кубыш, что связано с интенсивным эвтрофированием этих водоемов

По значениям индекса сапробности Пантле и Букка воды всех озер находились в пределах β-мезосапробной зоны (класс III качества вод). Самые низкие показатели сапробности отмечены для озер Питное, Имантау и Улыколь. Четыре исследованных озера Полковниково, Питное, Полонское и Узынкель по характеристикам зоопланктона соответствуют эвтрофному типу. Пять озер Рявкино, Ближнее Долгое, Улькенжарма и Имантау по совокупности показателей скорее олиготрофные. Остальные семь озер относятся к мезотрофным.

Отдельную опасность для рыбного хозяйства представляет высокое распространение в озере Имантау паразита рыб копеподы *Ergasilus sieboldi* Nordmann.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф. 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб: Наука. 147 с.

Аубакирова Г.А. 2010. Биоресурсы средних озер Акмолинской и Костанайской областей Северного Казахстана. Автореф. дисс. … к.б.н. Новосибирск. 20 с.

Жукова О.Н., Безматерных Д.М. 2010. Зообентос озер Северо-Казахстанской области // Мир науки, культуры, образования. № 6-2. С. 277-281.

Веснина Л.В. 2002. Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. Новосибирск: Наука. 158 с.

Гусаков В.А., Гагарин В.Г. 2012. Состав и структура мейобентоса высокоминерализованных притоков озера Эльтон // Аридные экосистемы. Т. 18. № 4. С. 45-54.

Диканская А.Г. 1972. Зоопланктон озёр Кургальджинской системы (Целиноградской области Каз ССР). Автореф. дисс. … к.б.н. Алма-Ата. 34 с.

Долматова Л.А. 2011. Особенности гидрохимического режима среднего течения р. Ишим и озер его бассейна // Мир науки, культуры, образования. № 1. С. 347-351.

Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я. 2007. Индикаторное значение различных групп зоопланктона лимнических систем Западной Сибири // Сборник материалов международной конференции "Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем". СПб.: ЛЕМА. С. 217-221

Ермолаева Н.И., Ядрёнкина Е.Н. 2008. Влияние ледового режима на зоопланктон малых озер юга Западной Сибири // Современное состояние водных биоресурсов: Материалы междунар. конф. Новосибирск: Агрос. С. 52-55.

Ермолаева Н.И. 2010. Зоопланктон // Биоразнообразие Карасукско-Бурлинского региона (Западная Сибирь). Новосибирск: Наука. С. 105-123.

Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Цееб Я.Я., Георгиевский В.Б. 1976. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и ее применение для анализа качества вод // Гидробиологический журнал. Т. XII. № 2. С. 103-115.

Зарубина Е.Ю. 2012. Характеристика современного состояния водных экосистем Северо-Казахстанской области (республика Казахстан) по макрофитам // Вестник Казахского национального университета. Серия экологическая. № 1 (33). С. 175-179.

Змерзлая Е.И. 1972. Ergasilus sieboldi Nordmann, 1832, его развитие, биология и эпизоотическое значение // Паразиты и болезни рыб в озерах северо-запада РСФСР // Известия ГосНИОРХ. Т. 80. С. 132-176.

Иванова М.Б. 1976. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения степени загрязнения рек // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: ЗИН РАН СССР. С. 68-80.

Казаченко В.Н., Титар В.М. 1980. Географическое распространение паразитических копепод, встречающихся у рыб с обширным ареалом // IX Конференция Украинского республиканского общества паразитологов. Ч. 2. Киев: Наукова думка. С. 107-108.

Китаев С.П. 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука. 207 с.

Крупа Е.Г. 2010. Структура зоопланктона экологически разнотипных водоемов и водотоков Казахстана. Автореф. дисс. … д.б.н. Алматы. 38 с.

Лазарева В.И. 2010. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.:КМК. 184 с.

Малиновская А.С. 1961. Роль фактора солёности в распределении ветвистоусых рачков в озёрах Северного Казахстана // Труды конференции по рыбному хозяйству республик Средней Азии и Казахстана. Фрунзе: Изд-во АН Киргизской ССР. С. 195-201.

Мяэметс А.Х. 1980 Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука. С.54-64.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Уланова С.С., Шаповалова И.Б., Вышивкин А.А. 2011. Ответные реакции экосистем на изменение водного режима территорий в степной зоне // Аридные экосистемы. Т. 17. № 3. С. 38-48.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н. Брагинский Л.П., Линник Г.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. Т. 29. Вып. 4. С. 62-76.

Поползин А.Г. 1965. Зональная типология озер юга Обь-Иртышского бассейна // Вопросы гидрологии Западной Сибири. Новосибирск: Зап-Сиб. кн. изд-во. С. 13-42.

Розенберг Г.С. 2010. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 19. № 2. С. 4–25.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2003. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН. 463 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. М.: Наука. Кн. 1. 281 с.; Кн. 2. 337 с.

SOME RESULTS OF STUDY OF FRESHWATER ZOOPLANKTON IN OLIGOHALINE LAKES OF NORTHERN KAZAKHSTAN

© 2013. N.I. Yermolaeva

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Russia, 630090 Novosibirsk, Morskoy pr., 2. E-mail: hope@iwep.nsc.ru

The article presents the data of the reconnaissance survey of the ecological condition of 16 lakes in the North-Kazakhstan region The purposes of this study was to evaluate the ecological status and the level of saprobity of water bodies by methods of bioindication. Present data on the saprobic indices, the species composition and quantitative parameters of zooplankton of lakes. A separate risk to fisheries is a high parasite infestation of individual lakes *Ergasilus sieboldi* Nordmann.

Key words: zooplankton, lake ecology, bioindication, saprobity.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2013, том 19, № 4 (57), с. 104-112

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 550.385.551.5, 550.348.098.45, 550.361.2, 551.217.4

О ПРИРОДЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИЧИНАХ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И КАТАСТРОФ

© 2013 г. Д.Г. Осика, А.Ю. Отинова, Н.Л. Пономарёва

Институт геологии Дагестанского научного центра РАН
Россия, 367030 г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: OsikaDG@yandex.ru, NatalyMak@yandex.ru

Поступила 18.12.2012

В работе проводится сравнение выбросов тепловой энергии и парниковых газов в связи с сейсмичностью и вулканизмом с аналогичными выбросами в результате добычи и использования всех видов ископаемого топлива. Приводятся подробные расчеты. По результатам этого сравнения делается вывод об определяющей роли сейсмичности в формировании парникового эффекта и наблюдающемся потеплении климата.
Ключевые слова: сейсмичность, дегазация в связи с сейсмичностью, энергетическая диссипация недр, сверхфоновые выбросы тепла, вулканизм, глобальное потепление, парниковые газы, антропогенные выбросы.

Отсутствие всестороннего анализа и научного подхода к объяснению климатических аномалий, приведших к стихийным бедствиям лета 2010 года, и парадоксальные высказывания об их природе явились побудительной причиной выполненного нами научного исследования о естественных природных условиях формирования глобального потепления, так и сопровождающих его климатических аномалий и катастроф.

Засуха, осложнившаяся массовыми пожарами в центральных районах России в 2010 году, по мнению руководителя Росгидрометцентра, обусловлена привносом раскаленного воздуха из Аравийской пустыни; по мнению некоторых администраторов регионов – массовыми поджогами; а некоторые журналисты намекают даже на иностранные диверсии с использованием спутниковой техники.

Отдельные ученые высказывали мнения, что переживаемое нами потепление в Евразии и Заполярье обусловлено резкими изменениями направления течения Гольфстрим. Мы не можем с этим согласиться, поскольку отклонения данного течения могут произойти лишь вследствие значительного отклонения оси вращения нашей планеты на целые градусы.

Методика исследования

Наше исследование базируется на установленном факте регионального увеличения плотности теплового потока из недр в обменный бассейн в связи с сейсмичностью всреднем в два раза относительно фоновых значений в дополнение к тому, что в сейсмоактивных регионах плотность теплового потока, по нашим исследованиям и данным ряда авторов, всреднем в два раза больше, чем для регионов с консолидированной земной корой. Линейные и временные характеристики ареалов распространения геотермальных и гидротермальных аномалий в связи с отдельными сильными землетрясениями, дают возможность ориентировочной оценки масштабов аномального выноса геотермального и гидротермального тепла на стадиях подготовки и свершения тектонических землетрясений, путем вычисления по формуле, приведенной ниже. Ориентировочные оценки масштабов ежегодного выноса аномального эндогенного тепла в обменный бассейн в связи с землетрясениями каждого энергетического класса, умножаются на ежегодное количество этих землетрясений и суммируются. Так же, проводится сравнение выбросов тепловой энергии и парниковых газов в связи с сейсмичностью и вулканизмом, с аналогичными выбросами в результате добычи и использования всех видов ископаемого топлива. За два года до Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года В.В. Суетновым, Х.А. Гаирбековым, Р.А. Левковичем, был установлен факт регионального увеличения плотности теплового потока из недр всреднем в два раза (Амирханов и др., 1972), а непосредственно перед землетрясением он увеличился в 4 раза.

Впоследствии это было подтверждено результатами скважинных наблюдений Е.А. Любимовой с соавторами (1985) и Т.М. Ашировым с соавторами (1975).

Результаты и обсуждение

По результатам этих исследований на первом этапе было установлено: температура флюидов из скважин и восходящих источников в периоды усиления сейсмической активности в пределах ареала возникновения гидрогеодинамических аномалий увеличивается всреднем на 2°С. Случаи экстремальных увеличений температуры воды на 10-15°С и более мы не учитывали не только из-за их относительной кратковременности, но и из-за их не очень широкой представительности в связи с конкретными событиями, чтобы не сильно искажать реальную картину (рис. 1). Региональный характер температурных аномалий в нижних слоях атмосферы и гелиотермозоны свидетельствуют о генетическом родстве между ними и аномальным тепловым потоком.

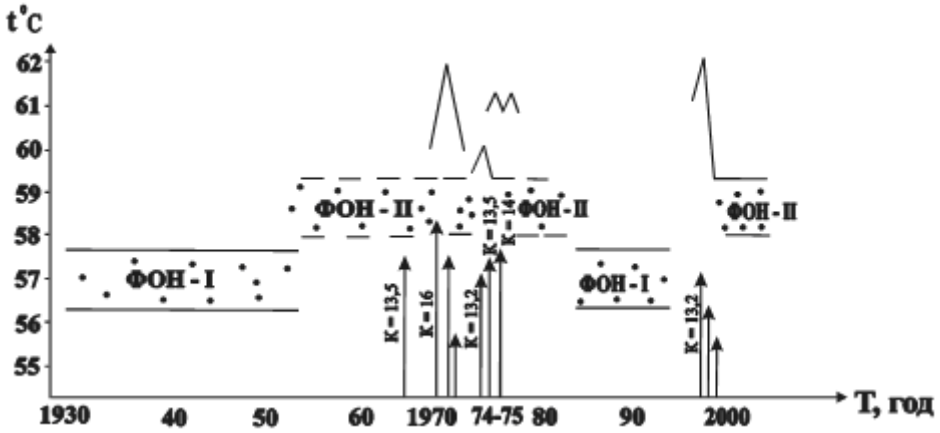


Рис. 1. Динамика температуры Зурамакентских гидротерм в области Дагестанского клина во время длительного сейсмического затишья и в периоды усиления сейсмической активности Дагестана (составлена по литературным и фондовым материалам с 1930 по 1955 гг. и по результатам наших наблюдений с 1956 по 2000 гг.). **Fig. 1.** Dynamics of temperature Zuramakent hydrothermal vent in the field of Dagestan wedge during periods of seismic calm and in times of increased seismic activity of Dagestan (compiled from published and Fund materials from 1930 to 1955 and on the results of our observations from 1956 to 2000).

Длительная циклоническая обстановка, которая наблюдалась перед Дагестанским землетрясением 14 мая 1970 г., очевидно, способствовала региональному подъему теплых атмосферных масс и паров воды на большую высоту, что привело к сильному региональному ливню между серией форшоков и основным толчком. Лето 1970 года в Дагестане было необычайно дождливым и прохладным. В печати сообщалось о необычной духоте перед Газлийским землетрясением 1984 года (M>7). Вероятно, природа этого явления та же.

Закономерными являются длительное и региональное: 1) удвоение плотности теплового потока, 2) увеличение температуры флюидов на два градуса, 3) повышение и снижение температуры подпочв примерно на такую же величину, 4) подогрев нижних слоев атмосферы на 2ºС до землетрясения и, наконец, 5) региональное охлаждение в течение 4-5 месяцев после основного толчка. Поле геотермальных аномалий не является некой диссипирующей региональной плоскостью или фронтом. Оно представляет собой относительно однородное и динамичное энергетическое тело региональных масштабов, охватывающее определенные объемы тектоносферы Земли и атмосферы, размеры которых находятся в прямой и нелинейной зависимости от процессов опустынивания и аридизации (Залибеков, 2011).

С учетом фундаментального и прикладного значения результатов работ (Любимова и др., 1985; Аширов и др., 1975; Амирханов и др., 1972) в результате многолетних режимных наблюдений за динамикой геохимических, гидрогеологических и биологических полей авторами составлены графики пространственно-временного распределения энергетических и физико-геохимических аномалий для всего спектра землетрясений (рис. 2).

По графикам можно примерно оценить масштабы выноса тепловой энергии для любого сильного землетрясения. Плотность теплового потока для сейсмически неактивных регионов по Е.А. Любимовой с соавторами (1985) составляет всреднем 0.05 Дж/м^2·с. Для сейсмоактивных регионов это значение примерно в 2 раза выше. А в процессе подготовки сейсмического события тепловой поток по нашим данным усиливается всреднем еще вдвое, т.е. составляет порядка 0.2 Дж/м^2·с (Осика, 1981).

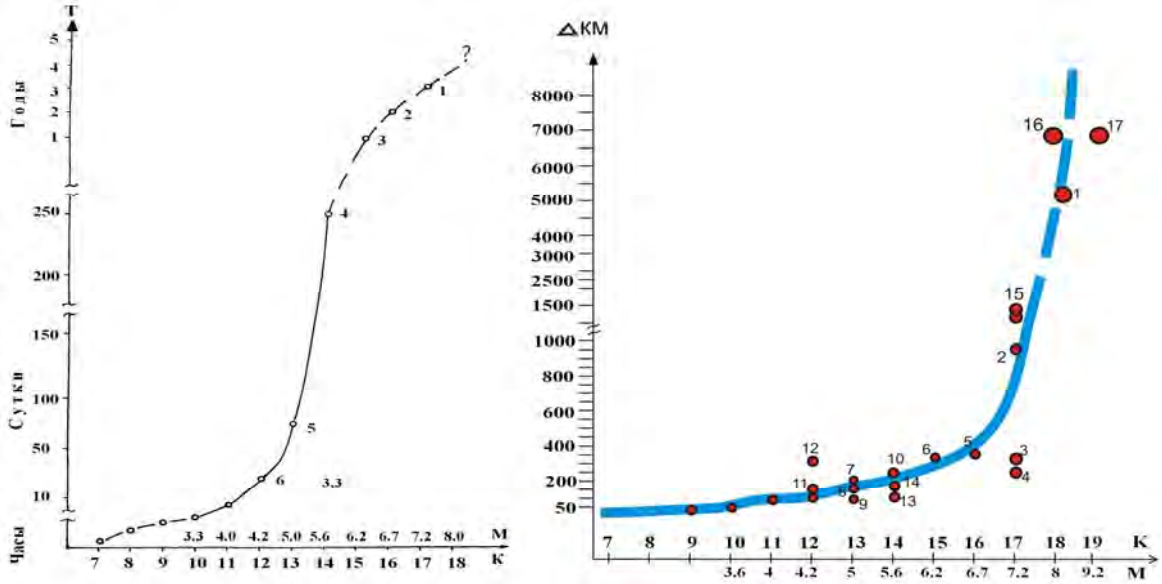


Рис. 2. Графики развития геотермальных, геохимических, гидродинамических аномалий в процессе формирования землетрясений. Условные обозначения: 1 – Аляскинское 1954 г.; 2 – Газлийские 1976-1984 гг.; 3 – Спитакское 1988 г.; 4 – Рачинское 1991 г.; 5 – Дагестанское 1970 г.; 6 – Черногорское 1976 г.; 7 – Шемахинское 1981 г.; 8 и 9 – Исмаиллы 1981 г.; 10, 11, 12 – Копетдагские 1978 г.; 13 – Шемахинское 1981 г.; 14 – Исмаиллы 1978 г.; 15 – Буйнакское 1975 г.; 16 – Андаманское (индийский океан) 2009 г.; 17 – Суматранское 2004 г.; 18 – Фиджи 2009 г. **Fig. 2.** Graphics development of geothermal, geochemical, hydrodynamic anomalies in the process of formation of earthquakes. Symbols: 1 – Alaska 1954 y.; 2 – Gazly 1976-1984 yy.; 3 – Spitak 1988 y.; 4 – Rachi 1991 y.; 5 – Daghestan 1970 y.; 6 – Chernogory 1976 y.; 7 – Shemaha 1981 y.; 8 и 9 – Ismaily 1981 y.; 10, 11, 12 – Kopetdag 1978 y.; 13 – Shemaha 1981 y.; 14 – Ismaily 1978 y.; 15 – Buinak 1975 y.; 16 – Andaman (Indian Ocean) 2009 y.; 17 – Sumatra 2004 y.; 18 – Fiji 2009 y.

Не касаясь прогностического значения этих графиков, акцентируем свое внимание на энергетической сущности сейсмических событий. Общие масштабы региональных аномальных выбросов геотермальной энергии, предшествующие сильным землетрясениям и сопровождающие их, впечатляют своей грандиозностью.

К примеру, на стадиях подготовки и свершения Суматранского землетрясения (26 декабря 2004 года с M=9.2) в обменный бассейн за 20 месяцев, предшествовавших этому событию, было вынесено 10^{21}Дж тепловой энергии с территории площадью примерно $2.5\cdot10^{14}$м^2.

Однако, этим не исчерпывается тепловая энергетика сейсмичности, поскольку синхронно с увеличением плотности теплового потока резко возрастают масштабы дегазации флюидов в обменный бассейн относительно их фоновых значений в сейсмоспокойное время. Перед Суматранским землетрясением примерно с четверти земной поверхности было вынесено свыше $3\cdot10^{11}$м^3 спонтанных газов, в которых примерно 2/3 представлены метаном, а 1/3 двуокисью углерода. Фоновые значения стока газов для сейсмически активных регионов составляют около 200 см^3 (Войтов и др., 1972), а аномальные, по нашим замерам – 600 см^3 с 1 м^2 в год (Осика, 1981).

После подсчетов масштабов выбросов геотермальной энергии в атмосферу в результате подготовки и свершения Суматранского землетрясения авторы поняли, что все перечисленные явления были обусловлены именно этим катастрофическим событием. Выбросы аномального тепла, выделившегося в связи с этим сильнейшим землетрясением начала XXI века, достигли таких масштабов, что это повлияло на климат и потенциал биологических объектов (Залибеков, 2011) на

всей планете.

Авторами выполнены оценочные расчеты по определению масштабов выноса тепла вследствие извержения исландского вулкана Эйяфьятлайокудль для определения его роли в наблюдаемых климатических катаклизмах, охвативших часть пространства Восточной Европы в конце 2010 года (Осика, 2011). Причинно следственные связи, обусловившие засуху и множественные пожары в центральной полосе России и смежных регионах в 2010 году, обусловлены влиянием естественного потепления воздуха в связи с наступлением летнего периода.

По результатам исследования, мы пришли к выводу, что главным поставщиком повышения тепла в атмосфере является сейсмичность плюс синхронные выбросы парниковых газов эндогенного происхождения, которые так же несут с собой геотермальную энергию и тепло.

Парниковый эффект на планете не возник внезапно в последние годы, он был всегда и обусловливался естественными природными причинами. Устойчивость обменного бассейна к подобным флуктуациям концентраций различных ее компонентов кроется в громадных объемах атмосферы и гидросферы, и существовании явления буферности. Суть его заключается в динамическом равновесии концентраций всех компонентов в атмосфере и водах мирового океана, в соответствии с уравнением Клайперона-Менделеева (PV/T=const), то есть, изменение одной из его составляющих неизменно приводит к изменению и других компонентов. Установленные нами изменения согласуются с концепцией увеличения средней температуры атмосферы вследствие естественных причин связанных с концентрацией CO_2 и метана в атмосфере (Сорохтин, 2006).

Важное значение имеет оценка масштабов естественной дегазации земли посредством холодной дегазации, обусловленной сейсмичностью и горячей дегазации в результате проявления активного вулканизма с масштабами антропогенных и техногенных выбросов парниковых газов.

Согласно нашим расчетам, количество сверхфоново диссипирующей тепловой энергии в связи с подготовкой сейсмического события зависит от времени развития тепловой аномалии и площади ее охватывающей, которые в свою очередь связаны с энергетическим классом этого события (рис. 2).

Данные, находящиеся в свободном доступе о количестве добываемых энергетических ресурсов в мире несколько разнятся, однако, мы постарались собрать сведения из множества источников, чтобы получить полную картину.

Конечный выход выделившейся энергии и CO_2 в реальности может составлять на 10-15% меньше, чем показывают наши теоретические подсчеты.

Упомянутое Суматранское землетрясение (26 декабря 2004 года с M=9.2) является сильнейшим землетрясением, зафиксированным за время существования инструментальной сейсмологии. Поэтому для большей наглядности мы приведем расчеты для рядового землетрясения (с M=8.9), произошедшего у восточного побережья о. Хонсю 11 марта 2011 года.

Радиус наблюдавшихся геотермальных аномалий (R) по усредненным данным составил порядка 5000 км. Расчетное время развития (T) геотермальных аномалий – 2 года или 63072000 секунд. При этом площадь геотермальных аномалий (S) и модуль стока аномальной тепловой энергии (q) составляют соответственно – $S=\pi R^2=78.5\cdot10^6$ км^2=$78.5\cdot10^{12}$ м^2 и q=0.2 Дж/м^2·с.

$$E=q\cdot S\cdot T=0.2\ \text{Дж/м}^2\cdot\text{с}\cdot 78.5\ \text{м}^2\cdot10^{12}\cdot 63072000\ \text{с}=990230400\cdot10^{12}\ \text{Дж}=9.9\cdot10^{20}\ \text{Дж}$$

Простое сравнение полученных результатов с нашими данными (табл. 1) дает определенную значимость вклада антропогенной энергетики в тепловой баланс обменного бассейна на нашей планете значительно меньше, чем вклад от сейсмичности.

Объем сверхфоновой дегазации (V) определяется модулем стока (*m*) для сейсмически активных областей: $V=m\cdot S\cdot T_{год}$. В период подготовки сейсмического события *m* оценивается в 600 см^3 в год с 1 м^2. 600 см^3 при переводе в систему СИ соответствует 0.0006 м^3. Таким образом:

$$V=0.0006\cdot78.5\cdot10^{12}\cdot2=9.42\cdot10^{10}\text{м}^3.$$

Из этого расчета видно, что объемы поступления парниковых газов в атмосферу из недр сопоставимы с объемами промышленных выбросов.

Однако, по всей планете такие события повторяются до 3х раз в год. Более мелких землетрясений (класс землетрясений – K=16-17), которые так же привносят в процессе их подготовки в обменный бассейн значительные количества энергии из недр, насчитывается уже десятки в год. А аномальная

тепловая энергия, выделяющаяся в обменный бассейн в связи с каждым из них, по нашим подсчетам может составлять порядка $3 \cdot 10^{17} - 2 \cdot 10^{19}$ Дж в год (Осика, 2008).

Таблица 1. Количество тепловой энергии и CO_2 от добычи мировых топливных ресурсов, по данным на 2009-2010 год. **Table 1.** Number of thermal energy and CO_2 from the production of world fuel resources according to the 2009-2010 years.

Наименование ресурса	Количество, добываемое в мире в год	Энергия, которая может выделиться при полном сжигании этого количества ресурса	Количество CO_2, выделяющееся при сжигании этого ресурса
Нефть и нефтепродукты	$3.9 \cdot 10^9$ кг	$1.5 \cdot 10^{14}$ Дж	$5.3 \cdot 10^9$ м^3
Природный газ	$3.6 \cdot 10^{12}$ м^3	$1.3 \cdot 10^{14}$ Дж	$3.65 \cdot 10^{12}$ м^3
Каменный уголь	$5.8 \cdot 10^9$ кг	$1.7 \cdot 10^{14}$ Дж	$5.3 \cdot 10^6$ м^3
Всего		$4.5 \cdot 10^{14}$ Дж	$3.66 \cdot 10^{12}$ м^3

Фрагменты графиков количества землетрясений различных классов (рис. 3, 4) за последние 70 лет и количество сверхфоновой тепловой энергии, выделившейся в процессе их подготовки и свершения показывают их периодичность и увеличение количества сильнейших и катастрофических землетрясений (К=17.8-19).

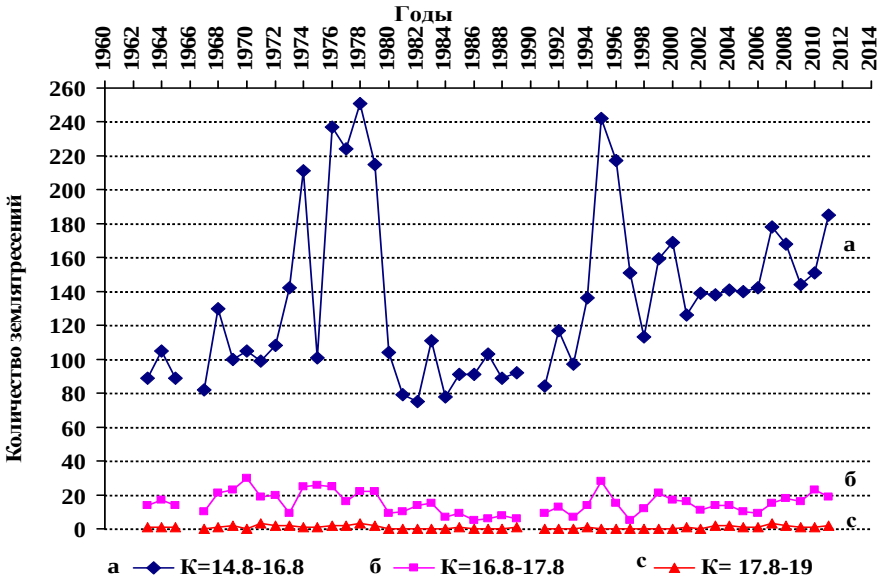


Рис. 3. Ежегодное количество землетрясений различных классов (К) по всему миру. Условные обозначения: а – К=14.8-16.8, б – К=16.8-17.8, с – К≥17.8. **Fig. 3**. The annual number of earthquakes indifferent classes (K) around the world. Symbols: a – K=14.8-16.8, б – K=16.8-17.8, c – K≥17.8.

Газогидраты, отрываясь и выделяя метан в атмосферу, так же участвуют в пополнении атмосферы парниковыми газами. По последним данным они в больших количествах залегают на дне океанов, образуя в результате воздействия фоновой холодной дегазации недр через трещины и разломы земной коры (Нигматулин и др., 1998). А разрушение их и в конечном итоге диссипация в атмосферу, по нашему мнению, происходит не столько от механических возмущений, сколько в результате повышения придонной температуры на 1-2 градуса вследствие энергетической диссипации.

Применительно к громадным объемам обменного бассейна – атмосфере и гидросфере, как нельзя лучше подходит поговорка «исчезло, как капля в море», потому что эти системы обладают буферностью, но до определенных пределов. Всплеск сейсмичности в 60-70-е годы XX столетия и значительное количество выделившейся в этот период тепловой энергии начали накапливаться в атмосфере. Последующий период сейсмического затишья оказался недостаточно долгим для того, чтобы это тепло полностью рассеялось, и новый всплеск сейсмичности привел к наложению новых

тепловых аномалий на имеющееся уже в атмосфере тепло.

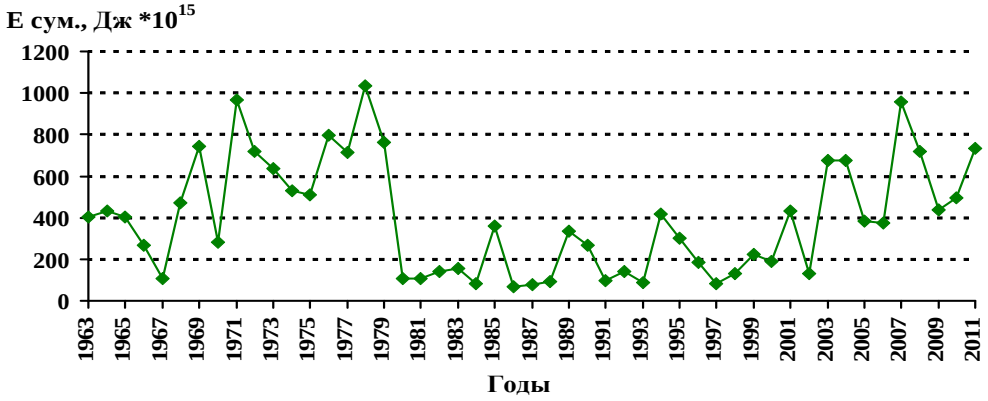


Рис. 4. Суммарная сверхфоновая тепловая энергия от всех землетрясений (при K≥16). **Fig. 4**. Total heat energy from all of earthquakes (K≥16).

В связи с Суматранским землетрясением 2004 г. выбросы парниковых газов и геотермального тепла оказались столь велики (10^{21}Дж сверхфоновой тепловой энергии и $3.2 \cdot 10^{11}$м^3 парниковых газов), что обменный бассейн был не способен справиться с такими масштабами сейсмического прессинга.

Для определения количества энергии, выделяемой в результате сильной и сильнейшей сейсмичности на планете, высчитан коэффициент корреляционной зависимости. Несмотря на фоновые флуктуации планетарных среднегодовых температур и глобальной сейсмичности, начиная с первых лет прошлого века до начала 80-х годов, прямой зависимости между температурой и сейсмичностью не прослеживается. Однако, последние 30 лет коэффициент корреляции между сейсмичностью и ростом глобальных температур составляет порядка 0.70-0.75 (70-75%).

В 2010 году в связи с Чилийским землетрясением (M=8.8) вновь атмосфера и гидросфера пополнилась гигантским количеством тепла и парниковых газов, что еще более усугубило масштабы глобального потепления климата. В результате многолетних наблюдений установлено, что в сейсмически неактивных областях центральной полосы России, таких как Курская, Белгородская, Воронежская, при отсутствии прямых и региональных воздействий сейсмичности прослеживается зависимость колебаний среднегодовых температур от количества сильнейших землетрясений, происходящих по всей планете. Поэтому мы считаем возможным судить о глобальном планетарном эффекте потепления, обусловленном выбросами громадных количеств тепловой энергии в связи с сильнейшей сейсмичностью (рис. 5).

Наблюдающийся в последние годы заметный рост среднегодовых температур по всей планете связан не только с непосредственным увеличением сейсмичности в последнее десятилетие, но и с наложением не успевших рассеяться тепловых аномалий предыдущих десятилетий. Усиление сейсмической активности в последние 20-30 лет отмечается не только нами, но и другими авторами (Рогожин, Шестопалов, 2007).

Буферная система обменного бассейна со временем могла бы справиться и с такими объемами тепла, если оно выделяется постепенно, однако, нужно представить себе процесс развития тепловых аномалий в земной коре, в результате которого диссипация тепла из недр все нарастает, до момента разрядки тектонического напряжения – землетрясения. В последние недели и дни количество диссипирующей тепловой энергии из трещин и разломов в областях близких к эпицентру готовящегося землетрясения может увеличиваться в десятки раз, что подтверждают космические наблюдения.

Фотографии инфракрасной аномалии (рис. 6), предшествующей Японскому землетрясению, произошедшему 11 марта 2011 года, показывают огромное количество тепла, выделяющееся в последние перед землетрясением дни, что нередко обусловливает наблюдающуюся засушливую и жаркую погоду (Тронин, 2011).

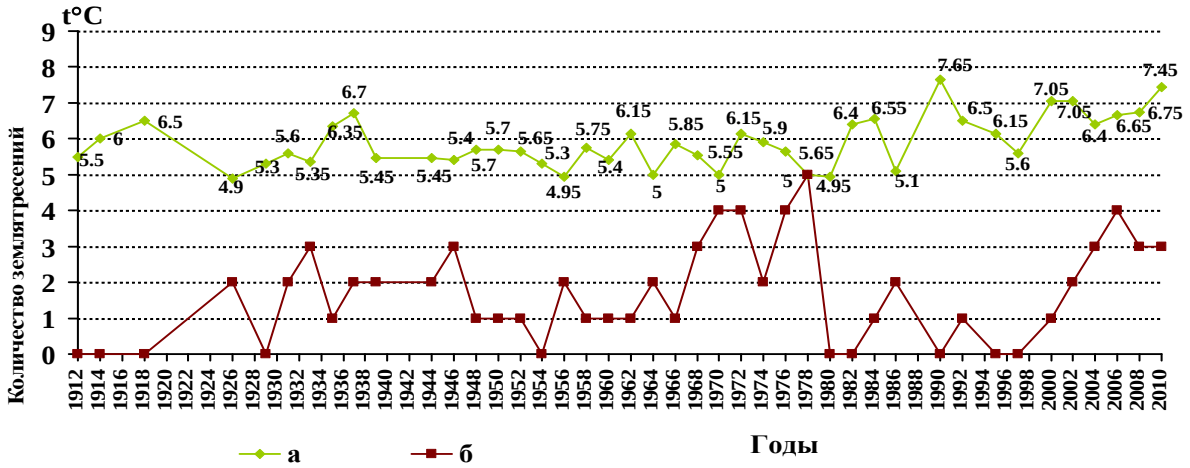


Рис. 5. Сравнительный график количества сильнейших землетрясений по всей планете (с M≥7.8) и среднегодовых температур нижних слоев атмосферы сейсмически неактивного региона на примере Курской области за последние 100 лет. Условные обозначения: а – среднегодовая температура; б – количество землетрясений с M>7.8. **Fig. 5.** Comparative chart of the number of the strongest earthquakes all over the planet (M≥7.8) and average temperatures of the lower layers of the atmosphere seismically unactive region on the example of Kursk region over the last 100 years. Symbols: a – the average annual temperature, b – number of earthquakes M>7.8.

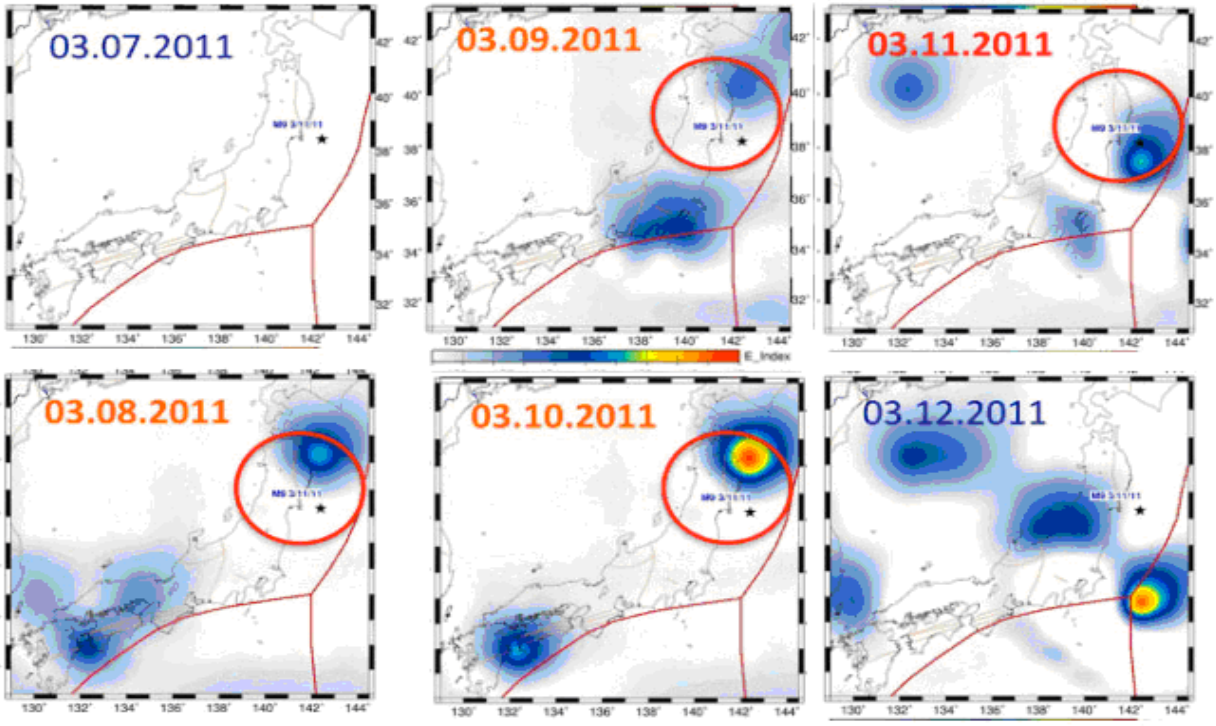


Рис. 6 Термальная аномалия перед Японским землетрясением 11 марта 2011 г., зафиксированная метеорологическим спутником [dailymail.co.uk, 2011 г.]. **Fig. 6.** Thermal anomaly before Japanese earthquake 11.03.2011, recorded meteorological satellite. [dailymail.co.uk, 2011 г.]

Активное влияние на состояние климата оказывают преимущественно сильнейшие землетрясения (с M>6). В то время как влиянием более мелких землетрясений можно пренебречь, рассматривая его как фоновое (Золотокрылин, 2002), даже несмотря на довольно значительное их количество (до нескольких сотен в год) и достаточные значения выделяемой тепловой энергии с явными предшествующими им геотермальными аномалиями.

Наблюдающееся в последнее десятилетие рост среднегодовых температур на нашей планете, а так же связанные с этим различные климатические аномалии – засухи, ураганы – обусловлены, в

первую очередь, все продолжающимся усилением сейсмичности на планете. Это неизученный фактор усиления процессов опустынивания, засоления, солонцеватости и эрозии почв.

Плотность теплового потока по всей планете не одинакова, максимальна она в областях активного орогенеза, благодаря высокой степени гидрогеологической раскрытости этой территории. В сопредельных эпигерцинских областях – несколько ниже. В платформенных областях вынос эндогенного тепла несколько замедлен, однако, в конечном итоге тепло так же выносится в обменный бассейн.

По-видимому, наблюдающийся в настоящее время период усиления сейсмичности уже практически достиг своего максимума и, вероятно, в течение ближайших 10-20 лет ожидается уменьшение количества сильных землетрясений на планете (Рогожин, Шестопалов, 2007).

В 2010 году наблюдалось аномально жаркое и засушливое лето, которое определялось эндогенной аномальной диссипацией недр в связи с планетарным усилением сейсмичности. Нами построена математическая модель этого процесса и проанализировано его развитие, подсчитаны значения объемов воздушных масс, прогретых выброшенным в атмосферу вулканическим материалом (Осика, 2011).

Влияние сложившейся на тот момент над Европой и Европейской частью России метеорологической обстановкой и скорости выброса в атмосферу масс раскаленных газов (Кириллин и др., 1968; Альтшуль, 1982), процесс рассеивания этого тепла в атмосфере продолжался практически до конца 2011 года. Установившаяся засушливая погода над таежными и центральными регионами России способствовала возникновению природных пожаров.

Нами проведены расчеты по количеству тепловой энергии, выделившейся в результате горения лесов в 2010 году. По данным экологов эти объемы оцениваются порядка 7-8 млн. га, однако, по официальной статистике Министерства лесного хозяйства России в 2010 году сгорело лишь порядка 950 тыс. га. С одного гектара влажного леса при горении по энциклопедическим данным выделяется примерно $2.6 \cdot 10^{11}$Дж тепловой энергии. При максимальных оценках объемов пострадавших площадей леса, выделившаяся энергия составит порядка $18 \cdot 10^{17}$ Дж.

Сравнивая полученное количество тепловой энергии с данными по энергетической диссипации недр видно, что это количество соответствует одному землетрясению (с К=16), а по всей планете их в год насчитываются десятки и даже сотни. Можно полагать об отсутствии определяющего влияния лесных пожаров на климатические аномалии.

К числу аномальных биологических явлений в связи с глобальным потеплением климата, очевидно, следует отнести и аномальную зимовку пеликанов в акватории Махачкалинского порта в зиму с 2011 на 2012 гг., в то время как обычно они зимуют в Кизил-Агачском заповеднике на южном Каспии.

В настоящее время в центральной полосе России наблюдается повышение среднегодовых показателей температуры, являющейся основной причиной деградации почвенного покрова, растительности и животного мира.

Выводы

Катастрофические землетрясения (с М≥8), ареалы геотермальных аномалий и масштабы геотермальных выбросов которых оказываются на 2-3 порядка выше, чем в связи с вулканизмом и антропогенными выбросами, уже оказывают заметное влияние на температурный градиент в планетарном масштабе. Кроме того, выброс геотермальной энергии в связи с сейсмичностью происходят не одномоментно, как в случае с вулканизмом, а длительно – в течение 2-х – 3-х лет. Эти сверхфоновые потоки аномального тепла постепенно распространяются по всей атмосфере, приводя к росту среднегодовых температур по всей планете. Проведенные исследования вносят важный вклад в разработку теоретических основ концепции борьбы с опустыниванием и закономерностей их проявления независимо от места распространения ареала сейсмоактивных регионов.

При этом, в сейсмоактивных регионах климатические аномалии, региональное повышение температур, увеличение количества осадков и т.п., как правило, начинают наблюдаться задолго до землетрясения, конкретное время зависит от его магнитуды. В сейсмически неактивных областях, за многие тысячи километров от эпицентра катастрофического события, подобные аномалии и повышение среднегодовых температур наблюдаются уже после свершения соответствующего

сейсмического события, как следствие глобального влияния сильнейших землетрясений на атмосферу в целом.

Тепло из недр в связи с сейсмичностью выделяется не само по себе, кондуктивным способом, а большая часть его переносится носителями – глубинными флюидами (Осика, 2008) – парами воды, газами, термальными водами, распространяющимися по трещинам и мелким нарушениям осадочного чехла. Этим обусловливается высокая скорость и значительные площади распространения геотермальных и климатических аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Альтшуль А.Д. 1982. Гидравлические сопротивления. М.: Недра. С. 224.

Амирханов Х.И., Левкович Р.А., Суетнов В.В., Гаирбеков Х.А. 1972. Тепловой режим осадочных толщ. Махачкала: Дагиздат. 227 с.

Аширов Т.М., Гулиев В.И., Сопиев В.А., Смирнов Я.Б. 1975. Некоторые результаты режимных наблюдений в Ашхабадской сейсмоактивной зоне // Изветия АН ТССР. Серия физико-технических, химических и геологических наук. № 3. С. 31-35.

Войтов Г.И., Осика Д.Г., Гречухина Т.Г., Плотников И.А. 1972. О некоторых геолого-геохимических последствиях Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. // Доклады АН СССР. Т. 202. № 3. С. 576-579.

Залибеков З.Г. 2011. Аридные земли мира и их динамика в условиях современного климатического потепления // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1. С. 1-14.

Золотокрылин А.Н. 2002. Индикатор аридности климата // Аридные экосистемы. Т. 8. № 16. С. 47-59.

Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. 1968. Техническая термодинамика. М.: Энергия. 472 с.

Любимова Е.А., Мухтаров А.Ш., Исмаил-Заде Т.А. 1985. Вариации температуры в скважине «Биладжи» (Азербайджан) в период сейсмической активизации региона // Физика Земли. № 4. С. 49-54.

Нигматулин Р.И., Шагапов В.Ш., Сыртланов В.Р. 1998. Автомодельная задача для разложения газогидрата в пористой среде под действием нагрева и депрессии // Прикладная механика и техническая физика (ПМТФ). Т. 39. № 3. С. 111-118.

Осика Д.Г. 1981. Флюидный режим сейсмически активных областей. М.: Наука. 204 с.

Осика Д.Г., Черкашин В.И. 2008. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности. М.: Наука. 248 с.

Осика Д.Г., Алишаев М.Г., Пономарева Н.Л., Отинова А.Ю. 2011. О роли сейсмичности и вулканизма в парадоксах современного климата // Вестник Дагестанского научного центра РАН. № 43. С. 27.

Рогожин Ю.А., Шестопалов И.П. 2007. Вековые циклы сейсмичности Земли и безопасность АЭС // Атомная стратегия. № 29. С. 18-19.

Сорохтин О.Г. 2006. Эволюция климата Земли и происхождение ледниковых эпох // Вестник РАН. Т. 76. № 8. С. 699-706.

Тронин А.А. 2011. Каталог термальных и атмосферных явлений при землетрясениях. СПб.: Стратегия будущего. 260 с.

http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1388789/Japan-earthquake-Atmosphere-epicentre-heated-rapidly-days-disaster.html, 20 мая 2011 г.

ABOUT THE ORIGIN OF THE GLOBAL WARMING AND THE REASONS FOR THE FORMATION OF CLIMATIC ANOMALIES AND DISASTERS

© 2013. D.G. Osika, A.Yu. Otinova, N.L. Ponomareva

Institute of Geology of the Dagestan Science Center of the Russian Academy of Science
Russia, 367030 Makhachkala, Yaragskogo str., 75. E-mail: OsikaDG@yandex.ru, NatalyMak@yandex.ru

In this paper we compare the emissions of thermal energy and greenhouse gases in connection with seismicity and volcanism, with similar emissions due to production and use of all kinds of fossil fuel. Provide detailed calculations. According to the results of this comparison, we make the conclusion about the determining role of the seismicity in the formation of the greenhouse effect and climate warming.

Key words: seismic activity, degassing in connection with seismicity, the energy dissipation of the subsurface area, exceeding the baseline emissions of heat, volcanism, global warming, greenhouse gases, anthropogenic emissions.