ISSN 1993-3916

Том 24 Номер 2 (75) Июнь 2018

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

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.

МОСКВА: Товарищество научных изданий КМК

2018

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при поддержке
Прикаспийского института биологических ресурсов и
Института геологии 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.
Подписной индекс русской версии журнала 39775 в 1 томе каталога «Пресса России»

Журнал включен в систему Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) eLIBRARY.RU, в базу данных Russian
Science Citation Index, размещенную на платформе Web of
Science, входит в число реферируемых журналов и Базы данных
Scopus, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery
Service, OCLC, Summon by ProQues, включен в Перечень
изданий, рекомендованных ВАК РФ, переводится на английский
и распространяется издательством Springer за пределами России.
Сведения о журнале ежегодно поступают в международную
справочную систему «Ulrich’s Periodicals Directory».
Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте
https://aridecosystems.ru/index.php/ru/; архив полнотекстовых статей по адресу
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8404&code=99990527

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 24, № 2 (75), 2018, июнь
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
Ж.В. Кузьмина*

Редакционная коллегия:
Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), К.Б. Гонгальский, П.Д. Гунин,
А. Джилили (Китай), Т.В. Дикарева, Л.А. Димеева (Казахстан), Т.Д. Зинченко,
И.С. Зонн, К.Н. Кулик, Г.С. Куст, В.В. Неронов, К.З. Омаров, Л. Орловская (Израиль),
Б. Оюнгерел (Монголия), А.А. Тишков, В.И. Черкашин, А.А. Чибилев,
З.Ш. Шамсутдинов

Редакционный совет:
А.Б. Биарсланов, В.М. Неронов, Э.А. Рустамов (Туркмения), Н.З. Шамсутдинов

Ответственные за выпуск:
Ж.В. Кузьмина*, О.С. Гринченко*(*Ответственный секретарь*)

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

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

Москва: Товарищество научных изданий КМК
2018

СОДЕРЖАНИЕ

Том 24, номер 2 (75), 2018 июнь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О закономерностях формирования продукционных ресурсов засоленных почв Терско-Кумской низменности
З.Г. Залибеков 3-10

Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с их аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии
Е.И. Панкова, Г.И. Черноусенко 11-19

Влияние антропогенного воздействия на растительность и почвы эоловых форм рельефа в аридных условиях
Р.Х. Абд Эль-Вахаб, А.Р. Аль-Рашид, А. Аль-Дусари 20-34

О реликтовых явлениях и влиянии вулканогенных пород на растительность горных степей Южной Сибири
Б.Б-Ц. Намзалов, С.В. Жигжитжапова, Т.Т. Тайсаев, Л.Д. Раднаева, С.Ч. Банаева, М.Б-Ц. Намзалов 35-45

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Создание кормовых агрофитоценозов как способ восстановления и повышения продуктивности деградированных естественных пастбищ
Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Н.И. Кудряшова 46-52

Особенности экологических условий формирования биопродуктивности ярового ячменя в аридной зоне Волгоградской области на землях, подверженных дефляции
А.Н. Сарычев 53-59

О продуктивности бобовых растений в засушливых условиях Дагестана
Н.Ш. Шуайбова, А.М. Магомедов, Х.М. Гамзатова, А.Д. Хабибов 60-65

Методические аспекты оценки испарения воды почвой при мульчировании растительными остатками в засушливых регионах
Н.А. Шумова 66-74

Массовая миграция и гибель общественных полевок (*Microtus socialis* pallas, 1773) в Северо-Западном Прикаспии
О.М. Букреева, Г.В. Лиджи-Гаряева 75-80

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 3-10

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.48

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2018 г. З.Г. Залибеков

Институт геологии Дагестанского научного центра РАН
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75. E-mail: dangeo@mail.ru

Поступила 02.11.2017

Выявлены закономерности формирования продукционных ресурсов почв аридных территорий; обосновано функционирование самостоятельной категории почвенных ресурсов продукционного направления, описаны параметры факторов, связанных с сезонными циклами гидрохимических свойств почв. Показано своеобразие продукционных процессов по типам почв и их независимость от размеров функционирующих площадей почв. Экспериментально изучены технологии освоения продукционных ресурсов с выращиванием растений короткого вегетационного цикла на основе использования природных закономерностей солевых и водных аккумуляций.

Ключевые слова: миграция солей, продукционные ресурсы, засоление почв, фитомелиорция, аккумуляция, разнообразие биомассы сообществ, гидротермический коэффициент.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00012

Общепринятая концепция изучения потенциала почвенных ресурсов основывается на учете пространственных параметров (площадей) генетических разностей почв, функционирующих в виде самостоятельных ареалов. В пространственную категорию почвенных ресурсов входят и ареалы нарушенных, мелиорируемых (с применением сложных мелиораций) и незастроенных земель городов и сельских поселений, используемых под зеленые и защитные насаждения. Формированию ресурсов, связанных с увеличением общей биомассы растительного и животного происхождения без изменения пространственных параметров почв (в пределах одного контура), уделяется недостаточное внимание. Разнообразие почвенных процессов и циклическая их смена в течение вегетационного периода приводят к радикальным изменениям в водно-солевом и пищевом режимах почв и созданию условий для синтеза продукционных ресурсов в виде общей биомассы наземных экосистем.

Механизм формирования биомассы сообществ растений и животных, представляющей категорию продукционных ресурсов, определяется как процесс создания компонента, потребляемого организмами. Увеличение его доступности ведет к росту организма и скорости накопления биомассы. Принципы определения объекта исследования заключаются в том, что условия почвообразования и их динамика способствуют увеличению биомассы и разнообразия почв в зависимости от засоления, солонцеватости, гумусированности и степени обеспеченности почв питательными веществами. Кроме того, разнообразие почв и их продуктивность при применении научно-обоснованной технологии использования обеспечивается увеличением пищевых, сырьевых и кормовых ресурсов. Повсеместно существующая ограниченность и уменьшение площадей почв на 1 человека в сфере формирования продукционных ресурсов исключается.

Объект и методы исследования

Объектами исследования стали почвы Терско-Кумской низменности, изученные в достаточной степени (Солдатов, 1969; Мирзоев, 1975; Залибеков, 2011) в генетическом, пространственном и ресурсоведческих аспектах. Основные почвенные процессы в регионе определяются влиянием сухого полупустынного климата с высоким коэффициентом испарения и сезонной сменой засушливого периода года умеренно-увлажненным с относительно низкой температурой воздуха. Аккумуляция запасов почвенной влаги происходит в осенне-зимний и зимне-весенний периоды и составляет >100 т/га, ее величина подвержена колебаниям в многолетнем режиме. Механизм использования почвенной влаги как элемента продукционных ресурсов определяется последовательной сменой

направлений почвенных процессов: подтяжка солей и их накопление в верхних горизонтах почв в летний период, выносом солей глубже в корнеобитаемом слое (рассолительный процесс) в осенний и весенний периоды (Залибеков, 1986; Засоленные почвы России, 2006).

Методическая основа работы базировалась в определении мигрирующих в составе нисходящих и восходящих токов влаги легкорастворимых солей по отдельным периодам: весеннему, летнему, осеннему и зимнему. В осенний и зимний периоды из гумусированных слоев выносится максимальное количество солей. Их содержание является исходной основой количественного определения рассоляющего эффекта атмосферных осадков. Учитывая это, считаем целесообразным определить стадии миграции солей, дополняя характеристику потенциала формирующихся продукционных почвенных ресурсов. Определение последних дает возможность оценить биосферное значение продуктивности, где ведущая роль в засоленных почвах принадлежит циклам миграции, общим запасам солей и их мигрирующей части по сезонам. Для дифференциации величин, характеризующих запасы солей и их миграционных категорий, находящихся в слое 0-100 см, проведено определение солевого состава рассматриваемых почв. Интенсивность миграционной динамики определяется по типам почв, приведенных в общепринятой классификации (Егоров, 1959; Виноградов и др., 1995; Залибеков, 2011). Для определения миграционной динамики и ее роли в формировании продукционных ресурсов выявлены градации, которые обуславливают различия, изменяющие продуктивность почв, формируемую на единицу площади. Классификационные выделы, характеризующие тоновый уровень засоления на примере отдельных типов почв, дифференцированы градациями различий в степени и характере засоления почв. Определены параметры стадий, позволяющие выявить механизм формирования продукционных функций различных типов почв (Фридланд, 1986; Стасюк и др., 2006).

Период выноса солей из верхних горизонтов с накоплением во второй метровой толще происходит с осени до весны. Временной интервал охватывает зимний и ранневесенний периоды и характеризуется минимальной испаряемостью с поверхности почвы. Продолжительность и интенсивность почвенных процессов этого периода определяются количеством выпадающих осадков и однородностью почвенных горизонтов по гранулометрическому составу. В этот период формируется потенциал продукционных ресурсов, величина которых зависит от количества и объема выщелоченных по профилю легкорастворимых солей (ЛРС). Накопление солей в корнеобитаемом слое в интервал от начала летнего сезона до осени охватывает весенне-летнюю стадию развития миграционных потоков в восходящем направлении. В этот период стабильно сохраняется высокая температура воздуха и интенсивное испарение с поверхности почвы и наступает фаза развития летнего анабиоза растений. Стабильное развитие продукционных ресурсов прекращается, и происходит сезонная смена классификационных почвенных единиц.

Важным элементом методической части является сезонный отбор почвенных образцов (в толще 0-100 см) и проведение учета надземной фитомассы с закладкой укосных площадок. Полевое описание почвенных разрезов и геоботанических площадок, лабораторные анализы отобранных образцов проведены по отдельным типам почв, с использованием общепринятых методов исследований (Герасимов, 1973; Розанов, 1984; Салманов и др., 1988). Методические разработки, использованные в нашей работе, рекомендуется применить в качестве первого этапа исследований по формированию продукционных ресурсов засоленных почв дельтово-аллювиальных равнин.

Результаты и обсуждение

Генетическая связь продукционных ресурсов с циклами миграции солей и увлажнения свидетельствует о наличии неизученных резервов повышения скорости накопления общей биомассы. Период накопления характеризуется по количеству календарных дней с температурой >10°С и гидротермическому коэффициенту (ГТК) >1. Для оценки условий отобраны данные метеостанций с типичными показателями (табл. 1) по продолжительности благоприятного периода в календарных днях – 62-80.

Календарные сроки начала увлажненного весеннего периода приурочены к концу марта и началу апреля, когда достигается стабильность гидротермических условий. Вторая половина влажного осеннего периода начинается в сентябре, охватывает октябрь и начало ноября. Прерывность влажного периода и переход к засушливому режиму создают общий фон кажущегося сохранения

существующих систем, при этом использование продукционных ресурсов остается в тени. Проведенная обработка климатических данных и сопоставление их с требованиями кормовых растений с коротким вегетационным периодом дает основание утверждать, что в почвах существуют неиспользуемые запасы влаги в условиях функционирования естественных фитоценозов.

Таблица 1. Показатели периодов формирования продукционных ресурсов и миграции легкорастворимых солей.

Метео-станция	**Широта в градусах**	**Период с температурой**		
		>10°C	**ГТК >1**	**Сумма температур >10°C**
		Календарные сроки	**Продолжительность в днях**	
Махачкала	43	28.03-04.05[1] 20.09-20.10[2]	80	1300
Дербент	42	24.03-08.05[1] 22.09-25.10[2]	78	1252
Терекли-Мектеб	47	25.03-21.05[1] 23.09-24.10[2]	77	1120
Элиста	46	01.04-10.05[1] 22.03-25.10[2]	76	1083
Ленкорань	39	15.03-25.04[1] 30.09-30.10[2]	78	1260
Самарканд	40	15.03-20.04[1] 01.10-04.11[2]	69	1120
Ташкент	41	05.04-10.05[1] 20.09-22.10[2]	62	1000

Примечания к таблице 1: [1] – весеннего периода, [2] – осеннего периода.

Установленные сроки и продолжительность периода с климатическими параметрами, соответствующими требованиям культурных растений эфемерового типа развития в аридных условиях южных широт с температурой >10°C и продолжительностью >40 дней, соответствуют условиям, рекомендуемым для фитомелиораций в целях обогащения видового разнообразия пастбищной растительности. При этом выявляются общие закономерные связи между синтезом продукционных ресурсов и циклами миграции солевых аккумуляций:

– прерывность благоприятного периода формирования продукционных ресурсов летним периодом с высокими температурами и острым дефицитом почвенной влаги;

– отрезками времени с относительно низкими зимними температурами, неустойчивыми морозами и переменно влажным климатическим режимом.

Рассматриваемый отрезок времени укладывается в границы вегетационного периода и выступает в качестве неиспользуемого резерва. Общая продолжительность благоприятного периода развития, разделенная на две части, и отсутствие дефицита почвенной влаги служат основой для создания и увеличения продукционных ресурсов путем выращивания растений с коротким периодом вегетации. Эти мероприятия укладываются в рамки локальной фитомелиорации, способствующей освоению продукционных ресурсов. Осуществляется сохранение функционирующих площадей почв и их разнообразия. Выявление факторов ресурсоведения дополняет общепринятое представление, расширяя знания о наличии возможностей увеличить продукционные ресурсы почв аридных территорий. Интродукция кормовых растений в составе сообщества естественных фитоценозов природных кормовых угодий представляется одним из ведущих приемов мобилизации ресурсоведческого потенциала почв в планетарном масштабе. Выявление, освоение продукционных ресурсов засоленных почв способствует повышению биологической продуктивности и преодолению

вторичного засоления и дегумификации. Теоретическая основа мобилизации продукционного ресурса – это выявление, изучение запасов по категориям мигрирующего, остаточного (валового) количества легкорастворимых солей в слое 0-100 см (табл. 2).

Таблица 2. Факторы, определяющие продукционные ресурсы засоленных почв.

Почвы	**Запасы солей 0-100 см**					**Разница в запасах солей между нисходящими и восходящими растворами, т/га**	**Факторы определяющие продукционные ресурсы**
	Общие, т/га	**Нисходящие растворы**		**Восходящие растворы**			
		т/га	**%**	**т/га**	**%**		
Светло-каштановые Слабо-засоленные	12.5	1.9	14.6	1.4	12.1	-0.5	1. Неограниченность площадей 2. Смена почвенных единиц на уровне типов, подтипов 3. Миграция солей, цикличность 4. Различия в режимах почвообразования 5. Влияние уровенного режима Каспия 6. Климатические изменения в сезонном, годовом, многолетнем аспектах
Средне-засоленные	99.1	29.0	22.0	19.3	19.1	-8.7	
Лугово-каштановые Слабо-засоленные	10.5	1.8	16.2	1.5	16.3	-1.1	
Средне-засоленные	125.6	21.7	17.4	20.6	18.1	-3.0	
Луговые Слабо-засоленные	11.0	2.3	21.0	2.0	18.1	-3.0	
Средне-засоленные	119.4	12.1	10.1	11.0	9.2	-0.3	
Сильно-засоленные	264.0	20.0	7.0	22.9	9.4	-1.5	
Луговоболотные Слабо-засоленные	23.0	1.7	7.4	2.2	9.5	-1.8	
Средне-засоленные	120.1	11.9	8.9	12.5	10.4	+3.6	
Сильно-засоленные	228.3	17.9	7.8	27.9	10.2	+2.4	
Солончаки типичные, луговые	360.5	44.5	12.1	50.8	16.8	+4.7	
	371.1	45.5	14.0	49.1	14.7	+4.8	

Выделенные типы почв характеризуются широким диапазоном показателя современного и остаточного накопления солей, определяющих их биологическую продуктивность. Для выявления закономерных связей динамики изменения общего потенциала почв с содержанием ЛРС в условиях пастбищной растительности использованы результаты анализов водных вытяжек основных типов почв региона с оценкой величин нисходящих и восходящих потоков ЛРС.

Формирование солевого состава почв как определяющего фактора продукционных ресурсов характеризуется значительным превышением величины нисходящих токов солей над восходящими при слабой и средней степени засоления. Переход к средне-сильнозасоленным вариантам луговых и лугово-болотных почв сопровождается заметным увеличением количества ЛРС, содержащихся в восходящих токах влаги. Распределение ЛРС по почвенному профилю характеризуется дифференциацией качественного их состава по основным типам почв (Добровольский и др., 1975;

Классификация и диагностика …, 1988).

Светлокаштановые почвы представлены слабо-среднезасоленными разностями и занимают значительную площадь в южной возвышенной части региона. Общий запас солей в слое 0-100 см составляет 12.5 т/га. Мигрирующая часть, способствующая рассолению слоя и созданию условий для формирования продукционных ресурсов, составляет 14.6% в слабозасоленных и 22% в сильнозасоленных вариантах. Соотношение запасов ЛРС по нисходящим и восходящим токам растворов показывает ведущую роль растворов, мигрирующих в нисходящем направлении. Преобладание процессов выноса солей в осенний и весенний периоды указывает на признаки, характерные солонцовому направлению почвообразования. Следует отметить, что от соотношения растворов, мигрирующих в нисходящем и восходящем направлениях, зависят различия в значительных размерах. Восходящими токами в засушливый период года подтягивается меньшее количество солей, что дает основание говорить о развитии прогрессирующего рассоления и формирования условий, способствующих увеличению продукционных ресурсов светлокаштановых среднезасоленных почв. Важным фактором здесь, как и в ареале других типов почв, является неограниченность площадей нисходящей миграции, проявляющейся в качестве универсального действующего фактора. При усилении процессов засоления нисходящие токи растворов приводят к уменьшению запасов солей до 22%, а восходящие – к увеличению на 19.3%. Различия в балансе мигрирующих солей в противоположных направлениях обеспечивают функциональную роль их выноса из почвенного профиля в глубокие слои в пределах 3-5% от общего запаса ЛРС. Выявленная особенность рассолительного процесса указывает на положительную роль вымыва солей в освоении резервов естественной растительности. Формирование этого процесса подчеркивает специфику почвенных процессов и их потенциальных возможностей, характерных дельтовым ландшафтам.

Лугово-каштановые почвы рассматриваются с дифференциацией на слабозасоленные и среднезасоленные варианты. В слабозасоленных разностях содержание общих запасов солей в метровой толще составляет 10.5 т/га, из этого количества нисходящими токами растворов уносятся в нижние слои запасы солей, на 25-30% превышающие объем, который подтягивается в верхние горизонты. Развитие процессов засоления до средней степени отражает отсутствие баланса в противоположно направленных миграционных явлениях при значительном увеличении общего запаса солей до 125.6 т/га. Разница в запасах солей, содержащихся в нисходящих и восходящих токах растворов, значительно уменьшается, выявляя преобладающую роль рассоления и подавленности современного соленакопления. Из факторов продукционных ресурсов заметное влияние оказывает смена почвенных классификационных единиц под влиянием грунтовых вод. Грунтовое увлажнение, связанное с нисходящими токами растворов, приводит к появлению условий, способствующих развитию засоления.

Луговые почвы характерны значительным диапазоном различий в процессах накопления солей при максимальной величине общих запасов ЛРС (264.0 т/га), где мигрирующая часть составляет 12% их запасов. С нисходящими токами растворов также мигрируют ЛРС в равновеликом количестве, обнаруживая стадию стабилизации в процессах современного соленакопления. Запасы ЛРС, уходящих вниз по профилю, в процессе миграции колеблются в значительном диапазоне 9.4-21.0%. Причем максимальное количество мигрирующей части солей установлено у слабозасоленных разностей. Величина солевых запасов и миграционной их части у сильнозасоленных луговых почв значительно выше по сравнению с представителями слабой и средней степени, что указывает на формирование высокого потенциала их продукционных ресурсов.

Лугово-болотные почвы формируются в прибрежной части приморской полосы региона и устьях рек Терека и Кумы. С увеличением степени засоления усиливаются миграционные процессы, что подтверждает общую закономерность осуществления синтеза фитомассы растений в периоды нисходящих токов водных и солевых потоков.

Солончаки типичные, луговые, залегают в комплексе со светлокаштановыми и луговыми почвами и характеризуются максимальными значениями ЛРС – 360.5 т/га в слое 0-100 см. В динамике миграционных процессов преобладают восходящие растворы с подтяжкой ЛРС, где разница ежегодно накапливаемой массы солей достигает 4.7 т/га. Преобладающее значение в рассматриваемых почвах имеет солончаковый процесс при соподчиненной роли мигрирующих масс в нисходящем направлении. Относительно формирования условий, благоприятных для продукционных

ресурсов, следует указать заметное уменьшение продолжительности периода функционирования продукционных ресурсов. Сложный механизм развития продукционных процессов связан с циклической сменой свойств почв и сезонного разнообразия гидротермических условий, при которой создается новая система под названием «экологическое высвобождение» водного ресурса. Выявленные процессы накопления почвенной влаги и рассоления почв создают условия для обогащения видового разнообразия растений с применением фитомелиораций пастбищ аридных территорий. Для определения потенциальной эффективности освоения неиспользуемого водного ресурса приводятся результаты экспериментов по выращиванию кормовых растений и определению их реакции на процессы миграции солей, сумму активных температур рассолительной фазы и продолжительность вегетационного периода (табл. 3).

Таблица 3. Продолжительность вегетации кормовых растений по фазам.

Растения	**Сумма суточных температур >10°C**	**Продолжительность вегетации по фазам в днях**		
		Общая вегетация	**Накопление фитомассы**	**Разница в продолжительности вегетации**
Рапс озимый *Brassica napus* L.	1100-1400	80-100	50-80	20-30
Горчица белая *Sinapis alba* L.	1000-1200	70-110	60-90	10-20
Клевер красный *Trifolium pra tense* L.	900-1300	70-120	60-90	10-30
Овес посевной *Avepa sativa* L.	1000-1400	60-80	50-70	10-20
Ячмень короткоостый *Hordeum bracyantherum* (Nevski.)	900-1200	70-90	–	–
Арктофила бурая *Arctophila fulva* (Trin.)	800-1200	50-60	–	–
Горох красноцветный *Pisum sativum* L.	900-1500	80-110	60-90	20-35

Приведенный список включает виды кормовых растений, которые выращивают в южных регионах России в условиях аридного земледелия при орошении: рапс озимый, горчица белая, клевер красный и др. Сумма активных среднесуточных температур, необходимая для прохождения полного цикла их развития, укладывается в параметры периода с ГТК>1, характерного фазовым переходам солевых миграций в восходящем и нисходящем направлениях (Залибеков, 1986; Солдатов, 1969).

Анализ рассматриваемых показателей позволяет отметить наличие возможностей освоения продукционных ресурсов почв при выращивании морозоустойчивых, засухоустойчивых растений с короткой вегетацией. По продолжительности вегетации и межфазовых миграционных процессов рекомендуемые виды растений объединяются в одну группу, где физиологические особенности роста и развития осуществляются на фоновом экологически равновесном уровне. Накопление фитомассы непосредственно связано с ресурсом доступной почвенной влаги, уменьшением количества токсичных солей и суммой суточных температур >10°C. Незначительная разница между продолжительностью вегетации и периодом накопления фитомассы означает наличие высокого коэффициента реального потенциала продукционных ресурсов, формирующихся в сезонном аспекте. Для кормовых растений с коротким периодом вегетации уровень потребляемого запаса почвенной влаги связан с количеством атмосферных осадков, выпадающих за короткий период функционирования межфазовых восходящих и нисходящих потоков солей. Разнообразие и

продолжительность вегетации кормовых растений и периода накопления фитомассы связаны с элементами плодородия и количества вымываемых солей. Так, например, рапс озимый может расти при самых коротких периодах накопления влаги в почве, горчица белая – конкурент за питательные вещества (азот, фосфор, калий) при умеренном содержании ресурса почвенной влаги. Количество рекомендуемых видов кормовых растений с аналогичными особенностями в рассматриваемом регионе значительно больше. Эти примеры обосновывают закономерности формирования продукционных ресурсов в виде фитомассы и реальность практического осуществления положений разрабатываемой концепции. Дальнейшее развитие исследований по данной проблеме целесообразно вести, изучая механизм изменения количественно-качественного состава ЛРС, различий в содержании и миграции влаги, способствующих формированию неизученных продукционных ресурсов.

Выводы

Разработаны закономерности формирования потенциала продукционных ресурсов и сезонной цикличности гидротермических свойств почв в условиях аридного климатического режима.

1. Обосновано выделение самостоятельного вида почвенных ресурсов – продукционного направления. В его основе лежит возможность синтеза общей биомассы растений и животных с увеличением ее величины на единицу площади. Главным отличием продукционных ресурсов является отсутствие ограничения и уменьшения в размерах пространственных показателей – площадей генетических разностей почв.

2. Методическая основа дифференциации продукционных ресурсов на учете влияния нисходящих и восходящих потоков солей и питательных веществ по отдельным периодам – весеннего, летнего, осеннего. Продукционные ресурсы предоставляют возможность оценить биосферную роль продуктивности и дифференцировать величину общих запасов ЛРС, их мигрирующую часть и остаточное количество, не затронутое сезонными миграционными процессами.

3. Выявлена роль миграционных процессов в формировании продукционных ресурсов. Дифференцированы периоды выноса солей из верхних горизонтов с накоплением в породе за осенний, осенне-зимний и весенний сезоны. Последующий период отличается накоплением солей и их подтяжкой в корнеобитаемом слое, включая интервал времени от начала летнего сезона до осеннего, характеризующегося высокой температурой воздуха, интенсивным испарением с поверхности почвы и наступлением анабиоза растений.

4. Установлены сроки и продолжительность периода с параметрами, соответствующими требованиям кормовых растений эфемерового типа развития, изучены закономерные связи синтеза продукционных ресурсов и циклов миграции солевых аккумуляций, включая роль прерывности формирования режима продукционных ресурсов летним периодом с высокими температурами и дефицитом почвенной влаги.

5. Обосновано соответствие климатических условий периода, способствующих развитию нисходящих потоков солей, и продолжительности вегетации; определена роль этого фактора в локальных фитомелиорациях, способствующих увеличению продукционных ресурсов почв с сохранением функционирующих их площадей. Теоретической основой использования продукционных ресурсов аридных почв южных регионов России является аккумуляция запасов по категориям мигрирующего количества ЛРС.

6. Дана оценка основных типов почв региона с позицией обоснования продукционных ресурсов; максимальным потенциалом обладают засоленные почвы, в профиле которых происходит рассоление и увеличение доступной для растений влаги; в незасоленных разностях увеличение продукционного ресурса связано с аккумуляцией влаги в корнеобитаемом слое почв.

7. Экспериментальное изучение проблемы формирования продукционных ресурсов выращиванием кормовых растений с коротким периодом вегетации показала правильность использования объективно существующих закономерностей увеличения ресурсоведческого потенциала почв аридных земель с сохранением функционирующих площадей почвенного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Виноградов Б.В., Фролов В.Р., Снакин В.В. 1995. Биологические критерии выделения зон экологического бедствия // Известия АН СССР. Серия «Географическая». № 5. С. 77-89.

Герасимов И.П. 1973. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической классификации почв // Почвоведение. № 5. С. 10-16.

Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В. 1975. Геохимия, мелиорация и генезис почв дельты Терека. М.: Издательство МГУ. 247 с.

Егоров В.В. 1959. Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельтах Арало-Каспийской низменности. М.: Издательство АН СССР. 296 с.

Залибеков З.Г. 1986. Сезонное распределение и миграция солей в засоленных почвах дельты Терека // Почвоведение. № 8. С. 83-90.

Залибеков З.Г. 2011. Аридные земли мира и их динамика в условиях современного климатического потепления // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (40). С. 100-105.

Засоленные почвы России. 2006 / Ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: Академкнига. 856 с.

Классификация и диагностика почв Дагестана. 1988. Махачкала: Дагестанский филиал АН СССР. 81 с.

Мирзоев Э.М-Р. 1975. Почвенно-мелиоративное районирование Северо-дагестанской низменности. Махачкала. 26 с.

Розанов Б.Г. 1984. Аридизация суши и антропогенное опустынивание // Почвоведение. № 10. С. 41-50.

Салманов А.Б., Керимханов С.У., Залибеков З.Г. 1988. Классификация и диагностика почв Дагестана. Махачкала: Дагестанский филиал АН СССР, отдел биологии. 98 с.

Солдатов А.С. 1969. Почвенное районирование территории Дзержинской оросительной системы Терско-Сулакской низменности // Труды отдела почвоведения. Т. 4. Махачкала. С. 97-112.

Стасюк Н.В., Добровольский Г.В., Рущенко В.К., Залибеков З.Г. 2006. Методологические аспекты почвенного мониторинга равнинного Дагестана // Почвоведение. № 9. С. 1130-1143.

Фридланд В.М. 1986. Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука. 248 с.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 11-19

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.48

СОПОСТАВЛЕНИЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С ИХ АНАЛОГАМИ В ДРУГИХ ПОЧВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СУББОРЕАЛЬНОГО ПОЯСА ЕВРАЗИИ[1]

© 2018 г. Е.И. Панкова, Г.И. Черноусенко

Почвенный институт им. В.В. Докучаева
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1
E-mail: chergi@mail.ru, pankova22@mail.ru

Поступила 23.06.2017

В статье дана сравнительная характеристика природным условиям и некоторым свойствам зональных (каштановых) почв разных почвенно-климатических провинций сухих степей Евразии. Показано разнообразие их свойств. Подчеркивается, что главное отличие каштановых почв разных провинций связано в первую очередь с разным гранулометрическим составом и засоленностью. В статье проводится сопоставление свойств каштановых почв, относящихся к разным климатическим провинциям сухих степей, но формирующихся на отложениях легкого гранулометрического состава. На основе цифровой Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2500000 (1988, 1996) впервые подсчитана площадь распространения каштановых почв на породах разного гранулометрического состава в разных почвенно-климатических провинциях сухостепной зоны России. Установлено, что на территории Восточно-Сибирской провинции господствуют почвы легкого гранулометрического состава, часто щебнистые, что и определяет их отличия от типичных каштановых суглинистых почв Европейской России. Сопоставление свойств почв легкого гранулометрического состава выявило их определенное сходство. В частности, показано, что супесчаные почвы, в отличие от суглинистых, слабо прогумусированы, не засолены, не содержат гипса и несолонцеваты. Таким образом, эти признаки нельзя относить к климатическим провинциальным особенностям каштановых почв, так как в первую очередь они связаны с почвообразующими породами.

Ключевые слова: гранулометрический состав, климатические характеристики, фации, провинции, супесчаные каштановые почвы, юг Восточной Сибири, юг Европейской России.
DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00013

В пределах сухостепной зоны суббореального пояса Евразии господствующее развитие имеют каштановые почвы (Kashtanozem; IUSS …, 2015). Согласно почвенно-географическому районированию СССР (1962), зона сухих степей делится на провинции, характеризуемые специфическими биоклиматическими условиями, что, по мнению ряда исследователей (Герасимов, 1933; Ногина, 1964, 1980), и определяет провинциальные особенности каштановых почв.

Материалы и методы

На основе обобщения опубликованных авторских и литературных материалов мы постарались ответить на вопрос, что в первую очередь определяет особенности каштановых почв разных природно-климатических фаций (Герасимов, 1933) или провинций (Почвенно-географическое районирование, 1962): биоклиматические условия или свойства почвообразующих пород?

Для получения ответа на этот вопрос мы сопоставили основные климатические показатели разных почвенно-климатических провинций зоны распространения каштановых почв Евразии (юг Европейской части России, Тувы, Хакасии, Бурятии и Монголии, относящейся к Восточно-Европейской, Восточно-Сибирской и Центральноазиатской фациям (Герасимов, 1933; Почвенно-географическое ..., 1962), а также их свойства каштановых почв указанных выше территорий, формирующихся на породах легкого гранулометрического состава в пределах сухостепной зоны

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-04-570а.

суббореального пояса для того, чтобы выявить роль климатического и литологического факторов в формировании свойств каштановых почв суббореального пояса Евразии.

Работа выполнена на основе сравнительно-географического метода. При сопоставлении использовались авторские материалы и опубликованные данные, характеризующие природные условия и свойства каштановых почв сухостепной зоны Евразии.

Результаты и обсуждение

Каштановые почвы, согласно современной точке зрения, являются зональными почвами сухих степей умеренного пояса (Розов, Строганова, 1979; Почвенная карта РСФСР, 1988). Зона сухих степей охватывает огромную площадь на Евроазиатском и Американском континентах. В Евразии она протянулась прерывистой полосой в субширотном направлении по всему континенту, а на территории Северной и Южной Америки – в субмеридиональном. Общая площадь каштановых почв в мире оценивается в 465 млн. га (IUSS …, 2015). Они формируются в семиаридных климатических условиях под сухостепной растительностью и в разных классификациях мира называются по-разному: каштаноземы (Kastanozems) в Евразии, устоли – кальцинированные устоли, натриевые устоли (Ustolls – Calcinsytolls, Natriustolls) в США (Soil Taxonomy, 1999), коричневые черноземные почвы (Brown Chernozemic soil) в Канаде (The Canadian …, 1998).

Характерными чертами каштановых почв, согласно национальной классификации почв России (Классификация …, 2004), является наличие в нижней части профиля почв гипса и легкорастворимых солей. Сухостепная зона характеризуется большим разнообразием природных условий, а, следовательно, и чрезвычайным разнообразием факторов почвообразования. Для того чтобы ощутимо представить это, достаточно упомянуть, что сухие степи с каштановыми почвами на территории Евразии занимают низкие приморские равнины Причерноморья и Прикаспия, высокие равнины Монголии (с высотами 800-1600 м н.у.м. БС) и, наконец, межгорные котловины Алтая, Тувы, Забайкалья, Хэнтэя и т.д., расположенные на высотах от 600 до 2000 м н.у.м. БС и более. При этом каштановые почвы формируются на разных элементах рельефа: на речных террасах, днищах межгорных котловин, делювиальных шлейфах, плоских приморских равнинах и высоких плоскогорьях. Разнообразный рельеф определяет разновозрастность почв и большое разнообразие почвообразующих пород как по их генезису, так и по гранулометрическому, литологическому и химическому составу отложений.

Значительным разнообразием характеризуется и растительный покров. Каштановые почвы формируются под полынной разнотравно-злаковой, ковыльной и кустарничковой сухой степью (Береснева, 1984, 2006).

Климатические условия в пределах сухостепной зоны крайне неоднородны. Среднегодовые температуры воздуха изменяются в пределах сухостепной зоны Евразии от +10°С (в западных районах) до -4°С – в восточных (рис. 1). Продолжительность безморозного периода в районах Восточной Монголии равна 95 дням, в котловинах Алтая – 80-60 дням, а в сухих степях Крыма и Украины положительные температуры отмечаются в течение почти 9-10 месяцев в году. Резко меняются в пределах зоны и среднемесячные температуры воздуха и почв. В наибольшей мере это проявляется зимой, особенно в Восточной Сибири и Монголии, где температуры достигают -50°С.

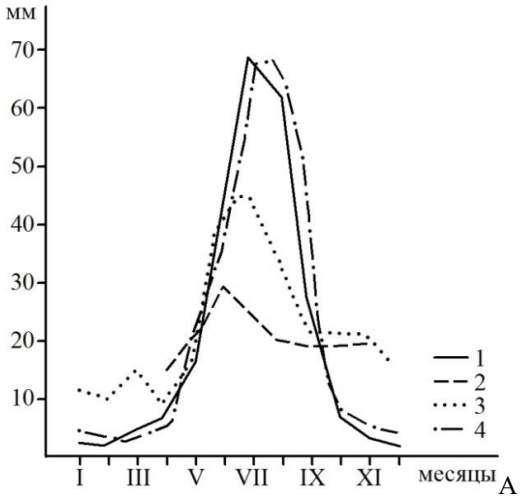
Режим выпадения осадков в различных районах сухостепной зоны также обнаруживает существенные различия: в западных регионах зоны осадки распределяются более равномерно, чем в восточных (рис. 1). В западных провинциях летом происходит резкое иссушение почв, в то время как в сухостепной зоне Восточной Сибири и Монголии преобладают позднелетние осадки и иссушения в этот период не наблюдается. С другой стороны, в восточных районах почвы испытывают сильное иссушение весной, когда растения трогаются в рост, в это время на западе складываются более благоприятные условия для вегетации. Именно ход выпадения осадков дал основание считать, что отсутствие легкорастворимых солей в профиле каштановых почв Восточной Сибири связано с природной промывкой почв летними осадками (Ногина, 1964). Поэтому в Забайкалье выделена особая провинция сухостепных промытых почв (Почвенно-географическое ..., 1962).

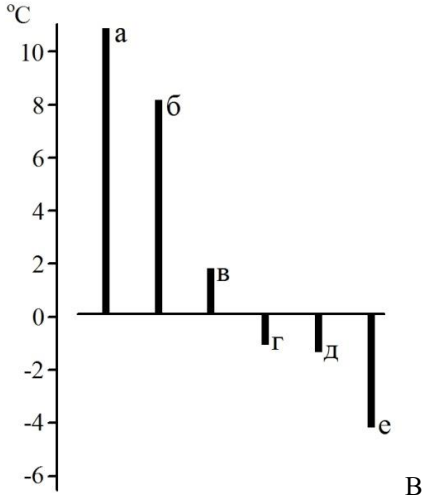
Кроме распределения осадков для сухостепной зоны юга Восточной Сибири и Монголии типичны низкие температуры почв. По данным И.А. Бересневой (1984), каштановые почвы Монголии в течение 6 месяцев имеют отрицательные температуры, тогда как в западных регионах

сухостепной зоны почвы не промерзают.

Общезональными признаками климата сухостепной зоны является резкая сезонность температурного режима, небольшое количество осадков (порядка 250-300 мм), преобладание испарения над осадками, а потому явный недостаток влаги в почве большую часть года.

Очевидно, что разнообразие природных условий, а, следовательно, и факторов почвообразования в пределах зоны сухих степей обязано как современным биоклиматическим различиям, так и литолого-геоморфологическим особенностям различных районов, отразившимся, прежде всего, на характере почвообразующих пород, что фиксируется и в свойствах сухостепных почв различных регионов суббореального пояса Евразии.





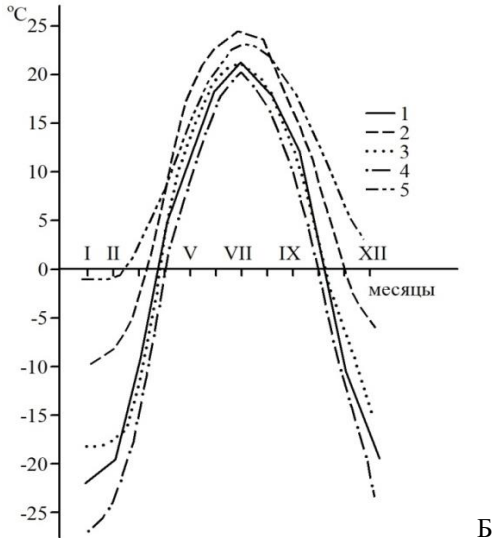


Рис. 1. Климатические характеристики сухостепной зоны суббореального пояса Евразии. *Условные обозначения:* А – годовой ход осадков и Б – годовой ход температур 1) Монголии (с. Чайбалсан), 2) Прикаспия (г. Николаевское), 3) Казахстана (г. Павлодар), 4) Бурятии (г. Новоселенгинск), 5) Крыма; В – среднегодовые температуры а) Крыма, б) Прикаспия, в) Казахстана, г) Монголии, д) Бурятии, е) Тувы.

Для сопоставления свойств почв и природных условий разных регионов сухостепной зоны брались данные[2] по наиболее типичному варианту сухостепных (каштановых) почв, соответствующей провинции (рис. 2). Так, наиболее распространенными сухостепными почвами южной Украины и Крыма являются темно- каштановые почвы, развитые на лессовидных суглинках. Для Прикаспия (Прикаспийская провинция), Волгоградской, Саратовской области Донской провинции характерны каштановые и светло-каштановые солонцеватые почвы на тяжелых суглинках и глинах, а для Тувинской и Забайкальской провинций и Монголии – каштановые супесчаные почвы, развитые на легких, часто щебнистых пролювиально-делювиальных отложениях.

[2] Данные для составления рисунка 2 брались для Монголии из работ Е.И. Панковой (1993, 1997), для Украины – из работы В.Д. Кисель (1956), для Прикаспия – из работы А.А. Роде и М.Н. Польского (1961), для Бурятии – из работы Н.А. Ногинской и К.А. Уфимцевой (1964), для Тувы – из работы В.А. Носика (1963).

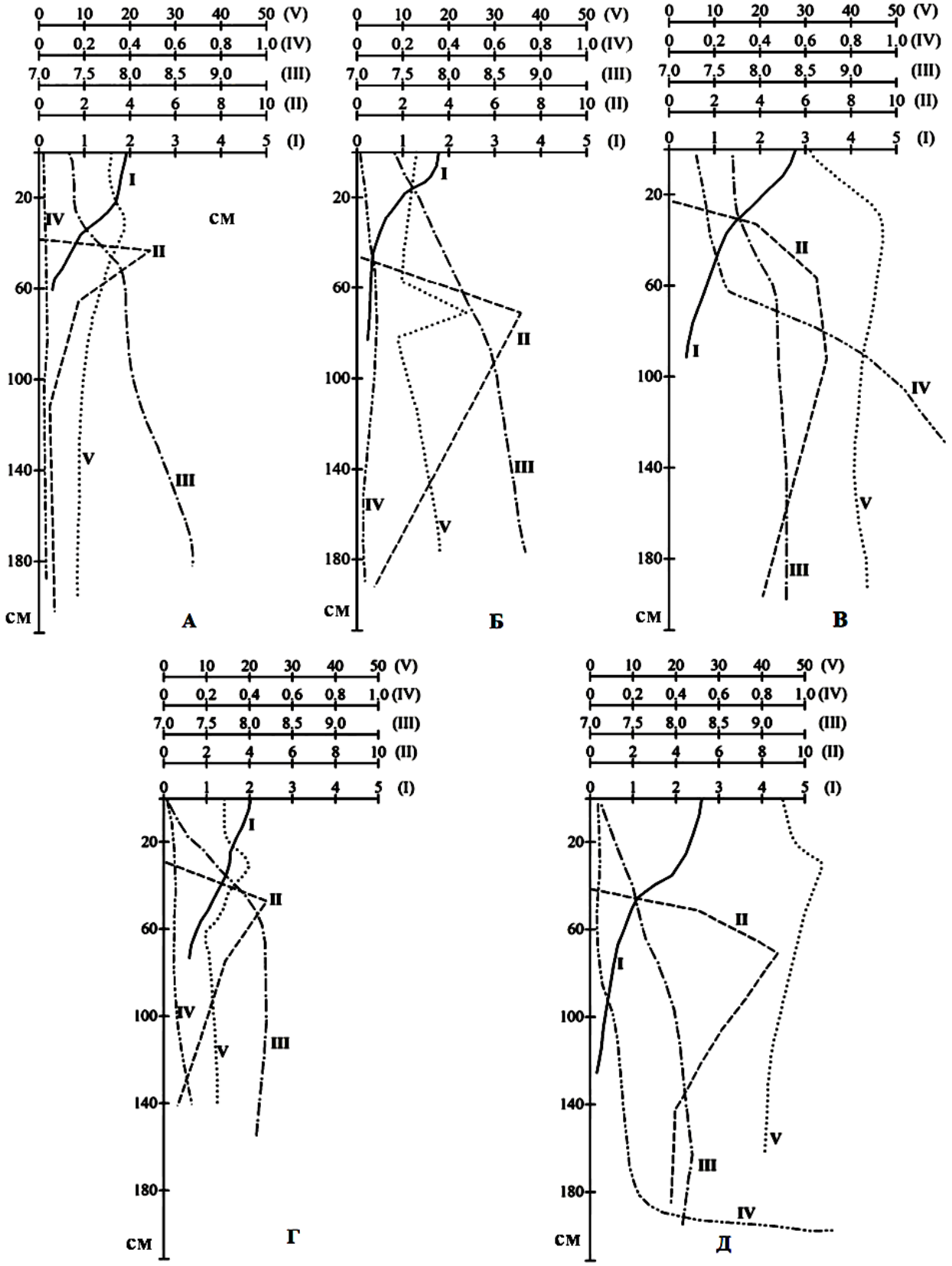


Рис. 2. Химические свойства каштановых почв разных почвенно-географических провинций. *Условные обозначения*: А – Забайкалье, Б – Монголия, В – Прикаспий, Г – Тува, Д – Украина. I – гумус, %; II – CO_2, % карбонатов, III –водный pH, IV – сумма солей, %; V – фракция <0.01 мм, %.

Приведенные материалы (рис. 2) свидетельствуют о большом своеобразии каштановых почв сравниваемых регионов. Наибольшим сходством характеризуются типичные каштановые почвы Монголии, Тувы и Забайкалья (Ногина, Уфимцева, 1964; Носин, 1963; Волковинцер, 1978).

Сухостепные почвы этих районов объединяет: а) широкое развитие каштановых почв легкого гранулометрического состава с включением грубообломочного материала; б) неоднородность почвенного профиля в связи с частым формированием почв на неоднородных двухслойных и многослойных отложениях; в) относительно слабая гумусированность, резкий перепад гумуса от верхнего горизонта (0-20 см) к нижележащим; в верхнем (20 см) горизонте сосредоточен основной запас гумусовых веществ; г) близкий фракционный состав гумуса, характерный относительно высокой подвижностью гумусовых веществ; д) своеобразный карбонатный профиль (Волковинцер, 1978; Ногина, Уфимцева, 1964; Панкова, 1964); как правило, отсутствие четко выраженного горизонта белоглазки, карбонаты выделяются в виде рыхлых известковистых гнезд, пятен, прослоев, часто образуют натечные корки под галькой либо создают общий белесоватый фон всего горизонта; е) отсутствие горизонтов скопления гипса и легкорастворимых солей, а также солонцеватость, характерная для каштановых почв юга Европейской России. Однако следует отметить, что в Восточной Сибири есть и каштановые почвы, содержащие в профиле легкорастворимые соли и гипс. Подобное мы наблюдали в Хакасии, Туве и Монголии. В отличие от более распространенных в этих регионах каштановых почв легкого гранулометрического состава засоленные каштановые почвы характеризуются среднесуглинистым, тяжелосуглинистым грансоставом и формируются на пестроцветах девона (Хакасия, Тува) и мел-палеогена (Тува, Монголия), содержащих легкорастворимые соли и гипс (Панкова, Рубцова, 1983; Черноусенко, Курбатская, 2017).

Еще раз подчеркнем, что сопоставление свойств типичных каштановых почв разных почвенно-климатических провинций (рис. 2) показало, что по гранулометрическому составу (содержанию физической глины), солевому и карбонатному профилям почвы Европейской части России (рис. 2 В, Д) и Сибири (рис. 2 А, Б, Г) существенно различаются.

Приведенных фактов достаточно, чтобы сделать следующий вывод: сумма основных признаков супесчаных каштановых почв Центральноазиатской биоклиматической фации (Герасимов, 1933) указывает на явное сходство последних с почвами Тувы и Забайкалья и существенные отличия их от типичных каштановых почв Украины, Крыма и юга Европейской России – Прикаспия (рис. 2).

Согласно распространенному в настоящее время мнению, разнообразие почв внутри зоны подчинено прежде всего закону почвенно-географической фациальности и/или провинциальности (Герасимов, 1933; Почвенно-географическое ..., 1962; Добровольский, Урусевская, 1984). Причина появления провинциальных особенностей в почвах, отмеченных в книге «Почвенно-географическое районирование СССР» (1962), до настоящего времени остается окончательно не выясненной. Ю.А. Ливеровский (1964) пишет, что существуют принципиальные расхождения по этому вопросу у Л.И. Прасолова и И.П. Герасимова. Л.И. Прасолов (1927) существование почвенных провинций связывал в первую очередь с различиями литолого-геоморфологических условий отдельных частей почвенных зон. И.П. Герасимов (1933) связывает наличие почвенных провинций прежде всего с биоклиматическими различиями внутри зоны. Точка зрения И.П. Герасимова получила признание в современном почвоведении и нашла свое отражение в «Почвенно-географическом районировании СССР» (1962) и Почвенной классификации СССР (Классификация …, 1977). Так, в классификации выделяются особые континентальные и экстраконтинентальные провинции в пределах основных почвенных зон Евразии, включая и зону распространения каштановых почв.

Согласно определению в работе «Почвенно-географическое …» (1962), почвенная провинция рассматривается как часть почвенной зоны, «отличающаяся специфическими особенностями почв и условий почвообразования, связанных с различиями в увлажнении и континентальности, либо с температурными различиями». Таким образом, изменение климата в широтном направлении считается главной причиной своеобразия почв соответствующих регионов в пределах зоны. Так, сухостепные (каштановые) почвы восточных районов, характерные отсутствием горизонта гипсового и легкорастворимых солей, которые обладают своеобразным карбонатным профилем (наличием «мучнистых» карбонатов) и отсутствием солонцеватости и рядом других особенностей, присущих каштановым почвам Тувы, классифицируются по фациальному подтипу как каштановые почвы умеренные длительно промерзающие (Классификация ..., 1977) экстраконтинентальной провинции

или как криоаридные по классификации 2004 года (Классификация ..., 2004).

Таким образом, в классификациях 1977 и 2004 годов (хотя классификация 2004 года базируется прежде всего на свойствах почв) биоклиматическому фактору в формировании зональных почв сухостепной зоны в данном случае придается большее значение, чем почвообразующим породам.

Изучение и сопоставление каштановых почв Монголии и юга Восточной Сибири – обширной резкоконтинентальной части сухостепной зоны – и их сравнение с каштановыми почвами менее континентальных районов юга Европейской части России позволило нам рассмотреть вопрос о том, является ли резкая континентальность климата основной причиной своеобразия каштановых почв Монголии и юга Восточной Сибири (Тувинская, Забайкальская провинции)? В чем причина отсутствия в их профиле засоленных, гипсоносных горизонтов, характерных для каштановых почв западных географических провинций (Заволжская, Донская, Прикаспийская)? Для ответа на эти вопросы важно было исключить влияние других факторов почвообразования, которые могли бы завуалировать влияние климата. В соответствии с этим для сравнения были взяты каштановые почвы легкого гранулометрического состава разных почвенно-климатических провинций, которые наиболее типичные для Монголии и юга Восточной Сибири. Для этого на цифровой Почвенной карте РСФСР (1988, 1996) были выделены каштановые почвы, сформированные на породах разного гранулометрического состава, и подсчитаны их площади (рис. 3).

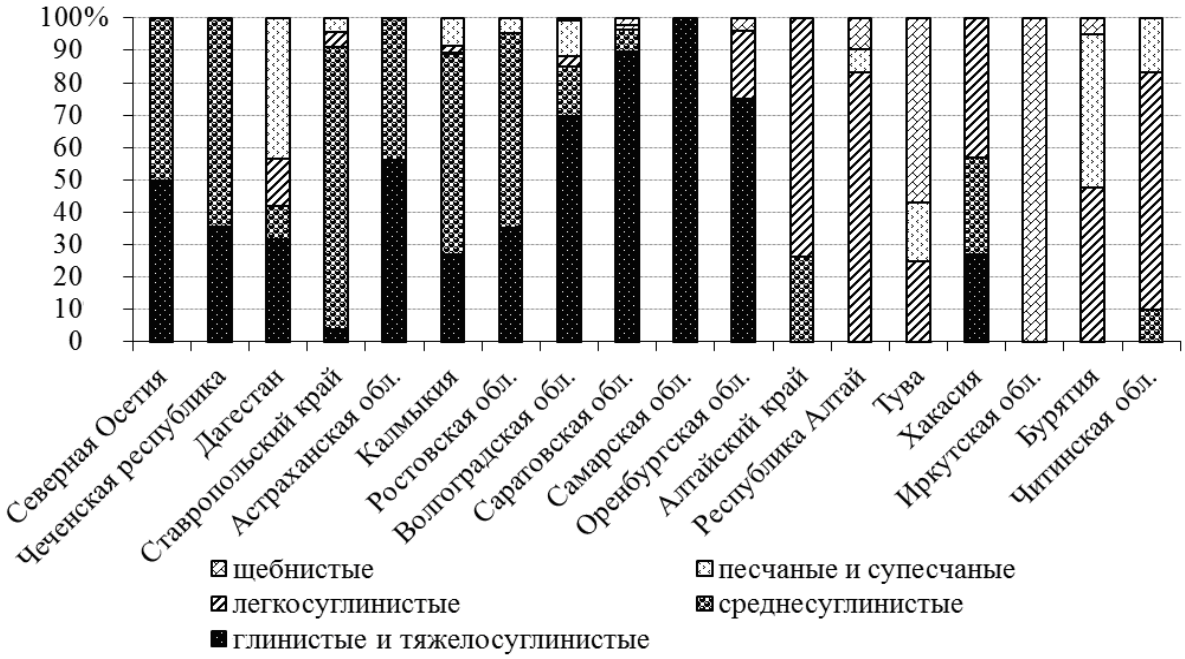


Рис. 3. Процентное соотношение площадей каштановых почв в регионах России, сформированных на породах разного гранулометрического состава.

Установлено, что в западных районах сухостепной зоны России каштановые почвы легкого гранулометрического состава распространены относительно не широко (за исключением Дагестана). Светло-каштановые почвы, например, Ергенинской возвышенности сформированы в основном на лессовидных суглинках и глинах, однако иногда они залегают на песках и супесях, что приводит к формированию супесчаных светло-каштановых почв. В Волгоградской области супесчаные почвы занимают около 10% площади. Это главным образом почвы приуроченные к Приволжской песчаной гряде, сформированные на толще легких суглинков и супесей, подстилаемых с 0.5-5 м супесями и песками в условиях глубокого залегания (5-10-20 м) грунтовых вод с минерализацией 1-3 г/л. Почвенный покров гряды представлен каштановыми почвами легкого гранулометрического состава, не содержащими водорастворимые соли (сухой остаток на глубине 2 м не превышает 0.1%; Зимовец, 1991). Как было отмечено выше, относительно широко распространены супесчаные светло-каштановые почвы в Дагестане на Терско-Кумской низменности, особенно в ее центральной части,

где широко распространены достаточно крупные песчаные массивы, образовавшиеся в результате неоднократного перевевания древнеаллювиальных отложений Терека и Кумы. Здесь развиты светло-каштановые песчаные и супесчаные почвы, при этом легкорастворимые соли в них отсутствуют. Для супесчаных и песчаных каштановых почв Терско-Кумской низменности характерно и отсутствие обособленного карбонатного горизонта. Светло-каштановые супесчаные почвы малогумусны (1-2%), имеют низкую емкость поглощения (7-8 смоль/экв. на кг) и большей частью слабо засолены или не засолены вовсе (Зонн, 1933; Гожев, 1930; Першина, 1956).

Для регионов, расположенных восточнее Оренбургской области (рис. 3), каштановые почвы на глинах и тяжелых суглинках встречаются крайне редко (лишь в Хакасии), также значительно меньше почв на средних суглинках. В основном почвы юга Восточной и Средней Сибири формируются на легких породах: супесях, песках, щебнистых породах или легких суглинках (рис. 3). Данные о площадях каштановых почв, сформированных на породах разного гранулометрического состава, рассчитаны по цифровой Почвенной карте масштаба 1:2500000 (1988, 1996).

Сопоставление данных по каштановым супесчаным почвам юга Европейской части России, юга Восточной Сибири и Монголии позволило сделать вывод о том, что они обладают рядом общих признаков: 1) единым строением почвенного профиля; 2) отсутствием горизонтов легкорастворимых солей и гипса в профиле; 3) четко выраженным гумусовым горизонтом мощностью около 20-40 см; 4) низким содержанием гумуса (около 1.5%); 5) низкой емкостью поглощения (10-15 смоль/экв. на кг); 6) преобладанием кальция в поглощенных основаниях и незначительным присутствием натрия (редко превышает 1-1.5 смоль/экв. на кг); 7) почвы, как правило, несолонцеваты; 8) отчетливым карбонатным горизонтом; 9) карбонаты представлены мелкокристаллическим кальцитом, который создает общую белесоватость горизонта либо концентрируются в виде пятен под галькой, натечных корочек на щебенке или в виде других включений; 10) количество легкорастворимых солей в профиле обычно не превышает 0.1%; 11) реакция почвенного раствора слабощелочная, либо щелочная; 12) водно-физические свойства каштановых почв легкого гранулометрического состава характеризуются низкой влагоемкостью (1000-1400 $м^3$/га на метровую толщу); высокой водопроницемостью (более 1 м/сутки); постоянно нисходящим током почвенных растворов; чрезвычайно слабыми капиллярными свойствами и т.д.; 13) распределение илистой фракции по профилю каштановых супесчаных почв равномерное; некоторое очень незначительное увеличение может наблюдаться в гумусовом горизонте с постепенным уменьшением вниз по профилю.

К сожалению, отсутствие наиболее полных сведений по каштановым супесчаным почвам различных почвенно-географических провинций затрудняет более детальное их сопоставление.

Однако даже перечисленные выше общие свойства позволяют сделать вывод о значительном сходстве каштановых супесчаных почв, формирующихся в разных по степени континентальности районах сухостепной зоны суббореального пояса Евразии, таких как Монголия, юг Восточной Сибири и юг Европейской части России.

Разумеется, провинциальные (фациальные) климатические особенности, (резкая континентальность климата Монголии и юга Восточной Сибири) должны отразиться на процессах почвообразования и оставить определенный отпечаток на свойствах каштановых почв этих регионов.

Обобщение материалов по Туве, Забайкалью, а также изучение каштановых супесчаных почв Монголии позволило констатировать следующие факты. В условиях резкоконтинентального климата процессы биохимического выветривания и почвообразования протекают медленнее, чем в менее континентальных районах. Отсюда малая мощность профиля почв и сильная щебнистость даже на относительно выровненных территориях, связанная в том числе с преобладанием физического выветривания, и очень медленные процессы глинообразования на фоне преимущественного распространения полимиктовых песков. Низкий темп глинообразования и слабая выветрелость пород объясняется как особенностями климата, так и широким развитием супесей, песков и щебнистых пород и ограниченным распространением суглинистых и глинистых отложений в восточных регионах сухостепной зоны Евразии. Именно поэтому господствующими каштановыми почвами юга Восточной Сибири и Монголии являются почвы легкого гранулометрического состава, в то время как в сухостепной зоне на Европейской части России они приурочены лишь к «островам» древнеаллювиальных песков и имеют ограниченное распространение (рис. 3).

Резкая континентальность климата, безусловно, влияет и на процессы преобразующие органические остатки в почве. Гумусообразование идет медленнее, чем в других, менее континентальных провинциях. Об этом свидетельствует низкий коэффициент гумификации, длительная сохранность в почве полуразложившихся корней, своеобразие гумусового профиля (Ногина, Уфимцева, 1964). Состав гумуса – гуматно-фульватный или фульватный, что вероятно, также связано с континентальностью климата и легким гранулометрическим составом почв, который господствует как в Восточной Сибири, так и в Монголии (Чимитдоржиева, 1991; Уфимцева, 1962). Своеобразный режим выпадения осадков (преимущественно в позднелетний и раннеосенний период) в сухих степях юга Восточной Сибири и Монголии, также, как и резкие перепады температур, влияют на почвенные процессы и, в первую очередь, на перераспределение продуктов почвообразования в профиле почв.

Выводы

Следует подчеркнуть, что мы не отрицаем значимость климатического фактора в формировании особенностей каштановых почв Центрально-Азиатской фации. Так, особенности климатических условий Восточной Сибири и Центральной Азии определяют температурный и водный режим почв. Приведенные факты свидетельствуют о том, что резкая континентальность климата сухих степей Монголии и Восточной Сибири безусловно сказывается на свойствах каштановых почв, однако такие характерные особенности местных каштановых почв как отсутствие горизонтов легкорастворимых солей и гипса в их профиле; отсутствие солонцеватости почв; низкая гумусированность и емкость поглощения, форма накопления карбонатов и некоторые другие физико-химические и мелиоративные свойства (низкая влагоемкость, высокая водопроницаемость и др.) обязаны не континентальности климата, а характеру почвообразующих пород, так как эти свойства типичны не только для каштановых почв экстраконтинентальной климатической области, а характеризуют сухостепные почвы легкого гранулометрического состава сухостепной зоны России в целом.

В результате сопоставления свойств каштановых почв Монголии и юга Восточной Сибири с каштановыми почвами легкого гранулометрического состава других районов суббореального пояса Евразии можно сделать вывод о том, что своеобразие каштановых почв указанных регионов обусловлено, в первую очередь, спецификой литолого-геоморфологических условий, а именно – легким гранулометрическим составом отложений.

Приуроченность каштановых почв Монголии и юга Восточной Сибири к территориям высоких равнин и межгорных котловин сближает каштановые почвы этих регионов. В отличие от каштановых почв легкого гранулометрического состава низких равнин Европейской части России, почвы межгорных котловин Алтая, Тувы, Бурятии и высоких равнин Монголии часто характеризуются скелетностью материала, слоистостью профиля, связанной с неоднородностью отложений; нередко близким подстиланием гравийно-галечникового материала; наличием карбонатных натеков под щебенкой и рядом других специфических свойств..

Сходные по свойствам почвы сухостепной зоны котловин Тувы (Носин, 1963), Забайкалья (Ногина, Уфимцева, 1964), горного Алтая (Волковинцер, 1978). Монголии (Панкова, 1974, 1997; Ногина, 1964), Китая (Ковда, 1959) следует объединить в единую Центрально-Азиатскую почвенно-географическую провинцию, характеризуемую близостью всего комплекса природных условий и широким развитием каштановых почв легкого гранулометрического состава, формирующихся на легких незасоленных отложениях высоких равнин и межгорных котловин.

Близость морфологических, физико-химических и мелиоративных свойств каштановых почв легкого гранулометрического состава различных регионов суббореального пояса свидетельствует о том, что резкая континентальность климата Монголии и юга Восточной Сибири не является причиной отсутствия легкорастворимых солей в почвах формирующихся на легких незасоленных отложениях. Наши данные подтверждают точку зрения Л.И. Прасолова и И.Н. Антипова-Каратаева (1939) о том, что особенности свойств каштановых почв отражают как климатические условия, так и геологическую историю своего формирования, и характер почвообразующих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Береснева И.А. 1984. Климат // Сухие степи МНР. Л.: Наука. С. 52-68.
Волковинцер В.И. 1978. Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука СО АН. 208 с.

Герасимов И.П. 1933. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Т. VIII. Вып. 5. С. 1-38.

Гожев А.Д. 1930. Типы песков западной части Терско-Дагестанского массива и их хозяйственное использование // Известия Государственного Русского географического общества. Т. 62. Вып. 4. С. 463-562.

Добровольский Г.В., Урусевская И.С. 1984. География почв. М.: Изд-во МГУ. 415 с.

Зимовец Б.А. 1991. Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Наука. 249 с.

Зонн С.В. 1933. Пески и почвы Терско-Кумской низменности и их хозяйственное использование // Труды Ленинградского отделения ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. К.К. Гедройца. Л.: Издательство ВАСХНИЛ. Вып. 19. С.107-145.

Кисель В.Д. 1956. К вопросу о природе и генезисе каштановых почв Ногайского массива. Автореферат дисс. … канд. биол. наук. Харьков. 16 с.

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

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 223 с.

Ковда В.А. 1959. Очерки природы и почв Китая. М.: Изд-во АН СССР. 456 с.

Ливеровский Ю.А. 1964. Основные почвенно-географические понятия // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во МГУ. С. 3-24.

Ногина Н.А. 1964. Почвы Забайкалья. М.: Наука. 313 с.

Ногина Н.А. 1980. Своеобразие почв и процессов почвообразования в Центральноазиатской фации // Почвоведение. № 9. С. 9-14.

Ногина Н.А., Уфимцева К.А. 1964. Своеобразие почв области широкого распространения «вечной» мерзлоты и вопросы их классификации (на примере изучения почв Забайкалья) // Труды конференции почвоведов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск. С. 44-53.

Носин В.А. 1963. Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР. 341 с.

Панкова Е.И. 1997. Закономерности формирования почвенного покрова и особенности почв степей и пустынь Монголии // Почвоведение. № 7. С. 789-798.

Панкова Е.И. 1964. Каштановые почвы Восточно-Монгольской равнины и их краткая мелиоративная оценка // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во МГУ. С. 28-39.

Панкова Е.И. 1974. Каштановые почвы Центрально-Азиатской почвенно-географической провинции (на примере Монгольской Народной Республики) // Почвоведение. № 12. С. 42-52.

Панкова Е.И., Рубцова Л.П. 1983. Засоление почв сухих и опустыненных степей Монголии // Почвоведение. № 9. С. 13-21.

Першина М.Н. 1956. Генезис каштановых почв юго-западной части Терско-Кумского песчаного массива // Доклады ТСХА. Вып. 23. С.160-164.

Почвенная карта РСФСР. 1988. М 1:2500000 / Ред. В.М. Фридланд. М.: ГУГК СССР. 16 л.

Почвенная карта РСФСР. Цифровой вариант. 1996. М 1:2500000. Лаборатория информатики Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Почвенно-географическое районирование СССР. 1962. М.: АН СССР. 422 с.

Почвы Казахской ССР. 1960. Алма-Ата. Вып. 3. 266 с.

Прасолов Л.И. 1927. Южное Забайкалье. Л.: Изд-во АН СССР. 422 с.

Прасолов Л.И., Антипов-Каратаев И.Н. 1939. Каштановые почвы // Почвы СССР. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР. 407 с.

Роде А.А., Польский М.Н. 1961. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Почвы полупустынных областей Северо-Западного Прикаспия. М.: Изд-во АН СССР. Т. 56. С. 3-214.

Розов Н.Н., Строганова М.Н. 1979. Почвенный покров Мира. М.: Издательство МГУ. 290 с.

Уфимцева К.А. 1962. Забайкальская сухостепная провинция темно-каштановых и каштановых промытых почв // Почвенно-географическое районирование СССР. М. С. 247-248.

Черноусенко Г.И., Курбатская С.С. 2017. Засоленность почв разных природных зон котловинных ландшафтов Тувы // Почвоведение. №11. С. 1296-1311.

Чимитдоржиева Г.Д. 1991. Особенности органического вещества криогенных почв // Почвоведение. № 11. С. 125-132.

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // World Soil Resources Reports. № 106. Rome: FAO. 203 p.

The Canadian System of Soil Classification. 1998. 3rd Edition. Ottawa: NRC Research Press. 187 p.

Soil Taxonomy. 1999. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436. 871 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 20-34

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.2; 574.9

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ПОЧВЫ ЭОЛОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2018 г. Р.Х. Абд Эль-Вахаб*, А.Р. Аль-Рашид, А. Аль-Дусари*****

**Университет Суэцкого канала, научный факультет, биологическое отделение*
Египет, 41522, Исмаилия, Ринг Роад. E-mail: raafat_hassan@yahoo.com

***Орган государственного управления для прикладного образования и обучения,*
Колледж общего образования, научное отделение
Кувейт, 73251, Адайлия, ул. Абдулла Али Аль Мутава

****Кувейтский институт научных исследований*
Кувейт, 13109, Эль-Кувейт, п/я 24885 Сафат, ул. Джамал Абдул Нассер

Поступила 02.08.2017

За несколько последних десятилетий на эоловых формах рельефа на побережье и внутри южного Кувейта наблюдается сильная деградация почв и ухудшение растительного покрова, причиной чему служит человеческое воздействие: организация туристических лагерей в весенний период, транспортная нагрузка вне дорог и перевыпас скота. Данное исследование направлено на то, чтобы оценить состояние почв и состав растительности на основных типах эолового рельефа пустыни и изучить, как растительность, климат, физгеография и антропогенные воздействия влияют на особенности и стабильность эоловых песчаных отложений, а впоследствии и на деградацию почв с растительным покровом.

Ключевые слова: эоловые формы рельефа, растиетльная мозаика, песчаный покров, солончак, пустыня, влияние человека, деградация земель.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00014

Из-за сухого, жаркого и ветреного климата, генезиса подстилающей породы и расположения на подветренной стороне Месопотамской поймы, где высок уровень выдувания, пустыня Кувейта в основном покрыта тонким слоем молодых эоловых отложений (Khalaf et al., 1984). Примерно на 75% территории пустыни проявляется умеренная и сильная деградация земель и ухудшение растительного покрова, что вызвано чрезмерной интенсивностью антропогенных факторов, включая урбанизацию, туристические лагеря, транспортную нагрузку, перевыпас, засоление почв, загрязнение нефтью, промышленную деятельность и карьерные работы (Brown, 2003; Abd El-Wahab, Al-Rashed, 2010). Эти факторы способствуют обнажению сухих, слабосцементированных, молодых осадочных пород, и без того подверженных влиянию ветра и потере почвенного покрова. За несколько последних десятилетий береговая зона Кувейта, в частности полоса солончаковых болот, заметно изменилась из-за деятельности человека (Abd El-Wahab, 2015).

В основном мы изучали эоловые отложения, чтобы определить их происхождение и оценить их геоморфологические и седиментологические изменения. Мы разделили эти отложения на три типа: а) подвижные, б) закрепленные, в) стабильные (Cooke et al., 1993). В подвижные входят: песчаные покровы, звездообразные дюны, линейные и поперечные дюны. В закрепленные входят: подветренные, фланговые и наносные дюны. В стабильные входят: глиняные цементированные дюны и дюны, с подветренной стороны закрепленные растительностью и называющиеся фитобуграми, они представляют собой холмы из слабосцементированных пород, скопившихся под растительным покровом (El-Bana et al., 2002).

F.I. Khalaf с соавторами (1993, 1995) классифицировал несколько типов эоловых отложений в пустыне Кувейта: 1) изрезанные песчаные покровы с растительностью, 2) гладкие песчаные покровы, 3) активные песчаные покровы, 4) эоловые вади, 5) песчаные дюны и наносы. Береговые песчаные наносы различаются по размерам и типам залегания. M. Al-Sarawi с соавторами (2006) и A. Al-Hurban с A. Al-Ghadban (2008) разделили формы рельефа Кувейта на три типа: 1) аллювиальные отложения из дельты вади Эль-Батин, 2) эоловые отложения в форме дюн или плоских песчаных покровов,

3) плоские пустынные поверхности и эвапоритовые отложения в форме внутренних и береговых солончаков. A. Al-Hurban (2014) разделил поверхностные отложения Кувейта на два основных класса: пустынные, в которые входят песчаные покровы и пустынные дюны, и береговые, в которые входят песчаные дюны и солончаковые отложения. Пустынные являются наиболее многочисленными среди молодых отложений и подразделяются на шесть основных видов: песчаные покровы, песчаные дюны, вади, остаточный гравий, плейасовые отложения и отложения пустынных равнин. Отложения побережий простираются от морских берегов до высокогорий и состоят из береговых песчаных отложений или дюн, солончаковых отложений и береговых или приливных пологих отложений. Стабильные отложения простираются от Великих равнин до Северной Америки (Muhs, Holliday, 2001).

Песчаные покровы − это песчаные равнины, от пологих до слегка наклоненных эоловых слоистых отложений; обычно они находятся на окраинах или между поясами дюн (Fryberger et al., 1979) и содержат осадочные породы, гораздо более крупные, чем в других пустынных отложениях, таких как дюны или зыби. Помимо прочего, эти покровы увеличиваются за счет медленного вертикального наслоения и чуть более быстрого площадного распространения. Активные покровы занимают значительную часть внутренней территории южной пустыни Кувейта и зачастую характеризуются однонаправленной поверхностью с рябью, которая обозначает преобладающие направления ветра. Внутренние стабильные или гладкие пески почти такие же пологие и покрыты очень тонким слоем остаточных гранул крупного песка и пятнами остаточного гравия. Вдобавок важную роль в стабильности этой формы эолового рельефа играет растительный покров (Al-Hurban, 2014). Изрезанные пески с растительностью занимают широкое аллювиальное понижение, окружающее территории временного пустынного озера и в основном покрытое далеко раскинувшимися песчаными наносами с растительностью (Khalaf et al., 1984). Эоловые солончаки состоят из горизонтально расположенных пород, образованных в результате испарительных процессов, и изначально были нанесены в пустыню ветрами. Солончаки развились благодаря малому количеству осадков и высокому уровню испарения, что характеризует жаркие пустынные зоны (Al-Hurban, 2014).

Несмотря на то что некоторые исследования (Gunatilaka et al., 1984; Gunatilaka, Mwango, 1987; AI-Sarawi et al., 1988; Khalaf et al., 1995) уже были посвящены седиментологическим аспектами эоловых отложений Кувейта, в них крайне мало внимания уделялось попытке связать эоловые формы рельефа с растительным составом и интенсивностью человеческого влияния (Al-Hurban, 2014; Abd El-Wahab, 2016). В нашем исследовании мы поставили целью подчеркнуть взаимодействие между состоянием почв, составом растительности и человеческим фактором на главных формах эолового рельефа в южной пустыне Кувейта, а также обсудить, как растительная мозаика и человеческое вмешательство затрагивают стабильность эоловых песчаных отложений.

Материалы и методы

Описание территории исследований. Государство Кувейт расположено в северно-восточной части Аравийской пустыни. Геоморфологические и седиментологические исследования показывают, что поверхности Кувейта изрезаны обломочным известковым комплексом миоцено-плейстоценового периода и в основном состоят из песчаных покровов молодых эоловых отложений (Khalaf, Al-Ajmi, 1993) с несколькими пологими осадочными холмами, такими как откос Джал Эль-Зор (145 м н.у.м БС) в северном Кувейте и Эль-Ахмади (125 м н.у.м. БС) – на юге (Al-Sarawi, 1982). Исследование взаимодействий между растительностью, антропогенным вмешательством и эоловыми формами рельефа мы провели на четырех территориях: в пустынях Шакайи, Умм Кудира и Вафры, а также в прибрежном районе Нувайсиба (рис. 1).

В Кувейте типичный для региона засушливый климат, который характерен затяжным, жарким и сухим летом, короткой зимой и широким разбросом температур с небольшим количеством неравномерно выпадающих осадков (Abd El-Wahab, 2016). Средняя месячная информация по климату за пять лет в период с 2011 по 2015 гг., полученная с мест, приближенных к изученным территориям, следующая: средняя летняя температура достигает 45°C днем и 23°C ночью; средняя зимняя температура достигает 20°C днем и 9°C ночью. В основном на прибрежных территориях Нувайсиба теплее, чем во внутренних территориях страны, например, в Минагише (рис. 2).

Годовые дождевые осадки варьируют от 30 мм до 250 мм, в основном выпадая зимой и весной (Halwagy et al., 1982). Среднее количество дождевых осадков за период с 1985 по 2002 гг. составляет 128 мм, а за период с 2011 по 2015 гг. − 100 мм. Относительная влажность воздуха достигает 60% зимой и 20% летом. Уровень испарения варьирует от 4.6 мм в день в январе до 22.9 мм в день в июне; уровень среднего дневного испарения − от 2.3 мм в январе до 18.9 мм в июне в Сулайбии и от 1.5 мм в январе до 11.9 мм в июне в Вафре. Ветер в основном северо-западный, со средней годовой скоростью 13.6 км/ч. Песчаные и пылевые бури часты летом, особенно в июне-июле, когда сильные северо-западные ветра дуют в низменности Северного Ирака. Около 50% бурь приходятся не только на середину лета, но и на май (El-Baz, Al Sarawi, 2000; Almedeij, 2012). Средняя дневная скорость ветра в июне за период с 2011 по 2015 гг. достигает 8.5 м/с в Нувайсибе и 11.1 м/с в Умм Кудире (по данным Метеорологического департамента Государства Кувейт; рис. 3).

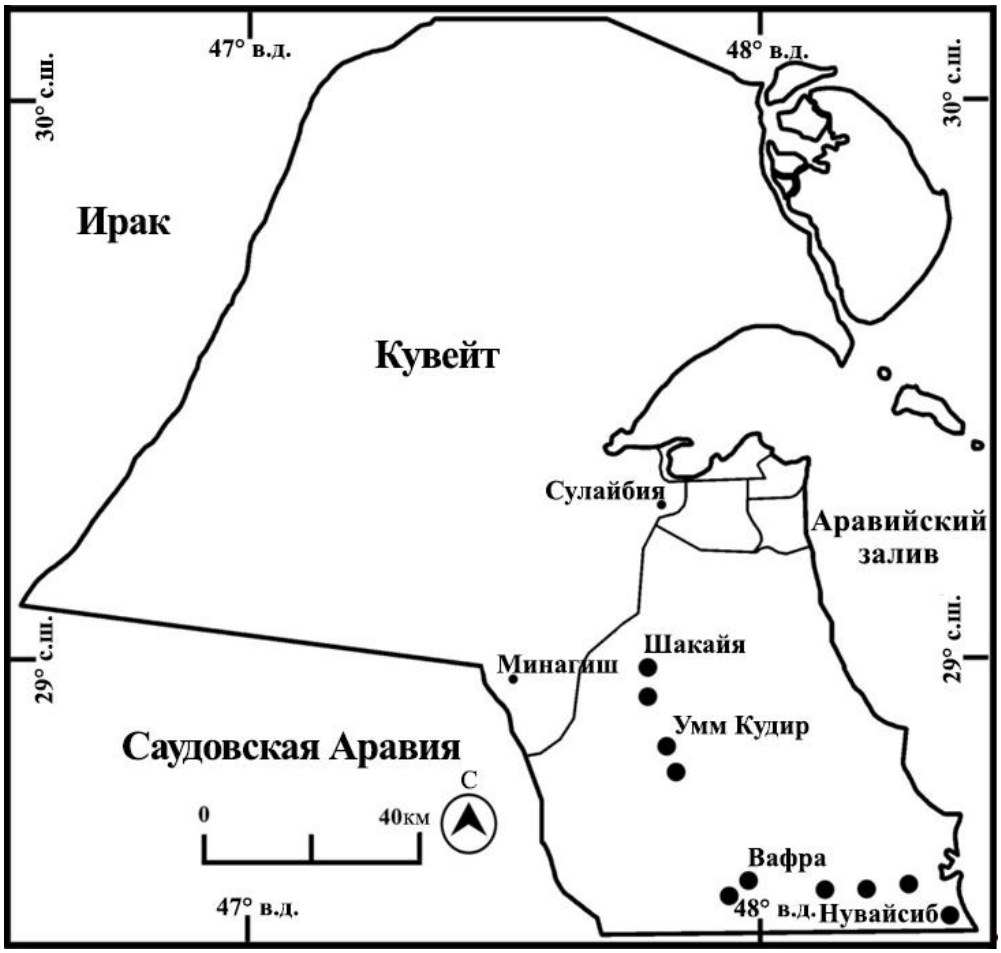


Рис. 1. Карта с местами исследований в южном Кувейте: Шакайя, Умм Кудир, Варфа и Нувайсиб.

Полевые работы и анализ растительности. Весной 2016 года мы случайным образом отобрали в общей сложности 40 площадок площадью 5 м^2, чтобы выявить основные характеристики различных форм эолового рельефа на северной территории Кувейта. Восемь площадок мы исследовали во внутренних активных песках, 14 площадок − на внутренних стабильных песках; 11 площадок − на береговых стабильных песках, 9 площадок − на береговых солончаках. На каждой форме рельефа расстояние между площадками составляло около 2 км. Географическое расположение площадок (широта, долгота, высота н.у.м. БС) мы измерили с помощью системы глобальной навигации (модель устройства: GPS 315 Magellan, Garmin, USA), а также описали природу почвенной поверхности и характеристики эоловых форм рельефа.

На каждой площадке мы подсчитали видовое разнообразие (количество видов) и обилие (количество представителей каждого вида), а также для каждого вида с каждой формы рельефа мы

определили присутствие (количество площадок, на которых присутствует каждый вид, разделенное на общее количество площадок) и обилие (общее количество представителей каждого вида, разделенное на общее количество площадок). Среднее значение присутствия (СП) и среднее обилие (СО) каждого вида подсчитано в соответствии со следующими уравнениями:

$$СП\ видов(\%) = \frac{присутствие\ видов}{общее\ присутствие\ всех\ видов} \bullet 100\%$$

$$СО\ видов(\%) = \frac{обилие\ видов}{общее\ обилие\ всех\ видов} \bullet 100\%$$

На основе видового разнообразия и обилия для каждой площадки мы рассчитали индекс разнообразия Шеннона (H′) по уравнению (Entsminger, 2014):

$$H^t = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i \quad ,$$

где P_i − пропорция отдельных растений вида i, а S − число видов.

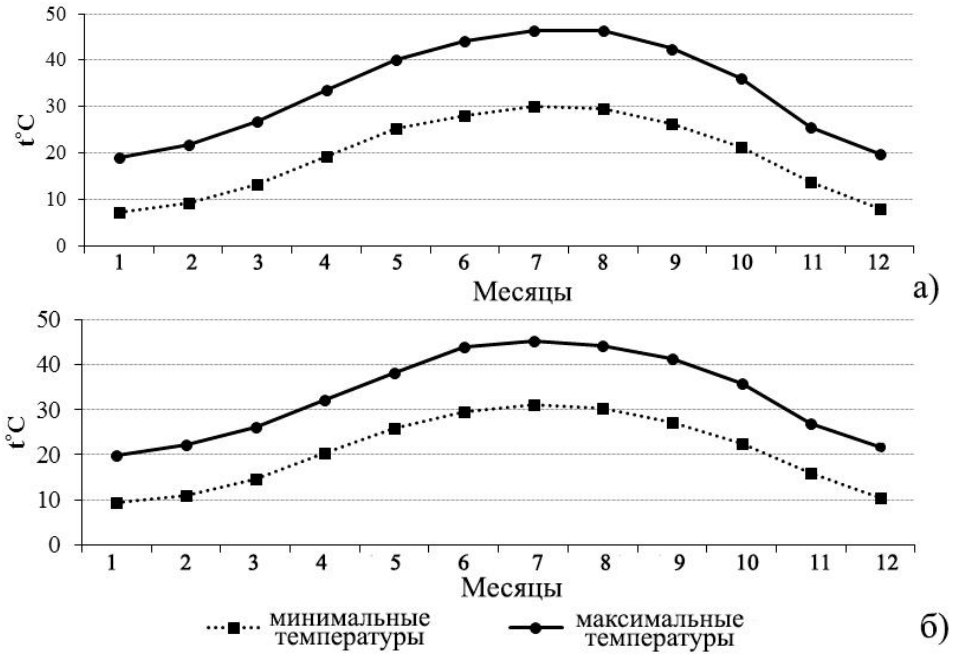


Рис. 2. Средний месячный минимум и максимум температур в регионах Кувейта: в Минагише (а) и Нувайсибе (б) за 2011-2015 гг.

Растительный покров каждой площадки мы измерили, применив визуальную оценку относительной площади покрытия, разделив ее на 3 квадрата величиной 1 м^2, которые на каждом участке были выбраны случайным образом (Kent, Coker, 1992; Bonham, 2013). Степень покрытия классифицировали по шкале, где 1 − очень низкий уровень растительности (<5%), 2 − низкий уровень (5-10%), 3 − средний уровень (10-30%), 4 − высокий уровень (>30%). Идентификация, номенклатура, жизненные формы (однолетние травы, однолетние злаки, многолетние травы, кустарники и полукустарники), хозяйственное значение (кормовое, топливное, медицинское) и ботанико-географическое распространение зарегистрированных видов мы определили по материалам V. Täckholm (1974), H. Daoud с A. Al-Rawi (1985), L. Boulos (1988) и S. Omar с соавторами (2007).

Также мы описали, как влияет вмешательство человека из-за организации туристических лагерей, транспортной нагрузки за пределами дорог и урбанизации (включая пляжные домики, дороги и распространение твердых отходов). С учетом кратчайшего из расстояний между нашими площадками и местами подобной деятельности мы подсчитали индекс силы человеческих нарушений и разделили его на три степени: 1 − слабое нарушение (расстояние более 3 км), 2 − среднее нарушение (расстояние от 1 до 3 км), 3 − сильное нарушение (расстояние менее 1 км; Abd El-

Wahab, 2016). Для каждой площадки определили количественную интенсивность выпаса по шкале, где 1 − слабый выпас, 2 − средний выпас, 3 − высокий выпас, 4 − очень высокий выпас или перевыпас. Эта шкала зависит от следующих данных, собранных также на каждой площадке: (1) растительный покров, (2) соотношение привлекательных и непривлекательных для скота растений, (3) процент объедания побегов, (4) высота каждого пастбищного вида, его сила и жизненность, (5) количество и влажность фекалий верблюдов и поросят, которая демонстрирует частоту прихода животных (Moustafa, 2000).

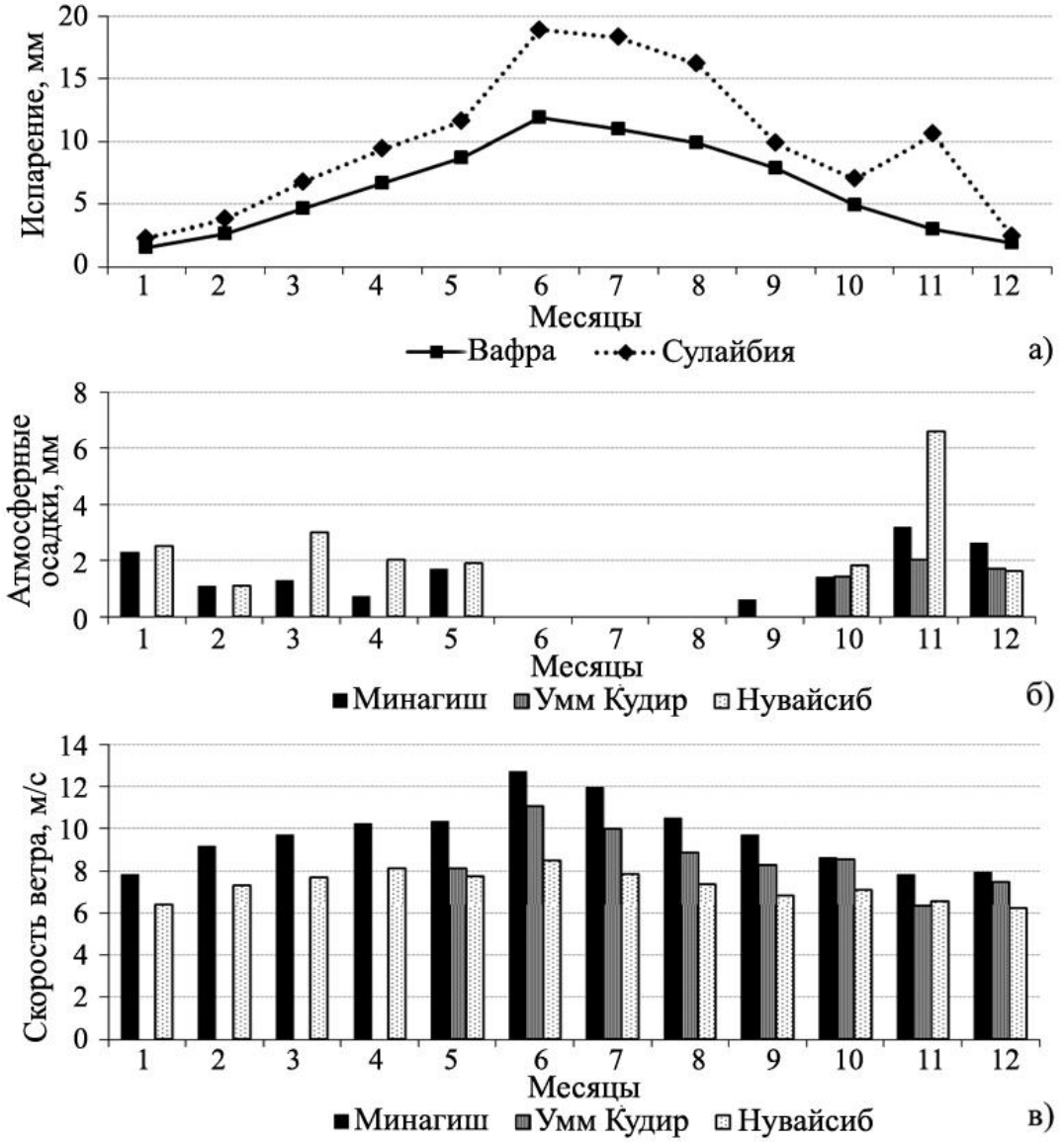


Рис. 3. Средние месячные данные по климату в разных регионах Кувейта за 2011-2015 гг: а) испарение, б) атмосферные осадки, в) скорость ветра.

Анализ почв. Всего было собрано 29 почвенных образцов с глубины от 0 до 20 см, в них входят 10 образцов из Шакайи и Умм Кудира, 10 из Вафры и 9 из Нувайсиба. Для определения увлажненности все образцы были высушены при температуре 105°C, затем просушены на воздухе и просеяны через сито с диаметром отверстий 2 мм, чтобы получились предварительные выборки. Для того чтобы проанализировать размеры зерен, использовали стандартную технику просеивания с интервалом от -1.0ϕ до +4.0ϕ (2-0.06 мм). Частицы классифицировали следующим образом: сильно крупнозернистый песок, крупнозернистый песок, среднезернистый песок, мелкозернистый песок,

очень мелкий песок, ил (Klute, 1986). Измеренные данные были загружены в программу “GRADISTAT”, чтобы рассчитать параметры размеров: среднее и стандартное отклонение, сортированность, деформация, эксцесс (Blott, Pye, 2001).

Водородный показатель и электропроводность почв измерили по вытяжке из почвенной пасты, применив соответствующие счетчики. Наличие органических веществ (ОВ) определили с помощью метода потерь при прокаливании (ППП): просушенные на воздухе образцы оставили на два часа при температуре 105°С, охладили в сушильном шкафу и взвесили, а затем на три часа поместили в муфельную печь, нагретую до 550°С; после сгорания образцы вновь остудили и взвесили. ОВ рассчитали, как разность масс между прокаленными и сгоревшими образцами (Périé, Ouimet, 2007).

Обработка данных. Многомерный анализ общей линейной модели (МАОЛМ) или односторонний многомерный дисперсный анализ (МДА) применили, чтобы определить, существуют ли различия между независимыми группами с более чем одной непрерывной зависимой переменной. МАОЛМ дает возможность для регрессивного анализа и анализа дисперсии для множественных зависимых переменных; мы провели его при помощи программы “ SPSS Statistics” (версия 21), чтобы изучить влияние формы рельефа как факторной переменной на состояние почв, растительные параметры и человеческую деятельность в качестве зависимых переменных. В дополнение к МДА разных зависимых переменных среди различных форм рельефа мы провели апостериорные тесты Тьюки. Различия измеренных зависимых переменных во внутренних частях страны и на береговом рельефе мы оценили статистически, использовав F-тест независимых переменных. Отношения между переменными окружающей среды, человеческим влиянием и растительным составом изучили с помощью теста корреляции Пирсона. Мы протестировали кластерный анализ для структуры растительности при помощи средней связи статистического метода несхожести Брэя-Кертиса, вычисленного по различиям в обилии и покрытии каждого вида в программе “f-Diversity” (Casanoves et al., 2010).

Результаты и обсуждение

Общее описание эоловых форм рельефа. Мы классифицировали четыре разных типа: внутренние активные песчаные покровы, внутренние стабильные песчаные покровы, береговые стабильные песчаные покровы, береговые стабильные солончаки «сабкха». Рельеф внутренней части страны изучали в Шакайе, Умм Кудире и Вафре, а береговой рельеф − в Кхиране и Нувайсибе. Представленные формы рельефа статистически значимо различаются по абсолютной высоте н.у.м. и состоянию почв ($F_{(45, 30.49)}$=5.14, P<0.0005; Λ Уилкса=0.002, частичный η2=0.88).

Разнообразие высот н.у.м., состояние увлажненности почвы, ее кислотности, электропроводности и процента крупнозернистого и сильно крупнозернистого песка на этих четырех формах оказались весьма показательными (табл. 1). Средние измерения высот были больше во внутренних частях страны, где высота н.у.м. БС составила 74.6 м и 108 м, по равнению с береговой частью ее рельефа, где высота н.у.м. БС составила 11.6 м и 3.4 м. Во внутренних стабильных песчаных покровах и береговых солончаках уровень влажности почв выше, чем в других типах почв. В активных песчаных покровах содержание влаги и органических веществ сравнительно ниже, а мелкозернистого и очень мелкого песка − выше. Внутренние и береговые стабильные пески содержат в себе наибольшее количество крупнозернистого и сильно крупнозернистого песка, чем активные береговые пески и солончаки. Статистически значимо процентное содержание мелкозернистого песка в активных и стабильных покровах (t=2.19, P=0.04), а также ила и глины (t=-2.05, P=0.05); помимо прочего показательны различия высот внутренних и береговых стабильных покровов (t=6.10, P<0.0001), содержания влаги (t=3.16, P=0.008) и эксцесса (t=2.27, P=0.04).

Растительный состав и видовое разнообразие. Всего было изучено 46 видов растений, относящихся к 43 родам и 23 семействам (табл. 2). Около 40% зафиксированных нами видов относятся всего к одному хоротипу. Однако 60% видов относятся сразу к двум или трем (Brown, Porembski, 1998). Сахаро-аравийские виды наиболее показательны в данном исследовании (например, *Astragalus spinose* и *Suaeda aegyptiaca*), за ними следуют ирано-туранские (*Cornulaca aucheri*), тогда как средиземноморские (*Emex spinosa*) или суданские (*Salsola imbricata*) представлены не столь широко. Доминирующими семействами оказались *Poaceae, Chenopodiacea* и *Asteraceae* (по 6 видов в каждом), а также *Caryophyllaceae* и *Zygophyllaceae* (по 3 вида). Именно на эти семейства приходятся 52% всех зарегистрированных видов. Видовой состав внутренних активных и стабильных песков

представлен в основном видами *Poaceae*.

И наоборот, на береговых типах рельефа представлены виды *Asteraceae* и *Chenopodiacea*. 40 родов насчитывают только по одному виду, а 3 рода (*Launaea, Plantago, Suaeda*) − по два. Таксономическое разнообразие, высчитанное на основе соотношения родов с семействами, оказалось наиболее высоким на внутренних стабильных песках, а наиболее низким − на внутренних активных песках (табл. 2). Около 27 видов или 59% от общего количества видов для всех типов рельефа были однолетними, а многолетние составили около 22%. Следовательно, травы, включая однолетние и многолетние, составили 81% от общего числа видов. На береговых формах рельефа многолетние растения распространены больше, чем на внутренних (t=2.34, P=0.03).

На основе одностороннего МДА были выявлены значительные различия в растительном составе, включая покров, обилие, жизненную форму и индекс разнообразия Шеннона, который зависит от типов рельефа ($F_{(12, 87.6)}$=3.78, P<0.0001; Λ Уилкса=0.33, частичный η2=0.31). На внутренних формах рельефа однолетние виды распространены гораздо шире, чем на береговых. Растительность внутренних активных песков в основном состоит из травяных видов, кустарников и полукустарников. В зоне стабильных песков и солончаков мы нашли около 13% полукустарников и только 6% кустарников в солончаках (рис. 4).

Таблица 1. Различия между высотами н.у.м. БС и характеристиками почв разных форм рельефа.

Переменные	Форма рельефа								F	P
	Внутренние активные пески		Внутренние стабильные пески		Береговые стабильные пески		Береговые стабильные солончаки			
	СЗ	СО	СЗ	СО	СЗ	СО	СЗ	СО		
Высота, м	74.6	47.31	108.00	26.53	11.57	4.73	3.40	0.54	19.23	<0.0005
Содержание влаги, %	0.36	0.17	0.61	0.21	0.21	0.05	1.28	0.85	7.01	0.001
Органические вещества, %	0.60	0.17	1.34	2.11	0.83	0.48	1.85	0.55	1.04	0.394
pH	8.17	0.26	8.03	0.33	8.27	0.45	7.54	0.15	6.72	0.002
Электропроводность, мкСм/см	25.52	31.37	26.18	56.15	13.02	12.78	332.39	256.61	10.16	<0.0005
Сильнокрупнозернистый песок, %	9.19	4.28	15.17	4.45	20.33	4.54	8.50	8.87	4.83	0.009
Крупнозернистый песок, %	19.38	13.24	21.92	9.90	23.33	8.89	19.00	4.23	0.23	0.88
Среднезернистый песок, %	28.13	5.98	26.42	5.92	19.17	6.43	36.17	15.04	2.99	0.05
Мелкозернистый песок, %	23.56	7.34	18.83	4.94	16.83	1.26	17.08	8.02	1.66	0.20
Очень мелкий песок, %	17.31	4.71	14.21	4.09	16.67	7.29	15.50	4.71	0.75	0.53
Ил и глина, %	2.44	0.82	3.46	1.45	3.67	2.52	3.75	1.17	1.37	0.27
Средний размер частиц, ф	1.79	0.22	1.56	0.22	1.52	0.28	1.77	0.25	2.43	0.09
Среднее значение, mm	0.39	0.04	0.45	0.05	0.44	0.10	0.37	0.05	4.27	0.01
Сортированность, σф	1.24	0.12	1.33	0.13	1.39	0.23	1.21	0.15	1.70	0.19
Деформация, Sk	0.05	0.22	0.17	0.19	0.21	0.06	0.26	0.22	1.36	0.28
Эксцесс	0.90	0.10	0.82	0.11	0.67	0.12	1.00	0.36	2.60	0.07

Примечания к таблицам 1 и 2: СЗ − среднее значение, СО − стандартное отклонение, F − данные дисперсного анализа, P − значения F-теста.

Средний процент растительного покрова достигал 5.6% на внутренних активных песках, 16.3% на стабильных, 18.8% на береговых песках и 11% на солончаках. Влияние растительного покрова на

стабильность эоловых форм рельефа весьма значительно (F=3.33, P=0.03); на стабильных формах рельефа растительный покров больше, чем на активных. Более того, в стабильных песках количество видов гораздо выше, чем на других формах рельефа. Также на эоловых формах рельефа показательны значения индекса разнообразия Шеннона (F=4.17, P=0.01); самый низкий показатель мы зарегистрировали на внутренних стабильных песчаных покровах, а самый высокий − на активных. Статистические различия в видовом богатстве (количестве видов на квадрат), однолетних видах и многолетних на разных формах рельефа были не столь показательны (табл. 3).

Таблица 2. Различия между растительными параметрами и человеческим влиянием на разных формах рельефа.

Переменные	Формы рельефа								F	P
	Внутренние активные пески		Внутренние стабильные пески		Береговые стабильные пески		Береговые стабильные солончаки			
	СЗ	СО	СЗ	СО	СЗ	СО	СЗ	СО		
Однолетние виды	4.00	1.77	4.83	3.16	3.36	2.34	2.00	2.45	2.21	0.10
Многолетние виды	1.88	0.35	1.42	1.08	2.46	1.04	2.33	1.00	2.76	0.06
Индекс растительного покрова	1.63	0.52	2.67	0.98	2.64	0.81	2.56	0.73	3.33	0.03
Богатство	5.88	1.89	6.25	4.07	5.82	2.93	4.33	2.78	0.70	0.56
Индекс Шеннона	1.27	0.45	0.52	0.61	1.10	0.35	1.05	0.59	4.17	0.01
Индекс нарушений	1.88	0.35	1.50	0.91	2.55	0.52	2.22	0.44	5.78	0.002
Индекс выпаса	3.13	0.99	1.75	0.75	2.00	0.89	2.00	1.12	3.85	0.02

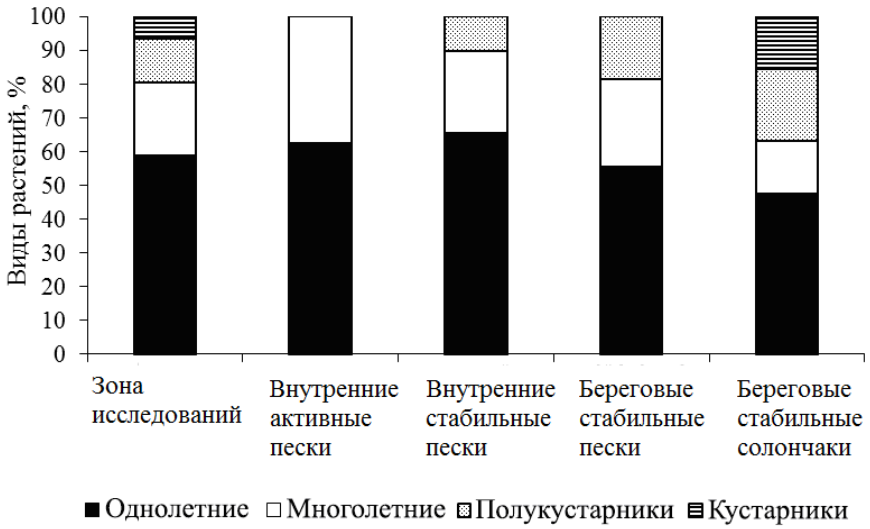


Рис. 4. Распространение растений по разным формам рельефа Южного Кувейта.

Типы растительности на разных формах рельефа. На основе общего количества видов и средней связи статистического метода несхожести Брэя-Кертиса кластерный анализ четырех форм рельефа (рис. 5, кофенетическая корреляция 0.99) и 40 площадок (кофенетическая корреляция 0.91) позволил нам выявить 4 типа растительности. Доминирующие многолетние виды этих типов, вычисленных при помощи относительного присутствия и обилия зарегистрированных видов (табл. 4), включают в себя *Cyperus conglomeratus*, *Stipagrostis ciliata* и *Moltkiopsis ciliata* на внутренних активных песчаных покровах; *M. ciliata* и *S. ciliata* на внутренних стабильных покровах (Daoud, Al-

Rawi, 1985); *Zygophyllum qatarense, Salsola imbricate, Suaeda aegyptiaca, C. conglomeratus* и *Launaea mucronata* на береговых стабильных песках; *Zygophyllum qatarense, Suaeda vermiculata, Lycium shawii* и *Halocnemum strobilaceum на* солончаках. Доминирующие однолетние виды включают *Schismus barbatus* на внутренних формах рельефа и *Polycarpaea repens, S. barbatus* и *Cornulaca aucheri* на береговых. *C. conglomeratus., C. aucheri* и *S. barbatus* встречаются везде (табл. 4).

Таблица 3. Растительный состав и формы произрастания видов, зарегистрированных на разных формах рельефа.

Растительный состав	Зона исследований	Внутренние активные пески	Внутренние стабильные пески	Береговые стабильные пески	Береговые стабильные солончаки
Семейство	23	11	15	14	12
Род	43	16	27	23	19
Виды	46	16	29	26	19
Chenopodiaceae	6	1	2	4	5
Compositae	6	1	2	4	2
Gramineae	6	6	5	4	2
Caryophyllaceae	3	1	3	2	2
Zygophyllaceae	3	0	2	1	1
Boraginaceae	2	1	1	2	1
Leguminosae	2	2	2	1	0
Liliaceae	2	1	2	1	0
Plantaginaceae	2	1	2	2	0
Видовое разнообразие					
Род/семейство	1.9	1.5	1.8	1.6	1.6
Вид/род	1.1	1	1.1	1.1	1
Жизненная форма					
Однолетние травы	25	8	17	14	8
Многолетние травы	5	2	3	3	1
Полукустарники	6	0	3	4	4
Кустарники	3	0	0	0	3
Однолетние злаки	2	2	2	1	1
Многолетние злаки	5	4	4	4	2
Однолетники (всего)	27	10	19	15	9
Многолетники (всего)	19	6	10	11	10
Выпасное значение					
Фуражные	35	14	23	22	14
Не фуражные	11	2	6	4	5
Фур/не фуражные	3.2	7	3.8	5.5	2.8

Вмешательство человека и выпас скота. На основе МДА и тестов Тьюки мы выявили существенное различие во влиянии человеческой деятельности и выпаса на разных типах рельефа ($F_{(6, 70)}$=4.87, P<0.0001; Λ Уилкса=0.50, частичный η2=0.29; табл. 3). Высокий уровень нарушений наблюдается на активных песчаных покровах, а самый низкий − на внутренних стабильных; на береговых формах рельефа нарушения наиболее сильные. В зоне активных песков и береговых солончаков уровень нарушений колеблется от среднего до высокого. На активных покровах мы

зарегестрировали признаки перевыпаса; на прочих формах рельефа интенсивность выпаса средняя или сильная (табл. 3) и положительно коррелирует с видовым богатством (r=0.89, P<0.01) и общим растительным покровом (r=0.80, P<0.01).

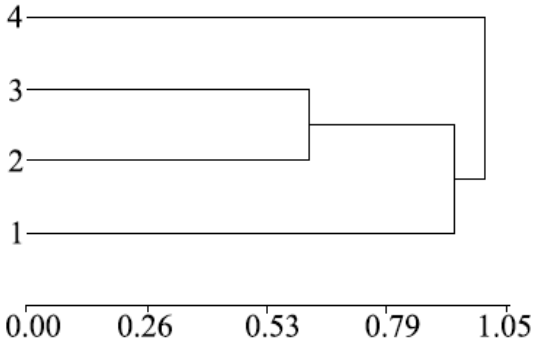


Рис. 5. Кластерная дендограмма сходства эоловых форм рельефа, составленная на основе встречаемости всех 46 видов растений, зарегестрированных при использовании средней связи статистического метода несхожести Брэя-Кертиса (кофенетическая корреляция 0.99). *Условные обозначения:* 1 − внутренние активные пески, 2 − внутренние стабильные пески, 3 − береговые стабильные пески, 4 − береговые стабильные солончаки.

Таблица 4. Среднее присутствие (СП), среднее обилие (СО), форма произрастания (ФП), антропогенное значение (З) и хрототип (Х) видов, зарегистрированных на разных формах рельефа.

Список видов	ЖФ	З	Х	Формы рельефа							
				Внутренние активные пески		Внутренние стабильные пески		Береговые стабильные пески		Береговые стабильные солончаки	
				СП%	СО%	СП%	СО%	СП%	СО%	СП%	СО%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aizoaceae											
Aizoon hispanicum L.	ОТ	Д	СА	0	0	0	0	0	0	10.25	9.35
Apiaceae											
Anisosciadium lanatum Boiss.	ОТ	Ко	СА	0	0	0	0	0	0	2.56	10.79
Asteraceae											
Atractylis carduus (Forssk.) C. Chr.	МТ	−	СА	0	0	0	0	0	0	2.56	1.44
Filago pyramidata L.	ОТ	Ко	ИТ, СМ	0	0	1.38	0.01	1.56	1.34	0	0
Ifloga spicata (Forssk.) Sch. Bip.	ОТ	Ко	СА, ИТ	2.13	1.08	0	0	1.56	1.7	0	0
Launaea capitata (Spreng.) Dandy	ОТ	Ко	СА, ИТ, Суд	0	0	4.17	0.19	3.13	0.37	0	0
Launaea mucronata (Forssk.) Muschl.	МТ	Ко	СА, ИТ	0	0	1.38	0.01	4.69	1.12	0	0
Senecio glaucus L.	ОТ	Ко	СА, ИТ	0	0	0	0	0	0	2.56	0.72
Boraginaceae											
Anchusa hispida Forssk.	ОТ	Д	СА, ИТ	0	0	0	0	3.13	0.68	5.13	3.6
Moltkiopsis ciliata (Forssk.) I.M. Johnst.	МТ	Ко	СА, СМ, Суд	6.38	14.8	11.12	0.93	3.13	1.77	0	0
Brassicaceae											
Brassica tournefortii Gouan	ОТ	Ко	СА, СМ	0	0	2.78	0.016	0	0	0	0

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caryophyllaceae											
Gypsophila capillaris (Forssk.) C. chr.	ОТ	Ко	СА	0	0	4.17	0.02	3.13	1.7	2.56	1.44
Polycarpaea repens (Forssk.) Asch. & Schweinf.	ОТ	Ко	Суд	0	0	1.38	0.19	3.13	44.17	5.13	11.51
Silene villosa Forssk.	ОТ	Ко	СА	2.13	0.72	2.78	0.02	0	0	0	0
Chenopodiaceae											
Cornulaca aucheri Moq.	ОТ	Ко	ИТ	4.26	1.08	1.38	0.19	12.49	3.02	7.69	3.6
Halocnemum strobilaceum (Pall.) M. Beib.	ПК	Ко	СА, ИТ, СМ, ЕС	0	0	0	0	0	0	5.13	4.32
Salsola imbricata Forssk.	ПК	Л	Суд	0	0	1.38	0.01	6.25	0.61	2.56	0.72
Seidlitzia Rosmarinus Ehrenb ex. Bunge	К	Л	СА, СС	0	0	0	0	0	0	2.56	0.72
Suaeda aegyptiaca (Hasselq.) Zohary	ОТ	Ко	СА	0	0	0	0	4.69	1.09	0	0
Suaeda vermiculata Forssk. ex J.F. Gmel.	ПК	Ко	СА	0	0	0	0	1.56	0.54	10.25	14.39
Cyperaceae											
Cyperus conglomeratus Rottb.	МЗ	Ко	СА, СМ, Суд	10.64	22.02	2.78	0.14	4.69	0.51	2.56	0.72
Fabaceae											
Astragalus bombycinus Boiss.	ОТ	Ко	СА	14.89	7.22	4.17	0.03	0	0	0	0
Astragalus spinosus (Forssk.) Muschl.	ПК	Д	СА	0	0	0	0	1.56	0.17	0	0
Lotus halophilus Boiss. & Sprun.	ОТ	Л	СА, ИТ, СМ	6.38	2.17	4.17	0.22	0	0	0	0
Frankeniaceae											
Frankenia pulverulenta L.	ОТ	Ко	СМ, ИТ, ЕС	0	0	0	0	1.56	0.12	0	0
Geraniaceae											
Erodium laciniatum (Cav.) Willd.	ОТ	Ко	СА, ИТ	2.13	0.36	2.78	0.11	0	0	0	0
Liliaceae											
Allium sindjarense Boiss. & Hausskn.	МТ	Д	СА, ИТ	8.51	2.53	1.38	0.01	0	0	0	0
Dipcadi erythraeum Webb. et Berth.	ОТ	Л, Д	СА	0	0	2.78	0.02	1.56	0.27	0	0
Malvaceae											
Malva parviflora L.	ОТ	Ко	СМ, ИТ	4.26	0.72	1.38	0.01	0	0	0	0
Neuradaceae											
Neurada procumbens L.	ОТ	Ко	СА, Суд	0	0	0	0	1.56	0.24	2.56	1.44
Orobanchaceae											
Cistanche tubulosa (Schrenk) Wight	МТ	–	СС	0	0	0	0	1.56	0.03	0	0

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plantaginaceae											
Plantago ciliata Desf.	ОТ	Ко	СА, ИТ	0	0	6.95	3.14	1.56	0.85	0	0
Plantago psammophila Angew & Chal.-Kabi.	ОТ	Ко	СА	2.13	11.55	4.17	0.07	7.82	5.47	0	0
Poaceae											
Aeluropus lagopoides (L.) Trin. ex Thwaites	МЗ	Ко	СА, ИТ, СМ	0	0	0	0	0	0	2.56	1.44
Cenchrus ciliaris L.	МЗ	Ко	СА, Суд	4.26	10.47	1.38	0.06	1.56	0.68	0	0
Pennisetum divisum (Gmel.) Henrard.	МЗ	Ко	СА	6.38	1.44	2.78	0.02	1.56	0.68	0	0
Schismus barbatus (L.) Thell.	ОЗ	Ко	СА, ИТ, СМ	8.51	13	15.28	94.41	10.93	29.7	5.13	3.6
Poaceae											
Stipa capensis Thunb.	ОЗ	Ко	СА, ИТ, СМ, Суд	6.38	5.42	2.78	0.02	0	0	0	0
Stipagrostis ciliata (Desf.) De Winter.	МЗ	Ко	СА	10.64	5.42	4.17	0.08	3.13	0.85	0	0
Polygonaceae											
Emex spinosa (L.) campd.	ОТ	Ко	СМ, ИТ	0	0	1.38	0.01	0	0	0	0
Resedaceae											
Reseda arabica Boiss.	ОТ	Ко	СА	0	0	2.78	0.04	0	0	0	0
Rutaceae											
Haplophyllum tuberculatum Forssk. A. Juss.	ПК	Л, К	СА, ИТ	0	0	2.78	0.02	1.56	0.24	0	0
Solanaceae											
Lycium shawii Roem. & Schult	К	Ко	ИТ	0	0	0	0	0	0	7.69	5.76
Tamaricaceae											
Tamarix aucheriana Decne.	К	Ко	СА	0	0	0	0	0	0	2.56	0.72
Zygophyllaceae											
Fagonia bruguieri DC.	ПК	Л	СА, ИТ	0	0	1.38	0.02	0	0	0	0
Tribulus terrestris L.	ОТ	Л	СМ, ИТ	0	0	2.78	0.02	0	0	0	0
Zygophyllum qatarense Hadidi.	ПК	Л, Ко	СА	0	0	0	0	10.93	2.07	17.97	23.74

Примечания к таблице 4. ЖФ – жизненная форма: ОЗ − однолетние злаки, ОТ − однолетние травы, МЗ − многолетние злаки, МТ − многолетние травы, ПК − полукустарники, К − кустарники. З – хозяйственное значение: Ко − кормовые, Л − лекарственные, Д − декоративные. Х – хронотип: ЕС − евро-сибирский, ИТ − ирано-туранский, СМ − средизменоморский, СА − сахаро-аравийский, СС − сахаро-синдьянский, Суд − суданский.

Деградация и опустынивание земель − это главные экологические проблемы в аридных регионах, в частности из-за их влияния на местную продовольственную безопасность, климат и состояние окружающей среды (Ravi et al., 2010). Эоловые формы рельефа Кувейта подвержены воздействию дефицита и неравномерности атмосферных осадков, песчаным наносам и преобладающим северно-западным ветрам. Сильное ухудшение растительного покрова вследствие человеческого вмешательства и выпаса скота ускорило ветровую эрозию земель, потери почв и увеличение

количества песка, в том числе из-за объектов инфраструктур, вызывающих серьезные экологические и социально-экономические проблемы (Al-Awadhi, Misak, 2000). Влияние человека сделало эти формы рельефа неустойчивыми перед стремительной деградацией.

Стабильность внутренних и береговых песков положительно коррелирует с несколькими биофизическими переменными, включая гранулометрический состав, содержание влаги и органических веществ в почве, а также растительный покров (Al-Hurban, 2014). Однако стабильность береговых солончаков обеспечивается высокой засоленностью и увлажненностью. С другой стороны активные песчаные покровы положительно коррелируют с мелкозернистыми частицами почв и выпасом. Береговые солончаки засолены и насыщены органическими веществами сильнее, чем береговые пески. Фитобугры, сформированные на береговой зоне вокруг многолетних растений, играют важную роль в стабильности как песков, так и солончаков (Al-Dousari et al., 2008; Khalaf et al., 2014; Abd El-Wahab, 2015). Фитобугры можно рассматривать как распространенный феномен в аридных регионах Аравии (Khalaf et al., 1995).

Раньше наиболее распространенными эоловыми отложениями в прибрежных зонах Кувейта были береговые стабильные пески или изрезанные песчаные покровы с растительностью (Halwagy, Halwagy, 1977; Halwagy et al., 1982; Khalaf et Al., 1984). Но повышенный уровень антропогенных вмешательств вследствие урбанизации, организации туристических лагерей, транспортной нагрузки и перевыпаса скота приводит к сильному ухудшению стабильных береговых форм рельефа вообще и фитобугров в частности (Abd El-Wahab, 2016).

В растительном составе по большей части доминируют многолетние травы и те однолетние, которые показывают сезонные колебания из-за зимних дождей (Al-Hurban, 2014) и характерны для жарких пустынных местообитаний, особенно для эоловых форм рельефа. С 2000-х гг. процент однолетних растений в пустынных и береговых зонах уменьшился с 65-80% (Halwagy, Halwagy, 1977; Brown, Porembski, 1998) примерно до 40-60%. Как показывают современные исследования (Abd El-Wahab, 2016), это может означать климатические изменения и повышение аридности. Хорошим признаком является наличие кустарников и полукустарников на стабильных формах рельефа: береговых песчаных покровах и солончаках. Береговой рельеф более разнообразен по видовому составу растительности из-за произрастающих там многолетних видов, по сравнению с внутренними песками, где больше распространены однолетние виды.

Стабильные пески богаче общим количеством видов, чем активные пески и солончаки. Важность связи между растительностью и стабильностью эоловых форм рельефа подчеркивает исследование, проведенное в аридных зонах по всему миру, включая Аравийскую пустыню (Khalaf et al., 1995), Северный Китай (Fearnehough et al., 1998), Южную (Dougill, Thomas, 2002) и Западную Африку (Nickling, Wolfe, 1994). Эоловые формы рельефа также продемонстрировали существенные различия в индексе разнообразия Шеннона: самое низкое значение мы зарегистрировали на всех стабильных песках, а самое высокое − на внутренних активных песках. Видовое разнообразие в основном зависит от интенсивности антропогенного вмешательства, низкий и средний уровень которых скорее увеличит разнообразие растительности, чем высокий (Lake, 2000; Abd El-Wahab, 2016).

Выводы

Растительный покров играет значительную роль в расположении песков, нанесенных ветрами, так как корни проникают вглубь песка и скрепляют песчаные массивы. S. Omar с соавторами (2002) выявил, что некоторые виды трав и многолетних кустарников, таких как *Cyperus*, *Panicum*, *Zygophyllum*, *Calligonum* и *Haloxyllon*, могут выжить в жаркие сезоны, даже если занесены песками. Антропогенные нарушения считаются одним из основных факторов, который вызывает мозаичность растительного покрова и влияет на видовое разнообразие жарких пустынь, в частности на эоловые формы рельефа в аридных условиях (Brown, Schoknecht, 2001; Brown, 2003; Abd El-Wahab, 2016).

Влияние человека, включая урбанизацию, туризм, транспортные нагрузки и перевыпас скота повлияли на ухудшение растительного покрова и распространение его мозаичности. Уровень выпаса наиболее высок на внутренних активных песках, а на береговых формах рельефа сильны нарушения вследствие туризма и урбанизации. Из-за такого вмешательства количество стабильных песков с 1980-х гг. уменьшилось (Al-Awadhi et al., 2003; Abd El-Wahab, 2016). По всему миру установлено влияние антропогенных факторов и изменений растительного состава на стремительную деградацию

эоловых форм рельефа (Ravi et al., 2010).

Чтобы избежать последствий опустынивания и посодействовать восстановлению деградировавших эоловых форм рельефа, необходим внимательный контроль над выпасом скота, развитием урбанизации и размещением знаков, запрещающих туризм и транспорт вне отведенных мест; в подобных местообитаниях это должно стать первостепенной задачей. Высаживание местных многолетних видов, например, из семейств *Poaceae* и *Chenopodiaceae*, эффективно скажется на укреплении и стабилизации песков, как и мероприятия по осведомлению местных жителей о проблеме и по привлечению их к участию в восстановительных работах, которые являются основополагающими действиями для успешного улучшения деградировавших земель. Проведение новых исследований в области взаимодействия эрозийных процессов на эоловых формах рельефа, антропогенного фактора и динамики растительности имеет решающее значение для количественной оценки и моделировании процессов деградации на засушливых территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Abd El-Wahab R.H. 2015. Species richness, structure, and conservation of *Nitraria retusa* communities in the coastal salt marshes of Kuwait // Regional Environmental Change. Vol. 16. № 4. P. 1097-1107.

Abd El-Wahab R.H., Al-Rashed A.R. 2010. Vegetation and soil conditions of phytogenic mounds in Subiya area Northeast of Kuwait // Catrina. Vol. 5. № 1. P. 87-95.

Abd El-Wahab R.H. 2016. Plant assemblage and diversity variation with human disturbances in coastal habitats of the Western Arabian Gulf // Journal of Arid Land. Vol. 8. № 5. P. 787-798.

Al-Dousari A.M., Ahmed M., Al-Senafy M., Al-Mutairi M. 2008. Characteristics of nabkhas in relation to dominant perennial plant species in Kuwait // Kuwait Journal of Science & Engineering. Vol. 35. P. 129-150.

AI-Sarawi M.A., Guldlach E., Baca B. 1988. Coastal geomorphology and resources in terms of sensitivity to oil spill in Kuwait // Journal of Kuwait University. Vol. 15. P. 141-183.

Al-Awadhi J.M., Misak R.F. 2000. Field assessment of Aeolian sand processes and sand control measures in Kuwait // Kuwait Journal of Science & Engineering. Vol. 27. P. 159-176.

Al-Awadhi J.M., Misak R.F., Omar S.S. 2003. Causes and consequences of desertification in Kuwait: a case study of land degradation // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Vol. 62. P. 107-115.

Al-Hurban A., Al-Ghadban A. 2008. Coastal processes and beach profile changes along southern coastal area of Kuwait // Kuwait Journal of Science & Engineering. Vol. 35. № 2A. P. 97-126.

Al-Hurban A. 2014. Effects of recent anthropogenic activities on the surface deposits of Kuwait // Arabian Journal of Geosciences. Vol. 7. P. 665-691.

Almedeij J. 2012. Modeling rainfall variability over urban areas: a case study for Kuwait // Scientific World Journal. 8 p. [Электронный ресурс https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3356762/ (дата обращения 18.10.17)].

Al-Sarawi M., El-Baz F., Koch M. 2006. Geomorphologic controls on surface deposits of Kuwait as depicted in satellite images // Kuwait Journal of Science & Engineering. Vol. 33. № 2. P. 123-145.

Al-Sarawi M. 1982. The origin of Jal Az-Zor escarpment // Kuwait Journal of Science & Engineering. Vol. 9. P. 151-162.

Blott S., Pye K. 2001. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 26. P. 1237-1248.

Bonham C.D. 2013. Measurements for terrestrial vegetation. Oxford: John Wiley & Sons. 260 p.

Boulos L. 1988. The weed flora of Kuwait // Kuwait: Kuwait University. 175 p.

Brown G. 2003. Factors maintaining plant diversity in degraded areas of northern Kuwait // Journal of Arid Environments. Vol. 54. P. 183-194.

Brown G., Porembski S. 1998. Flora and vegetational aspects of miniature dunes in a sand depleted *Haloxylon salicornicum* community in the Kuwait desert // Flora. Vol. 193. P. 133-140.

Brown G., Schoknecht N. 2001. Off-road vehicles and vegetation patterning in a degraded desert ecosystem in Kuwait // Journal of Arid Environments. Vol. 49. № 2. P. 413-427.

Casanoves F., Pla L., Di Rienzo J., Díaz S. 2010. F-Diversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity // Methods in Ecology and Evolution. Vol. 2. № 3. P. 233-237.

Cooke R., Warren A., Goudie A. 1993. Desert Geomorphology. London: UCL Press. 526 p.

Daoud H., Al-Rawi A. 1985. Flora of Kuwait. Volume One: Dicotyledoneae. London in association with Kuwait University: KPI. 224 p.

Dougill A., Thomas A. 2002. Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: formation, controls and their validity as indicators of soil degradation // Journal of Arid Environments. Vol. 50. P. 413-428.

El-Bana M.I., Nijs I., Kockelbergh F. 2002. Microenvironmental and vegetational heterogeneity induced by phytogenic

nebkhas in an arid coastal ecosystem // Plant and Soil. Vol. 247. № 2. P. 283-293.

El-Baz F., Al-Sarawi M. 2000. Atlas of the State of Kuwait from satellite images // Kuwait: KFAS. 145 p.

Entsminger G. 2014. EcoSim Professional: Null modeling software for ecologists. Version 1. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear.

Fearnehough W., Fullen M., Mitchell D., Trueman I., Zhang J. 1998. Aeolian deposition and its effect on soil and vegetation changes on stabilized desert dunes in northern China // Geomorphology. Vol. 23. P. 171-182.

Fryberger S., Ahlbrandt T., Andrews S. 1979. Origin, sedimentary features, and significance of low-angle eolian "sand sheet" deposits, Great Sand Dunes National Monument and vicinity, Colorado // Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 49. P. 733-746.

Gunatilaka A., Saleh A., AI-Tameemi A., Nassar N. 1984. Occurrence of subtidal dolomite in a shallow hypersaline lagoon // Nature. Vol. 311. P. 450-452.

Gunatilaka A., Mwango S. 1987. Continental sabkha pans and associated nebkhas in southern Kuwait, Arabian Gulf // Geological Society Special Publication. Vol. 35. P. 187-203.

Halwagy R., Halwagy M. 1977. Ecological studies on the desert of Kuwait, III. The vegetation of the coastal salt marshes // Kuwait Journal of Science and Engineering. Vol. 4. P. 33-74.

Halwagy R., Moustafa A.F., Kamel S.M. 1982. On the ecology of the desert vegetation in Kuwait // Journal of Arid Environments. Vol. 5. № 2. P. 95-107.

Kent M., Coker P. 1992. Vegetation description and analysis: a practical approach // London: Belhaven Press. 432 p.

Khalaf F.I., Al-Ajmi D. 1993. Aeolian processes and sand encroachment problems in Kuwait // Geomorphology. Vol. 6. P. 111-134.

Khalaf F.I., Gharib I.M., Al-Hashash M.Z. 1984. Types and characteristics of the recent surface deposits of Kuwait, Arabian Gulf // Journal of Arid Environments. Vol. 7. P. 9-33.

Khalaf F., Misak R., AI-Dousari A. 1995. Sedimentological and morphological characteristics of some nabkha deposits in the northern coastal plain of Kuwait, Arabia // Journal of Arid Environments. Vol. 29. P. 267-292.

Khalaf F.I., Al-Hurban A.E., Al-Awadhi J. 2014. Morphology of protected and non-protected *Nitraria retusa* coastal nabkha in Kuwait // Arabian Gulf: a comparative study. Vol. 115. P. 115-122.

Klute A. 1986. Methods of soil analysis, Part I, physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy. 1188 p.

Lake P. 2000. Disturbance, patchiness, and diversity in streams // Journal of the North American Benthological Society. Vol. 19. № 4. P. 573-592.

Moustafa A.A. 2000. Environmental factors and grazing intensity affecting the vegetation composition of Saint Catherine Mountains, South Sinai // Egyptian Journal of Botany. Vol. 40. № 1. P. 91-114.

Muhs D.R., Holliday V.T. 2001. Origin of late Quaternary dune fields on the Southern High Plains of Texas and New Mexico // Geological Society of America Bulletin. Vol. 113. № 1. P. 75-87.

Nickling W., Wolfe S. 1994. The morphology and origin of Nabkhas, Region of Mopti, Mali, West Africa // Journal of Arid Environments. Vol. 28. P. 13-30.

Omar S., Al-Mutawa Y., Zaman S. 2007. Vegetation of Kuwait. Kuwait: KISR. 159 p.

Omar S., Misak R., King P., Shahid S.A., Abo-Rizq H., Grealish G., Roy W. 2002. Mapping the vegetation of Kuwait through reconnaissance, soil survey // Journal of Arid Environments. Vol. 48. № 3. P. 341-355.

Périé C., Ouimet R. 2007. Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils // Canadian Journal of Soil Science. Vol. 88. P. 315-325.

Ravi S., Breshears D., Huxman T., D'Odorico P. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics // Geomorphology. Vol. 116. № 3. P. 236-245.

Täckholm V. 1974. Students' Flora of Egypt, Second Edition. Beirut: Cairo University Publishing, Cooperative Printing Company. 653 p.

Zhang R., Liu T., Zhang J., Sun Q. 2016. Spatial and environmental determinants of plant species diversity in a temperate desert // Journal of Ecology. Vol. 9. № 2. P. 124-131.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 35-45

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 591.94 (571.54)

О РЕЛИКТОВЫХ ЯВЛЕНИЯХ И ВЛИЯНИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ГОРНЫХ СТЕПЕЙ ЮЖНОЙ СИБИРИ[1]

© 2018 г. Б.Б-Ц. Намзалов*, С.В. Жигжитжапова*, **, Т.Т. Тайсаев*, Л.Д. Раднаева*, **, С.Ч. Банаева*, М.Б-Ц. Намзалов*

**Бурятский государственный университет*
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а
E-mail: namzalov@rambler.ru, taisaev@bsu.ru, cecega@mail.ru, namzmax@gmail.com
***Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН*
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: Zhig2@yandex.ru, radld@mail.ru

Поступила 19.10.2017

Установлено влияние вулканогенных пород на растительность горных степей Южной Сибири, мел-палеогеновых трахибазальтовых отложениях Тамчинского вулкана в условиях Западного Забайкалья. Показано, что устойчивые к выветриванию базальты, геохимически весьма разнообразные, служили базисом для формирования оригинальных горностепных сообществ с развитием самобытных жизненных форм растений. Выявлен флористический комплекс розеточных травянистых поликарпиков в сочетании с дерновинными злаками (*Potentilla sericea, Chamaerhodos altaica, Pulsatilla turczaninovii, Silene jenisseensis, Amblynotus rupestris, Festuca lenensis, Aster alpinus* и другие), составляющие особые филоценогенетически обусловленные синузии в рассматриваемых фитоценозах. Установлено, что Тамчинское базальтовое поле является рефугиумом разновременных реликтов. В их числе реликты до гляциальной эпохи – популяции полукустарниковых полыней *Artemisia rutifolia, A. messerschmidtiana*. С учетом эколого-морфологических и фитохимических данных доказана близкая родственность *A. gmelinii* и *A. messerschmidtiana*. Повышенный геохимический фон элементов (Ba, Sr, V, Zr, U) послужили не только сохранению реликтовых растений, но и морфогенез эндемичных видов – караганы и ириса.

Ключевые слова: вид, реликтовые растения, полынь, эфирные масла, *Artemisia gmelinii, Artemisia messerschmidtiana*, Западное Забайкалье.
DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00015

Проблема сохранения биоразнообразия природных комплексов Южной Сибири весьма актуальна. При этом особым богатством выделяется Байкальский центр флорогенеза, что является следствием не только сложных орографических дислокаций, вызвавших синхронные изменения как в литогенной основе, так и климатических параметров (Намзалов, Тайсаев, 2015). Пространственная дифференциация биоты и видообразование тесно связаны с разнообразием ландшафтов. Одним из важнейших факторов в процессах видообразования являются условия местообитаний, которые обусловлены спецификой коренных пород, ее геохимическим составом и адаптивным морфогенезом организмов (Виноградов, 1963; Глазовская, 1992; Тайсаев, 2002). Раскрытие этих феноменов относится к наиболее фундаментальным проблемам современной биологии, вопросам эволюции живых систем.

В предгорьях южного макросклона хребтов Алтая, Саян и Прибайкалья на вершинах останцовых гряд и сопок и на подгорных шлейфах нередки слегка возвышающиеся над поверхностью выступы коренных пород с россыпями мелкощебнистого материала. На этих своеобразных экотопах с развитием литогенных малоразвитых почв формируются оригинальные сообщества низкотравных петрофильных степей. Преимущественно субстратом этих степей выступают покровы вулканических

[1] Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 15-44-04112р_Сибирь_а; № 15-44-04233р_Сибирь_а) и в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (проект V.46.5.2).

пород как глубинных интрузивных (граниты, диориты, сиениты), так и эффузивных (трахиты, базальты). Возраст пород преимущественно позднемезозойский и раннекайнозойский. В условиях Западного Забайкалья нередки проявления молодого вулканизма, как, например, мел-палеогеновые трахибазальтовые отложения Тамчинского лавового поля – хребта Эныскей (Белов, 1963). Вулканогенные отложения, отличающиеся богатством элементного состава, оказывают значительное влияние на растительность.

Цель исследований – изучить влияние вулканогенных пород на растительность горных степей Южной Сибири.

Материалы и методы исследований

Растительность горных степей Южной Сибири изучали на примере горностепных сообществ хребта Эныскей Западного Забайкалья, который представляет собой излияния вулканогенных пород Тамчинского лавового поля (фото 1, рис. 1). Выявленное фитоценотическое и флористическое разнообразие степных сообществ на отложениях Тамчинского вулкана (географические координаты: 50° 93' 57" с.ш., 106° 17' 97" в.д.) сопоставлялось с его элементным составом для выявления геохимической специфики коренной породы с особенностями растительности горных степей, их самобытности и ее реликтовой природы.

Фото 1. Куполовидные возвышения Тамчинского вулкана Эныскей в долине р. Темник, Западное Забайкалье (здесь и далее фото Б.Б. Намзалова).

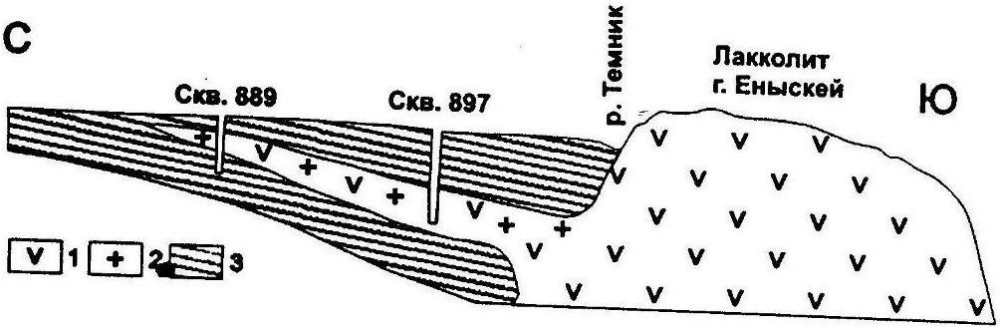


Рис. 1. Разрез Тамчинского вулкана (от купола горы Еныскей через скважину 897 до 889; Белов, 1963). *Условные обозначения:* 1 – трахидолериты, 2 – гленмуириты, 3 – песчаники гусиноозерской серии.

Изучения растительности проводили на основе общепринятых методов геоботанических исследований (Полевая геоботаника, 1964). Описания проводили на пробных площадках 10х10 м; в тех случаях, когда площади фитоценозов составляли менее 100 м^2, их описывали в границах их же контуров. Обилие видов дано по шкале Друде (Полевая геоботаника, 1964). Латинские названия растений приводятся по «Флоре Сибири» (1988-2013). При выделении биоморф степных растений мы учитывали работы А.А. Горшковой (1966), И.В. Борисовой и Т.А. Поповой (1984).

Элементный состав вулканогенной породы (трахидолериты) определен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре PlasmaQuad 2+ (Центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология», Институт земной коры СО РАН, Иркутск). Фитохимический анализ компонентов эфирных масел у двух близкородственных видов полыней (*Artemisia messerschmidtiana* Bess. и *A. gmelinii* Web.ex Stechm.) проведены для обоснования их таксономического статуса. Образцы собраны в двух локусах: Мессершмидта на хребте Эныскей (50° 93' 57" с.ш., 106° 17' 97" в.д.), Гмелина – на Загустайском валу (50° 53' 21" с.ш., 106° 12' 70" в.д.) в пределах Селенгинского среднегорья Западного Забайкалья.

Для исследования эфирных масел собраны растения в фазе бутонизации. Гербарные образцы хранятся в лаборатории химии природных систем БИП СО РАН-ФГБОУ ВПО «БГУ» (Улан-Удэ). Эфирное масло выделяли из воздушно-сухой массы надземных частей растений методом гидродистилляции. Состав исследовали методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе 6890 (Agilent, США) с квадрупольным масс-спектрометром MSD 5973N (Agilent, США) в качестве детектора. Использована 30-метровая кварцевая колонка HP-5MS с внутренним диаметром 0.25 μм. Процентный состав компонентов масла вычислен по площадям газо-хроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Качественный анализ основан на сравнении рассчитанных значений линейных индексов и времен удерживания, полных масс-спектров с библиотекой хромато-масс-спектрометрических данных летучих веществ растительного происхождения (Ткачев, 2008). Количественный анализ выполнен методом внутренней нормировки по площадям пиков без использования корректирующих коэффициентов.

Результаты и обсуждение

Очень устойчивые к выветриванию базальты, геохимически весьма разнообразные, служили базисом для формирования оригинальных горностепных сообществ с развитием самобытных жизненных форм растений – розеточных травянистых многолетников (табл. 1). К ним относятся: *Chamaerhodos altaica* (Laxm.) Bunge, *Androsace incana* Lam., *Pulsatilla turczaninovii* Krylov et Serg., *Oxytropis eriocarpa* Bunge, *Arctogeron gramineum* (L.) DC. Последний, а именно арктогерон злаковый, по мнению Е.М. Лавренко (1972), относится к реликтовому комплексу плейстоценовых холодных степей, при этом автор отмечает, что «еще с конца третичного периода *A. gramineum* пережил все перипетии четвертичного периода на северной окраине Центральной Азии».

Среди видов с высокой встречаемостью преобладают два типа биоморф – РТМ и ДТМ (16 видов, 84.2%), при этом большинство (9 из 16) относится к розеточным поликарпикам с системой ветвящихся побегов с многоглавым каудексом в поверхностно-подземном горизонте почвы. М.А. Рещиков (1961) называл эти оригинальные жизненные формы степных растений Забайкалья растениями-куртинками, формирующими плотные дерновины-подушки. Эти подушковидные розеточные растения совместно с дерновинами злаков формируют особый приповерхностно-подземный биогеоценотический горизонт. Функциональная роль этого слоя в адаптации растений к экстремальным криоаридным условиям Внутренней Азии была показана Т.К. Гордеевой (1977).

Флористический комплекс розеточных травянистых поликарпиков в сочетании с дерновинными злаками (табл. 2) составляет однотипный и единый по экобиоморфной стратегии блок видов (*Potentilla sericea, Chamaerhodos altaica, Pulsatilla turczaninovii, Silene jenisseensis, Amblynotus rupestris, Festuca lenensis, Aster alpinus* и др.), по сути, составляющих особые, филоценогенетически обусловленные синузии в рассматриваемых фитоценозах (фото 2). Ценозы этих оригинальных низкоразнотравных степей правомочно рассматривать как реликтовые сообщества, формирование которых связано с действием двух факторов:

1) развитием устойчивых к выветриванию базальтовых покровов – продуктов вулканической деятельности позднемезозойского и раннекайнозойского (палеогенового) возрастных этапов;

2) филоценогенезом оригинальных биоморф или систем синузий видов и форм из различных систематических групп на фоне бедного щебнисто-каменистого субстрата в перигляциальных условиях, микротермного и сухого климата плейстоцена; криоаридный климатический режим в горностепных ландшафтах севера Центральной Азии и Южной Сибири, способствует их развитию в современных условиях.

Таблица 1. Характерные фитоценозы на россыпях глубинных интрузивных пород (базальтах, гранитоидах) в среднегорном поясе хребтов Алтая, Тувы и Забайкалья.

Виды растений	Встречаемость, %	Фитоценозы						Типы жизненных форм растений
		Астрово-шелковисто-лапчатковая	Низко-разнотравно-проломниковая	Горно-колосниково-хамеродосовая	Хамеродосо-воленско-типчаковая	Остро-лодочниково-чуйско-типчаковая	Звездчатково-астро-галовоотгянуто-мятликовая	
		Географическая приуроченность						
		Алашское плато, склон ЮЗ эксп. (оз. Кара-Холь)	Наг. Сангилен, выположенная вершина краевой гряды (с. Нарын)	Зап. Забайкалье, Тамчинская долина, Эныскей	Хр. Хамбинский, распадок Сильве, склон ЮВ эксп.	Хр. Чихачева, вып. вершина передовой гряды (ур. Согонулу)	Хр. Курайский, южный склон к эроз. ложбине Джанишке-Терек	
		Общее проективное покрытие (ОПП) сообществ						
		15%	15-20%	30%	20-30%	35%	15-20%	
Potentilla sericea	100	cop	sp	sp	sol-sp	sp	sp	RPHP
Poa attenuata	83.3	sp	sp	sp		sp	cop1	GSRHP
Festuca lenensis	83.3	sp	sp	sol	cop1		sp	GSRHP
Chamaerhodos altaica	83.3	sp	cop-sp	cop1	sp-cop	sp-sol		RPHP
Oxytropis eriocarpa	83.3	sol	sp		sol-un	sp	sol	RPHP
Androsace incana	83.3	sol	cop1	sp	sp		sp	RPHP
Pulsatilla turczaninovii	83.3	sol	sp	sp-sol	sol		sol	RPHP
Artemisia dolosa	83.3	sp	sp	sp	sp		sp	WRHP
Koeleria cristata	66.6	sol	sp	sp	sol			GSRHP
Silene jenisseensis	66.6	cop	sol		sol	sp		RPHP
Orostachys spinosa	66.6	sol		sp-cop	sol	sp		WRHP
Kitagawia baicalensis	66.6		sol		sol	sol	sol	RPHP
Carex kirilowii	50.0	sol		sp		sp		GSRHP
Allium rubens	50.0		sol			sp-sol	sp	BHP
Iris humilis	50.0				sol	sp-sol	sol	GSRHP
Potentilla acaulis	50.0			sp gr		sp gr	sp gr	GSRHP
Gentiana decumbens	50.0	sp		sp			sol	RPHP
Amblynotus rupestris	50.0		sol	sol		sp		RPHP
Aster alpinus	50.0	sp-cop	sp			sol		GSRHP

Примечание к таблице 1: RPHP – розеточные и подушковидные травянистые многолетники, WRHP – безрозеточные травянистые многолетники, GSRHP – дерновинные и короткокорневищные травянистые многолетники, BHP – луковичные травянистые многолетники. Шкала обилия в фитоценозах по Друде: cop – обильно; cop3 – очень много; cop2 – много; cop1 – довольно много; sp – рассеяно; sol – редко, un – единично. Характер распределения особой видов: gr – растения в густых скоплениях.

Фото 2. Хамеродос алтайский (*Chamaerhodos altaica*) на россыпях тефрит-долеритовых базальтов Тамчинского вулкана Эныскей, 4 мая 2015 г.

Таблица 2. Микроэлементный состав образцов базальтовых покровов Тамчинского излияния и характерные виды степных растений на развалах пород и каменистых малоразвитых почвах.

Микро-элемен-ты	**Содер-жание, ppm**	**Характерные виды растений**	
		На крупных развалах вулканических пород (тефрито-базальты)	**На россыпях вулканических пород с малоразвитыми каменистыми почвами**
V	138	*Artemisia messerschmidtiana* (sp-cop)	*Chamaerhodos altaica* (cop)
Co	28	*A. rutifolia* (sol)	*Androsace incana* (sp)
Ni	45	*Caragana pygmaea* (sp)	*Potentilla sericea* (sp)
Sr	997	*Spiraea aquilegifolia* (sol)	*Orostachys spinosa* (sp)
Zr	260	*Iris ivanovae* (sol)	*Artemisia dolosa* (sp)
Ce	76	*Stellaria dichotoma* (sp)	*Festuca lenensis* (sp-cop)
Ba	1004	*Ephedra dahurica* (sol)	*Pulsatilla turczaninovii* (sp)
Sm	7.4	*Allium anisopodium* (sp)	*Astragalus galactites* (sp)
Er	2.46	*Carex pediformis* (sp)	*Cymbaria daurica* (sol)
Lu	0.31	*Festuca sibirica* (sp-sol)	*Eremogone capillaris* (sp)
Ta	3.17	*Potentilla bifurca* (sp)	*Selaginella sanguinolenta* (sp)
Pb	5.2	*Aconogonon divaricatum* (sol)	*Arctogeron gramineum* (s ol)
Th	4.11		*Potentilla sericea* (sp)
U	1.01		*P. acaulis* (sp-sol)
			Ephedra monosperma (sol)

Примечание к таблице 2: В список включены виды с встречаемостью выше 50%, в скобке приведены обилие видов по Друде на площадках в 100 м^2. Микроэлементный состав приведен по данным одиночных анализов редких и редкоземельных элементов в тефрито-базальтах Тамчинского вулкана (Гордиенко и др., 2006).

Структура этих ценозов и адаптивный морфогенез их эдификаторов едины на всем протяжении горного пояса Южной Сибири (от Алтая до Забайкалья) и связаны с денудационными поверхностями в поясе эпиплатформенных гор южного, более древнего обрамления рифтовых систем Алтая, Саян и Прибайкалья (Гордеева, 1977).

Генезис этих степей, обусловленный криоморфогенезом флористического комплекса сообществ, связывают с эпохой плейстоцена или ксеротермическими фазами голоцена с холодным и сухим климатом. Однако наряду с важнейшими климатическими факторами большое значение имела палеогеографическая обстановка, связанная с мел-палеогеновыми явлениями вулканизма, оставившими заметный след в составе литологии пород. Это разновременные излияния базальтов трещинных, линейно вытянутых на поверхности и куполовидно-вулканогенных образований при вершинных частях гряд и увалов. В рельефе эти формы весьма оригинальны и составляют выразительный элемент в структуре в виде скально-каменистых развалов по вершинам и каменисто-щебнистых денудационных «окон», слегка возвышающихся над пологими склонами и на шлейфах.

Сохранность скально-каменистых форм в микрорельефе обусловлена чрезвычайной устойчивостью базальтовых покровов к выветриванию. Этот устойчивый и геохимически сложный субстрат послужил в качестве ложа в историческом процессе филоценогенеза низкотравных каменистых степей. Их становление связано с перигляцильными явлениями, сложившимися в криоаридные эпохи плейстоцена на столь своеобразном субстрате в условиях почти постоянного ветрового режима. В подобных природно-климатических условиях шло формирование господствующих в составе этих степей оригинальных жизненных форм растений – розеточных травянистых поликарпиков, подушковидно распластанных по поверхности мелкощебнистого субстрата. Этот комплекс своеобразен и слагается из видов, систематически неоднородных, однако единых в адаптивных стратегиях (Намзалов и др., 2015). Таковыми, например, являются *Arctogeron gramineum* (Asteraceae), *Eremogone capillaris* (Caryaphyllaceae), *Androsace incana* (Primulaceae), *Chamaerhodos altaica* (Rosaceae), *Oxytropis eriocarpa* (Fabaceae). У этих растений однотипная адаптивная стратегия, выраженная в формировании единого типа экобиоморфы (Дулепова, 1985).

В заключение рассмотрим вулканическое образование или так называемое Тамчинское лавовое поле в южной части Гусиноозерской впадины Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье). Оно сформировалось в конце раннего и начале позднего мела, сложено тефритами и базальтами, по результатам K-Ar анализа возраст пород оценивается от 102 до 100 млн. лет (Гордиенко и др., 2006). Лавовые поля Тамчинского сила формирует ступенчатые профили, сложенные щелочными базальтами, долеритами, тефритами и дифференцированными тешенитами (Воронцов и др., 2002).

Лакколит Тамчинского вулкана на поверхности сложен однообразными по внешнему облику оливиновыми долеритами (рис. 1). В их составе отмечен пироксен, полевой шпат, в небольшом количестве присутствует апатит и титаномагнетит (Белов, 1963).

Тамчинский лакколит – одна из недоразвитых форм вулкана, в которой магма не достигла земной поверхности, а разлилась по трещинам и трубоподобным каналам, где контактировала с осадочными породами. Лакколиты обычно сложены густой и вязкой магмой, чаще кислого состава. Растения на россыпях базальтового щебня Тамчинского вулкана богаты микроэлементами (табл. 2). Как мы показали (Намзалов, Тайсаев, 2015), коэффициент биологического поглощения (Ах) гольцовыми растениями Прибайкалья больше единицы. Кроме того, Т.Т. Тайсаев (2007) установил выраженное влияние горных пород на развитие растительности, особенно в горностепных и гольцовых ландшафтах.

Отсюда Тамчинское базальтовое поле можно рассматривать в качестве рефугиума разновременных реликтов и новейшего эндемизма в условиях межгорных депрессий Западного Забайкалья, они слагаются из нескольких элементов.

1. Реликты до гляциальной эпохи, палеоген-неогеновые (третичные плиоценовые) на молодых базальтовых покровах. Это популяции полукустарниковых полыней – *Artemisia rutifolia, A. messerschmidtiana*, а также реликт пустынно-степных саванноидов – крупнодерновинный злак *Festuca sibirica*. Особи этих растений характерны для расщелин крупных плит и базальтовых пластов.

2. Реликты эпохи плейстоценовой криоаридизации – это ценозы низкотравных горных степей на мелкощебнистых россыпях денудационных поверхностей базальтовых покровов Тамчинского сила – проломниково-хамеродосовая криоксерофитная степь.

3. К категории реликтов новейшего времени относятся сообщества бесстебельнолапчатково-ковыльной степи с *Caragana buriatica* (бурятско-караганниковая лапчатково-ковыльная степь) на делюво-пролювиальных шлейфах куполовидных базальтовых возвышений. *C. buriatica* Peschkova – ксерофитная раса восточно-азиатского вида *C. microphylla* Lam., вероятно, морфологически

обособившаяся в ксеротермические эпохи голоцена, и, таким образом, ее можно рассматривать в статусе реликтового эндемика раннеголоценовых термофильных фаз в Западном Забайкалье. Вероятно, такова же история формирования другого эндемичного вида ириса – *Iris ivanovae* V. Doronkin в составе отмеченных выше петрофитных группировок (табл. 2, 3).

В составе флористического комплекса оригинальной растительности хребта Эныскей (Тамчинский вулканический купол) в долине Темника выделяется популяция полыни Мессершмидта, формирующая самобытные горностепные сообщества на развалах плит базальтовых отложений. В целом разнообразная по структуре петрофитная степная растительность на базальтовых покровах Тамчинской вулканогенной гряды развивается в окружении сухих дерновиннозлаковых степей (крыловоковыльные, змеевковые, житняковые). Нередко эти степи в значительной степени закустарены, с обилием *Caragana buriatica, Spiraea aquilegifolia*, реже *Caragana pygmaea*. Единично по пологим шлейфам и днищам русел временных водотоков отмечаются редкостойные группировки ильмовника из *Ulmus pumila*. По периферии речных террас и в окружении засоленных озерных впадин ландшафтообразующее значение имеют чиевники (*Achnatherum splendens*) в сочетании с леймусовыми *Leymus chinensis, L. paboanus* солонцеватыми остепненными сообществами.

Геохимия пород, в особенности литология субстрата, и почвенные условия имеют большое значение в формировании растительности и неизбежно проявляются на морфологическом облике, на биоморфе особей растений. Это выражается в характере опушенности листьев и стеблей, степени и сложности ветвления и, наконец, в составе веществ вторичного метаболизма растений, в частности, в компонентном составе эфирного масла. Полынь Мессершмидта относится к секции *Abrotanum* Bess. из подрода *Artemisia* L. (Флора Сибири, 1997) и является высокоэфироносным растением.

Опираясь на природные факторы, исторически сложившиеся на хребте Эныскей Селенгинского среднегорья, мы представляем нижеследующие истоки и причины формирования забайкальской популяции полыни Мессершмидта.

1. Преимущественная приуроченность к вулканогенным породам (гранитам, базальтам), к этим геохимически насыщенным экотопам.

2. Глубинные эффузивные породы в Забайкалье имеют как древнейший палеозойский, так и молодой палеоген-неогеновый возраст 102-100 млн. лет.

3. Особи полыни Мессершмидта среди глыб и развалов базальтовых отложений преимущественно старовозрастные, со слабым возобновлением и формируют реликтовые сообщества крупнодерновинных полынных степей.

В целом полынь Мессершмидта – вид близкого родства с *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. Экологические особенности рассматриваемых видов хорошо ясны при анализе видового состава двух характерных сообществ, представленных в таблице 3. Полынь Гмелина – вид более мезофитный в сравнении с полынью Мессершмидта. В сообществе Гмелинополынной степи большую ценотическую роль проявляют виды широким евразийским и североазиатским ареалами мезоксерофитной экологии (*Bromopsis inermis, Medicago falcata, Galium verum*). Фитоценоз полыни Мессершмидт – типично горностепной, в видовом составе характерны виды ксерофитной и ксеропетрофитной экологии (*Stellaria dichotoma, Ephedra monosperma, Sedum oizoon, Carex pediformis, Potentilla sericea*) преимущественно с южносибирско-монгольским ареалом.

Кроме эколого-ценотических показателей забайкальские популяции видов полыни имеют ряд отличий в морфологических особенностях. Главнейшие биоморфологические отличия полукустарниковых полыней касаются строения листьев и побегов.

Так, у полыни Мессершмидта прикорневые и нижние стеблевые листья дважды и нередко трижды перисто-рассечены, с узкими долями 1-3 мм. При этом листья с обеих сторон беловойлочно-волосистые, ямчато-железистые. В целом листья и стебли – серые от опушения, многолетние части стеблей бурые с полосчато-лупящейся корой, однолетние части побегов – светлозелено-фиолетовые, слегка ребристые (фото 3). У полыни Гмелина листья волосистые только с нижней стороны, при этом преимущественно дважды перисто-рассеченные. Растения темно-зеленые, маловетвистые (фото 4).

Морфологические особенности этих близкородственных видов подтверждаются и по составу компонентов эфирного масла (табл. 3). При этом анализ подтвердил не только их филогенетическую близость, но и заметные отличия, что указывает на их достаточную обособленность, выходящую на их самостоятельный статус. Так, в составе эфирного масла полыни Мессершмидта выявлены 10

специфических компонентов (табл. 3). Среди них выделяются компоненты с высоким содержанием: транс-сабиненгидрат (2.4%), γ-терпинен (2%) и гермакрен D (1.6%).

Таблица 3. Содержание компонентов эфирных масел полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.) и полыни Мессершмидта (*A. messerschmidtiana* Bess.), произрастающих в степных сообществах Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье).

Названия компонентов	**Содержание, % от цельного масла**		**Фитоценозы**	
	Artemisia gmelinii	*Artemisia messer-schmidtiana*	*Ковыльно-осочково-Мессершмидт-ополынная каменистая степь.* Селенгинское среднегорье, Тамчинская долина, хребет Эныскей; на крутых развалах вулканических пород. Проективное покрытие травостоя – 30% (4.05.15)	*Кострово-тараново-Гмелинополынная луговая степь.* Селенгинское среднегорье, Загустайский вал; шлейфы и подножья лессовых обнажений; проек-тивное покрытие траво-стоя – 70% (22.06.15)
Компоненты, характерные для обоих видов			Видовой состав: *Artemisia messerschmidtiana* (cop) *A. frigida* (sp) *Achnatherum sibiricum* (sp) *Stipa baicalensis* (sp-cop) *Agropyron cristatum* (sp-sol) *Caragana pygmaea* (sp) *Spiraea aquilegifolia* (sol) *Iris ivanovae* (sol) *Stellaria dichotoma* (sp) *Ephedra dahurica* (sol) *Sedum oizoon* (sp) *Allium anisopodium* (sp) *Carex pediformis* (sp) *C. korshinskyi* (sp-cop) *Lilium tenuifolium* (sol-sp) *Festuca sibirica* (sol) *Potentilla bifurca* (sp) *P. sericea* (sol) *Chamaerhodos erecta* (sp) *Koeleria cristata* (sp)	Видовой состав: *Artemisia gmelinii* (cop1) *Aconogonon divaricatum* (sp-cop) *Bromopsis inermis* (sp-cop) *Spiraea aquilegifolia* (sp) *Phlomis tuberosa* (sp) *Medicago falcata* (sp) *Galium verum* (sp) *Bupleurum scorzonerifolium* (sp-sol) *Ulmus pumila* (un) *Potentilla bifurca* (sol) *Stellaria dichotoma* (sol) *Atraphaxis pungens* (un)
α-пинен	0.4	0.5		
камфен	2.4	2.0		
β-пинен	0.4	0.5		
окт-1-ен-3-ол	0.5	0.5		
α-терпинен	1.1	1.1		
1,8-цинеол	40.3	30.3		
камфора	25.2	25.4		
изоборнеол	0.5	0.3		
пинокарвон	0.5	0.6		
борнеол	8.0	12.6		
α-терпинеол	0.6	4.3		
борнилацетат	0.9	2.8		
Специфические компоненты				
вербенол	0.3	–		
β-фелландрен	0.3	–		
β-мирцен	0.4	–		
α-фелландрен	0.3	–		
n-цимол	3.3	–		
терпинеол-4	4.5	–		
оксид кариофиллена	0.4	–		
трициклен	–	0.1		
сабинен	–	0.2		
γ-терпинен	–	2.0		
транс-сабиненгидрат	–	2.4		
миртенол	–	0.5		
α-копаен	–	0.1		
кариофиллен	–	0.4		
гумулен	–	0.1		
гермакрен D	–	1.6		
β-бисаболен	–	0.3		

В дополнение к показателям степени специфичности этого вида необходимо отметить ряд фактов повышенного содержания компонентов эфирного масла, характерных в обоих видах. Таковыми являются сравнительно высокое содержание α-терпениола – 4.3% у полыни Мессершмидта против 0.6% у полыни Гмелина и борнилацетата – 2.8% против 0.9% соответственно (Жигжитжапова и др., 2010; Намзалов и др., 2015).

Фото 3. Полынь Мессершмидта (*Artemisia messerschmidtiana*) в расщелинах плит базальтового покрова Тамчинского вулкана, 18 августа 2015 г.

Фото 4. Полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*) на обнажениях лессовых покровов Загустайского вала, 22 июня 2015 г.

Таким образом, по данным анализа забайкальской популяции полыни Мессершмидта вполне подтверждается ее видовой статус не только с позиций морфологического критерия, но и биохимического – с учетом компонентного состава эфирного масла. Следует отметить, что крупнейший флорист и систематик В.Н. Ворошилов (1982) такие виды полыней, как *Artemisia*

messerschmidtiana Bess. и *A. freyniana* (Pamp.) Krasch., близкородственные полыни Гмелина, рассматривает как производные от нее, т.е. в ранге экологических рас, не заслуживающих статуса самостоятельного вида (Ворошилов, 1982). Однако с другой стороны самостоятельность этих видов признана авторитетными исследователями – И.М. Красноборовым (Флора Сибири, 1987-1997) и В.И. Грубовым (1982). Кроме этого ряд авторов (Березовская и др., 1991) высказывает идеи о более широком толковании полыни Мессершмидта, в которую, как синоним, включена *A. freyniana* (Pamp.) Krasch. (Березовская, 1991).

Результаты исследований показали, что с учетом эколого-морфологических и фитохимических данных можно говорить о двух близкородственных видах в секции *Abrotanum* Bess. из подрода настоящих полыней *Artemisia* L. – это *Artemisia gmelinii* и *A. messerschmidtiana*. Если первый пребореально-лесостепной вид с обширным евразийским ареалом отмечен в сообществе костровотараново-Гмелинополынной луговой степи на Загустайском валу Западного Забайкалья, то второй – более узкий восточноазиатский горно-лесостепной вид и характерен в ценозе ковыльно-стоповидноосоково-Мессершмидтополынной каменистой степи хребта Эныскей Селенгинского среднегорья (табл. 3). Полынь Мессершмидта в Забайкалье – это гемиэндемик, составляющий самые западные популяции Байкало-Дауро-Монгольского горно-лесостепного вида.

Заключение

Необходимо отметить, что микроэлементный состав образцов вулканической породы с Тамчинского силла богат и оригинален. Анализы выявили, что в их составе аномально высоки показатели Ba, Sr, V, Zr и U, что не могло не отразиться на составе биоты. Повышенный геохимический фон этих элементов послужил не только сохранению реликтовых растений (хамеродос алтайский, арктогерон злаковидный, овсяница сибирская и др.), но и морфогенезу эндемичных видов – караганы бурятской и ириса Ивановой. Последние формируют оригинальные, эндемичные для Западного Забайкалья лапчатково-ковыльно-караганниковые степи на делювильных подгорных шлейфах Тамчинского вулкана. Нередко в составе петрофитных полынных сообществ с выходами на поверхности базальтовых покровов отмечается упомянутый эндемичный вид ириса. В целом географическое распространение видов-петрофитов в горностепных сообществах хр. Эныскей и на Загустайском валу значительно шире, имеют преимущественно южносибирско-монгольский ареал и связаны они не только с вулканогенными породами.

Специфический геохимический фон вулканических пород Тамчинского силла отразился и на составе полыней. Так, исключительно на развалах базальтовых плит, в расщелинах между глыбами пород на мелкощебенистых песчано-мелкоземистых поверхностях характерна эндемичная полынь Мессершмидта, которая имеет несомненные морфологические отличия от близкородственной полыни Гмелина. Как выяснилось, полынь Мессершмидта заметно отличается и по фитохимическому критерию – компонентному составу эфирного масла. И в заключение необходимо отметить, что эколого-геохимические особенности местообитаний способствуют не только сохранение реликтовых популяций видов растений, но и сообществ с их участием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белов И.В. 1963. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. М.: Издательство АН СССР. 369 с.

Березовская Т.П., Амельченко В.П., Красноборов И.М., Серых Е.А. 1991. Полыни Сибири (систематика, экология, химия, хемосистематика, перспективы использования). Новосибирск: Наука. 124 с.

Борисова И.В., Попова Т.А. 1984. Жизненные формы растений // Сухие степи Монгольской Народной Республики. Л.: Наука. С. 79-87.

Виноградов А.П. 1963. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции // Геохимия. № 3. С. 199-212.

Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Никифоров А.В. 2002. Позднемезозойский магматизм Джидинского сектора Западно-Забайкальской рифтовой области: этапы формирования, ассоциации, источники // Петрология. Т. 10. № 5. С. 510-531.

Ворошилов В.Н. 1982. Определитель растений советского Дальнего Востока. М.: Наука. 672 с.

Глазовская М.А. 1992. Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах // Известия РАН. Серия географическая. № 5. С. 5-12.

Гордеева Т.К. 1977. Особенности вертикальной структуры фитомассы некоторых сообществ Монголии // Проблемы экологии, геоботаники, ботанической географии и флористики. Л.: Наука. С. 109-118.

Гордиенко И.В., Иванов А.В., Климук В.С. 2006. Путеводитель Джидинской экскурсии для участников III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии / Ред. И.В. Гордиенко. Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН. 57 с.

Горшкова А.А. 1966. Биология степных и пастбищных растений Забайкалья. М.: Наука. 272 с.

Грубов В.И. 1982. Определитель сосудистых растений МНР. Л.: Наука. 442 с.

Дулепова Б.И. 1985. Систематический состав и жизненные формы степных растений // Степи горной лесостепи Даурии / Ред. Н.В. Уманская. Иркутск: ИГПИ. С. 19-34.

Жигжитжапова С.В., Соктоева Т.Э., Раднаева Л.Д. 2010. Химический состав эфирного масла *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm, произрастающей в Центральной Азии // Химия растительного сырья. № 2. С. 131-133.

Лавренко Е.М. 1972. Степной петрофит севера Центральной Азии арктогерон злаковидный *Arctogeron gramineum* (L.) DC. // Ботанический журнал. Т. 72. № 12. С. 1580-1589.

Намзалов Б.Б., Жигжитжапова С.В., Раднаева Л.Д. 2015. О фитоценотической приуроченности и видовом статусе *Artemisia messerschmidtiana* Bess. в Западном Забайкалье // Материалы IV-ой международной научно-практической конференции «Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-азиатского региона / Ред. О.М. Хомушку. Кызыл: ТувГУ РИО. С. 12-14.

Намзалов Б.Б., Тайсаев Т.Т. 2015. Эндемизм биоты Байкальской природной территории: истоки, новейшие узлы и перспективы исследований // Вестник Бурятского научного центра СО РАН / Ред. Б.В. Базаров. Улан-Удэ: Издательство БНЦ СО РАН. № 1 (17). С. 164-174.

Намзалов Б.Б., Тайсаев Т.Т., Банаева С.Ч. 2015. О криоморфогенезе и реликтовых явлениях в растительности горных степей Южной Сибири // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Материалы Международной конференции / Ред. Н.И. Дорофеюк и др. Улан-Батор, Монголия: Terkhchandmani Co., Ltd. Т. 1. С. 164-168.

Олюнин В.Н. 1978. Происхождение рельефа возрожденных гор. М.: Наука. 276 с.

Полевая геоботаника. 1964 / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин. М., Л.: Наука. Т. 3. 530 с.

Рещиков М.А. 1961. Степи Западного Забайкалья. М.: Издательство АН СССР. 172 с.

Тайсаев Т.Т. 2002. Ландшафтно-геохимический фактор биоразнообразия и особенности традиционного природопользования горных экосистем // Сибирский экологический журнал. № 5. С. 617-624.

Тайсаев Т.Т. 2007. Явление криобиогенеза и геохимическая самоорганизация мерзлотных ландшафтов // Вестник РАЕН. Т. 7. № 2. С. 12-21.

Ткачев А.В. 2008. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Офсет. 969 с.

Флора Сибири. В 14 томах. Т. 13. 1988-2013 / Ред. И.М. Красноборова. Новосибирск: Наука. Т. 1. 1988. 314 с.; Т. 2. 1990. 361 с.; Т. 3. 1990. 280 с.; Т. 4. 1987. 250 с.; Т. 5 1992. 312 с.; Т. 6. 1993. 310 с.; Т. 7. 1994. 312 с.; Т. 8. 1988. 200 с.; Т. 9. 1994. 280 с.; Т. 10. 1996. 314 с.; Т. 11. 1997. 296 с.; Т. 12. 1996. 208 с.; Т. 13. 1997. 472 с.; Т. 14. 2003. 188 с.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 46-52

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 633.2.039

СОЗДАНИЕ КОРМОВЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПАСТБИЩ

© 2018 г. Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Н.И. Кудряшова

Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия
Россия, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-он, с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8
E-mail: pniiaz@mail.ru, gbulaht@mail.ru

Поступила 20.09.2017

В статье представлены результаты двух лет разработки технологических приемов создания кормовых агрофитоценозов в аридных природно-климатических условиях для экологического восстановления и повышения продуктивности деградированных пастбищных экосистем. Была исследована динамика фитопотенциала агрофитоценозов в различных вариантах: виды растений, сроки посева, способ посева. Опыты проводились по методикам ВНИИ кормов (2015) и Б.А. Доспехова (1985). В результате, было выявлено: в опытах с разными видами пастбищной растительности – наиболее продуктивным из посеянных видов оказался терескен серый, среднегодовая урожайность которого превысила естественное пастбище в 3 раза (в первый год) и в 3.6 раза (во второй год); в опытах с разным сроком посева житняка - при осеннем посеве уже в первый год вегетации пастбище было заполнено в основном (71-76%) житняком, а при весеннем посеве даже ко второму году вегетации проективное покрытие житняка составляло только 49-54%; в опытах с различным способом посева житняка – при разбросном способе проективное покрытие агрофитоценозов превышало таковое рядового способа на 7% (весенний срок) и на 17% (осенний срок).

Ключевые слова: агрофитоценозы, деградированные пастбища, аридные растения, способ посева.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00016

Аридные территории занимают около 15% площади Российской Федерации или более 250 млн. га. (Зволинский и др., 1998). В решении продовольственной проблемы и обеспечении промышленности сырьем важную роль имеет продукция животноводческой отрасли сельского хозяйства. Однако вопросы дальнейшей интерфиксации этой отрасли сопряжены главным образом с созданием прочной кормовой базы. Из общей площади природных пастбищ России 73% или 50 млн. га сосредоточены на аридных территориях. Аридные земли расположены в 11 субъектах Российской Федерации: Республика Дагестан, Республика Калмыкия, Астраханская, Волгоградская, Самарская, Саратовская, Оренбургская, Ростовская области, Республика Башкортостан, Краснодарский и Ставропольский края (Кулик, 2011). Сегодня особую остроту вопросы кормопроизводства приобрели в полупустынных степях Прикаспия. Обширность степных пастбищ региона способствует развитию пастбищного скотоводства и главным образом овцеводства. Однако для современных частных крестьянских хозяйств источники «бесплатного» природного корма при круглогодичной вольной пастьбе и наращивание производства за счет увеличения поголовья сельскохозяйственных животных, представляются экономически более привлекательными на фоне применения высоко затратной мелиорации. Российское законодательство не обязывает сельхозпроизводителей восстанавливать первоначальную хозяйственную ценность используемой земли, в итоге процессом рекультивации нарушенных кормовых угодий никто не занимается. Такая хозяйственная деятельность на протяжении последних десятилетий привела к тому, что животноводческая нагрузка на естественные астраханские пастбища, которые занимают половину области, превысила емкость в 4-6 раз (Зволинский и др., 2011). В результате уменьшается урожайность и запасы пастбищных кормов, почва оголяется, растет засоренность пастбищного травостоя несъедобными, вредными и ядовитыми растениями, увеличивается пастбищная и водная эрозия (наличие пастбищных троп, промоин, оврагов и прочего), из пастбищного травостоя исчезают

отдельные виды растений, наблюдается смена доминантов растительных сообществ. Продуктивность пастбищных угодий снизилась до критического уровня и составляет 1.0-1.5 ц/га сухой поедаемой массы. Сложившая ситуация отрицательно сказывается не только на продуктивности сельскохозяйственных животных и качестве их продукции, но и на экологической обстановке региона в целом, которая в настоящее время характеризуется, как близкая к кризисной. Поэтому перед учеными и практиками сельского хозяйства встали актуальные вопросы разработки путей для улучшения естественных пастбищ полупустынной зоны Нижнего Поволжья, повышения их устойчивости к деградации и опустыниванию в условиях возрастающей интенсификации сельскохозяйственного производства (Тютюма и др., 2017).

Характерной особенностью аридных пастбищ является зависимость их производительности от складывающихся погодных условий. Продуктивность различных типов пастбищ может возрастать и снижаться в 2-3 раза по отношению к среднеурожайному году. Запасы пастбищных кормов изменяются не только по годам, но и по сезонам года: к зиме они, как правило, снижаются в 2.5 раза (Баширов и др., 2015).

Многие ученые уже описали, как выпас на пастбище влияет на физическое качество почвы и состояние растительности, однако мало делается для их восстановления. Проводятся опыты по интродукции засухо- и солеустойчивых кормовых растений на деградированные пастбища (Дедова, 2012; Waldron et al., 2010; Dec et al., 2012). Фитомелиорация повышает продуктивность естественных пастбищ на 20%, и они служат без ухода в течение 25-30 лет.

В создавшейся ситуации важнейшей и первоочередной задачей является разработка эффективных технологий для создания на полупустынных и сухостепных пастбищах высокопитательных агрофитоценозов для круглогодичного обеспечения пастбищного животноводства полноценными кормами.

Цель исследования. Теоретически обосновать и разработать технологические приемы создания высокопитательных агрофитоценозов, адаптированных к экстремальным условиям аридной зоны и способствующих экологическому восстановлению и повышению продуктивности деградированных пастбищных экосистем.

Задачи. Провести исследования динамики фитопотенциала агрофитоценозов при различных вариантах технологических приемов, в том числе: изменение видовой состав посевного материала (житняк, пырей, терескен, прутняк), различные сроки посева (весна, осень), изменение способа посева (разбросной, рядовой).

Объекты и методика проведения исследований

Опытный участок расположен на землях старопахотного участка, в правобережной степи Астраханской области; рельеф – выровненный. Почвы светло-каштановые солонцеватые тяжелосуглинистые в комплексе с солонцами от 5 до 10%, с содержанием гумуса от 1.0 до 1.5%.

Растительность контрольного участка (естественное пастбище) типична для подзоны – это полынная ассоциация с эфемерами и эфемероидами. Ботанический состав представлен следующими видами: полынь белая (*Artemisia lercheana* Weber ex Stechm.), полынь холодная (*A. frigida* Willd), полынь черная (*A. pauciflora* Web.), мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), бурачек степной (*Alyssum desertorum* Stapf), мортук восточный (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach). Растительный покров изрежен и сильно сбит. По средним данным за 5 лет динамика фитомассы по сезонам года составляет: весна – 0.95-1.1; лето – 0.5-0.9; осень – 0.8-1.5 т/га сухой массы. Проективное покрытие не превышает 35-45%.

Агротехнические мероприятия по созданию высокопродуктивных пастбищных угодий (подготовка земли, посев) проводились по «Коренному улучшению пастбищных …» (Шагаипов и др., 2009). Определение урожайности – укосным методом по «Методике эффективного освоения …» (2015). Определение влажности почвы – термовесовым методом послойно (через 10 см) в метровом слое почвы по «Методике полевого опыта» (Доспехов, 1985).

Схема опыта. Вариант I. Высеваемые травы – смесь житняков: ширококолосый *(Agropyron pectiniforme* Roem/ et Schlt), гребневидный (*A. pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv.), сорт Перспектива. Полевой двухфакторный опыт по коренному улучшению пастбищ: фактор А – срок посева (весна, осень); фактор Б – способ посева (рядовой с междурядьем 0.6 м, разбросной). Контроль –

естественное пастбище.

Вариант II. Полевой однофакторный опыт по коренному улучшению пастбищ: срок посева – осень; способ посева – рядовой с междурядьем 0.6 м. Высеваемые травы: житняк ширококолосый (*A. pectiniforme* Roem/ et Schlt), пырей удлиненный (*Elytrigia elongata* (Host) Nevski), прутняк простертый (*Kochia laniflora* (S.G.Gmel.) Borb.), терескен серый (*Eutoria ceratoides* (L.) C.A. Mey). Контроль – естественное пастбище.

Посев – основная обработка почвы плугом; предпосевная обработка – культивация, боронование и предпосевное прикатывание, которые проводят непосредственно перед посевом, послепосевное прикатывание. При осеннем посеве добавляется обработка паров в течение лета по мере зарастания сорняками. Сроки посева: весенний (март), осенний (октябрь-ноябрь). Техника посева ручная. Глубина заделки семян: житняк – 3 см, пырей – 4 см, прутняк – 4 см, терескен – 4 см. Нормы высева семян: житняк – 10-12 кг/га, пырей – 12-15 кг/га, прутняк – 3 кг/га, терескен – 2-3 кг/га, в расчете на 100% хозяйственную годность семян.

По климатическим условиям место проведения опыта представляет собой наиболее континентальную и засушливую часть юга Росси. Осадков выпадает крайне мало, около 130-260 мм в год. Продолжительность периода с температурами выше 10°С составляет 165-170 дней. Сумма температур выше 10°С достигает 3200-3400°С. Испаряемость в 3-5 раз превышает количество выпавших осадков. Вероятность сухих и засушливых лет превышает 60%.

Для определения условий развития пастбищных фитоценозов был исследован продуктивный запас почвенной влаги по месяцам на опытных участках в слое почвы 0-0.5 м (рис. 1).

Результаты показали, что условия увлажнения почвы первого года исследования в весенний период были благоприятнее, чем во второй год. В летний период почвенная влага отсутствовала, показатели продуктивной влаги – отрицательные.

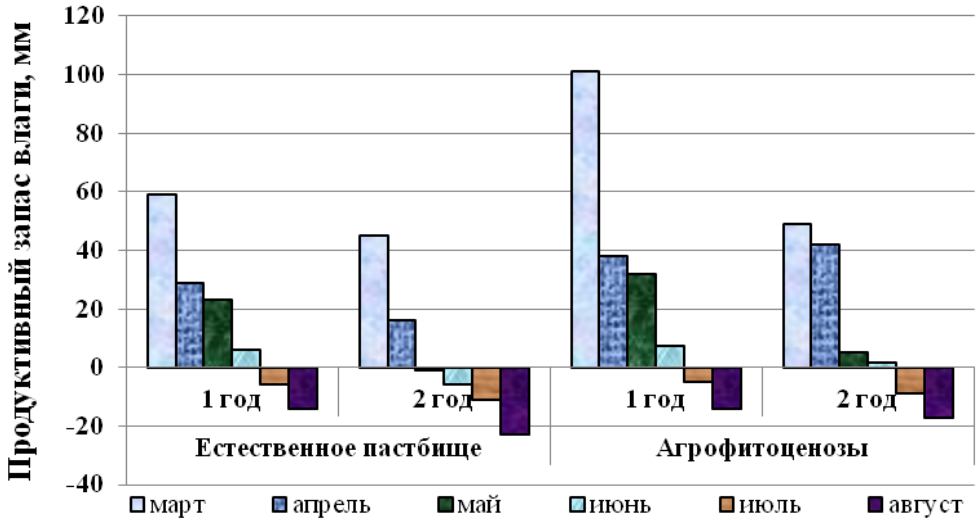


Рис. 1. Изменение продуктивного запаса влаги (мм) в слое почвы 0-0.5 м по месяцам двух лет исследования.

Результаты и обсуждение

Вариант I. 28 марта и 13 сентября 2016 года был произведен посев смеси житняков. Общее проективное покрытие (ОПП) пастбища первого года вегетации весеннего срока посева составило 65-80%, при этом ботанический состав зеленой массы по проективному покрытию был одинаков: лебеда белая – 44%, молокан татарский – 33%, вьюнок полевой, горчак и липучка растопыренная – 3-5%, житняк – 18-20% (фото 1). ОПП контрольного участка составило 53%.

Средняя высота житняка в июне составляла 0.2-0.3 м, а разнотравья – 0.5-0.8 м (фото 1). На второй год вегетации были произведены замеры высоты и ОПП житняка и разнотравья на всех опытных пастбищ (табл., фото 2).

По результатам исследования отмечено:

– при осеннем посеве уже в первый год вегетации пастбище было заполнено в основном

житняком (на 71-76%), а при весеннем даже ко второму году вегетации ПП составило только 49-54%;

– при разбросном посеве ОПП агрофитоценозов превышало ОПП рядового способа на 7% в весенний срок и 17% в осенний срок;

– ОПП растительного покрова агрофитоценозов превысило ОПП естественного пастбища в первый год на 24-39%, а на второй год – на 29-36%.

Таблица. Результаты исследования пастбищ коренного улучшения (данные от 01.06.2017).

Пастбища по опытам		Высота житняка, м	ОПП, %	ПП составляющих, %	
Срок посева	Способ посева			Житняк	Разнотравье
Весна 2016 г.	Рядовой	0.67	70	49	51
	Разбросной	0.74	77	54	46
Осень 2016 г.	Рядовой	0.47	51	76	25
	Разброс	0.47	68	71	29
Естественное пастбище – контроль		–	41	–	–

Фото 1. Опытное пастбище первого года вегетации, июнь 2016 г. (фото автора).

Результаты исследования продуктивности пастбищ показали (рис. 2):

– из-за лучших условий увлажнения почвы урожайность агрофитоценозов весеннего срока посева в первый год оказалась выше, чем во второй, – в 1.6 раза при обоих способах посева, а естественного пастбища – в 2.1 раза;

– из-за достижения разнотравьем в первый год весеннего срока посева в составе агрофитоценоза 80% урожайность была выше осеннего срока в 1.7 раза при рядовом способе и в 2.3 раза при разбросном;

– урожайность агрофитоценозов весеннего срока превысила контрольные показатели в первый год в 2.3 раза при рядовом способе и в 3.3 раза при разбросном; на второй год – в 3.1 и 4.4 раза соответственно; при осеннем посеве – в 2.8 и в 3 раза соответственно.

Проведенный дисперсионный анализ показал наличие существенных различий между опытными вариантами и контролем.

Вариант II. В ноябре 2015 года были проведены полевые работы по созданию высокопродуктивных пастбищ, в том числе предпосевная обработка земли и посев кормовых трав (житняк ширококолосый, пырей удлиненный), полукустарничка прутняка простертого и кустарника терескена серого ручным способом.

Фото 2. Опытное пастбище второго года вегетации, июль 2017 г. (фото автора).

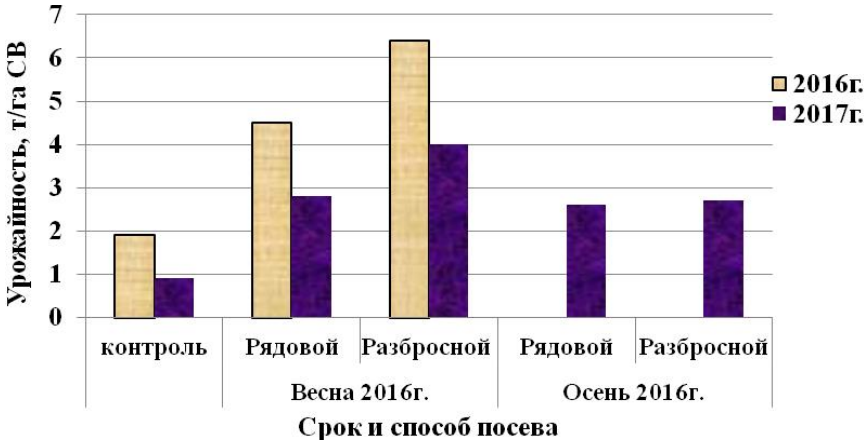


Рис. 2. Динамика урожайности агрофитоценозов (т/га СВ) по годам исследования.

Каждый месяц, начиная с мая, проводилось определение урожайности сухой массы опытных агрофитоценозов (рис. 3).

По результатам исследования было отмечено:

– жаркие и дождливые весна и лето первого года вегетации благоприятно отразились не только на опытных посевах, но и на фитоценозах контрольного участка, среднегодовая урожайность которого превысила житняк в 1.5 раза;

– наиболее продуктивными оказались посевы терескена серого, среднегодовая урожайность которого превысила естественное пастбище в 3 раза в первый год и в 3.6 раза во второй;

– среднегодовую урожайность больше, чем на контроле, показали также посевы прутняка: в 2.4 раза в первый год и в 2.8 во второй; и пырея: в 2.3 раза в первый год и в 3.1 во второй;

– более сухие и жаркие условия второго года вегетации привели к тому, что из четырех

посеянных растений увеличил свою урожайность только один житняк – в 1.7 раза.

Проведенный экономический анализ фитомелиоративных приемов создания агрофитоценозов показал, что рентабельность улучшенных пастбищ в 1.7-3.2 раза превышает рентабельность естественных пастбищ.

Выпас овец на опытных пастбищах в период исследования проводился только в зимний период (конец ноября – начало марта) с нагрузкой 0.5 условных овец на 1 га (оптимальная нагрузка).

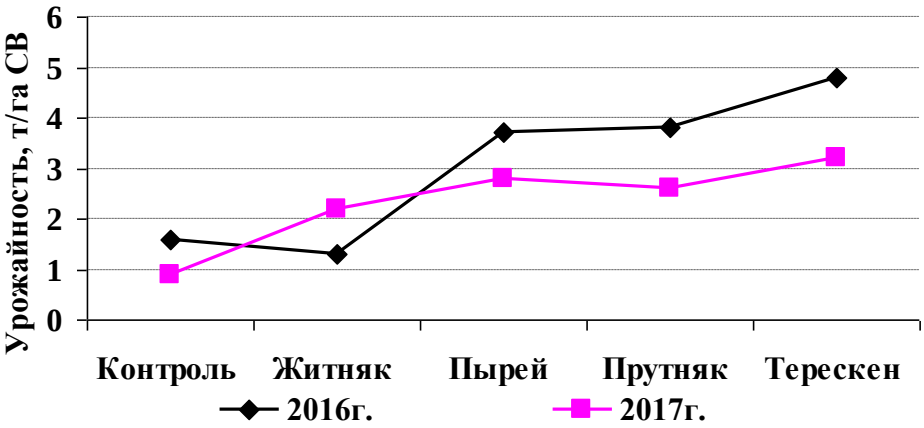


Рис. 3. Динамика урожайности (среднегодовая, т/га СВ) улучшенных пастбищ по месяцам и годам исследования.

Выводы

Из-за экстремальных почвенно-климатических условий аридных территорий Северного Прикаспия и вследствие возрастающих темпов деградации пастбищных угодий от высокой нагрузки животных их урожайность и питательная ценность в настоящее время характеризуется очень невысокими показателями. Обеспеченность животных, пасущихся на природных пастбищах, полноценными кормами очень низка. В среднем по регионам она составляет от 10 до 41%. После двух лет исследований были получены следующие результаты:

– при осеннем посеве уже в первый год вегетации пастбище было заполнено в основном (71-76%) житняком, а при весеннем посеве даже ко второму году вегетации проективное покрытие житняка составляло только 49-54%;

– при разбросном способе посева ОПП агрофитоценозов превышало ОПП рядового способа на 7% в весенний срок и 17% в осенний срок;

– ОПП растительного покрова агрофитоценозов превысило естественное пастбище в первый год на 24-39%, а на второй год – на 29-36%.

– урожайность агрофитоценозов весеннего срока посева в первый год была выше, чем во второй, – в 1.6 раза при обоих способах, а естественного пастбища – в 2.1 раза;

– биологическая урожайность весеннего срока посева выше урожайности осеннего срока в 1.7 раза при рядовом способе и в 2.3 раза при разбросном;

– урожайность агрофитоценозов весеннего срока в первый год превысила контроль в 2.3 раза при рядовом способе и в 3.3 раза при разбросным; во второй год – в 3.1 и в 4.4 раза соответственно; при осеннем посеве – в 2.8 и в 3 раза соответственно.

– наиболее продуктивными оказались посевы терескена серого, среднегодовая урожайность которого превысила естественное пастбище в 3 раза в первый год и в 3.6 раза во второй;

– на второй год вегетации из четырех посеянных растений увеличил свою урожайность только житняк – в 1.7 раза.

Таким образом, опираясь на результаты, полученные в исследованиях, можно утверждать, что приемы фитомелиорации привели к восстановлению и увеличению продуктивности деградированных природных пастбищ в 2-3 раза, а, соответственно, и к оздоровлению экосистемы. Если регулярная животноводческая нагрузка со временем приведет к опустыниванию, то рациональное пастбищепользование, включающее фитомелиоративные мероприятия, приведет к бессрочному их использованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Баширов Р.Р., Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Гаджиев К.М., Ахмедова З.Н., Абдулаева А.С. 2015. Оценка продуктивности пастбищных фитоценозов Северо-Западного Прикаспия (на примере Кочубейской биосферной станции ПИБР ДНЦ РАН) // XVII Международная конференция «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России». Нальчик. С. 125-128.

Дедова Э.Б., Манджиева А.Н. 2003 Использование нетрадиционных культур в качестве фитомелиорантов // Материалы I региональной конференции молодых ученых «Новые и редкие растения Северного Кавказа», часть II. Владикавказ. С. 54-56.

Доспехов В.А. 1985. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. С. 336.

Зволинский В.П. Зонн И.С., Трофимов И.А., Шамсутдинов З.Ш. 1998. Земельные и агроклиматические ресурсы аридных территорий России. М.: Издательство ПАИМС. С. 56.

Зволинский В.П., Шагаипов М.М., Булахтина Г.К. 2011. Исследование влияния пастбищного животноводства на степные экосистемы Астраханской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 2. С. 23-25.

Кулик К.Н. 2011. Опустынивание в России и агролесомелиорация в борьбе с ним // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИАЛМИ. Волгоград: ВНИАЛМИ. С. 438.

Методика эффективного освоения многовариантных технологий улучшения сенокосов и пастбищ в Северном природно-экономическом районе. 2015 / Ред. А.А. Кутузова, К.Н. Привалова, Н.И. Георгиади. М.: Угрешская типография. 68 с.

Тютюма Н.В., Егорова Г.С., Булахтина Г.К. 2017. Прием биологической рекультивации деградированных естественных пастбищ в аридной зоне Северного Прикаспия. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. 96 с.

Шагаипов М.М., Булахтина Г.К., Пучков М.Ю. 2009. Коренное улучшение пастбищных угодий Астраханской области // Методические рекомендации. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. М. 40 с.

Waldron B.L., Eunb J.-S., ZoBell D.R., Olsonc K.C. 2010. Potential use of halophytes and other salt-tolerant plants in sheep and goat feeding *Forage kochia* (*Kochia prostrata*) for fall and winter grazing // Small Ruminant Research. Vol. 91. № 1. P. 47-55.

Dec D., Dórner J., Balocchi O., López I. 2012. Temporal dynamics of hydraulic and mechanical properties of an Andosol under grazing // Soil & Tillage Research. № 125. P. 44-51.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 53-59

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.5:630.181

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ЗЕМЛЯХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕФЛЯЦИИ

© 2018 г. А.Н. Сарычев

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97. E-mail: zeit1@ya.ru

Поступила 10.02.2017

Представлены материалы по изучению комплексного влияния полезащитных лесных насаждений и технологий основной обработки почвы на рост, развитие и продуктивность основной зернофуражной культуры в аридной зоне Волгоградской области. Приведены данные по обследованию последствий пыльной бури на территории южных районов Волгоградской области. Установлены закономерности изменения агрофизических показателей светло-каштановой почвы и особенности формирования продуктивности ярового ячменя на межполосном пространстве в различные по влагообеспеченности годы. Исследования показали, что некоторые агрофизические показатели почвы в агролесоландшафте дифференцированно изменяются на межполосном пространстве.

Ключевые слова: агрофитоценоз, полезащитные насаждения, технология возделывания, яровой ячмень, дефляция.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00017

Территория Волгоградской области относится к регионам рискованного земледелия. Это обусловлено прежде всего особенностями местного климата: высокая температура воздуха в теплый период года, в летние месяцы часто превышающая 40°С, низкая температура в зимний период, неравномерное выпадение и недостаточное количество атмосферных осадков, частые засухи и суховеи, дефляция. Особенно ярко аридность территории проявляется в южных и восточных регионах: 2010, 2013 и 2015 годы для Котельниковского, Октябрьского и Светлоярского районов были острозасушливыми. В результате засухи пострадали до 600 тыс. га посевов, а экономические потери сельхозтоваропроизводителей в отдельные годы составили более 2 млрд. рублей.

Помимо засухи частым неблагоприятным погодным явлением считаются пыльные бури, которые возникают практически ежегодно, но наиболее тяжелые последствия они вызвали в 1969, 1972, 1975, 1984 и 2015 годах. В результате воздействия на почву ветра, дующего со скоростью более 22 м/с, был утрачен слой почвы 2-5 см, вынос почвы достиг 20-50 т/га, а гумуса − 5-6 т/га, при мощности гумусового горизонта светло-каштановой почвы 18-25 см это − настоящая экологическая катастрофа.

Для предотвращения дефляционных процессов был разработан целый ряд агротехнических, лесомелиоративных и организационно-технических мероприятий (Павловский и др., 1991; Волошенкова, 2015). Для агрофитоценозов Волгоградской области наиболее эффективным можно считать создание полезащитных лесных полос и применение почвозащитных технологий обработки земли. Высокая эффективность этих мероприятий по предотвращению дефляции и созданию благоприятных условий в агроландшафтах для роста сельскохозяйственных культур подтверждается работами отечественных ученых (Васильев, 2003; Громовик и др., 2013; Захаров, Кретинин, 2005).

Целью настоящей работы является изучение комплексного влияния полезащитных лесных насаждений и технологий основной обработки почвы на условия произрастания сельскохозяйственных культур в облесненном агрофитоценозе аридных районов Волгоградской области.

Объекты, материалы и методы исследований

В качестве объекта исследований был выбран облесненный агрофитоценоз в Котельниковском

районе Волгоградской области на землепользовании индивидуального предпринимателя Н.Н. Сарычева. Полезащитные лесные полосы (ПЗЛП) объекта трехрядные, высотой 9 м, ширина междурядья − 3 м, состоят из вяза приземистого. Координаты участка: 47° 48' 46.4" с.ш., 43° 30' 14.8" в.д. Опыт был заложен в 2007 году. В статье представлены результаты исследований за 2014-2016 гг., поскольку эти годы резко отличались по обеспеченности осадками. Схема опыта:

Фактор А, агрофитоценоз: первый вариант − защищенный ПЗЛП, второй вариант − без защитных насаждений.

Фактор Б, технологии обработки почвы в агрофитоценозе: первый вариант − отвальная вспашка, второй вариант − мелкое плоскорезное рыхление, третий вариант − дискование, четвертый вариант − комбинированная обработка почвы.

Агрофитоценоз представлен трехпольным зернопаровым севооборотом, состоящим из пара чистого, озимой пшеницы и ярового ячменя.

Контрольные площадки для отбора проб и образцов растений были расположены на удалении 1, 5, 10, 15, 25 и 35 высот (Н) от ПЗЛП.

Определение влажности почвы проводили термостатно-весовым методом, в трехкратной повторности. Отбор проб вели почвенным буром через 10 см до глубины 1 м. Отбор проводили в 4 периода: перед посевом, в фазу кущения, в фазу выхода в трубку-колошение и перед уборкой культуры. Объемную массу определяли с помощью режущего кольца в трехкратной повторности по слоям 0-0.1, 0.1-0.2 и 0.2-0.3 м в начале и в конце вегетации культуры. Изучение макроагрегатного состава почвы в слое 0-0.3 м проводилось по Н.И. Саввинову.

Отбор проб растений проводили согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. На фиксированных площадках с помощью рамок площадью 0.25 м^2 (50х50 см) отбирали снопы растений в трехкратной повторности в фазы кущения, колошения и полной спелости. Оценивали элементы структуры, определяющие величину урожая: число стеблей, в том числе продуктивных, размер колоса, число зерен в колосе, массу 1000 зерен, высоту растений, натуру зерна и его качество.

Метеорологические данные брали с ближайшей метеостанции в г. Котельниково, в 32 км в юго-западном направлении от места проведения исследований.

Результаты и обсуждение

Важнейшими характеристиками климатических условий являются температурный режим и количество выпавших осадков. Анализ метеоданных показал, что метеоусловия в годы проведения исследований резко отличались. 2014 год можно охарактеризовать как засушливый, 2015 − как острозасушливый, а 2016 − как влажный. Характеристика вегетационного периода в годы проведения исследований приведена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика погодных условий в годы проведения исследований.

Год	**2014**				**2015**				**2016**			
Месяц	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
Сумма температур >5°С	284.8	629.6	654.3	781.5	301.3	534.3	540.7	776.4	370.0	521.0	685.0	747.0
Осадки, мм	14.0	19.0	55.0	5.9	16.0	14.0	29.0	28.0	30.0	65.0	16.0	87.0
Гтк	0.5	0.3	0.8	0.1	0.5	0.3	0.5	0.2	0.8	1.2	0.2	1.2

Кроме засухи в 2015 году в конце марта – начале апреля была зафиксирована самая мощная за последние 40 лет пыльная буря. Скорость ветра в течение недели превышала 24 м/с. В ходе экспедиции было установлено, что в южных районах области на площади более 50 тыс. га снос и перенос почвы с полей в овражно-балочную сеть и лесополосы составил от 22 до 124 см, содержание гумуса в наносах составило около 1.6%. Средняя высота шлейфа мелкозема в защитных насаждениях составила 85 см, на расстоянии 3 м от ПЗЛП с заветренной стороны − 66 см, с наветренной − 26 см, содержание гумуса в наносах в среднем варьировало от 1.4 до 1.7%.

Как видно из таблицы 1, основным лимитирующим фактором для получения продукции растениеводства является влага, поэтому изучение водного режима в агролесоландшафте приоритетно. Отбор образцов почвы на содержание влаги в начале вегетации показал, что в острозасушливом 2015 году содержание продуктивной влаги на межполосном пространстве варьировало от 33.7 до 70.4 мм, во влажном 2016 году − от 104.1 до 139.6 мм в зависимости от удаленности от ПЗЛП и технологии обработки почвы. К началу сева яровых зерновых культур наибольший влагозапас формировался на расстоянии до 15 Н, это обусловлено влиянием защитных лесных насаждений на формирование снежного шлейфа в зимний период, свыше 15 Н происходит ослабление мелиоративного эффекта ПЗЛП и, следовательно, уменьшается высота снежного покрова. В среднем за три года наблюдений в зависимости от технологических приемов запасы продуктивной влаги весной в зонах приближенных к ПЗЛП варьировали от 81.35 до 102.93 мм, в то же время на удаленности свыше 15 Н – от 69.21 до 87.82 мм, а в незащищенном агрофитоценозе − от 66.0 до 85.1 мм (рис. 1). Расчеты показали, что в среднем ПЗЛП обеспечивали сельскохозяйственные культуры дополнительными 11.2 мм продуктивной влаги.

Рис. 1. Зависимость распределения влагозапаса на межполосном пространстве во время вегетации ярового ячменя (среднее за 2014-2016 гг.).

Во время вегетации закономерность изменения содержания продуктивной влаги на межполосном пространстве по отношению к удаленности от ПЗЛП сохранялась. При этом разница между наиболее удаленными контрольными площадками в агролесоландшафте и агрофитоценозе без защитных насаждений уменьшалась. В фазу колошения ячменя в июне в зонах наибольшего мелиоративного влияния ПЗЛП количество продуктивной влаги в среднем за 3 года варьировало от 26.63 до 51.91 мм. Исключение составила наиболее приближенная к ПЗЛП контрольная площадка на расстоянии 1.5 Н, так называемая зона депрессии. Здесь колебания влагообеспеченности варьировали от 30.8 до 34.4 мм, что в целом меньше, чем в условиях незащищенного агроценоза. Такая разница обусловлена тем, что в данной зоне за счет изреженного стеблестоя культуры присутствует повышенное непродуктивное испарение, а также потребление почвенной влаги деревьями ПЗЛП. В зонах, удаленных свыше 25 Н включительно, величина запасов влаги варьировала от 23.74 до 35.93 мм.

В аридной зоне технологические приемы обработки почвы оказывают значительное влияние на водный режим почвы. В сухие годы и малоснежные зимы преимущество было за технологиями с комбинированной обработкой (более 0.14 м), которые позволили получить более глубокое

промачивание нижних горизонтов почвы. Так, например, в 2015 году перед началом вегетации культуры на межполосном пространстве с вариантом комбинированной обработки почвы влагозапас был равен в среднем 64.2, на контроле − 62.7, а при мелкой дисковой обработке − 44.2 мм. Во влажные годы разница между разными технологическими вариантами обработки почв была меньше: при комбинированной обработке − 128.2, на отвальной вспашке − 126.3, при дисковании − 112.0 мм. Такая же тенденция прослеживается и в другие периоды вегетации.

Важнейшим агрофизическим показателем свойств почвы является плотность сложения или объемная масса почвы. С этим показателем тесно связан водный, пищевой и тепловой режимы почвы и, как следствие, продуктивность агрофитоценозов. Максимально допустимым оптимумом для сельхозкультур является объемная масса, не превышающая 1.3 г/см^3.

Наши исследования показали, что в целом величина объемной массы не зависит от удаленности от ПЗЛП, а зависит от приемов обработки в агрофитоценозе. Исключением является депрессионная зона у лесных полос, повышение величины объемной массы связано прежде всего не с наличием защитных насаждений, а с использованием указанной зоны для разворотов сельскохозяйственной техники во время технологических операций. Разница между контрольными площадками на различной удаленности была несущественной и не превышала 0.03 г/см^3.

В среднем за 3 года исследований перед посевом ярового ячменя на межполосном пространстве и в поле без защитных насаждений объемная масса в слое 0-0.3 м находилась в пределах оптимума и варьировала в зависимости от технологии от 1.14 до 1.20 г/см^3, к фазе полной спелости культуры почва уплотнялась. На трех вариантах объемная масса находилась в пределах оптимальных значений, не превышая 1.31 г/см^3, при дисковании ее величина варьировала от 1.33 до 1.36 г/см^3.

В тесной связи с объемной массой связана порозность почвы, которая характеризует суммарный объем всех пор в единице объема почвы. В наших исследованиях величина общей порозности в слое 0-0.3 м варьировала в начале вегетации в защищенном агроландшафте от 54.8 до 56.81%, а в конце вегетации − от 48.85 до 52.03%. В агроценозе без защитных насаждений ее величина в зависимости от технологии обработки почв изменялась от 54.6 до 56.0% в начале вегетации культуры и от 49.06 до 51.1% в конце.

В районах, подверженных дефляции, одним из объективных показателей дефляционной устойчивости почвы является состояние ее структуры. Многочисленными исследованиями было установлено, что оструктуренная почва определяет водный, воздушный, тепловой режимы и противодефляционную устойчивость. Светло-каштановые и каштановые почвы аридной зоны Волгоградской области являются дефляционноопасными, так как при интенсивной механической обработке они легко распыляются, быстро оседают и уплотняются (табл. 2).

Таблица 2. Структурно-агрегатный состав светло-каштановой почвы.

Вариант	**Фракции по величине агрегатов, мм**				
	Время отбора образцов	**>10**	**10-0.25**	**<0.25**	**Коэффициент структурности**
Отвальная вспашка 0.20-0.22 м (контроль)	Перед посевом	21.5	59.9	18.6	1.50
	Перед уборкой	22.7	54.7	22.6	1.21
Мелкое плоскорезное рыхление 0.10-0.12 м	Перед посевом	22.2	59.9	17.9	1.49
	Перед уборкой	23.5	54.9	21.6	1.23
Дискование 0.10-0.12 м	Перед посевом	18.2	58.7	23.1	1.42
	Перед уборкой	21.1	52.5	26.3	1.11
Комбинированная обработка почвы 0.14-0.16 м	Перед посевом	19.5	61.1	19.4	1.57
	Перед уборкой	22.1	55.7	22.2	1.26

Полученные данные структурно-агрегатного анализа светло-каштановой почвы свидетельствуют о том, что верхний слой распыляется сильнее при применении дискового орудия для. Количество дефляцинно опасных частиц размером менее 0.25 мм перед посевом культуры составило 23.1%,

перед уборкой − 26.3%. Таким образом, можно сказать, что в районах с дефляцией применение орудий с дисковыми рабочими органами потенциально опасно. Тем не менее, как показали исследования, коэффициент структурности позволяет отнести почвы к хорошо оструктуреным, поскольку варьирует от 1.11 до 1.57.

Кроме содержания гумуса и макроэлементов в почве показателем, характеризующим плодородие, является микробиологическая активность. Для почв с низким и средним содержанием гумуса широко применяется такой показатель биологической активности почвы, как целлюлозоразлагающая способность. Под этим определением подразумевается процесс распада клетчатки, осуществляемый микроорганизмами. Целлюлоза представляет собой важную составляющую органического вещества, то есть скорость разложения целлюлозы определяет темпы разложения органики в почвенном покрове в целом, что, в свою очередь, отражается на состоянии зеленых насаждений.

В наших исследованиях активность почвенной микробиоты изучалась методом льняных полотен (рис. 2). Как показали исследования, целлюлозоразрушающая способность почвы дифференцированно изменяется на прилегающем к лесной полосе пространстве. Кроме того, на данный процесс в значительной степени влияют приемы основной обработки почвы, которые в свою очередь так же, как и защитные насаждения, влияют на содержание доступной влаги в почве. В ходе исследований было установлено, что активность почвенной микробиоты находится в тесной связи с суммарным расходом почвенной влаги. Уравнение связи описывается уравнением логарифмической зависимости.

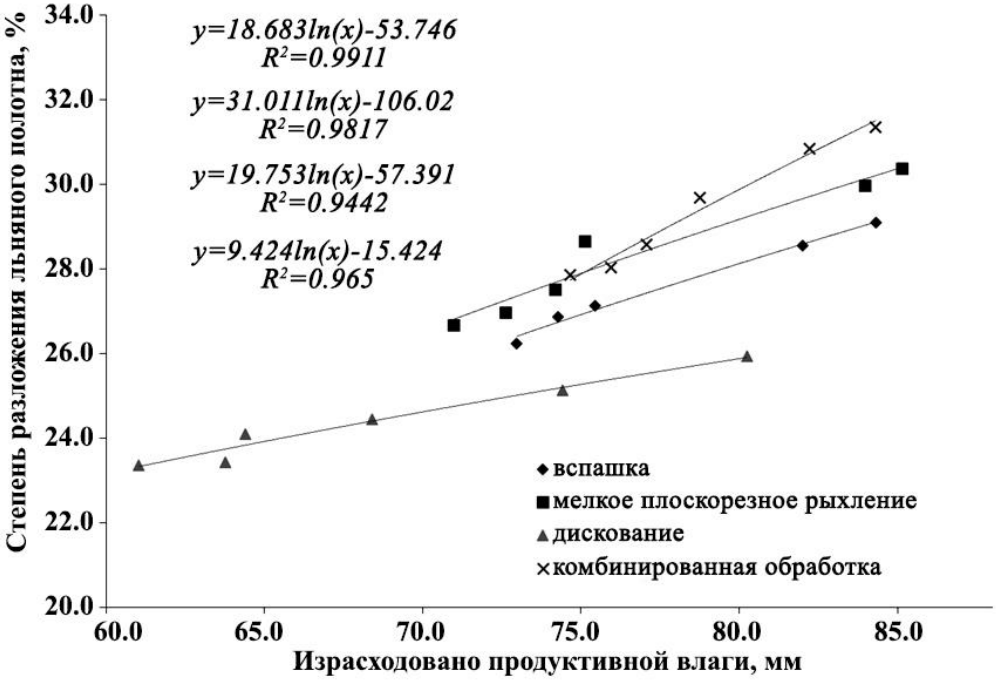


Рис. 2. Зависимость распада льняной ткани в почве от израсходованной продуктивной влаги.

В связи с тем что в вегетационный период на расстоянии 5 Н от ПЗЛП сформировалась самая хорошая влагообеспеченность сельскохозяйственных растений, здесь была зафиксирована самая высокая активность почвенных микроорганизмов, которая выражалась интенсивностью распада льняного полотна. В зависимости от технологии обработки через 3 месяца экспозиции распад льняного полотна в этой зоне составил в среднем 25.9-31.4% (рис. 2). На удалении свыше 25 Н происходит снижение активности микроорганизмов до значений открытого поля и варьирует от 24.1 до 28.0%.

В условиях аридной зоны Нижнего Поволжья продуктивность сельскохозяйственных культур прямо зависит от сложившихся погодных условий, особенно в период вегетации. Во влажные годы различия между урожайностью несущественны, а в засушливые, наоборот, увеличиваются

(Плескачев и др., 2013; Бодров, 1961). Аналогичная тенденция прослеживается и в наших исследованиях.

Выделяют следующие основные элементы структуры урожая: число продуктивных стеблей на 1 м^2, количество зерен в колосе, массу 1000 зерен. Эти элементы в наибольшей степени определяют биологическую и хозяйственную урожайность сельскохозяйственных культур и зависят от метеоусловий, агрофизических и агрохимических показателей почвы.

Исследования показали, что в зависимости от погодных условий наибольшая величина перечисленных элементов формируется в зонах наибольшего влияния ПЗЛП, т.е. на расстоянии от 5 до 15 Н от ПЗЛП. Количественные значения показателей структуры урожая на удаленности свыше 25 высот приближались к значениям, полученным в незащищенном агрофитоценозе.

Так, количество продуктивных стеблей ячменя на 1 м^2 варьировало в годы исследований в зонах, приближенных к ПЗЛП, от 257 до 338 шт., а там, где мелиоративное влияние ПЗЛП ослаблено или отсутствует, – от 250 до 317 шт. В среднем за 3 года исследований наибольшее количество продуктивных стеблей в агролесоландшафте отмечено при комбинированной обработке почвы и в контроле на расстоянии 5 Н от лесной полосы − 314.3 и 305.7 шт./м^2 соответственно, наименьшее количество на фоне дисковой обработки почвы на удаленности 35 Н от ПЗЛП − 276 стеблей на 1 м^2.

Озерненность колоса также была выше на расстоянии 5-15 Н от ПЗЛП, в среднем за 3 года она изменялась от 12.4 до 16.6 шт. В условиях агрофитоценоза без защитных насаждений этот показатель был равен 10.9-13.7 шт. В благоприятном по увлажнению 2016 году максимальное количество зерен в 1 колосе достигало 19.2 шт., а в острозасушливом 2015 году не превышало 12.9 шт.

Масса 1000 зерен в среднем за 3 года в зависимости от технологии и удаленности от ПЗЛП варьировала от 37.7 до 39.9 г. Наибольшая масса была получена на расстоянии 5 Н от ПЗЛП при комбинированной обработке и составила 39.9 г, что больше по сравнению с контролем на 0.5 г, при дисковой обработке масса составила – 38.3 г, т.е. на 1.1 г меньше, чем в контрольном варианте.

Как отмечали Н.Ю. Петров и Е.С. Таранова (2005), урожайность сельскохозяйственных культур, по мнению некоторых ученых, является интегральным показателем эффективности того или иного элемента технологии возделывания. В наших исследованиях этими элементами выступают системы обработки почвы, наличие и удаленность от защитных насаждений.

Анализ урожайных данных (табл. 3) за 3 года исследований показал, что продуктивность возделываемой культуры на облесненном агрофитоценозе повторяет закономерность изменения агрофизических показателей на межполосном пространстве.

Таблица 3. Урожайность ярового ячменя (среднее за 2014-2016 гг.), т/га.

Удаленность от ПЗЛП, Н	**Обработка почвы**			
	Отвальная вспашка (контроль)	**Мелкое плоскорезное рыхление**	**Дискование**	**Комбинированная обработка почвы**
1.5	1.01	1.06	0.84	1.14
5	1.75	1.73	1.31	1.90
10	1.62	1.57	1.19	1.76
15	1.47	1.45	1.14	1.60
25	1.39	1.30	1.05	1.52
35	1.32	1.27	1.04	1.48
Средневзвешенная урожайность под защитой ПЗЛП	1.42	1.38	1.08	1.55
Агрофитоценоз без защитных насаждений (контроль)	1.21	1.21	1.00	1.34
НСР (05) общая: 2014 г. – 0.13; 2015 г. – 0.12; 2016 г. – 0.14				

Наиболее высокий сбор зерна ярового ячменя был получен в зонах, приближенных к лесной полосе на удаленности до 15 Н, и варьировал в зависимости от применяемой технологии от 1.14 до 1.90 т/га. В целом на облесенной территории урожайность была выше на 0.08-0.21 т/га по сравнению с агрофитоценозом без защитных насаждений. В ходе исследований было замечено, что на расстоянии до 1.5 Н от ПЗЛП происходит резкое снижение продуктивности сельскохозяйственных культур, в том числе и ярового ячменя, т.е. формируется так называемая депрессионная зона. Угнетение культурных растений прежде всего связано с распространением в данной зоне корневой системы деревьев ПЗЛП. Корневая система вяза приземистого (основная порода в ПЗЛП) сосредоточена преимущественно в слое 0-1 м, при этом толстые скелетные корни находятся в слое 35-50 см, а от них в верхние слои отходят мочковатые корни, а в нижние – шнуровидные. Боковые корни идут в сторону поля на расстояние 12-16 м, в 40-45 см от поверхности почвы, так что механическая обработка их не затрагивает. В результате этого большая часть влагозапасов и питательных минеральных элементов используется непосредственно деревьями, а не культурными растениями. Применение многофункционального орудия для комбинированной обработки почвы позволило получить большую урожайность по сравнению с другими вариантами опыта и контролем: в условиях защищенного ПЗЛП агрофитоценоза − на 0.13-0.47 т/га, без защитных насаждений − на 0.13-0.34 т/га.

Заключение

По степени влагообеспеченности и температурному режиму территорию южных районов Волгоградской области можно отнести к регионам с аридным климатом. Анализ полученных метеоданных свидетельствует о необходимости возделывания в данном регионе засухоустойчивых культур. Водный режим почвы на межполосном пространстве имеет неоднородный характер, который особенно ярко проявляется в годы с неустойчивым и недостаточным увлажнением. Особенности водного режима следует учитывать при ведении сельскохозяйственного производства. Микробиологическая активность светло-каштановой почвы находится в прямой зависимости от водного режима почвы, который возможно регулировать агротехническими и агролесомелиоративными приемами. Для успешного ведения сельскохозяйственного производства климатические условия данного региона требуют проведения агротехнических и лесомелиоративных мероприятий, которые позволяют улучшить водный режим почвы, предотвратить проявление дефляционных процессов и в целом повысить продуктивность земельных угодий. Исследования показали, что применяемая в агрофитоценозе комбинированная обработка почвы способствует повышению урожайности ярового ячменя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бодров Б.А. 1961. Методы борьбы с засухой. М.: Сельхозиздат. 512 с.

Васильев Ю.И. 2003. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ. 176 с.

Волошенкова Т.В. 2015. Пыльные бури и защита почв от дефляции // Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ. С. 108-113.

Громовик А.И., Королев В.А., Йонко О.А. 2013. Влияние полезащитных лесных полос на основные показатели плодородия почв Каменной Степи // Вестник Воронежского университета. Серия «Химия, биология, фармация». № 1. С. 105-114.

Захаров В.В., Кретинин В.М. 2005. Агролесомелиоративное земледелие. Волгоград: ВНИАЛМИ. 217 с.

Павловский Е.С., Васильев Ю.И., Зайченко К.И. 1991. Агролесомелиорация и плодородие почв. М.: Агропромиздат. 288 с.

Петров Н.Ю., Таранова Е.С. 2005. Влияние биопрепаратов на продуктивность озимой пшеницы в условиях Волгоградской области // Технологические основы экономического развития сельского социума. М: Современные тетради. С. 331-332.

Плескачев Ю.Н., Мисюряев В.Ю., Максимова Н.С. 2013. Продуктивность сельскохозяйственных угодий в условиях расчленённых агроландшафтов Волгоградской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 4. С. 36-37.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 60-65

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 635.65.574-57581.5

О ПРОДУКТИВНОСТИ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ДАГЕСТАНА

© 2018 г. Н.Ш. Шуайбова, А.М. Магомедов, Х.М. Гамзатова, А.Д. Хабибов

Горный ботанический сад Дагестансокго научного центра РАН
Россия, 367025, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: napisat65@mail.ru

Поступила 02.11.2017

В засушливых условиях природных зон Дагестана проведен сравнительный анализ изменчивости признаков семенной продуктивности бобовых растений на примере фасоли обыкновенной как представителя древнейших культур с высокой продуктивностью. Дана оценка корреляционной связи весовых и числовых признаков семенной продуктивности, сортового разнообразия и высотного градиента в их изменчивости. Определены случайный характер влияния сортового разнообразия на изменчивость весовых признаков семенной продуктивности и незначительное влияние высотного градиента на вариабельность сухой массы плодов и семян, для которых по t-критерию Стьюдента отмечены различия средних значений.

Ключевые слова: сортообразцы, признаки, изменчивость, семенная продуктивность, сортовое разнообразие, высотный градиент, засушливый климат.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00018

Фасоль как ведущая культура из семейства бобовых насчитывает более 200 видов. Она относится к группе важнейших культур и широко распространена в мировом земледелии (Биологический …, 2001; Мир культурных растений, 1994; Хабибов и др., 2004). Из более 20 возделываемых видов данного рода выращивают в основном три вида: фасоль обыкновенную (*Phaseolus vulgaris* L.), лимскую (*Ph. lunatus* L.) из Перу и многоцветковую (*Ph. multoflorus* Willd.) из Центральной и Южной Америки. Сравнительно широкое распространение в нашей стране получила фасоль обыкновенная, которая является яровым самоопылителем и относится к группе важнейших зернобобовых культур, имеющих большое продовольственное значение. Ее возделывают более чем в 70 странах, расположенных преимущественно в засушливых условиях.

Продукция этой культуры широко используется: зеленые бобы – в консервной и пищевой промышленности, в медицине. Кроме того, фасоль способствует накоплению в почве азота и, как пропашная культура, является хорошим предшественником для многих полевых культур. За вегетационный период она накапливает от 40 до 120 кг/га атмосферного азота (Иванов, 1961).

Фасоль обыкновенная широко возделывалась во многих регионах равнинных и горных территорий, включая и горный Дагестан. С учетом зонального характера распространения был проведен сравнительный анализ сортов фасоли обыкновенной и дана оценка изменчивости признаков семенной продуктивности в засушливых климатических условиях Дагестана.

Материалы и методы

Материалом для изучения послужили сортообразцы фасоли обыкновенной, включая 25 сортообразцов, из которых 5 представляют отечественную селекцию, а 20 – зарубежную (табл. 1).

Исследования проводили на трех ключевых участках, расположенных в равнинной и горной зонах. Географические координаты участка в равнинной зоне – 43° 02' 45" с.ш., 47° 13' 50" в.д. В горных условиях ключевой участок расположен на дренируемой речной территории долинных почв с высотными отметками – 600 м н.у.м. БС. На горно-луговых остепененных территориях – в пределах отметок 1800-1830 м с координатами – 42° 14' 40.26" с.ш., 47° 00' 46.26" в.д.

В равнинной зоне исследования проводили на лугово-каштановых почвах при значительной глубине залегания корневой системы растений. Регион отличается значительным разнообразием свойств почв, способствующих дифференциации продуктивности на размерные, числовые и весовые.

Статистическую обработку данных проводили в соответствии с общепринятыми методами (Лакин, 1990; Зайцев, 1983; Плохинский, 1970).

Таблица 1. Краткая характеристика исходных интродуцированных коллекционных образцов семян фасоли обыкновенной из засушливых регионов.

№ п/п	№ по каталогу ВИР	Название сорта	Происхождение	Место, год репродукции
1	13321	Юбилейная 287	Украина	АОС 2003
2	13646	Олтын	Узбекистан	-//-
3	15107	Nagennigen	Нидерланды	Крымск, 2006
4	15121	Jnge	Италия	Крымск, 2003
5	15176	Диалог	Краснод. край	-//- 2006
6	15189	Slabadkigyosi	Венгрия	АОС 2007
7	15190	Перун	Болгария	Крымск, 2004
8	15213	Garden dreen	Германия	АОС 2006
9	15214	Sensation	-//-	Крымск, 2004
10	15223	Bellmidal r-r-1	США	-//- 2003
11	15230	Росинка	Краснод. край	-//- 2006
12	15231	Славянка	-//-	-//- -//-
13	15233	Мечта хозяйки	-//-	-//- -//-
14	15236	Лада	Примор. край	2005
15	15253	Borlotto	Бутан	ВОС 2005
16	15254	Meridional	Германия	-//- 2004
17	15260	Marlus boon	Нидерланды	Крымск, 2003
18	15267	Stif	Нидерланды	-//- 2005
19	15271	Cornoll 49242	Венесуела	-//- -//-
20	15279	Греция	Греция	-//- 2006
21	15290	Nidomame	Япония	-//- 2005
22	15294	Nanna	Польша	АОС - 2007
23	15306	Atut	Чехия	Крымск, 2005
24	15347	Петух	Турция	-//- 2006
25	15348	Asgrow 283	Германия	АОС 2007

Результаты и обсуждение

Фасоль обыкновенная используется как продовольственная культура, ее ресурсы производства в РФ и РД имеют большие перспективы. Коллекция данной культуры включает большое разнообразие, и результаты ее изучения свидетельствуют о широте адаптивного потенциала как засухоустойчивой культуры (Сельскохозяйственный …, 1989).

При сравнительном анализе структуры изменчивости средних значений весовых и числовых признаков генеральной совокупности (n=1500) выяснилось, что они различаются по степени вариабельности и имеют определенные тенденции (табл. 2).

Максимальные показатели относительной вариабельности отмечены для средних показателей лабильного признака – сухой массы стебля (x_1). Сравнительно сходные и идентичные значения получились для остальных трех учтенных признаков сухой массы (x, x_2, x_3). Подобное положение определяют учтенные весовые признаки в отношении амплитуды и размаха крайних вариантов, где минимальные показатели отмечены в условиях влияния засушливого климата. Количественному признаку семенной продуктивности (K_1) – среднему числу семян в плоде – свойственны минимальные показатели изменчивости. Как отмечает С.А. Мамаев (1975), в отличие от линейных размеров органа и весовых признаков, специфически «…высокой вариабельностью отличаются признаки, определяющие число органов». В зависимости от климатических условий ведущая роль в

равнинной зоне принадлежит генотипу, поскольку признаки генеративной сферы прочно закрепляются наследственностью. Сравнительно в меньшей степени выражено репродуктивное усилие (Re), являющееся главным показателем адаптивной стратегии к почвенным условиям растений и показывающее долю, реализуемую растением на репродукцию (Harper, 1977).

Таблица 2. Сравнительная характеристика изменчивости и колебания признаков семенной продуктивности фасоли обыкновенной.

Признаки	X±Sx	Cv, %	Min	Max	Range	Max/Min	A_s	E_x
X	10.3±0.69	47.5	4.5	30.6	26.1	6.80	2.71	8.91
x_1	3.4±0.31	65.4	0.9	12.1	11.2	13.44	1.82	4.34
x_2	6.9±0.46	46.9	3.4	21.2	17.8	6.23	2.81	9.93
x_3	4.8±0.33	49.8	2.2	15.3	13.1	6.95	2.89	10.65
K_1	3.3±0.06	12.9	2.3	4.4	2.1	1.91	0.01	0.61
Re	0.66±0.017	17.8	0.40	0.86	0.46	2.15	-0.26	-0.64

Примечания к таблице 2: X – сухая масса генеративного побега, x_1 – стебля, x_2 – плодов, x_3 – семян, K_1 – среднее число семян в бобе, Re – репродуктивное усилие, Sx – ошибка средней, Cv – коэффициент вариации.

В условиях горно-луговых остепененных почв с засушливым климатом минимальными показателями этих признаков отличается культивар № 21 (15290) «Nidomame» японской селекции, максимальными величинами – культивар Краснодарской селекции «Диалог». Семенная продуктивность последнего зависит от засушливых условий среды, степени адаптации и продуктивности. Средние показатели весовых признаков объединенной выборки в условиях равнинной зоны значительно превосходят показатели, формирующиеся в горных условиях. Превышения составляют: для сухой биомассы в 1.25 раза, для плодов – в 1.42 раза, для семян – в 1.50 раза. Различия средних величин этих признаков на разных уровнях достоверности существенны для t-критерия Стьюдента (t) и сухой массы бобов 2.241 и семян 3.065. В отличие от средних показателей для сухой массы стебля (x_1) характерна иная тенденция, его среднее значение в горных условиях в 1.31 раза превышает соответствующую величину, свойственную равнинной зоне. Такая же тенденция отмечена и в долевом отношении (%) признаков генеративного побега (табл. 3, рис. 1).

Доля сухой массы плодов в условиях равнинной зоны в 1.23 раза превосходит соответствующую компоненту признака вегетативной сферы, свойственную горным условиям. Разница между разновысотными интродуцентами этой культуры по показателям эффективности репродуктивного усилия ($Eff=x_3/x_2$) по доле сухой массы семян (x_3) в общей биомассе плодов выборок превосходит (70.4/66.7) в 1.06 раза (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3. Структура распределения сухой массы по частям, %.

Показатель / Высота н.у.м.	50 м	1830 м	Среднее
Сухая масса генеративного побега – X	100%	100%	100%
Сухая масса стебля – x_1	26.4	40.0	33.0
Сухая масса плодов – x_2	73.6	60.0	67.0
Эффективность репродуктивного усилия $Eff=x_3/x_2$	70.4	66.7	69.3

Можно полагать, что этот признак, свойственный лугово-каштановым почвам, контролируется генотипом независимо от географических зон. Различие средних показателей сухой массы стебля по t-критерию Стьюдента носит случайный характер. Данный признак также контролируется генотипом в засушливых климатических условиях. Низкие значения коэффициента вариации характерны для признаков генеративной сферы, связанных с действием стабилизирующего отбора процесса остепнения (Берг, 1964). Средние показатели репродуктивного усилия объединенной выборки в условиях засушливого климата равнинной зоны в 1.29 раза превышают соответствующие величины

совокупности особей среднегорной зоны. Они достоверны и различаются по t-критерию Стьюдента (t=7.27 при P<0.001). Корреляционная связь между средними показателями и их относительной изменчивостью существенна (95.0%) для сухой массы стебля в засушливых условиях равнинной зоны (r_{xy}=0.48 при P<0.05). Между средними показателями и их относительной изменчивостью (сухая масса стебля и репродуктивное усилие) отмечены существенные значения отрицательной корреляционной связи. Р.Л. Берг (1964) утверждает, что количественный признак, отличающийся низкими величинами r_{xy} и одновременно имеющий низкий Cv (%), формируется при жестком генетическом контроле и низкой относительной вариабельности. М. Суле (1984) провел подробный анализ обратной зависимости Cv и $\overline{X}$, которую назвал эффектом Яблокова-Ланде, и отметил, что «относительная величина случайного варианта признаков возрастает по мере нарастания засушливости климата». Изменчивость параметров от размера и морфологической природы элементов организма М.М. Магомедмирзаев (1990) разделил на группы:

– зависимость показателей изменчивости размерных признаков от их величины и конструкции; прямая зависимость дисперсии от среднего значения признака и отрицательная связь вариации от размера;

– специфичность количественных признаков по пределам колебаний коэффициентов вариации;

– зависимость величины коэффициентов корреляции признаков от их абсолютных размеров и степени изменчивости.

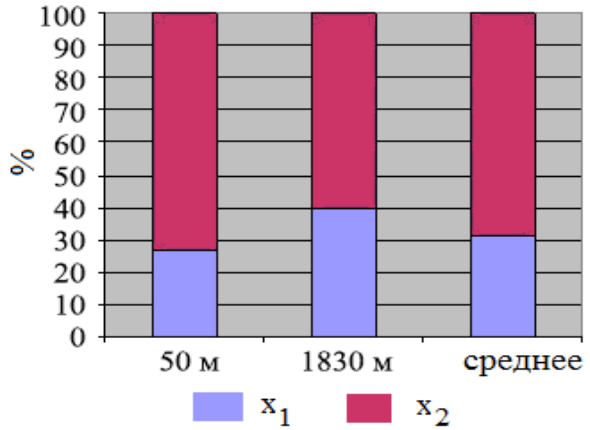


Рис. 1. Структура распределения сухой массы стебля (x_1) и плодов (x_2) генеративного побега для равнинного (50 м. н.у.м. БС) и горного (1830 м н.у.м. БС) участков.

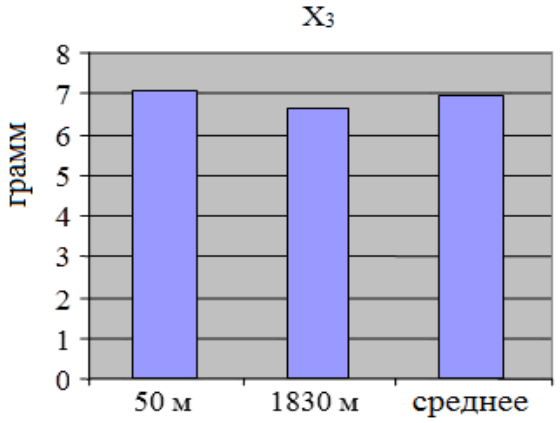


Рис. 2. Сухая масса семян в общей биомассе плодов для равнинного (50 м. н.у.м. БС) и горного (1830 м н.у.м. БС) участков.

Объективность данных, полученных для разновысотных природных зон (n=30), подтверждается и результатами сравнительного анализа структуры изменчивости признаков объединенной выборки (n=60). В большинстве случаев выборки максимальными средними величинами признаков семенной продуктивности выделяется культивар № 4 (15121) «Jnge» итальянской селекции (табл. 1). Среди весовых признаков сухая масса стебля отличается максимальными показателями относительной изменчивости при сходных величинах коэффициента вариации сухой массы генеративного побега, плодов и семян. Рассматриваемые признаки семенной продуктивности между средними показателями и их относительной изменчивостью репродуктивным усилиям характеризуются существенной отрицательной корреляционной связью (r_{xy}=-67, r_{xy}=-0.82 при P<0.001). В пределах объединенных выборок между сухой массой генеративного побега и всеми его составляющими, а также между самими компонентами отмечены существенные на самом высоком уровне достоверности (99.9%), значения корреляционной связи (табл. 4).

Для репродуктивного усилия с сухой массой стебля в объединенных выборках характерны отрицательные величины корреляционной связи.

Между высотным градиентом (1780 м) и отмеченными признаками выявлены существенные

значения отрицательной корреляционной связи. На определяющем уровне значимости происходит переход степного типа почвообразования к горно-луговому, что влияет на изменчивость двух других признаков – числового и семенной продуктивности. Компонента дисперсии среднего числа семян на боб в шесть и более раз (52.8/8.7=6.07) уступает коэффициенту детерминации репродуктивного усилия. Между этими признаками и высотным градиентом также наблюдаются отрицательные корреляционные связи. Корреляционные связи репродуктивной способности с высотным фактором значительно сильнее по природным зонам и типам почв по сравнению с сортовым разнообразием.

Таблица 4. Сравнительная характеристика корреляционных связей признаков семенной продуктивности объединенных выборок сортообразцов фасоли обыкновенной.

Природные зоны	**Число степеней свободы (df)**	**r_{xy} между признаками**									
		X и x_2	**X и x_3**	**X и x_1**	**x_2 и x_3**	**x_2 и x_1**	**x_3 и x_1**	**x_3 и Re**	**x_1 и K_1**	**x_1 и Re**	**K_1 и Re**
Равнинная	23	0.98***	0.96***	0.94***	0.99***	0.85***	0.83***	–	–	-0.54**	0.38*
Горная	23	0.84***	0.72***	0.90***	0.94***	0.53*	–	0.38*	–	-0.63**	–
∑∑	48	0.93***	0.90***	0.85***	0.99***	0.60***	0.55***	0.32*	-0.32*	-0.54***	0.38*

Примечания к таблице 4: r_{xy} – коэффициент корреляции между признаками приведен в виде первых двух знаков после запятой; X – сухая масса генеративного побега, x_1 – стебля, x_2 – плодов, x_3 – семян; K_1 – среднее число семян в бобе; Re – репродуктивное усилие; прочерк – отсутствие существенной связи; * – P<0.05; ** – P < 0.01; *** – P<0.001.

Заключение

В разных почвенно-климатических условиях равнинной и горной зон проведен сравнительный анализ одной из главных категорий ресурсов семенной продуктивности генеративного побега интродуцированных сортов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.). Для каждой совокупности особей (n=30) выделены культивары с максимальными показателями вариабельности и корреляционной связи весовых, числовых и относительных признаков. Среди них выделена сухая масса стебля, у которой отмечены высокие показатели изменчивости при близких значениях величины сухой массы генеративного побега, плодов и семян. Среднее число семян на плод и эффективность репродуктивного усилия отличаются от весовых признаков минимальными показателями коэффициента вариации. Формируется отрицательная корреляционная связь между средними величинами вариации и их относительной изменчивостью. Эти признаки генеративной сферы сравнительно жестко контролируются генотипом. Оценена роль факторов – сортового разнообразия, высотного градиента и типов почв в изменчивости признаков продуктивности. Если влияние сортового разнообразия на изменчивость всех весовых признаков семенной продуктивности носит случайный характер, то высотный градиент, обусловливающий разнообразие почв и растительности, воздействует на продуктивные показатели по t-критерию Стьюдента. На вариабельность других признаков семенной продуктивности бобовых растений на разных уровнях значимости влияют сортовое разнообразие и весовые признаки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Берг Р.Л. 1964. Корреляционные плеяды и стабилизирующий отбор // Применение математических методов в биологии. Л.: ЛГУ. Вып. 3. С. 23-60.

Биологический энциклопедический словарь. 1989 / Ред. М.С. Гиляров. М.: Советская энциклопедия. 864 с.

Зайцев Г.Н. 1983. Методика биометрических расчетов. М.: Наука. 256 с.

Иванов Н.Р. 1961. Фасоль. Л.-М.: Сельхозгиз. 280 с.

Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высшая школа. 352 с.

Магомедмирзаев М.М. 1990. Введение в количественную морфогенетику. М.: Наука. 230 с.

Мамаев С.А. 1975. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений. Свердловск. С. 3-38.

Мир культурных растений. 1994. М.: Мысль. 382 с.

Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. Издательство МГУ. 364 с.

Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. 1989. Советская энциклопедия / Ред. В.К. Месяц. М. 656 с.

Суле М. 1984. Аллометрическая изменчивость – теория и следствие // Журнал общей биологии. Т. 45. № 1. С. 177-196.

Хабибов А.Д., Магомедов А.М., Дибиров М.Д., Магомедов М.А., Зубаирова Ш.М. 2004. Структура изменчивости признаков семян зернобобовых культур // Известия высших учебных заведений. Северокавказский регион. Естественные науки. № 2. С. 73-78.

Harper J.L. 1977. Population biology of plants. L. Acad. Press. 892 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2017, том 24, № 2 (75), с. 66-74

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 551.573+631.432

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ ПОЧВОЙ ПРИ МУЛЬЧИРОВАНИИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОСТАТКАМИ В ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНАХ

© 2018 г. Н.А. Шумова

Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: shumova_aqua@rambler.ru

Поступила 19.10.2017

Излагается методика и приводится схема расчета испарения воды почвой при мульчировании в засушливых регионах. Даётся подробное описание параметров информационного обеспечения. Предлагается упрощенная схема расчета испарения воды почвой при мульчировании, в основе которой лежит параметризация осадков. Параметризация осадков намного упрощает расчет испарения воды почвой при мульчировании, сохраняя при этом приемлемую точность.
Ключевые слова: агроценоз, мульчирование, испарение воды почвой, методика, схема расчета.
DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00019

В условиях антропогенной нагрузки на окружающую среду в сельскохозяйственном производстве растет интерес к природоохранной агротехнике, связанной с более рациональным использованием природных ресурсов. Наиболее привлекательными становятся технологии, приближающие сельскохозяйственные экосистемы к более естественному для биосферы виду (Аллен, 1985; Сельскохозяйственные экосистемы, 1987). Естественные экосистемы имеют на поверхности почвы слой войлока и подстилку из отмершей растительной массы, что позволяет им оптимально использовать ресурсы биосферы. Аналогом растительного войлока, образующегося в целинной степи, можно считать растительные остатки, используемые при мульчировании почвы. Главным образом благодаря растительному войлоку в целинной степи практически отсутствует эрозия почвы. Использование мульчи способствует не только снижению эрозии на пахотных землях, но и приводит к значительному снижению испарения воды почвой – снижению непродуктивного испарения. При мульчировании почвы за счет уменьшения непродуктивной составляющей суммарного испарения увеличивается транспирация сельскохозяйственных культур (то есть повышается их водообеспеченность), что особенно важно в засушливых регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов.

По оценкам, приведенным ранее (Шумова, 2010б), непродуктивное испарение на полях яровой пшеницы в лесостепной и степной зонах составляет 60-70% от величины суммарного испарения за безморозный период, что говорит о крайне нерациональном использовании ресурсов почвенных вод. В то время как в заповедной степи величина непродуктивного испарения составляет лишь 5-15% от суммарного испарения (Ананьева, Самарина, 1986). По данным В. Лархера (1978), в естественных ценозах, образующих многоярусные поликультурные сообщества, доля непродуктивного испарения составляет 5-10%.

В качестве примера оценки агрогидрологической эффективности применения мульчирования почвы растительными остатками приведем результаты численного эксперимента по расчету суммарного испарения и его составляющих (непродуктивного испарения и транспирации) полей яровой пшеницы за многолетний период в Саратовской области при применении традиционной агротехники и в условиях мульчирования почвы (Шумова, 2010б). При применении традиционной агротехники общий расход почвенной влаги на испарение за безморозный период (суммарное испарение) составляет 380 мм, непродуктивное испарение (испарение воды почвой) и транспирация равны 244 мм и 136 мм соответственно. При применении мульчирования почвы значение суммарного испарения остается неизменным, то есть равным 380 мм, непродуктивное испарение снижается до 128 мм, а транспирация возрастает до 252 мм. Из сказанного следует, что при мульчировании почвы величина суммарного испарения не изменяется, изменяется только его структура – уменьшается

непродуктивная составляющая испарения и увеличивается транспирация, что ведет к повышению водообеспеченности посева.

Мульчирующими материалами могут быть как природные вещества (растительные остатки, торф, разложившийся навоз, камни), так и промышленные материалы (битумная бумага, алюминиевая фольга, полиэтиленовая пленка, битумные эмульсии; Мульчирование почвы, 1935). Влияние разного рода пленок существенно отличается от влияния слоя мульчи преимущественно из органического материала, обладающего гидрофобными свойствами и не образующего капиллярной каймы.

В огородничестве и плодоводстве мульчирование используют довольно давно. Опыты ставились на небольших делянках и в небольших масштабах на сельскохозяйственных полях, где в качестве мульчи применялась солома. По оценкам, приведенным F.S. Harris и H.H. Yao (1923), наиболее технологичным и экономичным является применение мульчи из соломы, которая гораздо более эффективно сохраняет запасы воды в почве; далее по эффективности следуют сено, трава и опилки; менее эффективным признано использование разложившегося навоза.

В литературе были предприняты попытки систематизировать накопленные материалы (Джекс и др., 1958; Роу-Даттон, 1960). Проведенные обобщения показали, что применение мульчи из растительных остатков радикально снижает водную эрозию почв, повышает их микробиологическую активность и улучшает структуру, подавляет прорастание семян сорняков, попадающих на поверхность почвы.

Оценка результатов довольно многочисленных и описанных в литературе полевых опытов по эффективности применения мульчирования проводилась на основе сравнения урожаев или влажности почвы на участках, покрытых мульчей, и на контрольных. Имеющиеся материалы крайне пестры и практически не поддаются систематизации. Возможности перенесения полученных результатов за пределы условий, в которых ставились опыты, а тем более их более широкое обобщение оказались крайне ограниченными.

Изучение закономерностей формирования испарения воды почвой (физического испарения) является одним из ведущих направлений гидрологии почв. Одни из первых экспериментальных исследований передвижения водяного пара в почве принадлежат А.Ф. Лебедеву (1930), который показал, что интенсивный водообмен поверхностного слоя почвы осуществляется исключительно за счет воды, передвигающейся в парообразном состоянии. Вода в парообразной форме движется в верхние слои почвы и в атмосферу. На основе анализа экспериментальных данных им был сделан вывод, что снижение интенсивности испарения воды почвой может быть достигнуто как применением «всякого рода мертвого покрова», так и «в агрикультур–технике» путем поверхностного разрыхления почвы.

Основные закономерности передвижения жидкой и парообразной влаги в почве и доступность почвенной влаги для растений приведены А.А. Роде (1965) в фундаментальном труде «Основы учения о почвенной влаге», в основе которого лежит концепция форм воды в почве и почвенно–гидрологические константы. С теоретических и экспериментальных позиций автором рассматривается механизм передвижения влаги в почве при испарении.

Н.Ф. Кулик (1979), исследовавший водный режим песков аридной зоны, отмечает, что характерной чертой физического испарения в летний период является его высокая интенсивность в первые сутки после выпадения осадков и резкое снижение в последующие дни, и что скорость физического испарения зависит, прежде всего, от влажности верхнего (в пределах 3 см) слоя почвы. Данные соображения были положены автором в основу эмпирических зависимостей для определения сезонной и месячной величин физического испарения, включающих испарение с почвы и осадки, расходуемые на смачивание растительного покрова и подстилки; при построении эмпирических зависимостей использовались данные о разовых количествах осадков, числе дождливых и бездождных дней и средней дневной интенсивности физического испарения с влажной и сухой поверхности.

В настоящей работе для количественной оценки испарения воды почвой при мульчировании используется метод расчета, предложенный А.И. Будаговским. Задачей настоящего исследования является разработка упрощенного метода расчета испарения воды почвой при мульчировании почвы растительными остатками в засушливых регионах.

Метод исследований

В основе метода оценки испарения воды почвой при мульчировании лежат результаты фундаментальных исследований процессов формирования почвенных вод (Будаговский, 1964, 1986а, 1986б). Разработанные модели включают комплекс гидрометеорологических характеристик и биометрические и биофизические параметры растительного покрова. Ниже приводятся основные зависимости, вытекающие из модели формирования почвенных вод, позволяющие оценить величины испарения воды почвой при мульчировании почвы растительными остатками (Будаговский, Григорьева, 1991).

При оценке испарения воды почвой при наличии мульчи рассматриваются две стадии испарения (Будаговский, Григорьева, 1991): испарение осадков, задержанных мульчей, и испарение воды почвой через слой мульчи.

Первая стадия – испарение осадков, задержанных мульчей – описывается формулой:

$$\int_0^t E_{\text{м}}dt = \frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{1+2\alpha\int_0^t E_{\text{п}0}dt}-1\right) \quad (1),$$

где $E_м$ – испарение осадков, задержанных мульчей; α – параметр, зависящий от водоудерживающей способности мульчи; $E_{п0}$ – потенциальное испарение воды почвой (испарение со смоченной поверхности почвы); t – время, отсчитываемое с момента прекращения дождя.

Потенциальное испарение воды почвой в общем виде определяется по зависимости (Будаговский, Шумова, 1976; Шумова, 2003):

$$E_{П0}=b_1\Phi_П D_П d+b_2(Re^{-s\omega}-B) \quad (2),$$

$$\Phi_П=e^{-1.1\omega} \quad (3),$$

$$D_{\text{п}} = \frac{0.8u}{u^{1/2}+0.7} \quad (4),$$

$$b_1 = \frac{0.7}{1+1.56\varphi}, \quad b_2 = \frac{0.026\varphi}{1+1.56\varphi} \quad (5),$$

$$\varphi = \frac{24513}{(235+T)^2}e^{\frac{17,1T}{235+T}} \quad (6),$$

где b_1 и b_2 – функции температуры воздуха; $\Phi_П$ – функция относительной площади листьев; $D_П$ – функция скорости ветра; d – дефицит влажности воздуха; R – радиационный баланс; s – коэффициент, зависящий от географической широты и времени года; ω – относительная площадь листьев; B – поток тепла в почву; u – скорость ветра на высоте 2 м; φ – производная насыщающей упругости водяного пара от температуры воздуха; T – температура воздуха.

Потенциальное испарение воды почвой при отсутствии растительного покрова рассматривается как частный случай, когда зависимость (2) приобретает вид:

$$E_{П0}=b_1 D_П d+b_2(R-B) \quad (7),$$

Когда мульча испарит всю задержанную воду, начинается вторая стадия – испарение воды собственно почвой через слой мульчи, которое определяется по зависимости:

$$E_{\text{пм}} = \frac{E_{\text{п}0}}{1+\beta_{\text{м}}z_{\text{м}}} \quad (8),$$

где $E_{ПМ}$ – испарение воды почвой через слой мульчи; $\beta_М$ – параметр, главным образом зависящий от величины коэффициента диффузии водяного пара в слое мульчи и от теплопроводности мульчи; $z_М$ – толщина слоя мульчи.

Общая сумма испарения складывается из величины испарения осадков, задержанных слоем мульчи, и испарения воды почвой через слой мульчи. Отсчет времени начинается с момента прекращения дождя, а величина отрезка времени, для которого проводится расчет, находится путем деления общей продолжительности расчетного интервала времени на число дождей в нем.

Формула (1) описывает испарение воды, задержанной слоем мульчи после выпадения каждого дождя. Если количество выпавших осадков очень мало и не смачивает весь слой или перерыв между

выпадением дождей слишком велик, то после того, как вся вода, удерживаемая мульчей, испарится, дальнейший ход испарения будет описываться уравнением (8). Можно заметить, что в конечном счете испарение будет существенным образом зависеть не столько от общего количества осадков, сколько от числа дней с осадками. Поэтому корректное использование приведенных зависимостей для конкретных лет связано с учетом выпадения каждого индивидуального дождя и перерывами между ними. При соответствующих оценках испарения по средним многолетним данным необходимо дополнительно привлечь данные, описывающие распределение числа выпадающих дождей от их количества. Конечный эффект снижения непродуктивного испарения при мульчировании почвы сильно зависит от характера выпадения дождей. При одной и той же сумме осадков за декаду, месяц или весь теплый период эффект снижения непродуктивного испарения в общем случае будет возрастать с уменьшением числа дождей.

Информационное обеспечение

Для расчетов по приведенным выше зависимостям используется информация метеорологических станций о средних месячных значениях температуры воздуха (T), дефицита влажности воздуха (d), скорости ветра (u), суммах осадков за месяц (P) и числе дней с осадками по градациям ($P \geq 0.1$, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 и 30.0 мм); источниками получения приведенных метеорологических величин могут служить Метеорологические ежемесячники и Справочники по климату.

Скорость ветра на метеорологических станциях измеряется флюгером, который устанавливается на высотах от 9 до 18 м. Поэтому его показания необходимо привести к принятой при построении расчетных формул высоте 2 м. Для приведения величин скорости ветра к высоте 2 м используется соотношение:

$$u_2 = \frac{lg(z_2/z_O)}{lg(h_\phi/z_O)} u_\phi \qquad (9),$$

где u_2 и u_ϕ – скорости ветра на высоте z_2 и на высоте флюгера h_ϕ соответственно; z_2 – высота стандартных метеорологических наблюдений 2 м; z_O – коэффициент шероховатости, зависящий от характера подстилающей поверхности. При приведении скорости ветра к высоте 2 м принимается, что коэффициент шероховатости для месяцев с апреля по октябрь (теплый период, естественный растительный покров) равен 0.05 м, коэффициент шероховатости для месяцев с ноября по март (холодный период, оголенная почва) равен 0.01 м (Константинов и др., 1971).

Радиационный баланс (R) измеряется на актинометрических станциях над поверхностью типичного для данного региона травяного растительного покрова. Результаты этих измерений близки к величинам радиационного баланса посевов зерновых культур. Различия в альбедо между наблюдательными участками и посевами зерновых культур (в частности яровой пшеницы), которые могут привести к ошибкам величин радиационного баланса, незначительны. Учитывая сравнительно малую изменчивость в пространстве и во времени месячных значений радиационного баланса, при расчетах допустимо использование сведений о радиационном балансе близлежащих актинометрических станций (Пивоварова, Стадник, 1969). Возможен расчет радиационного баланса на основе материалов стандартных метеорологических наблюдений по определенным зависимостям (Будыко, 1971; Берлянд, 1960; Берлянд, Берлянд, 1952).

Величина параметра s, входящая в соотношение (2), зависит от высоты Солнца и определяется по широте места в зависимости от времени года по таблице 1.

В расчетные зависимости входит величина потока тепла в почву (B), которая значительно меньше величины радиационного баланса. Наблюдения за температурой почвы по глубине, необходимые для расчета потока тепла в почву, нестандартные, поэтому рассчитать B не всегда представляется возможным. В данном случае в расчетах испарения можно ограничиться оценкой величин потока тепла в почву в зависимости от времени года и годовой амплитуды средней месячной температуры воздуха по таблице 2 (Будаговский, 1964), составленной на основе данных, приведенных М.И. Будыко (1956).

Следует отметить, что величина потока тепла в почву отличается большой пространственной изменчивостью, зависящей от соответствующей изменчивости теплофизических свойств и влажности почвы. Поэтому даже на сравнительно небольшой территории значения потока тепла в почву в

разных точках могут быть различными, и приведенные в таблице данные могут характеризовать лишь средние условия. Однако для вегетационного периода ошибка определения потока тепла в почву мала по сравнению с величиной радиационного баланса. В связи с этим при расчетах испарения можно ограничиться приближенными значениями потока тепла в почву.

Таблица 1. Значения параметра *s* в уравнении 2 (Будаговский, 1964).

Широта, градусы	Месяцы					
	апрель	**май**	**июнь**	**июль**	**август**	**сентябрь**
65	0.41	0.35	0.33	0.34	0.38	0.50
60	0.38	0.33	0.32	0.33	0.35	0.44
55	0.36	0.32	0.31	0.32	0.34	0.40
50	0.34	0.32	0.31	0.32	0.33	0.38
45	0.33	0.31	0.31	0.31	0.32	0.36
40	0.32	0.31	0.31	0.31	0.32	0.34
35	0.32	0.31	0.30	0.31	0.31	0.33

Таблица 2. Значения потока тепла в почву *B*, кал/(см^2 сут.).

Месяц	**Годовая амплитуда температуры воздуха, °С**								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Январь	-7	-11	-14	-18	-21	-24	-28	-32	-35
Февраль	-4	-7	-9	-12	-14	-16	-18	-21	-23
Март	2	4	5	6	7	8	10	11	12
Апрель	4	7	9	12	14	16	18	21	23
Май	7	11	14	18	21	24	28	32	35
Июнь	7	11	14	18	21	24	28	32	35
Июль	6	9	11	14	18	20	23	27	29
Август	4	6	7	9	11	13	14	17	18
Сентябрь	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-10	-11	-12
Октябрь	-4	-6	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-18
Ноябрь	-6	-9	-11	-14	-18	-20	-23	-27	-29
Декабрь	-7	-11	-14	-18	-21	-24	-28	-32	-35

Относительная площадь листьев (ω), входящая в формулу (2), является биометрической характеристикой растительного покрова и представляет собой величину эффективной поверхности растительного покрова на единицу площади. Величина относительной площади листьев не постоянна и изменяется по мере роста и развития растений. В основе оценки относительной площади листьев агроценозов лежат как материалы наблюдений агрометеорологических станций за высотой и густотой посева, так и обобщенные нормированные зависимости относительной площади листьев сельскохозяйственных посевов от времени. В случае полного отсутствия информации о динамике развития агроценоза, оценить относительную площадь листьев можно используя данные о температуре воздуха исследуемой территории (Шумова, 2017).

Параметр α в формуле (1), характеризующий водоудерживающую способность мульчи, оценивается эмпирическим путем. Слой мульчи подвергается искусственному дождеванию, определяется начальная и конечная (после дождевания) массы мульчи. На основе полученных результатов вычисляется α. Согласно опытам на малых лизиметрах (Гусев, Бусарова, 1996), для мульчи из неразложившейся соломы с толщиной слоя в 5 см α составляет 2.0 см$^{-1}$. Параметр α, оцененный на основе экспериментальных данных (Будаговский, 1962, 1964; Целищева, 1965), также

имеет значение 2.0 см$^{-1}$. Согласно данным (Будаговский, Григорьева, 1991), приведенным для мульчи из неразложившейся соломы значения параметра α лежат в пределах от 2.8 до 4.0 см$^{-1}$.

Параметр β_M, входящий в формулу (8), в основном зависит от величины коэффициента диффузии водяного пара в слое мульчи и от теплопроводности мульчи. Методика определения параметра β_M, сводится к следующему. Используются два лизиметра с постоянным достаточным увлажнением. Поверхность одного из них остается открытой, его показания принимают равными $E_{П0}$. Поверхность другого лизиметра покрывается слоем испытуемой мульчи и его показания равны $E_{ПМ}$. Значение β_M находится из уравнения (8). По оценкам тех же авторов (Будаговский, Григорьева, 1991) для мульчи из неразложившейся соломы значения параметра β_M изменяются в пределах 1.4-1.8 см$^{-1}$.

Согласно численным экспериментам (Гусев, Джоган, 2000), заметное влияние на испарение воды почвой толщина слоя соломенной мульчи z_M оказывает в пределах первых 4-5 см. Таким образом, выбранный для расчетов в данной работе слой соломенной мульчи в 5 см является оптимальным, приводящим практически к максимально возможному снижению испарения воды почвой.

Схема расчета

Схема расчета испарения воды почвой при наличии мульчи следующая. Отсчет потенциального испарения воды почвой $\sum E_{П0}$ для всех дождей начинается с нуля и заканчивается испарением самого большого количества осадков. По уравнению (1) вычисляется величина $\sum_{0}^{P\geq 0,1} E_{п0}$ – потенциальное испарение, необходимое для испарения осадков слоем в 0.1 мм. Эта величина умножается на число дней с осадками $P\geq 0.1$ мм. Затем для числа дней с осадками равными или больше $P\geq 0.5$ мм находится приращение величины потенциального испарения $\delta \sum_{P\geq 0,1}^{P\geq 0,5} E_{п0}$, которое также умножается на число дней с осадками $P\geq 0.5$ мм. Эта операция продолжается и для других интервалов до тех пор, пока общая сумма потенциального испарения не достигнет его значения для заданного расчетного отрезка времени. Применение зависимости (1) ограничено периодом, когда испаряются осадки, задержанные мульчей. Далее суммируется $E_{П0(М)}$, израсходованное на испарение всех задержанных мульчей осадков. Эта величина вычитается из $E_{П0}$ для расчетного интервала времени (в данном случае месяц). Разность $\delta E_{П0}=E_{П0}-E_{П0(М)}$ расходуется на испарение воды почвой через слой мульчи, величина которого определяется по уравнению (8). Общая сумма испарения воды почвой складывается из величины испарения осадков, задержанных слоем мульчи, и испарения воды почвой через нее.

Приведенная схема расчета была использована для оценки испарения воды почвой при наличии мульчи полей яровой пшеницы по средним многолетним материалам 26 метеорологических станций лесостепной и степной зон в общей сложности за 197 месяцев (Шумова, 2010а). При расчетах приняты значения параметров α=2.0 см$^{-1}$, β_M=8.0 см$^{-1}$, что при мульчировании соломой соответствует слою 5 см и массе 10 т/га. В условиях лесостепной и степной зон при выбранных параметрах мульчи среднее многолетнее максимально возможное испарение воды из мульчи после выпадения каждого дождя составляет 4 мм, а рассчитанное по фактическим дождям испарение воды мульчей в основном не достигает 4 мм (Шумова, 2010б). Исключение составляют лишь 8 месяцев из рассмотренных 197 (в 4% случаев), когда испарение превышает 4 мм для каждого дождя. Отсюда следует, что в средних многолетних условиях практически испаряются только осадки, задержанные мульчей, то есть имеет место первая стадия испарения, описываемая формулой (1).

Упрощенная схема расчета

Описанная выше схема расчета испарения воды почвой при наличии мульчи довольно громоздкая и требует подробных данных о числе дней с осадками различной величины. Проведенный анализ месячных данных о количестве осадков и числе дней с осадками различной величины показал, что в зависимости от времени года наблюдается определенная закономерность в их распределении. Результатом обобщений данных по осадкам для территории лесостепной и степной зон стал график, показанный на рисунке 1. На оси абсцисс представлены градации осадков $P_{(\geq)}$, а на оси ординат – нормированные значения числа дней с осадками различной величины n_i/n_0, где n_0 – число дней с осадками $P\geq 0.1$ мм, n_i – число дней с осадками $P\geq 0.5$, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 и 30.0 мм. У графика четыре

ветви, каждая из которых соответствует определенному типу распределения числа дней с осадками различной величины, характерной для разных месяцев.

На основе выполненных расчетов месячных величин испарения при мульчировании почвы получен график, представленный на рисунке 2.

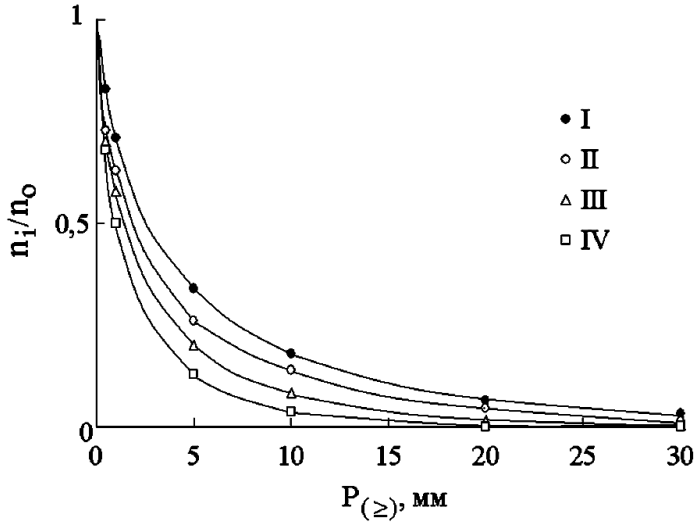


Рис. 1. Распределение нормированных значений числа дней с осадками различной величины n_i/n_0 по градациям осадков $P_{(\geq)}$. *Условные обозначения:* I – июнь, июль, август; II – май, сентябрь, октябрь; III – апрель, ноябрь; IV – март.

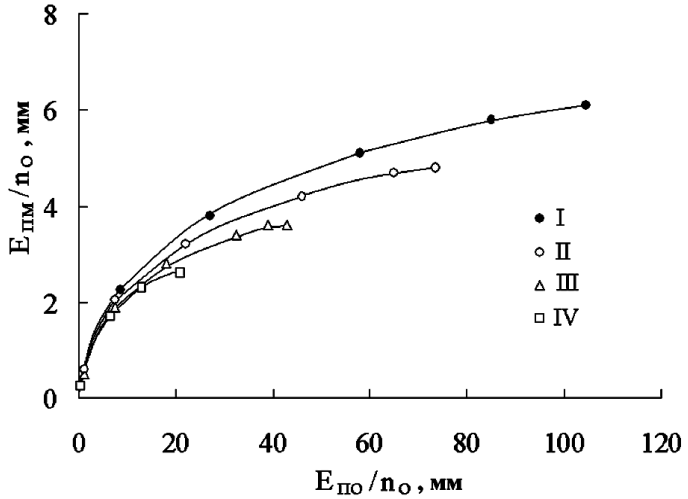


Рис. 2. График связи между нормированными потенциальным испарением воды почвой $E_{п0}/n_0$ и испарением воды почвой при мульчировании $E_{пм}/n_0$ при средних значениях осадков P/n_0, равных: I – 6.5 мм, II – 4.6 мм, III – 3.2 мм, IV – 2.4 мм.

На его оси абсцисс отложены величины $E_{п0}/n_0$, где $E_{п0}$ – месячные значения потенциального испарения воды почвой, рассчитанные по формуле (2); n_0 – число дней с осадками ≥0.1 мм. На оси ординат – значения $E_{пм}/n_0$, где $E_{пм}$ – месячные величины испарения при мульчировании почвы. Величины $E_{пм}$ рассчитывались по зависимостям (1) и (8) с использованием подробных данных о числе дней с осадками различной величины. Данный график позволяет по рассчитанной величине $E_{п0}/n_0$ определить значение $E_{пм}/n_0$, а затем $E_{пм}$ за месяц. Распределение $E_{пм}$ по декадам происходит пропорционально $E_{п0}$. При расчете испарения воды почвой при наличии соломенной мульчи выбор ветви на графике осуществляется по отношению P/n_0, где P – сумма осадков за месяц.

На рисунке 3 показана зависимость между месячными значениями испарения воды почвой при мульчировании, полученными по зависимостям (1) и (8) с использованием подробных данных о числе дней с осадками различной величины и по графику на рисунке 2. Коэффициент корреляции между значениями испарения воды почвой, которые были получены этими способами, равен 0.94. Из этого можно сделать вывод, что использование графика намного упрощает расчет испарения воды почвой при мульчировании, сохраняя при этом приемлемую точность.

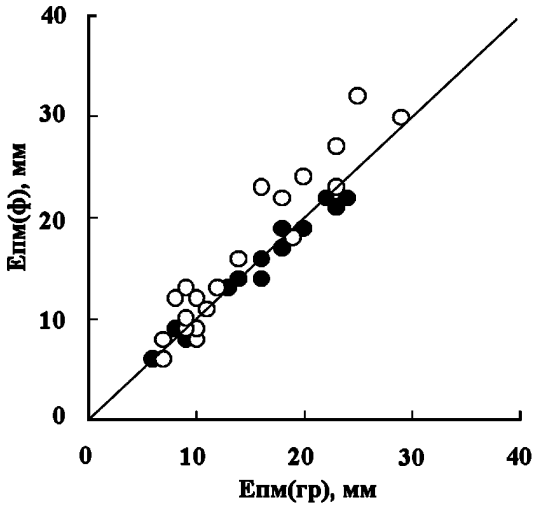


Рис. 3. Зависимость между месячными величинами испарения воды почвой при мульчировании, полученными по зависимостям (1) и (8) – $E_{ПМ(Ф)}$ и по графику на рисунке 2 – $E_{ПМ(гр)}$. *Условные обозначения:* черные круги – испарение оценено по материалам наблюдений метеорологических станций: Ершов, Гигант и Одесса за средний многолетний период, светлые – по материалам наблюдений метеорологической станции Одесса за 1955 и 1958 гг.

Заключение

Мульчирование почвы растительными остатками как агротехнический прием, направленный на повышение водообеспеченности агроценозов, получило широкое распространение в основных зернопроизводящих регионах мира, которые характеризуются засушливым климатом.

Необходимо отметить, что высокая агрогидрологическая эффективность агротехнических мероприятий по мульчированию почвы на сельскохозяйственных полях возможна главным образом для культур, имеющих относительно короткий вегетационный период по сравнению с общей продолжительностью безморозного периода, а также для культур, которые в течение всего вегетационного периода или его значительной части не образуют сомкнутого растительного покрова (например, некоторые бахчевые культуры, виноградники, посевы хлопчатника). Для других культур, вегетирующих в течение большей части теплого периода и образующих густой сомкнутый покров (люцерна, клевер и т.п.), снижение непродуктивного испарения путем мульчирования почвы может дать мало ощутимый эффект.

При мульчировании почвы повышение водообеспеченности агроценоза происходит за счет изменения структуры суммарного испарения. Покрытие поверхности почвы слоем мульчи приводит к снижению испарения воды почвой (непродуктивной составляющей суммарного испарения) и увеличению транспирации сельскохозяйственных культур. Например, как показали расчеты (Шумова, 2010а), доля непродуктивной составляющей (испарение воды почвой) в суммарном испарении посевов яровой пшеницы в лесостепной и степной зонах европейской части России может снизиться с 60-70% при использовании традиционной агротехники до 30-40% при мульчировании.

Сама величина суммарного испарения за безморозный период при мульчировании почвы может или сохранять свое первоначальное значение (что наблюдается в степной зоне), или же уменьшаться по сравнению с суммарным испарением в условиях традиционной агротехники (что происходит в более увлажненной лесостепной зоне). В среднем многолетнем разрезе в лесостепной зоне при

мульчировании почвы уменьшение суммарного испарения за безморозный период может доходить до 23-25%. В зоне неустойчивого увлажнения возможное снижение суммарного испарения при мульчировании может привести к изменению структуры гидрологического цикла – к накоплению запасов воды в почве, что весьма нежелательно в условиях современного гидроморфизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аллен Х.П. 1985. Прямой посев и минимальная обработка почвы. М.: Агропромиздат. 208 с.

Ананьева Л.М., Самарина Н.Н. 1986. Структура радиационно-теплового баланса естественных и природно-антропогенных геосистем лесостепи // Геосистемный мониторинг. М.: Институт географии АН СССР. С. 35-45.

Берлянд Т.Г. 1960. Методика климатологических расчетов суммарной радиации // Метеорология и гидрология. № 6. С. 9-12.

Берлянд М.Е., Берлянд Т.Г. 1952. Определение эффективного излучения Земли с учетом влияния облачности // Серия «Географическая». Известия АН СССР. № 1. С. 10-30.

Будаговский А.И. 1964. Испарение почвенной влаги. М.: Наука. 242 с.

Будаговский А.И. 1962. Испарение воды почвой // Тепловой баланс леса и поля. М.: Издательство АН СССР. С. 25-77.

Будаговский А.И., Григорьева Н.И. 1991. Пути повышения эффективности использования ресурсов почвенных вод // Водные ресурсы. № 1. С. 131-142.

Будаговский А.И. 1986а. Методы оценки параметров моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы. № 6. С. 3-15.

Будаговский А.И. 1986б. Уточнение моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы. № 5. С. 58-69.

Будаговский А.И., Шумова Н.А. 1976. Методы анализа структуры суммарного испарения и оценки эффективности его регулирования // Водные ресурсы. № 6. С. 83-98.

Будыко М.И. 1971. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат. 472 с.

Будыко М.И. 1956. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеоиздат. 254 с.

Гусев Е.М., Бусарова О.Е. 1996. Определение коэффициента эффективной диффузии водяного пара в соломенной мульче // Почвоведение. № 6. С. 789-792.

Гусев Е.М., Джоган Л.Я. 2000. Методика оценки влияния мульчирования почвы растительными остатками на формирование водного режима агроэкосистем // Почвоведение. № 11. С. 1403-1414.

Джекс Д., Бринд У., Смит Р. 1958. Мульчирование. М.: ИЛ. 218 с.

Константинов А.Р., Астахова Н.И., Левенко А.А. 1971. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеоиздат. 127 с.

Кулик Н.Ф. 1979. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеоиздат. 280 с.

Лархер В. 1978. Экология растений. М.: Мир. 384 с.

Лебедев А.Ф. 1930. Почвенные и грунтовые воды. М.-Л.; Сельхозгиз. 280 с.

Мульчирование почвы. 1935. М.: Сельхозгиз. 120 с.

Пивоварова З.И., Стадник В.В. 1969. О точности данных наблюдений актинометрической сети и оптимальном расстоянии между станциями // Труды ГГО. Вып. 249. С. 3-29.

Роде А.А. 1965. Основы учения о почвенной влаге. Т.1. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Л.: Гидрометеоиздат. 664 с.

Роу-Даттон П. 1960. Мульчирование овощных культур. М.: Сельхозгиз. 246 с.

Сельскохозяйственные экосистемы. 1987. М.: ВО Агропромиздат. 224 с.

Целищева Л.К. 1965. Влияние толщины и свободной пористости просохшего слоя на испарение // Почвоведение. № 3. С. 52-56.

Шумова Н.А. 2010а. Влияние мульчирования на суммарное испарение полей яровой пшеницы на юге Русской равнины // Метеорология и гидрология. № 2. С. 82-91.

Шумова Н.А. 2010б. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины. М.: Наука. 239 с.

Шумова Н.А. 2003. Оценка точности модели для расчета динамики запасов воды в почве. Метеорология и гидрология. № 10. С. 124-133.

Шумова Н.А. 2017. Методические подходы к оценке относительной площади листьев растений агроценозов // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 74-92 [Электронный ресурс http://www.ecosystemsdynamic.ru (дата обращения 28.10.17)].

Harris F.S., Yao H.H. 1923. Effectiveness of mulches in preserving soil moisture // Journal of Agricultural Research. V. 23. P. 727-742.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2018, том 24, № 2 (75), с. 75-80

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 591.553

МАССОВАЯ МИГРАЦИЯ И ГИБЕЛЬ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОЛЕВОК (*MICROTUS SOCIALIS* PALLAS, 1773) В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ

© 2018 г. О.М. Букреева, Г.В. Лиджи-Гаряева

Элистинская противочумная станция Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Россия, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, а/я 28. E-mail: gilyanalg@gmail.com

Поступила 24.11.2017

На территории Северо-Западного Прикаспия (Республике Калмыкия) в 2014-2016 гг. установлен значительный рост численности и распространения общественной полевки. Средний многолетний индекс доминирования в сообществе грызунов увеличился в три раза в 2014-2016 гг. по сравнению с 2002-2010 гг. Рост численности произошел в результате увеличения интенсивности размножения при благоприятных климатических и кормовых условиях. В мае 2016 г. была зафиксирована массовая миграция и гибель общественной полевки – редкое для грызунов явление, вызванное вероятно переуплотнением населения. В миграционный процесс были вовлечены, прежде, всего, самцы, из-за увеличивающейся внутривидовой конкуренции, повышенного уровня агрессивности и меньшей привязанности к участкам обитания по сравнению с самками.

Массовая миграция и гибель общественных полевок на территории Северо-Западного Прикаспия может быть проявлением динамики неустойчивого равновесия, которая является результатом изменения антропогенной нагрузки, системы землепользования в сочетании с увлажнением климата.

Ключевые слова: общественная полевка, Северо-Западный Прикаспий, миграция и гибель.

DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00020

Мышевидные грызуны обладают высоким потенциалом размножения, что может приводить к лавинообразному повышению численности. Резкие увеличения плотности популяций (вспышки численности) происходят при повышении емкости среды, что может быть связано с улучшением климатических условий, увеличением запаса кормовых ресурсов или уменьшением численности хищников (Krebs, 1999). Однако при превышении емкости среды начинают действовать внутрипопуляционные механизмы регуляции численности, приводящие к возрастанию смертности или снижению интенсивности размножения (Шварц, 1971, 1980; Шилов, 1977; Krebs, 1999). В степных и полупустынных аридных и семиаридных пастбищных экосистемах основными причинами изменения емкости среды и, соответственно, вспышек численности грызунов служат пастбищная нагрузка и погодные условия (Zhang et al., 2003; Li et al., 2016). Так, вспышки численности полевки Брандта определяются нерегулярными благоприятными погодными условиями в сочетании с умеренным выпасом, тогда как пере- и недовыпас приводят к снижению численности (Zhang et al., 2003).

Вспышки численности грызунов иногда сопровождаются массовой миграцией зверьков, во время которой многие из них гибнут. Это очень редкое явление до сих пор было отмечено лишь для нескольких грызунов, прежде всего для норвежского лемминга (Cechowicz, Pucek, 1961; Kalela, Koponen, 1971; Koskela, Viro, 1976; Henttonen, Kaikusalo, 1993). Причины таких миграций до сих пор остаются неясными, хотя предположительно их связывают с локальным переуплотнением, нарушением местообитаний, истощением кормовых ресурсов.

В последние десятилетия на территории Северо-Западного Прикаспия на фоне изменения климата, сокращения пастбищной нагрузки в 90-е годы и замены коренной растительности полупустыни вторичной степью выявлены изменения в видовом составе, численности и популяционной структуре мелких млекопитающих – снижается численность полуденной песчанки, малого суслика, происходит значительный рост общественной полевки, домовой мыши и серого

хомячка – типичных представителей высокотравных сухих степей (Касаткин и др., 1998; Шилова и др., 2000; Кузнецов и др., 2011).

Увеличение численности и широкое распространение общественной полевки (*Microtus socialis* Pallas, 1773) было зафиксировано на юге Калмыкии и правобережье Астраханской области в 2000-2001 гг. А.Н. Матросовым с соавторами (2003). Плотности поселений доходили до 27.4 особей на 1 га. Однако уже к осени 2001 года произошло повсеместное снижение численности до среднемноголетнего уровня в результате ограничения кормовых запасов и последующего снижения интенсивности размножения.

В этой работе мы приводим данные о росте численности общественной полевки в Калмыкии в последние годы и описываем необычное явление: массовую миграцию и гибель полевок в отдельных районах Калмыкии в 2016 г.

Материалы и методы

Учеты полевок проводили стандартными методами отлова в давилки на стационарных линиях. Линии давилок выставляли в разных местообитаниях в разных районах Калмыкии весной (апрель-май) и осенью (октябрь) на 1-2 дня с приманкой из хлеба, пропитанного подсолнечным маслом. У отловленных полевок определяли пол, возраст, массу тела, а после вскрытия – состояние репродуктивной системы и содержимое желудка. Всех пойманных зверьков обследовали на возможные зоонозные инфекции.

В качестве показателей численности использовали уловистость (процент попадания в давилки, т.е. количество пойманных зверьков в пересчете на 100 ловушко-суток) и относительную численность (или индекс доминирования): долю полевок среди всех отловленных грызунов.

Массовые миграции и гибель полевок установили в ходе опросов местного населения и обследования районов, в которых они были отмечены. Собранных погибших зверьков вскрывали и обследовали на предмет возможного заражения зоонозными инфекциями. Районы миграций и гибели полевок были закартированы. Объем собранного материала приведен в таблице 1.

Таблица 1. Динамика численности общественной полевки в открытых биотопах на территории Северо-Западного Прикаспия в 2002-2010 гг. и 2014-2016 гг.

Год	Сезон	Ловушко-ночей	Отловлено грызунов		Показатели численности		
			Всего	Общественная полевка	Процент попадания		Индекс доминирования, %
					Общий	Общественная полевка	
2002-2010	весна	98650	4850	761	7.9	0.8	15.7
	осень	97300	8673	705	8.9	0.7	8.1
2014	весна	21000	1162	472	5.5	2.5	40.6
	осень	29700	2424	635	8.2	2.1	26.2
2015	весна	27700	1065	501	3.8	1.8	47.0
	осень	17600	1696	600	9.6	3.4	35.4
2016	весна	21900	1781	747	8.1	3.4	41.9
	осень	12600	2243	462	17.8	3.6	20.6

Результаты и обсуждение

В результате проведенных нами исследований установлен значительный рост численности и распространения общественной полевки в Калмыкии, начавшийся весной 2014 года, когда произошло многократное увеличение плотности поселений: общественная полевка стала доминирующим видом в локальном сообществе грызунов, и в 2014-2016 гг. средний многолетний индекс доминирования увеличился в три раза по сравнению с 2002-2010 гг. – с 15.7% до 43.3% весной и с 8.1% до 27.4% осенью (табл. 1). В отдельных районах весной 2016 г. индекс доминирования превышал 50%, а в некоторых приближался к 100%: в лощине Даван он составил

51.6%, в Северных Ергенях – 55.9%, в Сарпинской низменности – 57.1%, на Черных землях – 63.0%, в Южных Ергенях – 86.3%, в Степном районе – 93.7%. Резкое увеличение доли полевок среди всех грызунов связано с ростом их численности, которая в 2014-2016 гг. выросла по сравнению с 2002-2010 гг. в 3-4 раза (средние многолетние показатели 2.6 и 0.8 зверьков на 100 ловушко-суток весной и 3.0 и 0.7 осенью соответственно), тогда как общая численность грызунов изменилась незначительно (табл. 1). На отдельных территориях Южных Ергеней в стабильных, используемых на протяжении ряда лет поселениях полевок, плотность весной 2016 г. изменялась от 45.3 до 62.5 особей/га, в Степном районе плотность ленточных поселений вдоль каналов и возделываемых полей варьировала от 43.8 до 64.5 особей/га, что соответствует очень высоким показателям плотности для этого вида (Матросов и др., 2003).

Рост численности общественной полевки произошел в результате увеличения интенсивности размножения при благоприятных климатических и кормовых условиях. На протяжении 2015-2016 гг. интенсивное размножение происходило круглогодично. В 2016 г. на Южных Ергенях в зимний период в размножении участвовало 79.6% самок, весной – 71.2%, осенью – 80.6%.

Многократное повышение плотности поселений на территории Южных Ергеней и Степном районе стало причиной массовой миграции на дальние расстояния, что повлекло за собой увеличение смертности. Из литературных источников известно, что для этого вида большое значение имеют процессы авторегуляции численности в местах постоянного обитания и малозначимы процессы миграции (Щипанов, Касаткин, 1996). Однако при критически высокой плотности обитания в совокупности с изменяющимися погодными условиями вступает в силу процессы, не характерные для этого вида.

Так, в мае 2016 года на территории Калмыкии в Южных Ергенях, лощине Даван и Степном районе нами была зафиксирована массовая гибель общественных полевок (рис.).

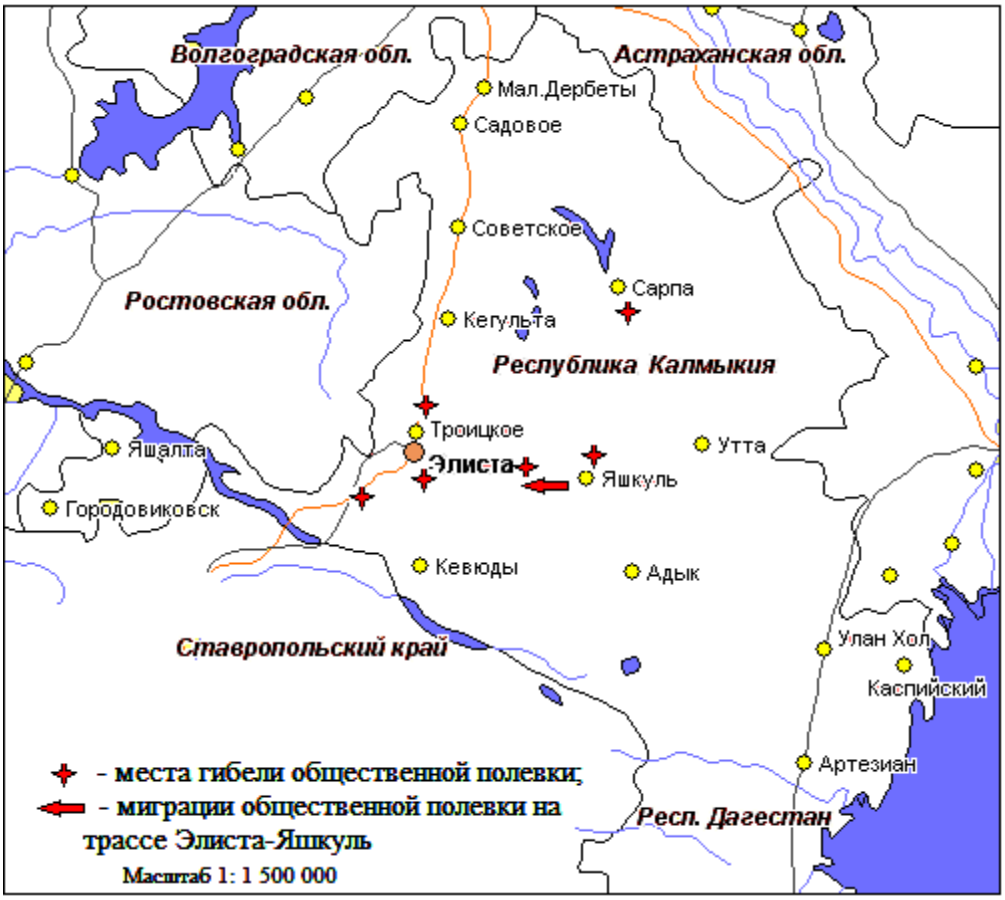


Рис. Участки массовой гибели общественной полевки на территории Республики Калмыкия в мае 2016 г.

Первые сведения о погибших животных поступили 10.05.16 из пос. Улан Эрге Яшкульского района после проливных дождей; 14.05.16 погибшие зверьки были обнаружены на ферме вблизи пос. Олинг Яшкульского района (лощина Даван) и пос. Сарпа Кетченеровского района (лощина Даван), в 60-80 км от мест первых находок мертвых животных; 17.05.16 мертвые грызуны были обнаружены в пос. Ульдючины Приютненского района (Степной район), в 120 км к западу от мест предыдущих обнаружений. Поступали сведения о единичных находках погибших полевок из сел Вознесеновка и Троицкое Целинного района. Зоологи противочумной станции в ночное время с 13 на 14 мая наблюдали массовое движение общественных полевок в западном и северо-западном направлениях от п. Яшкуль. Животные двигались вдоль трассы Яшкуль – Элиста, в некоторых местах они переходили трассу и частично гибли под колесами автотранспорта.

Общественные полевки совершали массовые миграции не группами, а поодиночке, однако, поскольку расстояние между погибшими мигрирующими зверьками было небольшим, складывалось впечатление, что они расселяются большими группами. В момент миграции зверьки слабо реагировали на внешние раздражители (движущиеся машины, люди, нападающие хищники) и продолжали движение.

Масштабы смертности общественных полевок в населенных пунктах и в природной среде сложно оценить точно. По опросным данным, в пос. Улан-Эрге население во избежание распространения «неизвестной инфекции» утилизировало в выгребные ямы более 1000 животных, в пос. Ульдючины погибших животных было значительно меньше, при этом основное их количество, как и в пос. Улан-Эрге, регистрировали на улицах и во дворах, прилегающих к открытым участкам степи.

Трупы общественных полевок исследовали в лаборатории Элистинской противочумной станции бактериологическим, серологическим методами, а также методом генной диагностики в ПЦР на чуму, туляремию, лептоспироз. Все исследования прошли с отрицательным результатом.

Вскрытие трупов и исследование состояния внутренних органов полевок показало, что погибшие животные были сильно истощены, особенно молодые особи, жировые отложения на внутренних органах (почки, надпочечники) отсутствовали. При обследовании желудочно-кишечного тракта использовали пятибалльную шкалу для оценки его наполнения, где 0 – пусто, 1 – единичные пищевые остатки, 2 – малое наполнение, 3 – среднее наполнение, 4 – много, полный желудок или отделы кишечника. У особей, участвовавших в миграции, за которой последовала гибель, степень наполнения желудочно-кишечного тракта соответствовала показателям от 0 до 2. Среди самцов с пустым желудком было 63.2% (n=43), единичные пищевые остатки зафиксированы у остальных 36.8% (n=25) особей. Среди самок животные с пустым желудком составили 22.6% (n=7), с единичными остатками – 54.8% (n=17), с малым наполнением – 22.6% (n=7).

Таким образом, самки, находясь в стрессовой ситуации и миграционном состоянии, искали и добывали пищу, хотя, очевидно, и в недостаточном количестве, а самцы были полностью вовлечены в миграционный процесс и практически не питались. В обычной ситуации в природных биотопах для общественных полевок не характерно отсутствие пищи в желудках. У животных, ежегодно добываемых на той же территории, степень наполнения желудочно-кишечного тракта в основном соответствовала 3-4 баллам, от среднего наполнения до полного желудка.

Результаты сравнительного анализа половозрастной структуры полевок до начала миграции, погибших во время миграции и выживших во время миграции приведены в таблице 2. В предмиграционный период в апреле – начале мая 2016 года в популяции полевок преобладали самцы (54.6%). Несмотря на благоприятный период для размножения в апреле – начале мая в отловах беременные самки не встречались – возможно, размножение было подавлено высокой плотностью. Среди погибших мигрирующих полевок было много взрослых особей (46.5%, n=46), но молодых было больше – 53.5% (n=53), и значительно преобладали взрослые и молодые самцы (68.7%, n=68), хотя доля взрослых яловых и молодых самок была также велика (31.3%, n=31); беременные и кормящие самки среди мигрантов отсутствовали. Доля самцов среди погибших была значительно выше, чем в популяции до начала миграции (примерно 2:1 против 1.2:1; таблица 2). Можно предположить, что повышение плотности и, соответственно, увеличение конкуренции между самцами повышает уровень агрессивности между ними, что в совокупности с их меньшей привязанностью к участку обитания по сравнению с самками вовлекает их в миграционный процесс в

первую очередь.

Среди выживших в процессе миграции полевок взрослые самцы отсутствовали, что указывает на их 100% смертность во время миграции. Молодые самцы выживали значительно лучше: если среди погибших полевок взрослых и молодых самцов было примерно поровну, то выжившие самцы были представлены исключительно молодыми. Выживаемость взрослых самок во время миграции была значительно выше, чем взрослых самцов, – они составляли четверть среди всех выживших полевок. При этом количество выживших взрослых и молодых самок было примерно одинаково, хотя среди погибших молодых самок было в два раза больше, что говорит о том, что молодые самки переживали миграцию значительно хуже, чем взрослые.

Таблица 2. Половозрастное соотношение общественных полевок на Южных Ергенях в мае 2016 г.

Половозрастные группы	Животные в предмиграционном периоде, %	Погибшие животные, %	Выжившие животные, участвующие в миграционном процессе, %
Взрослые самцы	51.5	32.6	–
Взрослые самки	45.4	9.8	24.7
Молодые самцы	3.1	35.9	50.1
Молодые самки	–	21.7	25.2

Наши результаты позволяют предположить, что к весне 2016 г. на Южных Ергенях и в степном районе Калмыкии при благоприятных природно-климатических условиях в совокупности с высоким потенциалом размножения произошло лавинообразное увеличение численности общественных полевок. Физические и психо-физиологические нагрузки, вызванные переуплотнением (фактор тесноты), часто приводят к состоянию возбудимости и перегрузке системы гипофиз – надпочечные железы, в результате чего уровень сахара в крови снижается и гипергликемический шок вызывает гибель (Chitty, 1957; Krebs, 1999). Переуплотнение на локальных участках и стрессовое состояние могли стать причиной массовой миграции и гибели полевок. Непосредственной причиной гибели мигрирующих животных помимо стресса, очевидно, было недоедание во время миграции. Другой причиной, вызвавшей массовую миграцию, которая сопровождалась гибелью, мог стать стресс, вызванный неблагоприятной погодой, – в районах массовой миграции и гибели животных действительно наблюдались ливневые осадки. Редкий зафиксированный случай массовой миграции обыкновенной полевки в 50-е годы в Польше авторы объясняли нарушением местообитаний в ходе сельско-хозяйственных работ (Cechowicz, 1961). Однако в районе наших исследований подобные нарушения местообитаний отмечены не были.

Выводы

Таким образом, мы зафиксировали и впервые описали для общественной полевки редкое для грызунов, известное лишь по единичным наблюдениям и не имеющее ясных объяснений явление, – массовую миграцию и гибель, вызванную, вероятно, переуплотнением населения на локальных участках в результате резкого подъема численности. В свою очередь резкое увеличение численности общественных полевок в Калмыкии, как и резкие изменения состояния популяций других видов грызунов, отмеченные здесь в последние два десятилетия, носят закономерный характер и связаны с изменениями пастбищных нагрузок в сочетании с увлажнением климата, что привело к изменению облика ландшафта с пустынного на степной, благоприятный для полевок (Неронов и др., 1997; Шилова и др., 2000; Кузнецов и др., 2011; Dubinin et al., 2011). Значительные изменения антропогенной нагрузки и системы землепользования, которые происходят в Калмыкии на протяжении последних ста лет, привели локальные пастбищные экосистемы в состояние неустойчивого равновесия, что может вызывать резкие и непредсказуемые изменения в их динамике в целом и в состоянии отдельных видов в частности (Tchabovsky et al., 2016). Неожиданная массовая миграция и гибель общественных полевок, зафиксированная нами, может быть одним из проявлений такой динамики неустойчивого равновесия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Касаткин М.В., Исаев С.И., Савинецкая Л.Е. 1998. Некоторые особенности экологии общественной полевки (*Microtus socialis*) в районе Черных земель Калмыкии в период нарастания численности // Зоологический журнал. Т. 77. № 5. С. 582.

Кузнецов В.А., Савинецкая Л.Е., Чабовский А.В. 2011. Динамика пастбищных экосистем юга Калмыкии: влияние изменения климата и антропогенной нагрузки // Успехи современной биологии. Т. 131. № 5. С. 460-465.

Матросов А.Н., Кузнецов А.А., Слудский А.А., Попов Н.В., Козлова Т.А., Голосовский С.М., Манжиева В.С., Ким Т.С., Синцов В.К., Ерофеев А.В. 2003. Экологические особенности и эпизоотологическое значение общественной полевки в Прикаспийском песчаном очаге чумы // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 147-157.

Неронов В.В., Чабовский А.В., Александров Д.Ю., Касаткин М.В. 1997. Пространственная организация населения грызунов в условиях антропогенной динамики растительных сообществ на юге Калмыкии // Экология. № 5. С. 369-376.

Шварц С.С. 1980. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука. 277 с.

Шварц С.С. 1971. Популяционная структура биогеоценоза // Серия биологическая. Известия АН СССР. № 4. С. 485-493.

Шилов И.А. 1977. Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. М.: изд-во МГУ. Т. 262. С. 47.

Шилова С.А., Чабовский А.В., Исаев С.И., Неронов В.В. 2000. Динамика сообщества и популяций грызунов полупустынь Калмыкии в условиях снижения нагрузки на пастбища и увлажнения климата // Серия биологическая. Известия АН СССР. № 3. С. 332-344.

Щипанов Н.А., Касаткин М.В. 1996. Общественная полевка (*Microtus socialis*) в измененном ландшафте Южного Дагестана: популяционный аспект выживания // Зоологический журнал. Т. 75. Вып. 9. С. 1412-1426.

Cechowicz W., Pucek Z. 1961. *Microtus arvalis* (Pallas 1778) in the Białowieża Glade; *Microtus arvalis* (Pallas 1778) na polanie białowieskiej // Acta Theriologica. Vol. 5. № 20. P. 298-300.

Chitty D. 1957. Self-regulation of number through changes in viability // Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Vol. 22. P. 57-70.

Dubinin M., Luschekina A., Radeloff V. 2011. Climate, livestock, and vegetation: what drives fire increase in the arid ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. Vol. 14. P. 547-562.

Henttonen H., Kaikusalo A. 1993. Lemming movements // The biology of lemmings / Eds. N.C. Stenseth, R.A. Ims. London: Academic Press. P. 157-186.

Kalela O., Koponen T. 1971. Food consumption and movements of the Norwegian lemming in areas characterized by isolated fells // Annales Zoologici Fennici. Vol. 8. P. 80-84.

Koskela P., Viro P. 1976. The abundance, autumn migration, population structure and body dimensions of the harvest mouse in Northern Finland // Acta Theriologica. Vol. 21. № 28. P. 375-387.

Krebs C.J. 1999. Current paradigms of rodent population dynamics–what are we missing // Ecologically-based management of rodent pests. P. 33-48.

Li G., Hou X., Wan X., Zhang Z. 2016. Sheep grazing causes shift in sex ratio and cohort structure of Brandt's vole: Implication of their adaptation to food shortage // Integrative Zoology. Vol. 11. № 1. P. 76-84.

Tchabovsky A.V., Savinetskaya L.E., Surkova E.N., Ovchinnikova N.L., Kshnyasev I.A. 2016. Delayed threshold response of a rodent population to human-induced landscape change // Oecologia. Vol. 182. № 4. P. 1075-1082.

Zhang Z., Pech R., Davis S., Shi D., Wan X., Zhong W. 2003. Extrinsic and intrinsic factors determine the eruptive dynamics of Brandt's voles *Microtus brandti* in Inner Mongolia, China // Oikos. Vol. 100 № 2. P. 299-310.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2018. Т. 24. № 2 (75)

Учредители: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Дагестанского научного центра РАН (ИГ ДНЦ РАН).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации в Роскомнадзоре (Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций) – ПИ № ФС77-56164 от 15 ноября 2013 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60х 84 $^1/_8$	Объем 6.5 п.л.
Тираж 200 экз.	Заказ №

Тиражировано в типографии ИП Гаджиева С.С.
367025, Махачкала, ул. Юсупова, 47
RIZO-PRESS, Тел. 8(8722) 68-40-21

Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)