ISSN 1993-3916

Том 26 Номер 3 (84) Сентябрь 2020

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

2020

© 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 научной электронной библиотеки “КИБЕРЛЕНИНКА” CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН), 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, передается в Российскую книжную палату, 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 http://aridecosystems.ru/;
архив полнотекстовых статей по адресам: http://aridecosystems.ru/архивы/; http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8404&code=99990527, https://cyberleninka.ru/journal/n/aridnye-ekosistemy#/1009295

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 26, № 3 (84), 2020, сентябрь
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, 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), Н.И. Рабазанов, А.А. Тишков, В.И. Черкашин, А.А. Чибилев, З.Ш. Шамсутдинов

Редакционный совет:
Д.Б. Асгерова, А.Б. Биарсланов, 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: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК
2020

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 3-13

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.57 631.48

О ПРИОРИТЕТАХ РАЗВИТИЯ СТРАТЕГИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ МИРА

© 2020 г. З.Г. Залибеков*, С.А. Мамаев*, О.С. Гринченнко, М.Е. Котенко***, Р.А. Магомедов***

**Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН*
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: ra-mag@yandex.ru
***Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com
****Дагестанский государственный технический университет*
Россия, 367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, просп. И. Шамиля, д. 70. E-mail: kukonya21@mail.ru

Поступила в редакцию 10.07.2019. После доработки 01.03.2020. Принята к публикации 01.03.2020

Оценка мирового состояния опустынивания подчеркивает необходимость информации, характеризующей глобальное движение аридной деградации и ущерба, который она наносит. В условиях климатического потепления, которое отмечается в настоящее время, все новые регионы будут подвергаться засухе, ослабляя устойчивость деградируемых земель. Вместе с тем в засушливых регионах с большой интенсивностью увеличивается частота засухи. Прилагаемые усилия ученых и практиков, результаты которых отражены в журнале «Аридные экосистемы» за истекший 25-летний период, позволили получить итоговую информацию о закономерностях деградации почв растительности и животного мира. Опираясь на достижения науки по проблеме антропогенной динамики процессов опустынивания и формирования ресурсоведческого потенциала отдельных компонентов аридных экосистем, необходимо сделать обоснованный подход к стратегии и обозначить методы реализации представленных концепций, программ, проектов. Обобщения теоретических положений восстановления продуктивности, устойчивости почвенного покрова позволили представить фундаментальную разработку исследования засушливых земель мира в виде самостоятельной концепции «зеленой экономики». Ее главным отличием является дифференциация действий человеческого фактора на блоки: природного и медико-биологического. Неотъемлемой частью второго блока является оценка влияния социального положения людей, проживающих в условиях усиления засухи, суховеев и климатического потепления.

Ключевые слова: деградация почв, новый этап, стратегия исследований, устойчивое развитие, социально-экономические приоритеты, «зеленая экономика», пересмотр концепции, опустынивание, изменение климата.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10101

Становление, развитие журнала «Аридные экосистемы» и его роль в освещении фундаментальных и прикладных основ концепции аридной деградации связаны с разработкой стратегии исследований засушливых земель мира. Это связано с происходящими изменениями в характере и степени влияния антропогенных и природных факторов. Их воздействие проявляется во всевозрастающей роли в структуре устойчивости, продуктивности и разнообразия биологических объектов (Бабаев, 1980). «Аридные экосистемы» играет важную роль в публикации достижений науки и практики в охране, воспроизводстве и использовании ресурсоведческого потенциала аридных земель. Публикуемые здесь материалы широко распространены и востребованы в различных регионах мира. Координирующая роль разработок, связанных с публикациями, характеризуется высокой эффективностью и востребованностью. Фундаментальный характер публикаций, новизна и их актуальность подтверждаются высокой рейтинговой оценкой журнала и его широким распространением среди научной общественности. Эти результаты стали реальными при выполнении значительного объема научно-организационных работ и повышении качества публикаций.

Значительный вклад в создание, становление и развитие журнала внесли В.С. Залетаев, Н.М. Новикова, Ж.В. Кузьмина, Т.В. Дикарева, Д.Б. Асгерова, О.С. Гринченко и другие работники институтов-учредителей. Результатом этой работы явилось стабильное количество публикуемого материала, подготовка лицензий, договоров на авторские права и своевременный выход публикуемых статей. В практическом применении теоретических разработок важную роль сыграл опубликованный материал проведенной в 2016 г. научно-практической конференции в Волгограде (Залибеков, Новикова, 2016), в резолюции которой была подчеркнута необходимость применения национальных программ борьбы с опустыниванием в отдельных регионах (Бананова, 1992; Залибеков и др., 2017). Показательным в развитии журнала является увеличение его импакт-фактора за 2015-2019 гг. до 0.89, что позволяет отметить прогрессирующий рост рейтинговой оценки публикаций. Некоторое уменьшение импакт-фактора за последние два года объясняется преобладающей ролью статей регионального и локального характера. Учитывая масштабы распространения журнала и востребованность результатов исследований, редколлегия приняла решение о целесообразности увеличения объема публикуемого материала по разделу «Системное изучение аридных территорий». Вносятся также предложения о включении самостоятельных разделов, таких как «Дистанционные методы в исследовании проблем борьбы с опустыниванием» и «Вопросы развития международных связей». Высокий рейтинг журнала подтверждается включением в список реферируемых изданий и Базы данных Всероссийского института научной и технической информации РАН (ВИНИТИ). Сведения о журнале ежегодно поступают в Международную справочную систему по периодическим и продолжающимся изданиям Ulrich's Periodicals "Directory". С 2015 г. журнал включен в список изданий Scopus и Web of Science (WoS) и списки ведущих рецензируемых изданий. В 2016 г. при переаттестации всех изданий он подтвердил свой высокий уровень и был включен в перечень изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК) решением Президиума высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования РФ.

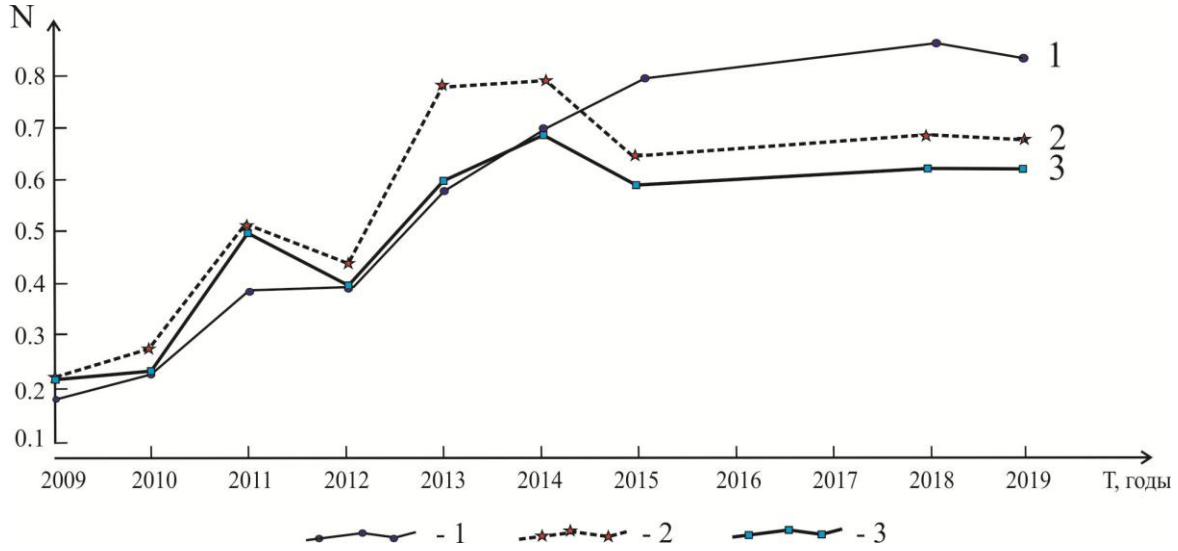


Рис. Изменение импакт-фактора журнала в РИНЦ. *Условные обозначения:* 1 – за 2 года, 2 – с учетом иностранной версии, 3 – за 5 лет.

В состав редколлегии входят академики, члены-корреспонденты РАН, доктора и кандидаты наук, известные ученые Германии, Израиля, Китая, Туркмении, Монголии и США. До 30% поступающего материала отклоняется рецензентами, в журнале публикуются статьи высокого качества с объективной оценкой. Научные статьи, включенные в номера русской версии, переводятся на английский язык и включаются в английскую версию журнала.

Наиболее сложной проблемой в работе журнала является финансирование. Активное содействие в финансировании оказывают институты-учредители, ежегодно выделяющие определенную сумму. Большую помощь в организации и выполнении работы журнала оказывает издательство КМК.

Коллектив редколлегии журнала, редакционный совет, авторы, рецензенты, подписчики в нашей стране и за рубежом способствуют публикации результатов приоритетных исследований, вносят большой вклад в развитие фундаментальной и прикладной науки, что вселяет в нас уверенность о том, что журнал в современных условиях будет способствовать дальнейшему улучшению научного сотрудничества в разработке закономерностей развития аридных экосистем и прикладных основ борьбы с опустыниванием. Динамика публикационной деятельности характеризует общую тенденцию роста активности журнала за последние 10 лет с небольшим снижением в 2013 и 2015 гг. – в период проведения организационных мероприятий (табл. 1).

Таблица 1. Динамика публикационной деятельности журнала 2016-2020 г.

Год издания, №	Разделы, количество статей / страницы				Всего	Примечание
	СИАТ	ОПЗС	ВД	ХР		
2016						Выполненные показатели
1	5/43	6/64	–	–	107	
2	5/43	6/45	–	3/11	95	" - "
3	–*	–	–	–	94	" - "
4	3/38	4/38	–	1/9	85	" - "
2017						
1	3/26	9/67	–	1/3	96	" - "
2	5/39	6/30	–	–	69	" - "
3	3/36	7/65	–	2/8	109	" - "
4	3/32	6/53	–	1/3	88	" - "
2018						
1	3/27	7/62	1/6	–	95	" - "
2	4/43	5/35	–	–	78	" - "
3	3/33	4/45	1/8	1/5	91	" - "
4	2/26	7/51	1/9	–	86	" - "
2019						
1	3/29	5/47	1/9	–	85	" - "
2	3/24	7/49	–	1/4	77	" - "
3	4/36	5/31	2/15	–	82	" - "
4	5/58	4/39	–	–	97	" - "
2020						
1	4/40	7/59	–	–	99	" - "
2	7/54	5/39	–	–	93	" - "
3	6/55	5/43	–	–	98	Планируемые показатели
4	5/48	6/54	1/8	–	1104	

Примечания к таблице 1: СИАТ – системное изучение аридных территорий; ОПЗЗ – отраслевые проблемы освоения засушливых земель; ВД – водные экосистемы аридных территорий; ХР – хроника; – выпуск был без разделения на разделы, т.к. посвящен 45-летнему юбилею Советско(Российско)-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН-МАН.

После принятых мер показатели качества публикаций повысились и импакт-фактор увеличился до 0.89%. По соотношению объема разделов – до 35-40% отведено результатам фундаментальных исследований. В качестве стратегического направления журнала выделен раздел «Системное изучение аридных территорий»; статьи прикладного направления объемом 40-45%, размещаются в разделе «Отраслевые проблемы засушливых земель». Материал о «Внутренних водоемах» включая прибрежные акватории, расположенные в аридном климатическом поясе, занимают до 10%. Информация о происходящих событиях, конференциях, симпозиумах, юбилеях ученых публикуется в разделе «Хроника» объемом 3-5%, который в последние годы неизменно сокращается в связи с международными требованиями SCOPUS и WOS. Группировка поступающих статей и размещение их после принятия для публикации осуществляется с учетом содержания, направления излагаемого

материала.

Проведенная научная, научно-организационная работа за истекший период дала положительные результаты в улучшении качества публикуемых статей, сообщений и применении практических разработок. Из опубликованных теоретических разработок наиболее важными явились результаты исследований по развитию концепции опустынивания, как глобальной и социально-экономической проблемы. Особенности этой проблемы и поэтапное развитие исследований по ней в последние годы освещены в фундаментальной работе И.С. Зонна, Г.С. Куста и О.В. Андреевой (2017). Обзор этой статьи и материалов последующих публикаций (Гунин, Панкова, 2016; Залибеков и др., 2019) показали положительные результаты, достигнутые в изучении проблемы аридных земель и разработке научных и прикладных основ борьбы с опустыниванием. За годы издания журнала с широким распространением в аридных регионах мира отмечена поддержка ученых и международными организациями, координирующими исследования по борьбе с опустыниванием и аридной деградацией.

Обсуждение поднимаемых вопросов с авторами, членами редколлегии, работниками научного совета ООБ РАН и редакцией журнала «Аридные экосистемы» вывело проблему на международный уровень. Это способствовало дальнейшей доработке, использованию и внедрению региональных, национальных программ по борьбе с опустыниванием в нашей стране и за ее пределами. Особое значение имела проведенная в Волгограде в 2016 г. Всероссийская научно-практическая конференция «Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием», посвященная 20-летию журнала (Залибеков и др., 2012; Кулик, 2016). В работе конференции приняли участие более 100 человек из разных регионов страны, активно обсуждались теоретические вопросы борьбы с опустыниванием и региональные проблемы практического использования разработок в южных регионах Российской Федерации. В принятой резолюции конференции подчеркивалась необходимость развития исследований в междисциплинарном плане с увязкой в перспективе с социально-экономическими аспектами регионов, где в наибольшей степени проявляются негативные последствия засух, суховеев и пыльных бурь (Залибеков, Новикова, 2016; Мамаев и др., 2015).

Популяризация результатов в регионах страны и мира не исчерпывается пропагандой достижений и практическим их использованием. В регулярно проводимых заседаниях редколлегии обсуждались вопросы улучшения качества публикуемых статей, повышение их импакт-фактора, увеличения количества подписчиков и расширения сферы распространения журнала. По решению редколлегии журнала в декабре 2018 г. был осуществлен пересмотр тематики публикаций, требующий усиления организационного решения и серьезной научной проработки, связанной с изучением причин неудержимого увеличения негативных последствий в уничтожении функционирующего почвенного покрова, фауны, флоры и их потенциала (Добровольский, 1978).

Серьезное внимание редакцией уделено публикации материалов по программе устойчивого развития, направленной на выполнение мероприятий, указанных в докладе Секретариата Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) в 2011 г. по «Борьбе с опустыниванием, деградацией земель и засухой в контексте устойчивого развития и искоренения нищеты». Важное место в этих документах, наряду с деградацией земель и климатическими изменениями, отводилось человеческому фактору, явившемуся новым мотивом в понимании задач, стоящих перед журналом. В этой связи, как отмечается в статье И.С. Зонна с соавторами (2017, стр. 12), «стереотип опустынивания меняется в сторону как неудержимого монстра, который медленно уничтожает плодородные земли планеты, ее фауну и флору, а так же людей». Этот подход означает начало нового этапа развития стратегии учения о пустынях и опустынивании земель, основной целью которой является достижение «нулевой деградации земель» на локальном, региональном и международном уровнях. Задача исследований на новом этапе заключается в учете человеческого фактора и состоянии людей в целях обеспечения охраны и устойчивого развития засушливых земель, повышения благосостояния людей, живущих на этой территории. На основании изложенного, переход к устойчивому развитию усматривается в формировании «зеленой экономики», как экономики повышения благосостояния людей, способствующей уменьшению риска деградации земель. В аридных регионах мира возникла необходимость в выявлении роли новых экономических отношений, связанных с рыночными условиями и развитием бизнеса. Это в большей степени относится к южным регионам Российской Федерации и странам Центральной Азии, входящим в состав СНГ. Изучением взаимоотношений в стратегии нового подхода, создаваемого при «зеленой

экономике» и существующей рыночной экономике выдвигается перед научным сообществом важная задача – развитие социальных аспектов борьбы с опустыниванием. Редакция журнала планирует рассмотреть этот вопрос для освещения в публикуемых статьях с выделением их в качестве самостоятельного раздела.

Согласно этой концепции, задача стратегии заключается в определении вопросов, дополняющих концепцию борьбы с опустыниванием новыми методами, способствующими улучшению материального состояния работников народного хозяйства, направленных на охрану природных ресурсов, восстановлению экосистемных услуг и биологического разнообразия (Харин, 1998). Активную помощь производству, оказываемую применением концепции «зеленой экономики», целесообразно начать разработкой технологий, приемлемых для южных регионов России, подверженных влиянию аридной деградации почв. Основным дополняющим компонентом технологических разработок является роль человеческого фактора, непосредственно оказывающего влияние на формирование биологического потенциала деградированных экосистем. Обоснование выбора и оценки фактора, входящего в состав мероприятий, осуществляется впервые с характеристикой взаимосвязей природных условий аридных и гумидных территорий, обусловленных политической напряженностью и обнищанием населения (Зонн и др., 2017, 2018).

Освещение хода выполнения работ и перспектив разработки теоретических и практических основ «зеленой экономики» и влияния факторов, связанных с их осуществлением, представляет, на наш взгляд, новую стратегию организации работ по развитию журнала «Аридные экосистемы» и проведению исследований потенциала засушливых земель. Это новое направление, отвечающее интересам огромного количества людей, страдающих от роста интенсивности антропогенных воздействий с негативными последствиями. Такое направление открывает перспективы развития стратегии, представляя тем самым возможность проводить научные, прикладные идеи, способствующие усилению воздействий, которые направлены на ослабление процессов опустынивания, существенно снижающих риски в деградации окружающей среды (Ковда, 1977).

Актуальность проблемы, вытекающей из этого направления, объясняется тем, что общая площадь пустынь мира – 31.4 млн. км^2 (22% площади суши) – ежегодно расширяется под влиянием антропогенного фактора на 12 млн. га (Зонн и др., 2018). В настоящее время в пределах аридных земель живет более 30% населения мира (2 млрд. человек), причем, наибольшей густотой отмечаются периферийные регионы пустынь и засушливые области ксеротермального географического пояса. Их ареалы характеризуются разнообразием климатических, экологических, геоморфологических условий формирования почвенно-растительного покрова (Гунин, 1990; Петров, 1973). Расширение площадей земель, подверженных опустыниванию, деградации и влиянию современного климатического потепления – с одной стороны и ухудшение жизненных условий населения большинства регионов пустынь, и засушливых земель – с другой, свидетельствуют о наступлении нового этапа развития стратегии, призванного отразить изменения в условиях, оказывающих существенное влияние на взаимодействие природы и общества (Магомедов, 2016).

Прямая зависимость процессов роста населения и опустынивания (во времени и пространстве) приводится в работе Н.Г. Харина (2000), где рассматриваются рост численности населения и освоение новых земель как исторический процесс. Глобальная характеристика процессов опустынивания, по данным автора (табл. 2.), характеризуется значительным увеличением численности населения, страдающего от опустынивания: в 1977 г. – 57 млн. человек, а в 2005 г. – 250 млн. человек.

В настоящее время под угрозой опустынивания находятся около 1.5 млрд. человек в мире. Ежегодно более 100 млн. человек мигрируют из-за процессов опустынивания, засух, суховеев. Можно предположить наличие определенной зависимости между величиной миграции и ростом численности населения аридных земель с одной стороны и увеличением площадей пустынь и опустыненных земель с другой. Планетарное распространение разных категорий опустынивания показывает преобладающую роль площадей и численности страдающего населения, включая мигрантов (табл. 3).

При анализе данных по численности населения и занимаемым площадям отдельных категорий земель видно, что общая мировая тенденция идет в направлении расширения, усиления антропогенного опустынивания с демографическими изменениями. В отличие от общепринятого, прежнего понятия «антропогенного фактора» для деградированных аридных земель, целесообразно

использовать «человеческий фактор» с вложением содержания «жизнеспособность общества», где воздействие человека приводит к формированию «нейтральной деградации экосистем» и восстановлению биологического их потенциала. Антропогенный фактор в условиях опустынивания включает общественную деятельность человека, направленную на повышение его благосостояния и обеспечения социальной справедливости (Oldeman et al., 1992).

Таблица 2. Распределение населения по основным социально-экологическим системам аридных регионов мира.

Типы социально-экологических систем	1960 г.		1985 г.		2005 г.		2015 г.	
	млн.	%	млн.	%	млн.	%	млн.	%
Кочевое и полукочевое животноводство (условное поголовье)	20.5	9	19.0	4	18	5		
Богарное и орошаемое земледелие	134.0	59	266.0	63	24	62	17.5	3.8
Эксплуатация минеральных ресурсов и промышленность	9.5	4	18.0	4	18	4	23.1	60.4
Туризм и отдых	1.0	1	6.5	28	70	2		
Легкая промышленность и сервис	60.5	27	112.5		112	27	18.0	4
Итого:	227.5	100	412.0	100	450	100		

Таблица 3. Распространение категорий опустынивания земель в мире.

№	Категории опустынивания земель	Единицы измерения	Количественная величина	Численность населения, млрд., 2010 г.
1	Общая площадь суши	млрд. га	14.5	8.0
2	Пустыня, полупустыня природная	млн. км^2	29.0-31.4	1.5
3	Пустыня антропогенная	млн. га	264.5	0.6
4	Засушливые земли относительно территории суши	%	40.1	2.2
5	Суббореальные засушливые и сухие степи (по РФ)	млн. га	79.4	115.0
6	Луговые степи, гумидные	млн. га	581.8	–
7	Солончаки, солонцы, саванны сухие	млн. га	90.0	–
8	Пески и овраги относительно территории суши	млн. га	378	–
		%	2.8	
9	Нарушенные земли человеком, всего на суше земли	млн. га	450	–
		%	3.0	

Основной задачей нового этапа развития журнала становится освещение проблемы устойчивого развития экосистем, подверженных аридной деградации, с учетом местных особенностей, опыта, обычаев, традиций. Опираясь на принципы нового подхода, предлагается публикация проекта исследований отдельных факторов опустынивания на примере Прикаспийской низменности.

Параметры факторов этого региона определены на основе принципов, рекомендованных конференцией ООН по устойчивому развитию, состоявшейся в Рио-де-Жанейро в 2012 г.: устойчивое развитие при переходе к «зеленой экономике» ставит целью построить такой мир, где не будет деградации земель.

Для характеристики региональной специфики человеческий фактор «зеленой экономики» разделен на 2 блока.

1. Физико-географический блок включает функции антропогенного фактора в общепринятой

классической интерпретации – воздействие общества на природу.

2. Медико-биологический блок включает разработки, связанные с удовлетворением растущих человеческих потребностей в бытовом, образовательном, культурном и интеллектуальном аспектах. Как обязательное условие, второй блок охватывает уровень материальной обеспеченности людей, сокращения безработицы и бедности населения.

Представленные региональные компоненты второго блока по Прикаспийской низменности являются первой попыткой характеристики элементов «зеленой экономики» на примере регионов острозасушливого климатического пояса (табл. 4).

Подробный анализ второго блока связан с необходимостью выделения элементов и характеристикой их функций. Эти данные являются предварительными и требуют уточнения.

Таблица 4. Элементы «зеленой экономики» в антропогенном комплексе воздействий для аридных регионов Прикаспийской низменности.

№	Элементы «зеленой экономики»	Функции	%
1	Обеспечение питьевой водой	физиологические потребности	60
2	Обеспечение оросительной, технической водой	производственные цели	30-40
3	Наличие дорожной системы	производственные бытовые	70
4	Представление жилья	для работников	50
5	Транспортное обеспечение	производственное гражданское	30 40
6	Административное обеспечение	местное руководство	100
7	Медицинское обеспечение	население	30
8	Образовательные учреждения	учащиеся школ	85
9	Рабочие места, деловая обстановка	обеспеченности населения	60
10	Средняя зарплата на предприятии	не определено	
11	Средняя зарплата в регионе	ниже прожиточного минимума	60
12	Количество безработных на предприятии	не определено	–
13	Количество безработных в регионе	не определено	–
14	Обеспеченность работников предприятий продуктами питания	на 40% ниже нормы	–
15	Обеспеченность работников в регионе относительно требуемой величины рабочих мест	на 60% ниже нормы	–
16	Плотность населения	5-20 человек на 1 км^2	ежегодное уменьшение на 2-3
17	Динамика изменения численности работников аридных земель	%	15-20
18	Ежегодный отток населения	производственные	50
19	Ежегодный приток населения	производственные	20–30
20	Направление капитальных вложений	устранение деградации земель	–
21	Уровень плодородия почв	синтез биопродукции	60% от оптимума
22	Состояние водных источников	ежегодное уменьшение дебита	до 10-12

Из перечня элементов «зеленой экономики» и ее разнообразия видно, что локальные очаги опустынивания так сильно расширились, что приобрели планетарное распространение. Приведенная характеристика количественных признаков отличается функциональной зависимостью от факторов

локального, регионального, глобального значения. Достижение целей борьбы с опустыниванием в первую очередь зависит от водных ресурсов – обеспеченностью питьевой, оросительной, технической водой. Негативные последствия усиливаются высокими температурами, засухами, суховеями, ухудшением жизненных условий и увеличением бедности. Влияние этого фактора проявляется на разных уровнях, включая глобальные масштабы. Управление их может быть осуществлено локально, последовательно в ограниченных масштабах.

Относительно уровня плодородия почвы и состояния почвенного покрова следует указать на прогрессирующую тенденцию снижения нормативной урожайности освоенных почв и тяготение целинных разновидностей к опустыниванию и аридизации. Синтез биопродукции и размеры функционирующих площадей почв находятся в обратной пропорциональной зависимости от степени интенсификации антропогенного воздействия. Сфера функций почвенного покрова сокращается, уменьшается разнообразие, развиваются деградационные процессы.

Остальная часть перечня включает мероприятия организационного, производственно-хозяйственного, санитарного и экономического направления. Важную роль в техническом обеспечении выполнения объема полевых, камеральных, картографических работ играет средняя зарплата, установленная для предприятия в регионе. В большинстве регионов зарплату установленного размера получают не более 60% работников. У остальной части работников величина зарплаты равна или ниже прожиточного минимума. В сельских населенных пунктах, где проживают граждане пенсионного возраста, полевые работы выполняются ими, а молодые люди вынуждены мигрировать в другие регионы в поисках оплачиваемой работы. В настоящее время основными работниками в сельскохозяйственных угодьях пустынь и полупустынь являются граждане пенсионного возраста или молодые, получающие материальную поддержку от родителей.

Во многих регионах, особенно в Прикаспийской низменности, решающее значение в трудоустройстве молодежи имеет наличие возможностей обеспечения жильем или выделения земельного участка для индивидуального домостроения. Общие показатели обеспеченности нуждающихся жильем в сельской местности региона не превышает 50% от потребностей. Относительно плотности населения следует указать о широком диапазоне колебания численности населения 5-20 человек на 1 км^2. Этот показатель характеризуется уменьшением во времени, в результате ухода молодежи в другие регионы, где оплата труда относительно выше, с благоприятными природными условиями.

Транспортное обслуживание и состояние дорог характеризуются низкими показателями и неудовлетворительным обслуживанием населения, проживающего в условиях интенсивного проявления процессов опустынивания и аридизации. В Западном Прикаспии, Бажиганских песках и на юге Приморской полосы дороги, используемые в открытой степи, содержатся без специального технического ухода. Качество дорог определяется литологией территории, они, большей частью, выбиты и проложены бессистемно. Чем дальше углубляются дороги вглубь региона, тем хуже их состояние. В определенные сезоны грунтовые дороги засыпаются движущимися песками, прекращается движение транспорта, являющегося одним из главных условий, необходимых для осуществления мероприятий по борьбе с опустыниванием и закреплением песков. Бессистемно проложенная грунтовая дорожная сеть охватывает около 70% территории региона; на долю технически оснащенных систем дорог приходится не более 30% (Magomedov, 2016).

Особое значение имеет медицинское обслуживание населения, подверженного воздействию экстремальных (засушливых) условий. По официальным данным на 4 тыс. человек предусматривается организация лечебных пунктов с соответствующим медицинским персоналом среднего и высшего звена. Исключение составляют отдельные селения, хутора, кутаны, отличающиеся малочисленным населением. Общее количество медицинских пунктов в поселках, находящихся под постоянным влиянием засух, суховеев, пыльных бурь составляет примерно 30-40% от общего их количества. Относительно благополучное положение отмечается в количестве школ и образовательных учреждений. Более 85% детей школьного возраста охвачены учебой и воспитанием. Негативное влияние оказывает отсутствие хороших дорог и транспорта для детей в целях поездки в школы, находящиеся в соседних селениях. Образовательные учреждения полностью охватывают детей школьного возраста, обеспечивая стабильное обучение. Для обслуживания детей, живущих и обучающихся в зоне пустынь и полупустынь, целесообразно предусмотреть транспортные средства,

приспособленные для работы в крайне жарких условиях весенне-летнего сезона и относительно холодного зимнего периода.

Следует отметить необходимость представления квартир или земельных участков для индивидуального домостроения. Около 40% работников не обеспечены жильем (преимущественно молодые); они живут у родителей и близких родственников. Низкий уровень обеспеченности жильем и трудности при получении планов для индивидуального домостроения выступают в качестве факторов, тормозящих подготовку кадров и закреплению молодежи на местах. Состояние образовательных учреждений, школ, учебных зданий можно признать хорошим, соответствующим требованиям задач, решаемых в безводных условиях острозасушливого климата. Для поддержания стабильного обучения школьников необходимо оборудовать школы климатической техникой и строго соблюдать установленный график движения транспорта. Большое значение имеет определение количества рабочих мест и ликвидация безработных. Технологические приемы, осуществляемые в богарных или орошаемых условиях пустынных земель, отличаются в зональном аспекте местоположением региона и интенсивностью деградационных процессов (Глянц, Зонн, 1996).

Значительный объем работы, необходимой для использования подземных пресных вод, мобилизации парообразной влаги атмосферы в верхних горизонтах почвы, фитомелиорации остаются в тени. Технологические работы, входящие в комплекс мероприятий по борьбе с опустыниванием, увеличиваются, накапливаются хозяйственные работы по аккумуляции влаги в почве и регулированию их запасов. В тоже время усиливаются процессы деградации, аридизации (Виноградов и др., 1995), наземные экосистемы (пастбищные, освоенные в земледелии) теряют потенциал и переходят в категорию сильной степени опустынивания. Такая последовательность развития негативных процессов усиливается из-за недооценки разработок, представленных в национальных программах действий по борьбе с опустыниванием. Отмеченные негативные тенденции в настоящее время усиливаются, способствуя уменьшению плотности населения с оттоком работников в другие районы. Сложилось нестабильное распределение работников, связанных с использованием аридных земель: избыток квалифицированных работников в районах, близко расположенных к городам, промышленным, культурным, торговым центрам. Параллельно формируется большой дефицит в работниках, непосредственно занятых для работы в условиях развития ветровой эрозии, засух и суховеев. Ежегодный отток работников из безводной засушливой зоны пустынных и полупустынных земель составляет более 50%. Возвращение работников-мигрантов в свои прежние места проживания осуществляется в ограниченном объеме – до 20%. В результате уменьшается численность людей, проживающих в зоне деградированных пустынных земель, и подавляется стабильность системы устойчивого землепользования (Dregne, 1991).

Указанные особенности «зеленой экономики» должны планомерно учитываться в перспективе социально-экономического развития регионов. Подытоживающим результатом такого подхода являются выделенные размеры и направления капитальных вложений в целях социально-экономического развития, как ведущего фактора борьбы с опустыниванием земель и обеспечения устойчивого социально-экономического развития.

Из большого разнообразия факторов опустынивания важная роль в формировании негативных последствий принадлежит также современной геополитической напряженности и проявлению природных аномалий, лесных пожаров, оползней, наводнений и территориальных межгосударственных конфликтов.

Таким образом, новый этап развития стратегии исследований засушливых земель мира декларирует приоритеты «зеленой экономики», способствуя внедрению обоснованных программ социально-экономического развития общества с учетом естественной эволюции живой природы.

Заключение

Развитие учения о пустынях и концепции борьбы с опустыниванием на разных уровнях за последние 25 лет явилось основным направлением научной деятельности ученых и практиков аридных регионов мира. Достигнутые успехи журнала "Аридные экосистемы" отражены в рейтинговой форме публикаций и в результатах опубликованных работ. Успешное развитие журнала в научном и практическом отношениях вступает в новый этап, направленный на повышение практической эффективности воздействий сокращения разрыва, образовавшегося между уровнем

научных исследований и их практическим применением. Для уменьшения этого разрыва принята попытка дать обзор тех прикладных направлений, которые являются приоритетными в работе научной общественности и практических работников. Основные направления исследований стратегии приведены в приемлемой форме для регионов Прикаспийской низменности, где процессы опустынивания и деградации земель, проявляются в разной степени и разных направлениях.

1. За истекший период журнал "Аридные экосистемы" достиг высокого уровня развития в федеральном и международном масштабах и вошел в перечень рецензируемых изданий и базы данных ВИНИТИ, Scopus и WoS. Публикуемый материал получил высокую оценку в перерегистрации Президиумом Высшей аттестационной комиссии, журнал остался в списке изданий ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Создан творческий коллектив авторов, рецензентов, подписчиков, успешно работают редколлегия, редсовет, в состав которых вошли ведущие ученые нашей страны и иностранных государств.

2. Установленные закономерности проявления процессов естественного и антропогенного опустынивания получили международное признание и легли в основу национальной программы действий по борьбе с опустыниванием стран Центральной Азии и аридных регионов России. Объем проведенных исследований по фундаментальной и прикладной части равен по величине и занимает 80-85% от общего объема опубликованного материала. Малая часть публикаций приходится на долю статей, посвященных внутренним водоемам и хронике. Содержание журнала имеет междисциплинарный характер с выделением главной научной проблемы, используя комплекс фундаментальных естественнонаучных дисциплин: климатологии, почвоведении, геоботаники, гидрогеологии, зоологии и др. На оригинальность и приоритетность исследований поступают отзывы от зарубежных ученых с последующим обсуждением материала.

3. Переход к новому этапу развития стратегии исследования означает определение приоритета прикладных исследований в рамке «зеленой экономики» на основе устойчивого социально-экономического развития. Содержание ее сводится к дифференциации действий человеческого фактора на блоки: а) физико-географический – функции антропогенного фактора в общепринятой классической интерпретацией; б) медико-биологический – разработки, связанные с удовлетворением растущих потребностей человека в бытовом, образовательном, культурном и интеллектуальном аспектах, охватывая уровень материальной обеспеченности людей.

4. Направление и структура прикладных исследований социального направления составляют новый этап развития журнала и слагаются из разнообразия действующих элементов «зеленой экономики», входящих в состав антропогенных воздействий. Особенность представленных элементов – многообразие и повсеместный характер очагов проявления, ареалы которых по площадям колеблются в широком диапазоне. Степень воздействия элементов «зеленой экономики» и их количественная характеристика имеют функциональную зависимость от факторов почвообразования в локальном, региональном и глобальном масштабах. Состав и количество элементов «зеленой экономики» способствуют достижению прикладных задач организационного, производственно-хозяйственного и экономического направлений.

5. Основой задачей нового этапа развития стратегии с фундаментальной стороны выдвигается приоритет разработок закономерностей, раскрывающих глубокие изменения, происходящие в физико-химических, биологических свойствах компонентов экосистем пустынь, полупустынь и засушливых земель. С позиций выполнения прикладной части нового подхода приоритетными являются устранение отставания исследований прикладного направления и поиск новых решений для выявления различных форм деградации земель, возникших в условиях геополитической напряженности, обнищания населения и территориальных конфликтов. Опираясь на современные достижения и новые концепции стратегии, ученые, практики, натуралисты при поддержке международных организаций будут способствовать успешной реализации программы новой стратегии борьбы с опустыниванием земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаев А.Г. 1980. Историко-географический анализ динамики пустынных экосистем // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 18-25.

Бананова В.А. 1992. Антропогенное опустынивание аридных территорий Калмыкии. Автореферат дис. ... док.

геогр. наук. Ашхабад. 44 с.

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.

Глянц М.Г., Зонн И.С. 1996. Научные, природоохранные и политические проблемы в Прикаспийском регионе // Аридные экосистемы. № 2. С. 181-184.

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

Гунин П.Д., Панкова Е.И. 2016. История формирования и основные понятия концепции опустынивания в отечественной науке // Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием. Труды Института геологии ДНЦ РАН. Вып. 67. С. 15-19.

Добровольский Г.В. 1978. Эколого-генетические принципы классификации аллювиальных пойменных и дельтовых почв // Биологическая продуктивность дельтовых экосистем Прикаспийской низменности. Махачкала: ПИБР ДНЦ РАН. С. 26-29.

Залибеков З.Г., Баламирзоев М.А., Мамаев С.А., Идрисов И.А. 2012. Геоинформационная система – «Почвы Дагестана» // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 61. С. 207-211.

Залибеков З.Г., Биарсланов А.Б., Мамаев С.А., Асгерова Д.Б., Галимова У.М. 2017. Региональные особенности распространения почв дельтовых экосистем и возможности их применения на картах разных континентах // Аридные экосистемы. Т. 23. № 2. С. 3-11. [*Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B., Mamaev S.A., Asgerova D.B., Galimova U.M., Sultankhamedov M.S.* 2017. Regional Distribution Patterns of Soils in Delta Ecosystems and their Potential Use on Different Continents // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 2. P. 73-79.]

Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Мирзоев Э.М.Р., Биарсланов А.Б. 2019. О значении электронной базы данных почв Дагестана в рациональном использовании почвенных ресурсов // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 2 (77). С. 101-110.

Залибеков З.Г., Новикова Н.М. 2016. Журнал «Аридные экосистемы» и современное состояние аридных земель мира // Сборник материалов научно-практической конференции. Волгоград. С. 5-15.

Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В. 2017. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3. С. 3-16. [*Zonn I.S., Kust G.S., Andreeva O.V.* 2017. Desertification Paradigm: 40 Years of Development and Global Efforts // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 131-141.]

Зонн И.С., Куст Г.С., Орловский Ши Пей Чжун, Тянь Юй-Чжао. 2018. Пустыни и опустынивание. Энциклопедия. М.: Международные отношения. 752 с.

Ковда В.А. 1977. Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука. 272 с.

Кулик К.Н. 2016. Субрегиональная национальная программа действий по борьбе с опустыниванием для юго-востока Европейской части РФ // Антропогенная деградация ландшафтов и экологическая безопасность. М.-Волгоград. С. 141-165.

Магомедов Р.А. 2016. Геоэкологические аспекты поиска палеосейсмодислокаций и палеодеформаций в осадочном чехле мезозойского комплекса Восточного Кавказа. Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием // Труды ИГ ДНЦ РАН. Вып. 67. С. 304-309.

Мамаев С.А., Баламирзоев М.А., Залибекова М.З. 2015. Особенности почвенного картографирования в условиях аридного климатического режима // Аридные экосистемы. Т. 21. № 1 (62). С. 22-27. [*Mamaev S.A., Balamirzoev M.A., Zalibekova M.Z.* 2015. Features of Soil Cartography in Conditions of an Arid Climatic Regime // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 1. P. 14-17.]

Петров М.П. 1973. Пустыни земного шара. Л.: Наука. 435 с.

Харин Н.Г. 1998. Роль социальных факторов в процессе деградации земель // Восстановление и использование эродированных земель. Волгоград: ВНИАЛМИ. С. 166-182.

Харин Н.Г. 2000. Социально-зкономические последствия опустынивания // Антропогенная деградация ландшафтов и экологическая безопасность. Сборник лекций международных учебных курсов ЮНЕП/ЦПМ/ВНИАМИ, 6-26 сентября 1999 г. / Ред. Е.С. Павловский, К.Н. Кулик. Волгоград: ВНИАЛМИ. С.151-165.

Magomedov R.A. 2016. On the Ecological Aspect of Modern Seismicity of the Eastern Caucasus Territory // Arid Ecosystems. Vol. 22. No. 2 (67). P. 41-47.

Dregne H.E. 1991. Desertification costs: Land damage and rehabilitation Report to the United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. 48 p.

Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A, Sombrek W.Z.W. 1992. Map of the status human-induced soil degradation. JSRJC – UNEP. No. 16. 27 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с.14-22

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.55:551.5

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФЛУКТУАЦИИ СУХИХ СТЕПЕЙ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ДЕМУТАЦИИ

© 2020 г. А.М. Пугачёва

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

Поступила в редакцию 20.09.2019. После доработки 01.04.2020. Принята к публикации 01.04.2020

Впервые представлены результаты анализа сухих степей по влагообеспеченности сезонов активной вегетации. Рассмотрены климатические флуктуации и определена их специфика. Вопреки общепризнанному мнению, что максимум осадков в степной зоне приходится на летний период являясь ее характерной особенностью проецируя этот показатель на все подзоны, за анализируемые 64 года в сухой степи Нижнего Поволжья выявлено, что только в 39% лет максимум осадков приходится на лето, в 27% этим периодом является весна, оставшиеся 34% это осень. Анализ временных рядов по сезонам влагообеспеченности за более чем полувековой период показал общий тренд снижения количества осадков летнего периода, и их увеличение весной и осенью. Обработка временных рядов методом экспоненциального сглаживания и проведенный регрессионный анализ свидетельствуют о динамике увеличения после переломных 1989, 1990 гг. влажности весеннего периода, достоверность подтверждена t-критерием Стьюдента (величина вероятности 0.0005), при снижении показателей осеннего (величина вероятности 0.01). Эти особенности характеризуют процессы демутации вторичных фитоценозов залежей в виде доминирования в них рыхлодерновинных и плотнодерновинных злаков, для которых влагообеспеченность поздневесеннего периода (май месяц) и раннелетнего (июнь) играют основное значение в генеративном процессе. Число выявленных в изучаемых фитоценозах видов семейства Poaceae составило 28 с долей участия 24.5%. Особенности влагообеспеченности свидетельствуют также об изменении климата сухих степей в сторону аридизации. Также этот факт характеризует присутствие в растительных сообществах эфемеров и эфемероидов, для которых осадки весеннего периода являются основным фактором в обеспечении жизнедеятельности. Число их видов составляет 8% от общечисленного.

Ключевые слова: климатические флуктуации, сухие степи, демутации, растительные сообщества, фитоценозы, метод экспоненциального сглаживания, регрессионный анализ.
DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10102

Сухие степи занимают в Российской Федерации площадь 28 млн. га (Орлов, Бирюкова, 1995), представляя большой научный интерес как уникальные природные экосистемы и как территории, широко вовлеченные в сельскохозяйственную деятельность. Это подчеркивается многочисленными исследованиями современности: фитоценозы субаридных ландшафтов, включая сухие степи, изучает И.Н. Сафронова (2008), демутации в постагрогенных агролесоландшафтах сухих степей – К.Н. Кулик и А.М. Пугачёва (2016), постагрогенные сухостепные почвы Западного Забайкалья – Э.О. Чимитдоржиева (2017), биоразнообразие степных экосистем Тувы – А.Д. Самбуу (2016), приемы земледелия в сухой степи Бурятии – А.К. Уланов (2018), биологическую активность современной и погребенной каштановых почв сухих степей Н.Н. Каширская с соавторами (2013), агроклиматический мониторинг сухой степи Алтайского края проводит Р. Майсснер с соавторами (2017), в тоже время многие другие исследования охватывают всю территорию сухих степей Российской Федерации. По Г.Н. Высоцкому сухая степь не образует в Европейской России сплошной полосы, а представляет собой три обособленных района: восточный – Заволжский, средний – Задонский и Северо-Кавказский (за Манычем), а также западный – Понтический, разделенные волжским сдвигом, что обусловлено значительной разницей высот и климатическими характеристиками (Высоцкий, 1915). Все районы объединены преобладающим типом почв и бывшим целинным растительным покровом, зависят, главным образом, от влажности климата в части

перераспределения осадков. При их уменьшении сокращается продолжительность теплого периода расхода влаги (на севере и востоке) и увеличивается влажность воздуха, например, в Приморье. Из всех районов в целом и их отдельных частей особенно выделяется Задонский район, более вытянутый по меридиану вдоль Ергеней и южнее, существенно отличаясь от других по температурным условиям и условиям зимне-весеннего перераспределения осадков. На территории данного района находится объект исследований. Основные зональные типы растительного покрова природных зон совпадают с почвенными типами. Темнокаштановые и каштановые почвы являются зональными почвами полосы сухих степей (Ковда, 1950). Каждой зоне соответствует свой тип растительности, совпадающий с ее названием. Такой тип, степной, соответствует степной зоне в целом, несмотря на ее большую вариабельность. Юг Европейской России, например Волгоградский регион представлен выраженным подзональным делением, здесь присутствуют уровни, первого и второго порядка выделенные И.Н. Сафроновой (1975). Так три подзоны первого порядка представлены разнотравно-типчаково-ковыльными степями на обыкновенных и южных черноземах, сухими типчаково-ковыльными степями на темнокаштановых и каштановых почвах и пустынными полынно-типчаково-ковыльными степями на светлокаштановых почвах. Подзона сухих степей в свою очередь делится на две подзоны второго порядка – северную и южную но, несмотря на подзональные модификации, что соответствует почвенно-растительным условиям территорий, степной тип растительности сохраняется. По мнению Сафроновой И.Н. (1975), сухие степи уже во второй половине XX века являлись почти полностью распаханными. С большими площадями в настоящее время нарушенных земель и их залежным режимом связан интерес изучения демутационных процессов в режиме самовосстановления. Общепризнано, что климатические условия (осадки и температура) определяют зональные границы той или иной природной зоны и влияют на господство на данной территории одного или нескольких типов растительности. В данной работе тип растительности понимается как набор экобиоморф, что подразумевает «совокупность сообществ разных жизненных форм, объединенных генетически и условиями физико-географической среды» из которых выделяются особо характерные (Сафронова, 2012). Оценка особенностей климатических флуктуаций по показателю влагообеспеченности подзоны сухих степей на примере Нижнего Поволжья является целью данных исследований. Для ее достижения необходимо решение следующих задач: определить особенности распределения осадков на изучаемой территории по сезонам активной вегетации, выявить динамику их распределения, тренды и их особенности, а также обосновать наличие в постагрогенных фитоценозах доминантов, содоминантов, эфемеров и эфемероидов в зависимости от сезонной влагообеспеченности.

Материалы и методы

Объектом исследований являлась территория сухих степей общей площадью 7297 га, расположенная в Иловлинском районе Волгоградской области. Координаты объекта 49° 06' 52'' с.ш., 44° 07' 52'' в.д. В настоящее время около 30% земель сельскохозяйственного назначения на данной территории имеют статус многолетней залежи (более 25 лет). Они находятся в процессе естественного зарастания. Климат района исследований резко континентальный. Амплитуда годовых температур колеблется от -30°С в январе до +40°С в июле месяце. Среднемноголетняя норма осадков составляет 300-400 мм, испаряемость за вегетационный период превышает количество осадков в 2-2.5 раза. На территории часто проявляются такие явления как засухи, часто имеющие затяжной и даже катастрофический характер. Почвенный покров сложный, мозаичный с явным преобладанием каштановых почв, облегченного механического состава, слабо и среднесолонцеватые, с содержанием гумуса в пределах 2%.

При исследовании условий влагообеспеченности использовались данные по атмосферным осадкам метеостанции Нижневолжского НВНИИСХ-филиала ФНЦ агроэкологии РАН, расположенной на территории сухих степей Волгоградской области. Период наблюдений составил 64 года с 1955 по 2018 гг. Из рядов данных по атмосферным осадкам выделялись временные ряды по сезонам активной вегетации: весна (март-май), лето (июнь-август), осень (сентябрь-ноябрь). Так как зона исследований характеризуется резко континентальным климатом с частыми отклонениями показателей, при анализе временных рядов для минимизации влияния локальных и экстремальных аномалий, был применен метод экспоненциального сглаживания. Данный метод хорошо зарекомендовал себя при обработке данных по различным направлениям исследований: при изучении

экономического цикла (Заяц, 2011), при анализе колебаний приземной температуры воздуха на примере Башкирии (Васильев, 2015). При обработке метеоданных этот метод имеет ряд преимуществ: он позволяет комплексно и детально обработать большой временной ряд и выявить основную тенденцию направления, что после построения экспоненциальных графиков и коррелограмм дает четкую и наглядную картину динамических процессов, исключив случайную составляющую. В наших исследованиях ему отдано предпочтение, так как значения многолетних динамических рядов данных сильно колеблются.

С помощью примененного регрессионного анализа построены линейные тренды и получены уравнения. Статистическая значимость полученных результатов подтверждена t-критерием Стьюдента. Анализ общих ботанических списков залежных фитоценозов за 10-летний период с 2008 по 2018 гг. позволил определить общий видовой состав и их обилие по шкале Браун-Бланке. Названия растений даны по работе С.К. Черепанова (1995).

Результаты и обсуждение

Растительность сухих степей, относясь к степному типу, имеет свои особенности связанные со спецификой физико-географической среды, выражаясь в совокупности сообществ растений разных жизненных форм. Общепризнанным является тот факт, что по мере продвижения в южном направлении, в подзональном делении уменьшается роль разнотравья, а в южной подзоне, которой является сухая степь, содоминантами в травостое выступают ксерофильные полукустарнички, являющиеся доминантами в фитоценозах пустынной зоны. Основными значимыми факторами влияющими на формирование растительности вторичных фитоценозов, являются температура и влага. В данном исследовании проводится анализ влагообеспеченности по сезонам активной вегетации.

Господство плотнодерновинных злаков, по мнению Б.А. Келлера (1938), А.В. Прозоровского (1940) и И.Н. Сафроновой (2008), присутствует в пределах широтной полосы, максимум осадков в которой приходится на летние месяцы. Их годовое количество изменяется от 250 до 400 мм, при испарении 800-900 мм. Сумма температур выше +10°С распределяется от 2200°С на севере до 3400°С на юге зоны (Сафронова, 2008). Почему же в сухих степях в травостоях присутствуют представители как степного, так и пустынного типов растительности, при преимуществе в качестве доминантов степных видов? Проведённый анализ условий влагообеспеченности сухой степи Нижнего Поволжья на примере Волгоградской области за 64-летний период показал, что лишь в 39% лет влагообеспеченность проходит характерно для степной зоны, то есть с максимумом осадков приходящихся на летний период (рис. 1). В 27% лет этим периодом является весна, являясь при максимальных показателях характерной особенностью зоны пустыни, на осень приходится 34%.

Представленная на рисунке 1 диаграмма наглядно свидетельствует, что начиная с 1990-х годов, наблюдается снижение количества осадков приходящихся на летний период, выражаясь как в показателях максимальных значений, так и в их общем количестве.

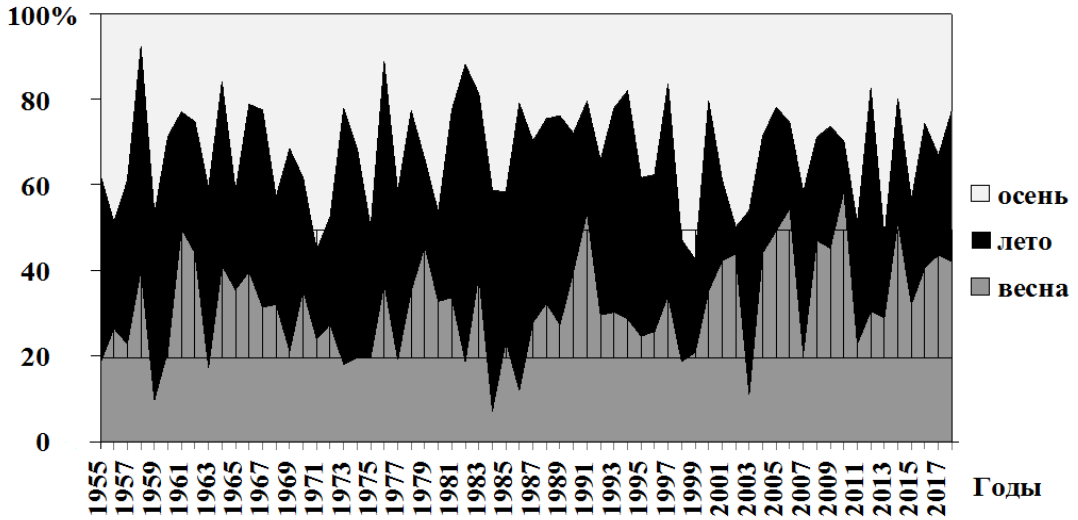


Рис. 1. Сезонная динамика осадков с 1955 по 2018 гг. в %.

Анализы сезонных временных рядов, представленные на рисунках 2-4, показали, что динамика влагообеспеченности изменяется за 64 года не одинаково. У летнего периода при наличии разнонаправленности составляющих периодов, выявлен небольшой достоверный линейный тренд снижения в выпадении осадков, у весеннего и осеннего – наоборот – достоверный тренд увеличения.

Представленная кривая временного ряда поступления осадков в летний период (рис. 2) и их статистическая обработка методом корреляции выявила выраженные разновременные противоположно направленные флуктуации поступления влаги, которые за 64 года дважды поменяли направление с разными составляющими амплитуд колебаний, попадая в диапазон от 21 до 310 мм, демонстрируя нарушение корреляции.

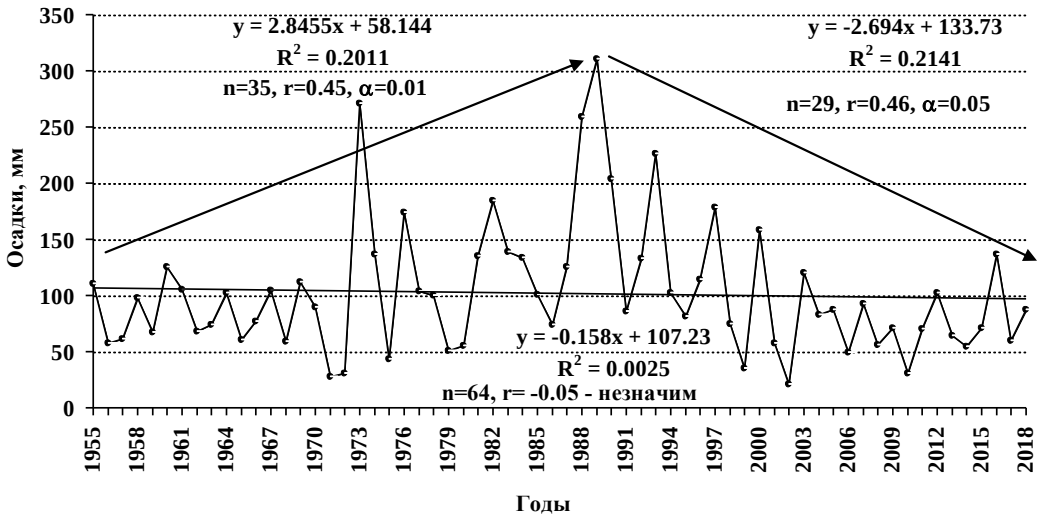


Рис. 2. График временного ряда осадков летнего периода с применением метода экспоненциального сглаживания и его линейный тренд.

В изучаемых временных рядах по всем сезонам выделены годы с максимальными показателями поступления влаги. Выявленный пик составляет 310 мм в летний период, весна – 248.4 мм, осень – 174.6. В наших исследованиях годы с наибольшими показателями осадков считаются переломными (1989 год для летнего сезона, 1990 год – для весны и осени), деля изучаемые временные ряды на два периода.

Общий небольшой и явный после переломного года достоверный тренд снижения осадков летнего периода (рис. 2) может, по всей видимости, объясняться тенденцией аридизации климата, которая выявлена по метеоданным сухих степей Волгоградской области. Для проецирования данного вывода на всю территорию сухих степей, необходимо проведение дополнительных исследований в различных регионах изучаемой подзоны Российской Федерации.

Анализ весеннего и осеннего сезонов показал иную картину. На рисунке 3 представлен временной ряд по влагообеспеченности весеннего сезона, демонстрирующий достоверный тренд увеличения поступающих осадков.

При этом весенний период демонстрирует частые и сильные колебания количества поступающих осадков по годам исследований. Число засух весной составляет 19, что объясняет низкий уровень продуктивности естественных фитоценозов (Пугачёва, 2016). Также этот факт объясняет самый низкий показатель средней урожайности зерновых культур Волгоградской области среди регионов ЮФО и связанное с этим недополучение продукции растениеводства (Пугачёва, 2018).

После переломного 1990 года в весенний период единственный из изучаемых сезонов имеет положительный тренд поступления осадков (рис. 3).

Влагообеспеченность осеннего сезона, представленная на рисунке 4, выявила также общий возрастающий тренд. Этот период по поступлению осадков является самым стабильным из рассматриваемых сезонов активной вегетации, несмотря на два выраженных разнонаправленных цикла, до и после переломного 1990 года. Число засух составляет 4.

В таблице 1 представлены уравнения линейной регрессии. Сравнительный анализ двух периодов

до и после переломных лет весны и осени показал достоверное увеличение поступления осадков. Величина вероятности 0.0005 (по Стьюденту) в весенний сезон и 0.01 в осенний меньше уровня значимости α=0.03 (для 97% вероятности), что отвергает нулевую гипотезу.

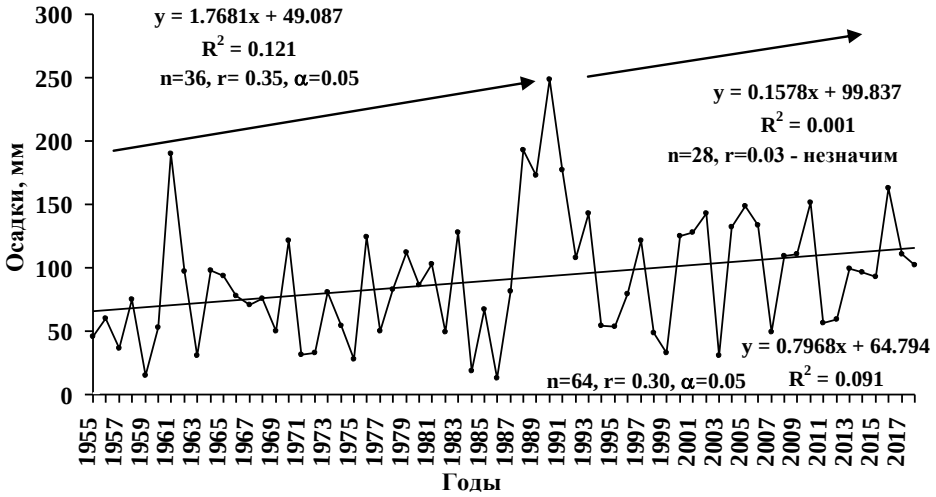


Рис. 3. График временного ряда весеннего сезона, построенный методом экспоненциального сглаживания и его линейный тренд.

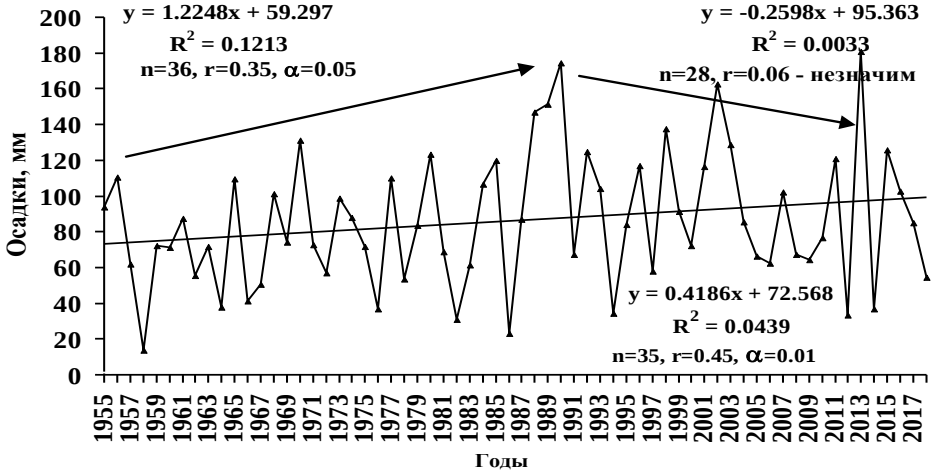


Рис. 4. График временного ряда осеннего сезона методом экспоненциального сглаживания и его линейный тренд.

Следовательно, различия по количеству поступающих осадков являются не случайными, позволяя сделать вывод о достоверной смене условий влагообеспеченности, увеличения их в весенний период и уменьшения в осенний.

Направления прямой регрессии в летний и осенний сезон, поменяв вектор в противоположное направление после переломных лет, свидетельствуют о динамике снижения количества поступающих осадков. Увеличение общего тренда весеннего сезона, подтверждается также его возрастанием после переломного 1990 года, характеризуя специфику условий влагообеспеченности этого сезона. Увеличение количества осадков весеннего периода, являясь отличительной особенностью пустынь, определяет тенденцию аридизации климата.

Представленные данные по влагообеспеченности сезонов активной вегетации демонстрируют основные направления изменения климата. Но гипотеза по аридизации сухих степей, в сторону опустынивания за счет уменьшения количества осадков летнего периода (максимум которых является характерной чертой степной зоны) и увеличение их в весенний период, что является

характеристикой зоны пустыни, требует более глубоких и продолжительных исследований.

Таблица 1. Статистический анализ линейных трендов до и после переломных лет.

Сезон года	Уравнение регрессии	Для 97% вероятности	
		St - стандартная ошибка	t-критерий Стьюдента
Весна	y=1.7681x+49.087[1]	8.92	0.000592
	y=0.1578x+99.837[2]	7.75	
Лето	y=2.8455x+58.144[1]	10.98	0.571637
	y=-2.694x+133.73[2]	9.20	
Осень	y=1.2248x+59.297[1]	6.17	0.012479
	y=-0.2598x+95.363[2]	7.05	

Примечание к таблице 1. Цифрами указаны тренды: [1] – период до 1989-1990 гг. включительно, [2] – после 1989-1990 гг.

Рассмотренная влагообеспеченность сезонов активной вегетации, являясь одной из главных зональных характеристик, оказывает непосредственное влияние на формирование видового состава вторичных растительных сообществ. Это связано с особенностями жизненного цикла, зависимостью репродуктивной активности коренных представителей степных ценозов, например, злаков, от климатических факторов в частности от соотношения тепла и влаги, что непосредственно оказывает влияние на интенсивность формирования генеративных побегов. Анализ общего флористического списка изучаемых старовозрастных залежных фитоценозов показал, что ведущие места занимают семейства – Poaceae и Asteraceae, являющихся доминантами и содоминантами (Кулик, Пугачёва 2016), которые составляют 43% от общего количества видов растений. В таблице 2 представлено их распределение по семействам и родам.

Таблица 2. Основные семейства доминантов и содоминантов вторичных фитоценозов по числу видов и родов.

№	Семейство	Число видов растений	Доля от общего числа видов, %	Число родов
1	Poaceae	28	24.5	15
2	Asteraceae	22	19.2	16

Степной тип растительности подразумевает господство в травяных растительных сообществах ксерофильных и часто склерофильных дерновинных трав, в исследуемых фитоценозах дерновинные злаки представлены родами *Stipa, Fectuca, Agropyron, Koeleria* и другими. Наибольшей встречаемостью обладают следующие виды: *Festuca valesiaca* Gaudin, *Agropyron pectinatum, Stipa lessingiana, Koeleria gracilis.* По мнению Е.М. Лавренко (1991), жизненная форма степных злаков, имеет преимущество перед другими экобиоморфами в условиях неблагоприятного водоснабжения, низких температур в зимний период и большой антропогенной нагрузки. Анализируя генеративный потенциал злаков в соответствии с рассматриваемой влагообеспеченностью по этапам онтогенеза, можно объяснить значимость для них осадков как весеннего, так и летнего сезонов. По данным В.М. Свешниковой с соавторами (1976), у дерновинных злаков, произрастающих на южном пределе их распространения, увеличена амплитуда максимальных и минимальных значений физиологических показателей. На VIII этапе онтогенеза, по данным Ф.М. Куперман (1955), а в изучаемой подзоне этот этап приходится на май месяц, засушливые условия приводят к недоразвитию генеративных органов в цветках, а на IX-X этапе (июнь месяц), в случае засухи количество стерильных цветков увеличивается на 50-60%. За период проведенных исследований летом засуха наблюдалась 7 раз, весной – 19 раз. Наличие в изучаемых временных рядах лет с максимумом осадков как в летний, так и в весенний периоды, объясняет доминирование в изучаемых фитоценозах сухих степей злаков

семейства Poaceae, несмотря на нестабильность влагообеспеченности, являющуюся основой генеративных процессов.

Содоминантами в травостое являются полукустарнички *Artemisia lerchiana* и *A. scoparia*, которые, будучи пустынными видами, также типичны для сухих степей (табл. 3). Эта особенность связана с их экологической амплитудой, позволяющей им распространяться как в степной, так и в пустынной зонах. В исследованиях полыни представлены 7-ю видами. Большим обилием отличается вид *A. lerchiana*, который, по данным И.Н. Сафроновой (2016), имеет широкую экологическую амплитуду распространения, с ареалом, заходящим как в степную, так и в пустынную зоны. У пустынных растений диапазон показателей водного режима существенно меньше, хотя максимальные значения выше.

Таблица 3. Наличие и обилие в изучаемых фитоценозах основных доминантов и содоминантов.

Семейство	Латинское название вида растения	Шкала обилия*
Poaceae	*Festuca valesiaca*	2
	Stipa lessingiana	2
	Agropyron pectinatum	2
	Koeleria gracilis	1
	Eremopyrum triticeum	1
	Stipa capillata	1
	Bromopsis inermis	1
Asteraceae	*Artemisia lerchiana*	2
	Artemisia scoparia	1
	Artemisia vulgaris	1
	Artemisia pauciflora	+

Примечания к таблице 3. * – шкала обилия дана по Браун-Бланке: + – вид редок, имеет малое пп.; 1 – особей вида много, но пп. невелико или особи разрежены; 2 – число особей вида велико, пп. 5-25%; 3 – число особей вида любое, пп. 25-50%; 4 – число особей вида любое, пп. 50-75%; 5 – число особей вида любое, пп. больше 75%.

Преимущество по влагообеспеченности весеннего периода в 27% случаев оказывает определяющее влияние на наличие в сообществах коротковегетирующих видов: многолетников (эфемероидов) и однолетников (эфемеров). Они представлены видами *Allyssum desertorum*, *Erophila verna* и другими. Доля их участия в травостоях составляет 8% от общего числа видов.

Представители степной группы занимают ведущее место в эколого-ценотическом спектре изучаемых растительных сообществ – 58%, что характеризует, во-первых, направление восстановительного процесса в сторону климаксовых степных ценозов, а во-вторых, указывает на его незавершенность.

Выводы

Проведенный анализ временных рядов влагообеспеченности по сезонам активной вегетации за 64 года выявил их общие тренды, которые демонстрируют снижение поступления осадков летом и увеличение весной и осенью. Выполненный регрессионный анализ по двум периодам поступления осадков до и после переломных лет (1989, 1990 гг.), когда наблюдались их максимальные значения, выявил характерные климатические флуктуации сухих степей, свидетельствующие об изменении климата в сторону аридизации за счет увеличения осадков весеннего периода, являющихся характерной особенностью пустынной зоны.

Несмотря на климатические флуктуации, которые лишь в 39% случаев позволяют изучаемой подзоне соответствовать по показателям влагообеспеченности характеристикам степной зоны (где максимум осадков приходится на летний период), господствующими во вторичных фитоценозах являются рыхлодерновинные и плотнодерновинные злаки. Для генеративных процессов которых важны осадки как весеннего, так и осеннего периодов. Доля их участия в общем числе видов – 24.5%.

Ксерофильные полукустарнички, выступая доминантами в пустыне, для сухих степей являются характерными видами, выступая в изучаемых фитоценозах содоминтами. В изучаемых фитоценозах их обнаружено 7 видов. Осадки весеннего периода являются определяющими для наличия во вторичных фитоценозах эфемеров и эфемероидов, количество видов которых составляет 8% от общего числа всех видов в сообщкствах. Зональность является основополагающим фактором, влияющим на восстановление растительности вторичных фитоценозов, внося климатическими особенностями коррективы в соотношении видов в растительных сообществах и позволяя сосуществовать в них видам характерным для разных типов растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев Д.Ю., Ферапонтов Ю.И. 2015. Тренды в колебаниях приземной температуры воздуха на примере Башкирии // Известия РАН. Серия географическая. № 1. С. 77-86.

Воскобойников Ю.Е. 2008. Эконометрика в EXCEL: учебное пособие. Ч. 2. Анализ временных рядов. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 152 с.

Высоцкий Г.Н. 1915. Ергеня. Культурно-фитологический очерк // Труды Бюро по прикладной ботанике. Т. 8. № 10-11. С. 1113-1443.

*Заяц О.*А. 2011. Исследование цикличности урожайности зерновых культур Волгоградской области методом спектрального анализа // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского бизнеса. № 4 (17). С. 186-191.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В. 2016. Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000-2014 гг. // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1 (66). С. 5-10. [*A.N. Zolotokrylin, T.B. Titkova, E.A. Cherenkova, V.V. Vinogradova.* 2016. Dynamics of Summer Moistening and Biophysical Parameters of Arid Pastures in the European Part of Russia in 2000-2014 // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 1. P. 1-7.]

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. 1995. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. № 1. С. 21-32.

Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Дёмкина Т.С., Салманова К.А., Кузнецова Ю.С., Дёмкин В.А. 2013. Биологическая активность современной и погребенной каштановых почв сухих степей // Аридные экосистемы. Т. 19. № 2 (55). С. 64-79. [*Kashirskaya N.N., Khomutova T.E., Demkina T.S., Salmanova K.A., Kuznetsova Yu.S., Demkin V.A.* 2013. Biological Activity of Modern and Buried Dry-Steppe Chestnut Soils // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 2. P. 106-112.]

Келлер Б.А. 1938. Главные типы растительности СССР // Растительность СССР. М., Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1. С. 133-181.

Кулик К.Н., Пугачёва А.М. 2016. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1 (66). С. 77-85. [*Kulik K.N., Pugacheva A.M.* 2016. The Structure of Plant Communities of Fallow Land in the System of Protective Forest Plantations in Dry Steppes // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 1. P. 63-69.]

Куперман Ф.М., Дворянкин Ф.А., Ростовцева З.П., Ржанова Е.И. 1955. Этапы формирования органов плодоношения злаков. М.: Издательство Московского университета. 319 с.

Ковда В.А. 1950. Почвы Прикаспийской низменности (Северо-западной части). Научный отчет о результатах исследований, проведенных в 1932-1938 гг. М.-Л.: АН СССР. 256 с.

Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. 1991. Степи Евразии. Л.: Наука. 145 с.

Майсснер Р., Рупп Х., Шмидт Г., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Мацюра А.В., Рудев Н.В., Кожанов Н.А., Пузанов А.В., Балыкин Д.Н. 2017. Агроклиматический мониторинг сухой степи Алтайского края // География и природопользование Сибири. № 23. С. 121-139.

Прозоровский А.В. 1940. Полупустыни и пустыни СССР // Растительность СССР. М.., Л.: Изд-во АН СССР. Т. 2. С. 207-480.

Пугачёва А.М. 2016. Восстановление экосистем на залежах на комплексных каштановых почвах сухих степей // Вестник АПК Ставрополья. № 1 (21). С. 234-240.

Пугачёва А.М. 2018. Агролесомелиоративные системы – основа развития земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. № 1 (49). С. 227-237.

Уланов А.К., Будажапов Л.В., Билтуев А.С., Сордонова М.Н. 2018. Отклик гумусного состояния

каштановой почвы на многолетнее воздействие агротехнологических приемов в земледелии сухой степи Бурятии // Земледелие. № 5. С. 11-15.

Самбуу А.Д., Аюнова О.Д. 2016. Стадии пастбищной дигрессии в сухих степях Тувы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 5-2. С. 293-295.

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

Сафронова И.Н. 1975. О зональном разделении растительного покрова междуречья Волга – Урал // Ботанический журнал. № 6. С. 823-831.

Сафронова И.Н. 2008. Еще раз к вопросу о границе между степной и пустынной зонами в Нижнем Поволжье // Поволжский экологический журнал. № 4. С. 334-343.

Сафронова И.Н. 2012. О проблемах зонального деления аридной территории европейской части России. // Ботанический журнал. Т. 97. № 6. С. 705-711.

Сафронова И.Н. 2016. Доминанты современного растительного покрова пустынь европейской России // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Вып. 67. Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Махачкала: Институт геологии ДНЦ РАН, «Алеф» (ИП Овчинников М.А.). С. 250-253.

Свешникова В.М., Бобровская Н.И., Цэнд Ш. 1976. Водный режим растений в южной части Монгольской Народной республики // Ботанический журнал. Т. 61. № 1. С. 106-111.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 992 с.

Чимитдоржиева Э.О. 2017. Запасы углерода в постагрогенных сухостепных почвах западного Забайкалья // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 59-65. [*Chimitdorzhieva E.O.* 2017. Carbon Reserves in Postagrogenic Dry Steppe Soils of Western Transbaikalia // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 178-183.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 23-29

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.583

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ ЗА 1966-2017 ГГ.[1]

© 2020 г. Н.А. Шумова

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

Поступила в редакцию 20.12.2019. После доработки 01.03.2020. Принята к публикации 01.03.2020

В основе работы лежит анализ динамики температуры воздуха, атмосферных осадков и гидротермического коэффициента Селянинова за период с 1966 по 2017 год на основе данных метеорологической станции Яшкуль (Республика Калмыкия). Построение и анализ разностных интегральных кривых позволил выявить периоды с повышенными (по равнению со средним) и пониженными значениями исследуемых величин. Сделан вывод о ведущей роли осадков в формировании гидротермических условий территории за исследуемый временной интервал и гумидном потеплении.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, гидротермический коэффициент Селянинова, гумидное потепление, Республика Калмыкия.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10103

Ведущими факторами природной среды, определяющими состояние и развитие наземных экосистем, является соотношение ресурсов тепла и влаги (гидротермические условия). Оценка гидротермических условий и их возможных изменений в применении к анализу состояния и развития наземных экосистем является чрезвычайно важной задачей. Для оценки гидротермических условий территории обычно используются условные показатели увлажнения, которые представляют собой отношение ресурсов влаги (осадки) к потребности во влаге, рассчитанной через испаряемость, или фактору, её заменяющему. Среди условных показателей увлажнения одним из наиболее распространенных в нашей стране является гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (1958). В настоящей работе в основе оценки гидротермических условий территории лежит анализ динамики температуры воздуха, атмосферных осадков и гидротермического коэффициента. Выявление однородных периодов, то есть групп лет с повышенными и пониженными значениями исследуемых величин, выполнено на основе анализа разностных интегральных кривых.

Информационное обеспечение

Исходными данными для оценки гидротермических условий послужили временные ряды температуры воздуха и осадков метеорологической станции Яшкуль (46° 11' с.ш., 45° 21' в.д., абсолютная высота – -7 м н.у.м. БС), расположенной на полупустынной аккумулятивно-морской преимущественно глинистой равнине Прикаспийской низменности с резко континентальным климатом, за последний полувековой период, а именно за 1966-2017 гг. (Булыгина и др., 2019а, 2019б). Метеорологическая станция Яшкуль, наряду с метеорологической станцией Элиста (46° 22' с.ш., 44° 20' в.д., абсолютная высота – 151 м н.у.м. БС), является одной из двух метеорологических станций на территории Республики Калмыкия, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом; наблюдения на этих станциях проводятся с 1928 года. Однако публикуемая версия массива данных месячных сумм осадков (Булыгина и др., 2019а) содержит информацию только с 1966 года. Это связано с тем, что до 1966 года имело место нарушение однородности рядов сумм осадков из-за изменений в методиках измерений и обработки данных, а именно переноса

[1] Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания Института водных проблем РАН по разделу 2.6 «Эволюция наземных экосистем в изменяющихся природных условиях» темы НИР ИВП РАН «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности».

станций на открытое место (репрезентативное для ряда элементов, но не для осадков), смены прибора (установка осадкомера с защитой Третьякова) и введения с января 1966 года поправки на смачивание стенок водосборного сосуда непосредственно на метеорологической станции. После 1966 года ряды сумм осадков принято считать однородными (Булыгина и др., 2019а). Необходимо отметить, что метеорологическая станция Элиста после ее открытия дважды переносилась к северо-востоку – на 5 км в 1944 году и на 7 км в 1970 году; метеорологическая станция Яшкуль не переносилась со дня ее основания. Что касается температуры воздуха, публикуемая версия массива содержит информацию по рядам данных с начала наблюдений на метеорологической станции (Булыгина и др., 2019б).

Результаты и обсуждение

Температура воздуха. Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\ год}$ на метеостанции Яшкуль (рис. 1) показал, что за период 1966-2017 гг. отмечено её увеличение. Значение среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\ год}$ за исследуемый период изменяется в пределах от 8.4°С (1987 г.) до 12.6°С (2010 г.) при средней многолетней величине среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\ год}$, равной 10.7°С.

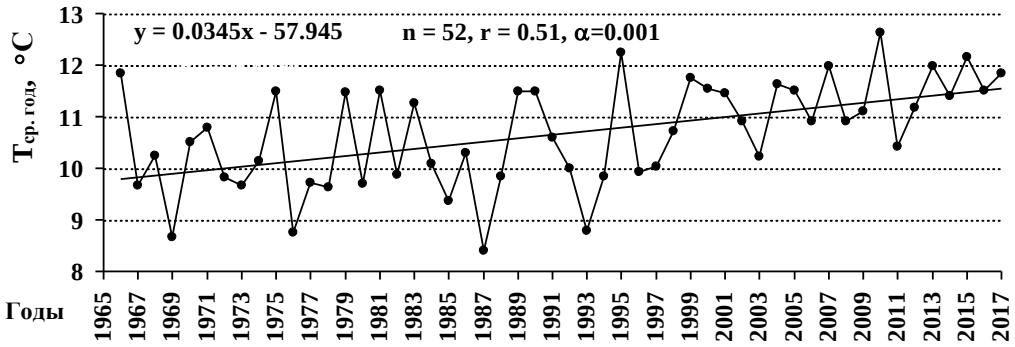


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\ год}$.

Важным показателем температурного режима территории являются суммы среднесуточных температур воздуха. Так, например, потребность в тепле растений выражается в суммах активных температур воздуха (сумма среднесуточных температур воздуха за период с устойчивой температурой воздуха выше 10°С, условно говоря, за период вегетации); в агрометеорологии накоплен опыт определения дат наступления основных фаз развития растений по суммам активных температур воздуха. Поэтому в настоящей работе анализируется динамика сумм активных температур воздуха $\Sigma T_{>10}$ (период вегетации) и сумм среднесуточных положительных температур воздуха $\Sigma T_{>0}$ (безморозный период), которые, наряду с данными об атмосферных осадках, являются информационным обеспечением для приводимой далее зависимости для расчета условного показателя увлажнения, а именно гидротермического коэффициента (*ГТК*).

На рисунке 2 показана динамика сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и за безморозный период $\Sigma T_{>0}$. Представленные на рисунке 2 линии трендов свидетельствуют о возрастании $\Sigma T_{>10}$ и $\Sigma T_{>0}$ за 1966-2017 гг. Значения сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ изменяются в пределах от 3122 (1993 г.) до 3837°С (2013 г.), за безморозный период значения $\Sigma T_{>0}$ изменяются от 3681 (1987 г.) до 4939°С (2010 г.); средние многолетние значения $\overline{\Sigma T_{>10}}$ и $\overline{\Sigma T_{>0}}$ равны 3833 и 4250°С соответственно.

Между среднегодовой температурой воздуха $T_{ср.\ год}$ и суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и за безморозный период $\Sigma T_{>0}$ существует довольно тесная связь с коэффициентами корреляции – 0.61 и 0.86 соответственно. Коэффициент корреляции между суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и за безморозный период $\Sigma T_{>0}$ равен 0.78.

Исследование температурных характеристик изучаемой территории показало, что в динамике среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\ год}$ (рис. 1), сумм среднесуточных температур воздуха (рис. 2) за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и безморозный период $\Sigma T_{>0}$ выявлена достоверная тенденция потепления.

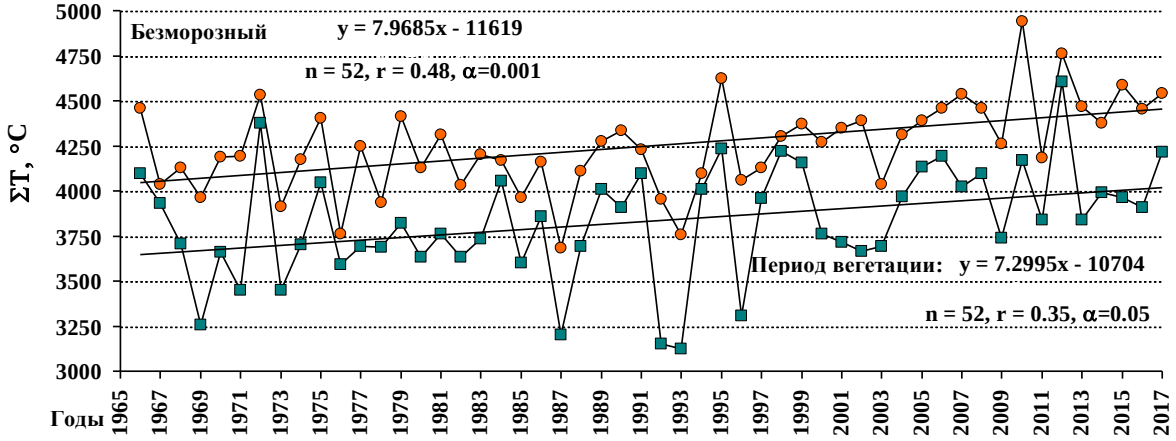


Рис. 2. Динамика сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ (квадраты) и безморозный период $\Sigma T_{>0}$ (круги).

Построение и анализ нормированных разностных интегральных кривых среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\,год}$, сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и за безморозный период $\Sigma T_{>0}$ по данным метеостанции Яшкуль позволил выявить группы лет с повышенными (по сравнению со средним) и пониженными значениями исследуемых величин (рис. 3). На фоне общего тренда увеличения $T_{ср.\,год}$ за временной интервал 1966-2017 гг. прослеживается продолжающийся до 1994 года холодный период, когда среднегодовая температура воздуха $T_{ср.\,год}$ была ниже нормы, после чего наступил период потепления, продолжающийся до 2017 года.

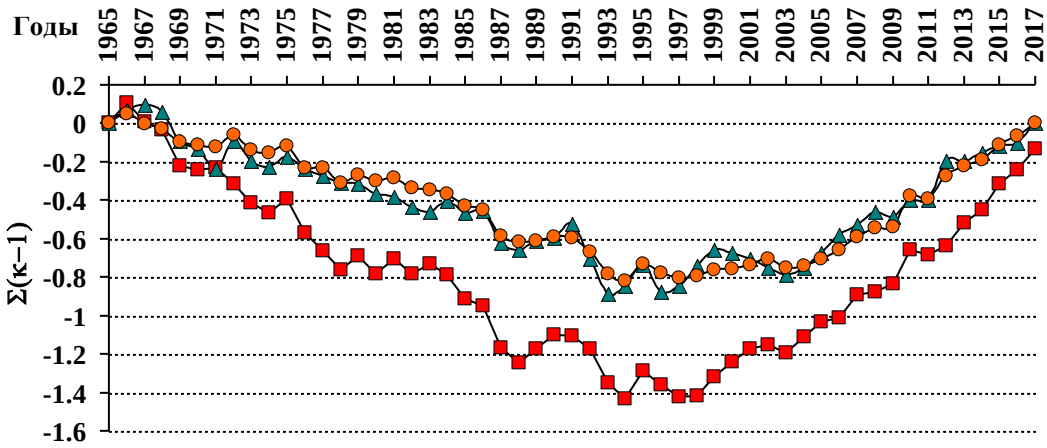


Рис. 3. Нормированные разностные интегральные кривые среднегодовой температуры воздуха $T_{ср.\,год}$ (квадраты, $k = T_{ср.год} / \overline{T}_{ср.год}$)[2], сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ (треугольники, $k = \Sigma T_{>10} / \overline{\Sigma T_{>10}}$) и сумм среднесуточных температур воздуха за безморозный период $\Sigma T_{>0}$ (круги, $k = \Sigma T_{>0} / \overline{\Sigma T_{>0}}$).

В ходе нормированной разностной интегральной кривой сумм среднесуточных температур воздуха за безморозный период $\Sigma T_{>0}$, как и в ходе среднесуточной годовой температуры воздуха $T_{ср.\,год}$, до 1994 года отмечается период пониженных значений $\Sigma T_{>0}$, после 1994 года – повышенных. Периоды пониженных (до 1994 года) и повышенных (после 1994 года) значений характерны и для сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$. Можно также отметить

[2] В подписях к рисункам 3 и 6 – k – это модульный коэффициент.

практически полное совпадение конфигурации разностных интегральных кривых среднегодовой температуры воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$ и за безморозный период $\Sigma T_{>0}$.

Конфигурации разностных интегральных кривых температурных характеристик, представленных на рисунке 3, свидетельствуют о том, что для исследуемых характеристик температуры воздуха $T_{ср.\,год}$, $\Sigma T_{>10}$ и $\Sigma T_{>0}$ временные интервалы лет повышенных и пониженных значений практически полностью совпадают.

Атмосферные осадки. При исследовании динамики атмосферных осадков рассматривались суммы осадков за год $P_{год}$, за период вегетации $P_{>10}$, теплый период $P_{IV\text{-}X}$ и холодный период $P_{XI\text{-}III}$. Суммы осадков, за период вегетации $P_{>10}$, наряду с суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации $\Sigma T_{>10}$, являются составляющими информационного обеспечения для расчетов гидротермического коэффициента (ГТК). В климатологии принято разделять годовые суммы осадков на два периода – это осадки теплого периода $P_{IV\text{-}X}$ (апрель-октябрь) и осадки холодного периода $P_{XI\text{-}III}$ (ноябрь-март), поэтому для сопоставимости полученных данных с данными других исследователей выполнен анализ осадков по общепринятым периодам.

На рисунке 4 показана динамика сумм осадков за год $P_{год}$ и за период вегетации $P_{>10}$. Показанные на рисунке 4 линии трендов свидетельствуют о том, что за период 1966-2017 гг. произошло увеличение как годовых сумм осадков $P_{год}$, так и осадков за период вегетации $P_{>10}$. За период 1966-2017 гг. суммы осадков за год $P_{год}$ изменялись в пределах от 151 мм (1986 г.) до 392 мм (2005, 2013 гг.) при среднем многолетнем значении $\overline{P}_{год}$, равном 267 мм. Среднее многолетнее значение сумм осадков за период вегетации $\overline{P}_{>10}$ равно 167 мм при диапазоне изменения $P_{>10}$ от 46 мм (1975 г.) до 291 мм (1991 г.).

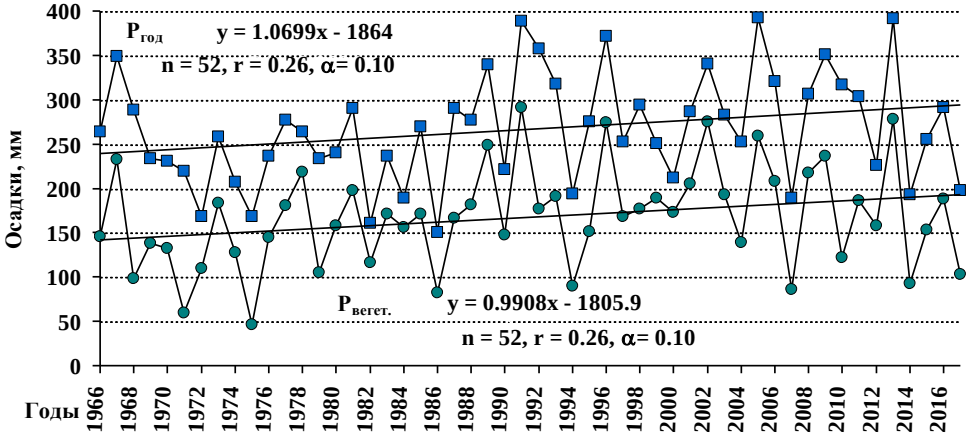


Рис. 4. Динамика сумм осадков за год $P_{год}$ (квадраты) и за период вегетации $P_{>10}$ (круги).

На рисунке 5 представлена динамика сумм осадков за теплый $P_{IV\text{-}X}$ и холодный $P_{XI\text{-}III}$ периоды. Осадки теплого периода $P_{IV\text{-}X}$ за временной интервал 1966-2017 гг. имеют значимую тенденцию к увеличению (рис. 4, 5). Среднее многолетнее значение суммы осадков за теплый период $\overline{P}_{IV-X}$ равно 183 мм при диапазоне их изменения от 65 мм (1975 г.) до 291 мм (1991, 2013 гг.). Осадки холодного периода $P_{XI\text{-}III}$ практически оставались на одном уровне, изменяясь в пределах от 33 мм (1984, 2000 гг.) до 133 мм (2005 г.) при среднем многолетнем значении $\overline{P}_{XI-III}$ равном 83 мм.

Анализ нормированных разностных интегральных кривых сумм осадков за различные временные интервалы (рис. 6), а именно за год $P_{год}$, за теплый период (апрель-октябрь) $P_{IV\text{-}X}$, за холодный период (ноябрь-март) $P_{XI\text{-}III}$ и за период вегетации $P_{>10}$, для всего массива данных 1966-2017 гг. показал, что точка перехода от пониженных значении исследуемых величин к повышенным приходится на 1986 г. При этом в первые несколько лет исследуемого периода (1966-2017 гг.) прослеживается некоторое увеличение сумм осадков по всем изучаемым временным интервалам – $P_{год}$, $P_{IV\text{-}X}$, $P_{XI\text{-}III}$, $P_{>10}$; в последние несколько лет исследуемого периода можно говорить о некоторой стабилизации осадков.

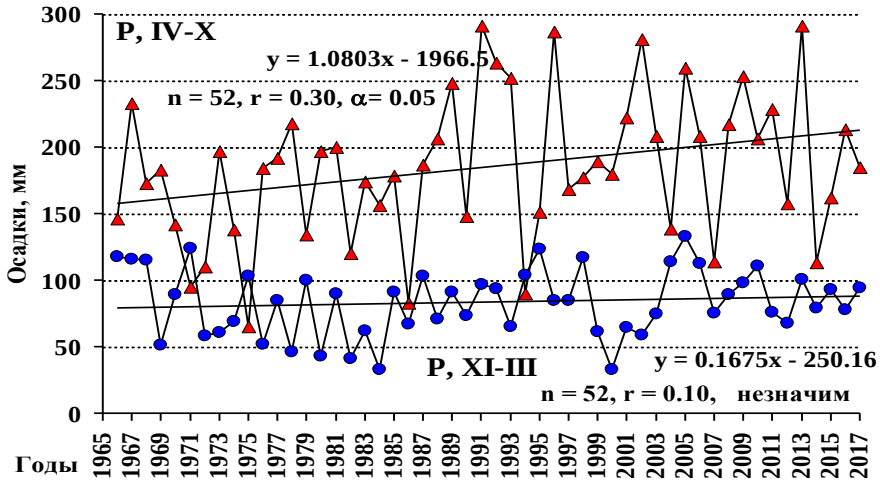


Рис. 5. Динамика сумм осадков за теплый $P_{IV\text{-}X}$ (треугольники) и холодный $P_{XI\text{-}III}$ (голубой) периоды.

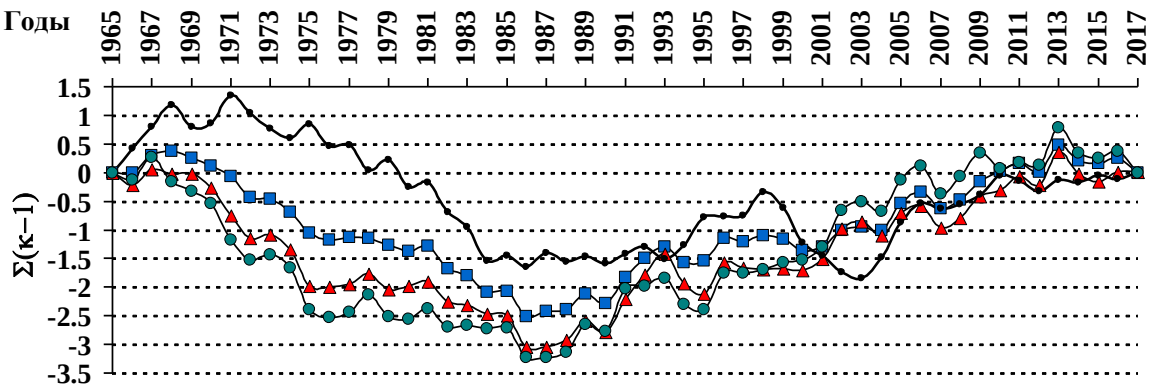


Рис. 6. Нормированные разностные интегральные кривые сумм осадков за год $P_{год}$ (квадраты, $k = P_{год} / \overline{P}_{год}$), за теплый период апрель-октябрь $P_{IV\text{-}X}$ (треугольники, $k = P_{IV-X} / \overline{P}_{IV-X}$), за холодный период ноябрь-март $P_{XI\text{-}III}$ (точки, $k = P_{XI-III} / \overline{P}_{XI-III}$) и за период вегетации $P_{>10}$ (круги, $k = P_{>10} / \overline{P}_{>10}$).

Выполненные исследования температурных характеристик ($T_{ср.\,год}$, $\Sigma T_{>10}$, и $\Sigma T_{>0}$) и сумм атмосферных осадков по различным временным интервалам ($P_{год}$, $P_{IV\text{-}X}$, $P_{XI\text{-}III}$, $P_{>10}$) показали, что за период 1966-2017 гг. наблюдается два крупных цикла – цикл пониженных значений изучаемых величин и повышенных значений. Время перехода от пониженных значений к повышенным для величин температуры воздуха и сумм атмосферных осадков не совпадает – атмосферные осадки начинают увеличиваться после 1986 года, температура воздуха начинает повышаться после 1994 года.

Гидротермический коэффициент. Предложенный Г.Т. Селяниновым гидротермический коэффициент используется для исследования периода вегетации (периода со среднесуточными температурами воздуха выше 10°С. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова определяется по отношению суммы осадков за период с температурой выше 10°С к сумме среднесуточных температур воздуха за тот же период (Селянинов, 1958):

$$ГТК = \frac{10P_{>10}}{\sum T_{>10}} \quad (1),$$

где *ГТК* – гидротермический коэффициент, $P_{>10}$ – сумма осадков в миллиметрах за период со

среднесуточными температурами воздуха выше 10°С, мм; $\Sigma T_{>10}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за тот же период, °С.

Динамика гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитанного по зависимости (1), свидетельствует об увеличении увлажненности вегетационного периода за временной интервал 1966-2017 гг. Среднее многолетнее значение гидротермического коэффициента $\overline{ГТК}$ составило 0.44 при диапазоне его изменения от 0.11 (1975 г.) до 0.83 (1996 г.), что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости гидротермического коэффициента. По классификации Г.Т. Селянинова (1958) данный диапазон изменения ГТК соответствует географической зональности от пустыни (ГТК>0.2) до типичной степи (ГТК=1.0/0.7) соответственно. Можно отметить, что в течение временного интервала 1966-2017 гг. (52 года) гидротермические условия, соответствующие зоне пустынь, отмечены в 4% случаев, зоне полупустынь – 38%, зоне степей на южных черноземных и каштановых почвах – 50%, зоне типичных степей – в 8% случаев.

Анализ разностной интегральной кривой ГТК, представленной на рисунке 7, показал, что в межгодовом распределении ГТК точкой перехода от периода низких значений к значениям выше среднего, является 1986 год.

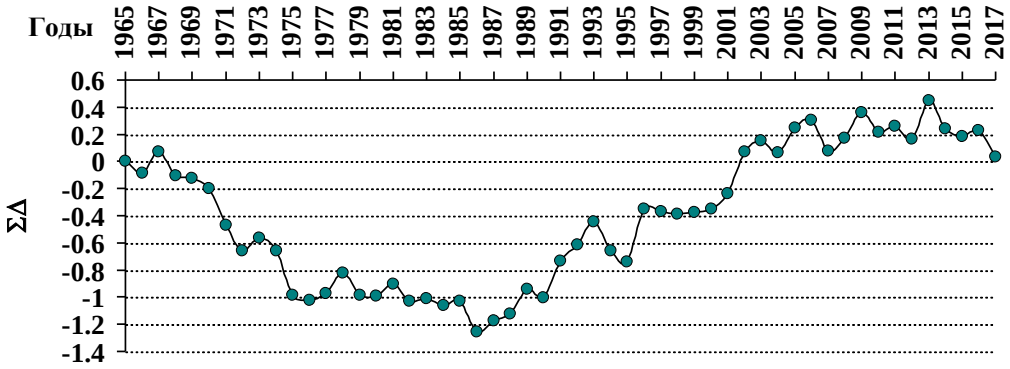


Рис. 7. Разностная интегральная кривая гидротермического коэффициента ГТК ($\Delta = ГТК - \overline{ГТК}$).

Сравнение конфигураций разностных интегральных кривых гидротермического коэффициента (ГТК; рис. 7) и нормированных разностных интегральных кривых сумм атмосферных осадков по различным временным интервалам (рис. 6), а именно за год $P_{год}$, теплый период $P_{IV\text{-}X}$, холодный период $P_{XI\text{-}III}$, период вегетации $P_{>10}$, показало, что переход от пониженных значений исследуемых параметров к повышенным во всех случаях приходится на 1986 год, что свидетельствует о ведущей роли естественного увлажнения (атмосферные осадки) в формировании гидротермических условий территории.

Выводы

Исследование динамики температурных характеристик на метеорологической станции Яшкуль за временной интервал 1966-2017 гг. показало, что средняя годовая температура воздуха, сумма среднесуточных положительных температур воздуха за год и сумма среднесуточных температур воздуха за период вегетации имеют достоверную стабильную тенденцию повышения; в межгодовом распределении указанных температурных характеристик выделяются два периода: период пониженных значений температур воздуха, который продолжался с 1966 по 1994 год, и период повышенных температур, наблюдавшихся с 1994 по 2017 год.

В динамике сумм осадков за год, за теплый период, за холодный период и за период вегетации за временной интервал 1966-2017 гг. также отмечается общая тенденция их увеличения; при этом в межгодовом распределении пониженные осадки наблюдались в период до 1986 года, с 1986 по 2013 год осадки превышали средние многолетние значения, с 2013 года наметилась тенденция к относительному уменьшению осадков на фоне их общей достоверной тенденции к увеличению в теплый период и за год.

Значения гидротермического коэффициента, описывающие гидротермические условия периода

вегетации, имеют тенденцию увеличения за временной интервал 1966-2017 гг.; переход от низких значений исследуемого параметра к повышенным приходится, как и в случае с осадками, на 1986 год. Это позволяет сделать вывод о том, что ведущим фактором формирования гидротермических условий исследуемой территории за период 1966-2017 гг. являются атмосферные осадки.

Среднее значение гидротермического коэффициента за временной интервал 1966-2017 гг. (52 года) составляет ГТК=0.44, что по классификации Г.Т. Селянинова соответствует южной границе степи на южных черноземных и каштановых почвах (ГТК=0.7-0.4). В течение исследуемого временного интервала гидротермический коэффициент при положительном тренде изменялся в диапазоне от ГТК=0.11 (что соответствует зоне пустынь) до ГТК=0.83 (типичная степь); в 58% случаев гидротермический коэффициент превышал значение ГТК=0.4, соответствуя условиям степной зоны. Анализ динамики гидротермического коэффициента позволяет сделать вывод о гумидном потеплении территории за временной интервал 1966-2017 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. 2019а. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения 04.09.2019)].

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. 2019б. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных (дата обращения 04.09.2019)].

Селянинов Г.Т. 1958. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. С. 7-14.

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

Экологическая энциклопедия. 2010. Т. 3. М.: Энциклопедия. 448 с.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 30-39

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.5

ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВАХ ПРИЕРГЕНИНСКОЙ РАВНИНЫ ЗА 10 ЛЕТ (РЕСПУБЛИКА КАЛМЫКИЯ)[1]

© 2020 г. Н.М. Новикова*, Н.А. Волкова*, С.С. Уланова, М.М. Чемидов****

**Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: nmnovikova@gmail.com
***Институт комплексных исследований аридных территорий*
Россия, Республика Калмыкия, 358005, г. Элиста, ул. Хомутникова, д. 111
E-mail: svetaulanova@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.12.2019. После доработки 01.03.2019. Принята к публикации 01.03.2020

Спустя 10 лет по той же методике в близкие даты в мае повторены наблюдения за ходом естественного восстановления растительности на 9 участках Аршань-Зельменского стационара, где почти 50 лет назад были прекращены мелиоративные работы, продолжавшиеся 20 лет. Сопоставление данных, полученных во время полевых работ за два срока наблюдений (2008 и 2018 гг.), показало, что изменения, внесенные мелиорацией в солевой профиль почв, сохраняются. Все эти почвы относятся к одному типу сильно преобразованных почв – агроземов глубокозасоленных. В почвенном профиле сохранились пахотный (0-45 см) и подпахотный (50-60 см) горизонты, выделенные в описаниях 2008 г., однако в пробах к 2018 г. на большинстве участков в подпахотном горизонте повысилось содержание солей и, в частности, иона хлора. В растительности эти изменения не нашли отражения, продолжается формирование растительных сообществ, характерных для заключительных стадий вторичной сукцессии не для солонцовых, а для светло-каштановых почв. Общее число видов, учтенных на геоботанических площадках, сократилось с 70 до 62. Из списка видов 2008 г. выпала почти половина (35 видов), а к 2018 г. внедрились 27 видов. Это произошло преимущественно в группах многолетних и однолетних травянистых видов растений. Продолжается усыхание и выпадение древесных и кустарниковых видов (*Populus album, Quercus robur, Ulmus pumila, Acer tatarica, Cotinus coggygria*), и только у груши (*Pyrus communis*) и золотистой смородины (*Ribes aureum*) отмечено возобновление. Несмотря на уменьшение общего числа учтенных видов, видовое богатство сообществ на всех геоботанических площадках увеличилось в 1.5-2.5 раза. За 10 лет широко распространились характерные виды зональных сообществ: *Artemisia lerchiana, Tanacetum achilleifolium, Poa bulbosa, Stipa lessingiana, Leymus ramosus, A. austriaca,* – что способствовало выравниванию видового состава растительных сообществ на всех точках наблюдений и обусловило увеличение сходства видового состава между ними до 56-77% в сравнении с 37-57% в 2008 г. Сходное изменение выявлено и в надземной фитомассе: произошло не только увеличение (среднее значение в 2008 и 2018 гг. составляет 734 и 849 ц/га соответственно), но и некоторое выравнивание ее значений между участками. На целинном солонце, демонстрирующем «фоновые» процессы, сильно засоленные верхние 20 см в 1950 г. оказались к 2008 г. промыты от солей и в 2018 г. остаются незасоленными. Надземная фитомасса оказалась в 2018 г. выше, чем в 2008 г., более чем в 2 раза.

Ключевые слова: Прикаспийская низменность, солонцы, мелиорация, орошаемое лесоразведение с поливом, орошаемая пашня, засоление-рассоление почв, видовое богатство, растительные сообщества, надземная фитомасса.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10104

[1] Работа выполнена по Программе ФНИ № 8 «Минеральные ресурсы для высокотехнологичной промышленности и энергетики» Президиума РАН (№ 0147-2018-006) № госрегистрации АААА-А18-118022290072-8 и Госзадания по разделу 2.6 «Эволюция наземных экосистем в изменяющихся природных условиях» темы НИР ИВП РАН «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности» (№ 0147-2018-0002), № госрегистрации АААА-А18-118022090104-8.

Данное исследование входит в цикл работ, посвященных изучению и оценке состояния природных комплексов аридных территорий, ранее испытавших трансформацию под влиянием гидромелиоративного антропогенного воздействия и в настоящее время развивающихся в естественном режиме. Ранее, в предшествующих работах, было показано (Новикова и др., 2012, 2018), что изменения, внесенные в солонцовые почвы мелиорацией на возвышенности Ергени и на Приергенинской равнине Республики Калмыкия, оказались устойчивыми и сохранялись в течение длительного времени, т.е. спустя почти 40 лет после прекращения мелиоративного воздействия. Растительность на этих участках в процессе вторичной сукцессии за этот период восстанавливалась до состояния, которое можно назвать субклимаксом. Однако по своему составу и структуре она соответствовала зональным растительным сообществам, характерным не для целинных солонцов, а для светло-каштановых почв.

Цель данной работы – рассмотреть устойчивость изменений, внесенных в почвы длительной мелиорацией, и установить особенности развития растительности в постмелиоративный период.

Район работ, материалы и методы

Исследования проводились на IV опытном участке Аршань-Зельменского научного стационара Института лесоведения РАН, располагающегося на Приергенинской равнине Прикаспийской низменности в Республике Калмыкия. Район исследования находится в южной подзоне степной зоны (опустыненных степей) со светло-каштановыми почвами. До мелиорации грунтовые воды залегали на глубине более 7 м, были распространены засоленные солонцы (Зайцев, 1955). Карбонаты отмечались на границе солонцового и подсолонцового горизонтов, а их максимум – на глубинах 30-50 см. Близкое залегание карбонатов к поверхности при очень незначительном содержании гипса с 60-80 см (максимум на глубине 190-200 см) предопределило их вовлечение в пахотный слой при глубокой мелиоративной вспашке. Сильное хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление проявлялось с 18-33 см и по всему профилю. Светло-каштановые почвы относятся к слабозасоленным (в конце первого метра), имеющим хлоридный химизм, у которых с глубиной (глубже 1 м) засоление увеличивается до среднего хлоридного, а также среднего и сильного хлоридно-сульфатного (Зайцев, 1955).

На исследуемом участке до проведения опытов растительный покров был слабо сомкнутым, общее проективное покрытие составляло 30-40%. По мнению С.И. Власова и Н.М. Зайцева (1950), к светло-каштановым солонцеватым почвам были приурочены типчаково-лерхополынные (*Artemisia lerchiana*[2]*–Festuca valesiaca*) сообщества, к солонцовым – лерхополынно-прутняковые (*Kochia prostrata–Artemisia lerchiana*), к корковым солонцам – лерхополынно-чернополынные (*Artemisia pauciflora–Artemisia lerchiana*).

Опытный участок вытянут с севера на юг. Его площадь составляет 30.6 га (900 м с севера на юг и 350 м с запада на восток), восточная половина была отведена под лесонасаждения, а западная – под сельскохозяйственные и садовые культуры. В центре проходила дорога с посадками древесных видов и канавами для пропуска оросительной воды.

Во время проведения опытных работ с сельскохозяйственными культурами при орошении отмечалось рассоление верхнего метрового слоя почв и незначительное уменьшение содержания поглощенного натрия в пахотном слое (Пак, 1958). В последние годы эксперимента здесь проявилось вторичное засоление, но опубликованных исследований о процессах вторичного засоления ранее рассоленных солонцов нет.

Эксперимент на лесомелиорированных участках закончился в 1971 г. с прекращением полива. На участках, используемых под пашню, распашка продолжалась до 1985 г. без полива. Далее земли стали залежью, и вплоть до настоящего времени на них производится нерегулируемый выпас.

Таким образом, материалами для исследования послужили как данные, отразившие состояние природного солонцового комплекса до начала мелиорации (Зайцев, 1955), так и, в основном, данные, полученные при участии авторов в полевых работах, проводившихся с 2005-2008 гг. и в 2018 г., которые отразили состояние по-разному мелиорированных участков и целинного солонца спустя 38 и 48 лет после прекращения опыта. Изучение почв и растительности проводились на участках ранее занятых лесонасаждениями скумпии (*Cotinus coggygria*), вяза мелколистного (*Ulmus pumila*), груши

[2] Латинские названия растений приводятся по работе С.К. Черепанова (1995).

(*Pyrus communis*) и др. (точки 37, 39), дендрарием (точка 41), на образовавшейся залежи на месте пашни (точки 38, 40, 42 с поливом, точка 43 – без полива, контроль), на территории погибшего сада (точка 36 – с поливом, точка 35 – без полива), а также на целинном солонце, расположенном рядом с опытным участком (точка 44). Точка 44 – целинный солончак (контроль), которая располагалась к северо-западу от опытного участка; точка 43 – к юго-востоку от точки 42, за пределами опытного участка. На каждой из указанных точек в 2008 и 2018 гг. были проведены наблюдения с заложением почвенных разрезов, отбором проб и полным геоботаническим описанием с отбором укосов. Последние отбирались с площадок размером 1x1 м, в трехкратной повторности. Фитомасса сортировалась по основным хозяйственным группам (разнотравье, злаки, полыни) и высушивалась до абсолютно-сухого веса.

В качестве критериев трансформации почв использовались: морфологические, химические и физико-химические свойства почв. В качестве показателей их динамического состояния использовались: сохранность пахотного горизонта, глубина рассоления профиля, химизм солей, глубина залегания горизонта максимального скопления солей в пределах первого метра.

Полные геоботанические описания на территорию опыта до его закладки отсутствуют, поэтому полученные во время полевых работ 2005-2008 гг. и 2018 г. ботанические материалы на разных участках опыта рассматривались и сопоставлялись между собой по ряду показателей: видовое богатство и его изменение, сходство видового состава сообществ точек наблюдения, величина и структура надземной фитомассы травяного яруса (присутствие видов разных хозяйственных групп: разнотравье, злаки, полыни). В качестве дополнительных показателей при выявлении динамического состояния растительных сообществ использовалось присутствие видов-индикаторов разных стадий восстановительной сукцессии после орошения, описанной Р.Р. Джаповой (2007).

Наблюдения, проведенные 2008 г., были повторены в 2018 г. в близкие сроки (5-8 и 25-28 мая соответственно) и на тех же точках наблюдений. В работе проводится сравнение данных за эти два срока наблюдений по указанным выше показателям.

Результаты и обсуждение

На протяжении длительного времени, включающего проведение эксперимента по мелиорации в 1950-1970 гг. и в постмелиоративный период 1970-2018 гг., «климатический фон» не оставался неизменным. Как показал анализ длительного ряда данных, выполненный Н.А. Шумовой (2019), в межгодовом распределении среднегодовой температуры воздуха за период 1966-2017 гг. выделяются два временных интервала: период пониженных значений температур, который продолжался с 1966 по 1994 гг., и период повышенных значений после 1994 г. В межгодовом распределении годовых сумм осадков пониженные значения наблюдались в период до 1986 г., а после с 1986 по 2013 гг. осадки превышали средние многолетние значения. После 2013 г. наметилась относительная тенденция пониженных осадков (Шумова, 2020). Межгодовое распределение гидротермического (ГТК) и коэффициента увлажнения (КУ) полностью соответствует межгодовому распределению осадков: до 1986 г. наблюдается период пониженных значений исследуемых величин, затем до 2013 г. отмечаются значения выше средних, а после 2013 г. наступил период относительно пониженного увлажнения на фоне общего невысокого достоверного тренда увеличения осадков за год и за теплый период (Шумова, 2020). Таким образом, из этого исследования можно вывести, что в период проведения мелиорации с 1966 по 1970 гг. естественное увлажнение территории за счет влаги атмосферных осадков было максимальным, в период постмелиоративного развития с 1970 по 2008 г. влагообеспеченность снизилась и была ниже среднемноголетних значений, а в период между двумя нашими наблюдениями с 2008 по 2013 гг. – выше, а затем с 2013 по 2017 гг. – вновь немного снизилась. Изменение во влагообеспеченности территории могло сказаться по-разному на процессе засоления-рассоления почв в постмелиоративный период и на восстановлении растительности.

Рассмотрение «фоновых процессов» в почвах на примере изменения содержания водорастворимых солей в почвенном профиле целинного солонца показывает, что без воздействия человека с 1950 г. в слое 0-20 см происходило постепенное снижение их содержания и к 2008 г. этот горизонт из сильно засоленного стал незасоленным, а в 2018 г. это состояние сохранилось (рис. 1а). Нижележащие горизонты на глубине 70-100 см – слабо засолены, затем со 100 до 150 см – снова незасоленные и далее до глубины 180 см – слабо засолены. В 2018 г. с глубины 30 см засоление

возрастает до среднего, а с глубины 70 см – до сильного (табл. 1).

Изменение почв. К 2008 г., как показали исследования (Новикова и др., 2011, 2018; Панкова и др., 2019), в почвах на изучаемой территории сохранялись свойства, приобретенные под воздействием распашки и длительного орошения: исходные солонцы трансформировались в почвы, не встречающиеся в целинных условиях. Все эти почвы относятся к одному типу – агроземы текстурно-карбонатные глубокозасоленные. В почвенном профиле выделяются пахотный (0-45 см) и подпахотный (50-60 см) горизонты, на большей части участков они промыты от солей, в них уменьшилось содержание обменного натрия. К 2018 г. в сравнении с 2008 г. в этих горизонтах в отношении засоления выявлены три тенденции (рис. 1б, табл. 1): на двух участках под лесопосадками, ранее слабо промытых от солей (точки 39 и 41, горизонты 0-40 и 0-20 см соответственно), продолжилось рассоление, а горизонт углубился на 15 см, и, таким образом, в первом случае и пахотный, и подпахотный горизонты оказались рассолены, во втором – только верхняя часть пахотного горизонта. В почвах под бывшими садом и лесопосадками (35, 37) и пашней (точки 36, 40) нижняя граница рассоленного горизонта поднялась к поверхности от 5 до 40 см, и, таким образом, в точке 35 незасоленной осталась только верхняя часть пахотного горизонта, в точке 36 – пахотный горизонт, в точке 40 – пахотный и подпахотный горизонты, а в точке 37 – верхний горизонт до глубины 95 см. В остальных точках (38 и 43) мощность горизонта, свободного от солей, не изменилась, как и на целинном солонце (точка 44).

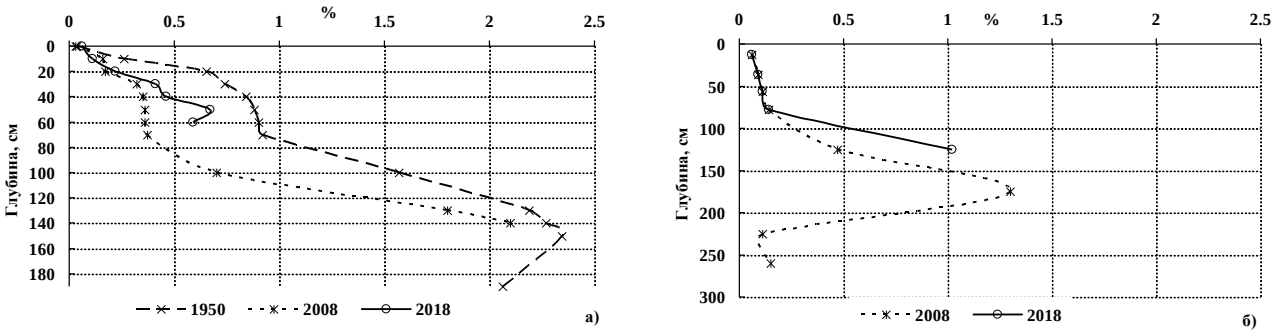


Рис. 1. Содержание водорастворимых солей в целинном солонце (а – точка 44) и в агроземе (б – точка 37) в разные годы наблюдений.

Состав солей пахотного и подпахотного горизонтов изменился неоднозначно (табл. 1): на большинстве участков (точки 35, 37-41) ранее в водной вытяжке преобладали анионы сульфатов, а в 2018 г. стали преобладать анионы хлора. На участке 43 химизм остался прежним, а на участке 36 в составе анионов стали преобладать сульфаты при участии хлора. На целинном солонце в промытом от солей горизонте состав анионов также лишен хлора.

На целинном солонце глубина горизонта максимального содержания солей, также как и сумма солей (0.62-0.67%), осталась без изменения и залегает на глубине 70-110 см, в то время как на участках 35 и 36 этот горизонт переместился с глубины 100 см непосредственно под подпахотный горизонт, а в точке 43 – под подпахотный, но засоление везде снизилось. На большинстве участков верхняя граница этого горизонта поднялась с глубины 100 см ближе к поверхности, но сумма солей тоже снизилась (точки 38, 40, 41), в точках 39-40 солевой максимум остался на прежней глубине, при этом засоление несколько увеличилось. Отмеченные нами изменения засоления почв пока не нашли отражения в растительности. Хотя увеличение засоления в подпахотном горизонте и увеличение присутствия ионов хлора может негативно воздействовать на древесные и кустарниковые виды.

Растительность. Изменение видового состава. Общее число учтенных видов в годы наблюдений с интервалом в 10 лет (2008 и 2018 гг.) на одних и тех же геоботанических площадках уменьшилось с 70 до 62. Помимо этого произошло сильное изменение видового состава. Из списка видов 2008 г. выпала почти половина (35 видов), а к 2018 г. внедрились 27 других видов. Эти изменения произошли преимущественно в группах многолетних и однолетних травянистых растений. На всем экспериментальном участке продолжается постепенное усыхание и выпадение древесных и

кустарниковых видов (*Populus album, Quercus robur, Ulmus pumila, Acer tatarica, Cotinus coggygria*).

Таблица 1. Особенности мелиорации и засоление почв в точках наблюдения на экспериментальном участке IV, Аршань-Зельмень.

Точка наблюдения	Вид мелиорации и использования	Изменение по мощности незасоленного горизонта почвы, см			Изменение (от 2008 к 2018 гг.) химизма пахотного и подпахотного горизонтов, глубина, см					Солевой максимум, глубина, см / сумма солей, %	
		Процесс	2008 год	2018 год	$Cl+SO_4$ к SO_4	SO_4 к $Cl+SO_4$	SO_4+Cl к $Cl+SO_4$	$Cl+SO_4$ к SO_4+Cl	$Cl+SO_4$= $Cl+SO_4$	2008 год	2018 год
35*	Посадка плодовых деревьев, разовый полив	Уменьшение	0-40	0-30			0-25		25-60	100-150 / 0.85	60-100 / 0.96
36*	Посадка плодовых деревьев, полив длительный	Уменьшение	0-70	0-40			20-40	0-20	40-70	150-200 / 0.67	63-80 / 0.46
37*	Древесные виды, длительный полив	Уменьшение	0-100	0-90			0-65			150-200 / 1.30	100-150 / 1.02
38*	Сельхозкультуры, длительный полив	Стабилизация	0-80	0-80			0-80			100-150 / 1.29	110-150 / 0.95
39*	Древесные виды, длительный полив	Увеличение	0-40	0-65			0-100			100-150 / 0.94	100-150 / 1.21
40*	Сельзозкультуры, длительный полив	Уменьшение	0-100	0-60		0-100				120-150 / 1.03	100-150 / 1.41
41*	Древесные виды, длительный полив	Увеличение	0-20	0-35		0-20			20-120	120-150 / 1.04	100-150 / 0.83
42*, ***	Сельзозкультуры, длительный полив		0-60			0-100*				200-250 / 1.33	
43**	Пашня без полива	Стабилизация	0-20	0-20					0-100	150-200 / 2.37	32-40 / 1.63
44	Целинный солонец	Стабилизация	0-20	0-20	0-20				21-150	70-110 / 0.62	70-110 / 0.67

Примечание к таблице 1. Глубина пахотного горизонта: * – 45 см; ** – 20 см; *** – данные только для 2008 г., для 2018 г. отсутствуют.

И только у груши (*Pyrus communis*) и золотистой смородины (*Ribes aureum*) отмечено порослевое и семенное возобновление. В составе наблюдаемых сообществ на учетных площадках из 6 древесных видов остались три, а из числа 4 кустарников остались 2 вида. Среди полыней не встречена в 2018 г. широко распространенная ранее полынь *Artemisia santonica*, характерная для первых стадий зарастания засоленной залежи, но появились *A. arenaria*, характерная для зарастания пашни и *A. taurica*, характерная для более южных районов Республики. Снижение участия полыней на целинной территории также отмечено в 2018 г. В то же время отмечается (табл. 2) расширение распространения таких видов как: *Artemisia lerchiana, Tanacetum achilleifolium, Poa bulbosa, Stipa lessingiana, Leymus ramosus, A. austriaca*, являющихся индикаторами разных стадий вторичной сукцессии на залежи орошаемой пашни (Джапова, 2007).

Эти виды в 2018 г. встречены практически на всех учетных площадках (табл. 2). Наблюдается расширение распространения типчака (*Festuca valesiaca*), впервые отмечено присутствие *Koeleria cristata*. Эти злаки характерны для более поздних, завершающих стадий сукцессии. Однако фитоценотическое значение большей части видов по сравнению с 2008 г. в целом снизилось с 2-3 баллов до 2, доминирование индикаторных видов не отмечено ни на одном из участков. Это явление можно рассматривать и как выравнивание фитоценотической роли видов, что характерно для изменения структурной организации растительных сообществ в процессе их сукцессионного

развития. В 2008 г. ярко-зеленый аспект создавали эфемеры и эфемероиды, а в 2018 г. седоватый – полынь Лерха (*Artemisia lerchiana*), полынок (*Artemisia austriaca*) и плодоносящие экземпляры ковыля сарептского (*Stipa sareptana*).

Таблица 2. Распространение и фитоценотическое значение индикаторных видов стадий сукцессии.

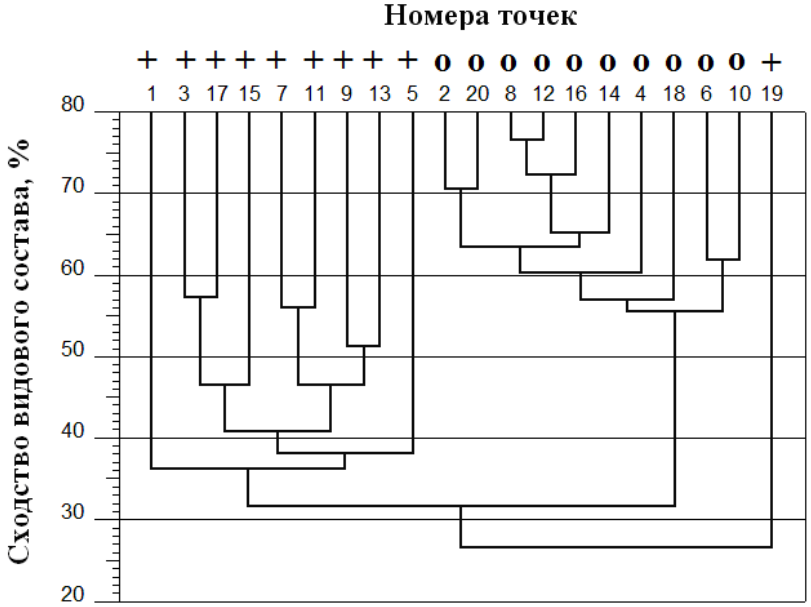
Название вида растения	Индикатор стадии сукцессии	Число площадок, на которых встречен вид		Среднее фитоценотическое значение для всех встреч вида		Точка, на которой встречен вид растения	
		2008 г.	2018 г.	2008 г.	2018 г.	2008 г.	2018 г.
Bassia sedoides	I	2	9	1	1.5	42, 43	все, кроме 37
Artemisia austriaca	II	3	8	2	1.8	36, 42, 43	все, кроме 39, 40
Artemisia pauciflora	III	2	3	2	2	36,43	36, 42, 43
Artemisia lerchiana	III	7	10	2.3	2.3	все, кроме 38, 39, 42	все
Leymus ramosus	III	4	9	1.7	2.8	37, 41, 42, 43	все, кроме 38
Kochia prostrata	III	1	4	1	2	44	35, 36, 37, 44
Stipa lessingiana	IV	5	9	1.8	1.9	36, 38, 41, 44	все, кроме 43
Tanacetum achilleifolium	IV	6	10	1.3	1.9	все, кроме 35, 38, 41, 44	все
Galatella villosa	IV	3	3	3	2.3	35, 36, 39	35, 36, 39
Festuca valesiaca	V	1	4	3	1.7	37	35, 37, 39, 42
Koeleria cristata	V	0	1	0	1	нет	36
Poa bulbosa	выпас	8	10	3	3	все, кроме 38, 41	все

Анализ сходства видового состава растительных сообществ. Как видно на дендрограмме (рис. 2), все сообщества в зависимости от видового богатства разделились на две группы по датам их описания в 2008 и 2018 гг. При этом сходство видового состава сообществ 2018 г. достигает 56-77% в сравнении с 37-57% в 2008 г. Этот явление можно объяснить тем, что отмеченное выше расширение распространения многих видов способствовало выравниванию видового состава растительных сообществ на всех точках наблюдения и обусловило увеличение их сходства в 2018 г.

Любопытно, что видовой состав мелиорированных участков за оба года наблюдения существенно отличается от видового состава целинного солонца (№ 44 – 19) в 2008 г., в то время как видовой состав этого же участка (№ 44 – 20) в 2018 г. тоже кардинально изменился и оказался близок (61% сходства) группе растительных сообществ, претерпевших разные виды мелиорации. В то же время выделились два участка (№ 37 – 6, № 39 – 10), имеющие в 2018 г. наименьшее сходство с остальными. Это можно объяснить тем, что данные участки ранее испытали лесомелиорацию и длительное орошение и древесные виды именно на этих участках сохраняются до сих пор, что тормозит развитие восстановительной сукцессии.

Фитоценотическая структура. Несмотря на уменьшение общего числа в списке учтенных видов в 2018 г. в сравнении с 2008 г., видовое богатство в сообществах на каждой конкретной учетной площадке увеличилось в 1.5-2.5 раза за счет расширения распространения травянистых многолетников: злаков (*Stipa lessingiana, Festuca valesiaca*), полыней (*Artemisia austriaca, A. lerchiana*) и разнотравья (*Tanacetum achilleifolium*) – руководящих видов зональных растительных сообществ, характерных для светло-каштановых почв (табл. 2, 3). Исключение составляет точка 37 (участок древесных насаждений с поливом), где число однолетних и многолетних трав снизилось в два раза по сравнению с 2008 г. и где доминирует *Leymus ramosus* – вид, характерный для первых стадий зарастания залежи, но

присутствуют виды, характерные для более поздних стадий сукцессии, вплоть до IV.



Подрисуночная таблица. Соответствие точек исследования их индексации на дендрограмме:

№ точки	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Индексы точек на дендрограмме										
2008 г.	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
2018 г.	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

Рис. 2. Сходство видового состава растительных сообществ на участках, претерпевших комплексную мелиорацию 38 (2008 г.) и 48 (2018 г.) лет назад. *Условные обозначения*: крестиками обозначены точки, описанные в 2008 г., кружками – в 2018 г.

Наблюдения 2018 г. показывают (табл. 3), что современные растительные сообщества имеют пока неоднородную структуру – пятнисто-зарослевое распределения видов, задернованность сильно варьирует (от 5 до 80%) и в среднем составляет 62%, еще остаются значительные участки голой земли (в среднем 28.5%), сукцессионный процесс идет не «единым фронтом», а дифференцированно. На одних участках мы можем отнести растительные сообщества к IV стадии сукцессии, другие, в основном на участках с сохранившимися деревьями, задержались на II и III стадиях.

Для IV стадии сукцессии, к которой мы отнесли большую часть растительных сообществ, важным диагностическим признаком является внедрение и доминирование плотнодерновинных злаков и замена ковыля перистого (*Stipa capillata*) ковылем Лессинга (*S. lessingiana*). Это было заметно визуально во время полевых работ по аспектированию белой полыни и ковыля в 2018 г. *Festuca valesiaca* встречена уже на 4 участках вместо 1, как это было в 2008 г. Вместе с тем известно, что увеличение фитоценотической роли как *Festuca valesiaca*, так и *Poa bulbosa* является признаком возрастания пастбищных нагрузок, что следует учитывать при диагностике сукцессионных восстановительных процессов. В соответствии с существующими представлениями о сукцессионной динамике (Оловянникова, Эрпорт, 1983; Джапова, 2007), в дальнейшем следует ожидать возрастания фитоценотического значения ковыля Лессинга и тонконога (*Koeleria cristata*) и расширения распространения многолетнего разнотравья.

Фитоценотическое значение большинства видов в 2018 г. и общее проективное покрытие трав в сообществах снизилось в сравнении с 2008 г. (табл. 3), хотя, исходя из теоретических представлений, следовало ожидать увеличения этих показателей. На данном этапе это может быть объяснено погодными условиями, более сухой весной 2018 г. и меньшим развитием весенневегетирующих эфемеров и эфемероидов, которые обычно дают высокое проективное покрытие. Однако для большей достоверности необходимо провести дополнительные наблюдения еще за ряд лет.

Таблица 3. Характеристика растительных сообществ на постоянных геоботанических площадках в 2008 и 2018 гг.

Точка наблюдения	Структура напочвенного покрова, %					Число видов		Стадия сукцессии, растительное сообщество	
	ОПП		Дернина	Голая земля	Ветошь				
	2008	2018	2018 г.			2008	2018	2008 г.	2018 г.
35	80	50	90	10	–	11	26	**IV** – *Poa bulbosa–Artemisia santonica+Galatella villosa* с участием *Stipa lessingiana;*	**IV** – *Artemisia lerchiana+G. villosa+ Tanacetum achilleifolium* с *Artemisia austriaca, P. bulbosa* и *S. lessingiana;*
36	80	60	80	20	–	16	26	**III** – *P. bulbosa+ A. austriaca+ A. santonica+ Artemisia pauciflora* с участием *T. achilleifolium;*	**III** – *P. bulbosa+ A. lerchiana+A. austriaca* с участием *T. achilleifolium;*
37	60	30	20	80	–	32	17	**IV** – *Pyrus communis–Ribes aureum– T. achilleifolium+Leymus ramosus* со *S. lessingiana;*	**IV** – *P. communis– R. aureum– T. achilleifolium+ L. ramosus* со *S. lessingiana*
38	80	30	20	40	20	10	21	**II** – *Descurainia sophia+Lamium amplexicaule+ A. santonica;*	**III** – *P. bulbosa+ A. lerchiana* с участием *S. lessingiana, A. austriaca* и *Bassia sedoides;*
39	50	50	95	5	–	19	25	**IV** – *Ulmus pumila+Pyrus communis+G. villosa* с участием *T. achilleifolium, Stipa capillata;*	**IV** – *U. pumila+ P. communis* с участием *T. achilleifolium, S. lessingiana;*
40	60	35	10	25	60	15	26	**IV** – *Chorispora tenella+D. sophia* с участием *T. achilleifolium, S. lessingiana;*	**IV** – *P. bulbosa+ A. lerchiana+ S. lessingiana, Artemisia taurica;*
41	60	30	50	50	–	20	23	**III** – *Mixteherbosa– P. communis* с участием *S. lessingiana*	**IV** – *A. lerchiana+ P. bulbosa+ L. ramosus* со *S. lessingiana*
42	70	40	70	40	30	17	25	**III** – *Ch. tenella+D. sophia+ A. lerchiana+ Galium verum* с *P. communis, U. pumila;*	**IV** – *P. bulbosa+ L. ramosus* с учас-тием *S. lessingiana* и *A. lerchiana;*
43	40	30	90	10	–	19	25	**II** – *T. achilleifolium+ A. santonica+ A. pauciflora;*	**III** – *P. bulbosa+ L. ramosus* с *A. lerchiana* и *A. pauciflora;*
44	80	35	95	5	–	18	25	**V** – *P. bulbosa+ A. austriaca+Kochia prostrata.*	**V** – *P. bulbosa+ S. lessingiana+ Anisantha tectorum* с *K. prostrata, T. achilleifolium.*
Сред.	66	39	62	28.5		17.7	23.9		

Изменение надземной фитомассы. В 2018 г. по сравнению с 2008 г. надземная фитомасса была выше почти на всех исследованных участках, включая и целинный (рис. 3, точка 44). Исключение составляют точки на залежи 38 и 40, где фитомасса в 2018 г. оказалась ниже, чем в 2008 г. При среднем значении надземной фитомассы в воздушно-сухом весе на всех участках в 2008 и 2018 гг., равном 734 и 849 ц/га соответственно, среднее квадратичное отклонение значений по всем точкам (σ) составило 311 и 235 ц/га, что позволяет нам сделать вывод о том, что к 2018 г. разброс значений (отклонение значения в каждой точке от среднего значения) несколько уменьшился, т.е., как и в случае с видовым составом, произошло сближение значений на точках наблюдения. На кратковременно мелиорированном участке (точка 35) фитомасса в 2008 г. была самой низкой в сравнении с длительно мелиорированными, а в 2018 г. оказалась им близка и превысила значение целинного участка (точка 44). В формировании фитомассы в 2018 г. повысилось участие видов полыни, составившее в среднем 28% от всего веса укосов, злаки – 57%. В 2008 г. эти значения были в пределах 10% и 70% соответственно.

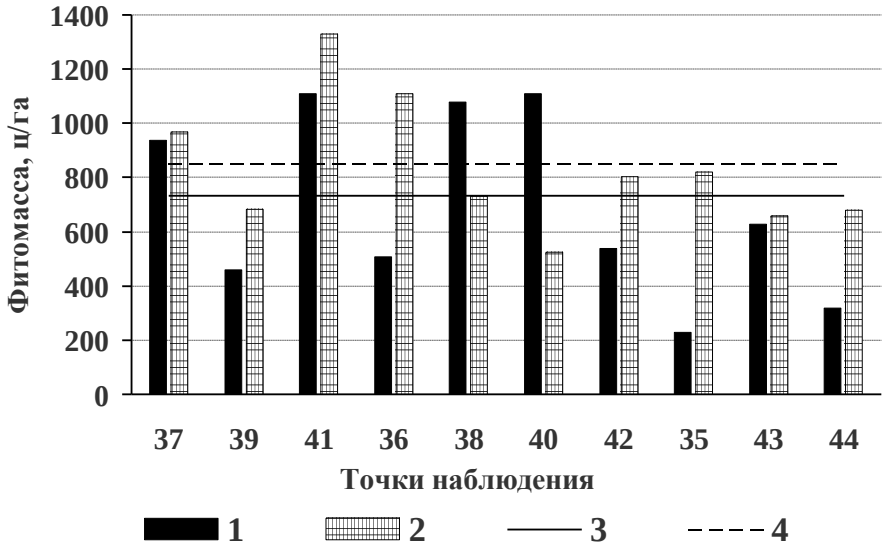


Рис. 3. Надземная фитомасса травяного яруса растительных сообществ на мелиорированных участках (35-43) и на целине (точка 44) в 2008 (1) и 2018 гг. (2) по сравнению со средними значениями фитомассы на мелиорированных участках в 2008 (3) и 2018 гг. (4).

Выводы

Изменения, внесенные в солонцовые природные комплексы мелиорацией, устойчивы и сохраняются после ее прекращения уже почти 50 лет, поддерживая более плодородные почвы и более продуктивные и ценные в кормовом отношении растительные сообщества, перспективные для использования под кормовые угодья скота, что имеет важное практическое значение для территории Калмыкии, выполняющей роль «мясного пояса» России.

Данные, полученные в 2005-2008 гг., приходятся на период (1963-2013 гг.), когда естественное увлажнение рассматриваемой территории было выше среднемноголетнего. Наблюдения 2018 г. приходятся на период относительного пониженного увлажнения (начавшегося с 2013 г.) на фоне невысокого стабильного достоверного повышения осадков за многолетний период 1966-2017 гг. (Шумова, 2020), когда они были ниже среднемноголетних. В этих условиях в 2018 г. на целинном солонце, который показывает развитие «фоновых» процессов, верхние 20 см остаются промытыми от солей, за истекшие 10 лет сульфатно-хлоридный тип химизма водной вытяжки сменился на сульфатный. Глубже сохраняются и количество, и химизм солей, так же как и максимум засоления в 0.62% на глубине 70-100 см. Надземная фитомасса в 2018 г. была выше, чем в 2008 г., более чем в 2 раза.

Исследование 2018 г. показало, что изменения, внесенные мелиорацией в солевой статус почв, сохраняются: они рассолены на глубину пахотного и подпахотного горизонтов, поглощающий

комплекс промыт от хлора и натрия, что было отмечено еще в 2008 г. Однако в 2018 г. наблюдалось увеличение общего содержания солей в подпахотном горизонте до глубины 100 см (до слабого и среднего засоления), а также переход химизма от сульфатного к хлоридному. При этом глубина горизонта максимального содержания солей поднялась ближе к поверхности. В то же время были отмечены участки под древесными насаждениями, где продолжается увеличение мощности горизонта, промытого от солей.

Восстановительная сукцессия растительности на участках мелиорированных солонцов идет эволюционным путем на основе внедрения и расширения фитоценотических позиций видов, характерных в природе для светло-каштановых почв. Растительные сообщества на участках, где еще сохраняются древесные виды, отстают от прочих в скорости сукцессионного развития.

В 2018 г. отмечено выравниванию видового состава растительных сообществ на всех точках наблюдений, что подтверждается увеличением сходства видового состава между ними до 56-77% в сравнении с 37-57% – в 2008 г. Аналогичное явление отмечено и в надземной фитомассе. В 2018 г. в сравнении с 2008 г. произошло не только ее увеличение (средние значения для всех участков составляют 734 и 849 ц/га соответственно), но и сближение значений в точках (уменьшение отклонения каждой точки от среднего значения).

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что в регионе наблюдается постепенная трансформация наземных естественных и антропогенноизмененных экосистем в направлении вековой эволюции Прикаспийской низменности – освобождения от солей почвенной компоненты, и выпадения галофильных видов из растительной, что усиливается современными климатическими изменениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Власов С.И., Зайцев Н.М. 1950. Защитные лесонасаждения в орошаемых условиях Прикаспийской низменности // Полезащитное лесоразведение на Ергенях и Прикаспийской низменности. Труды института леса. Т. XLII. М.: Изд-во АН СССР. С. 99-131.

Джапова Р.Р. 2007. Динамика растительного покрова Ергенинской возвышенности и Пркаспийской низменности в пределах республики Калмыкия. Автореф. дисс. … док. биол. наук. М.: МГУ, биофак. 47 с.

Зайцев Н.М. 1955. Почвы четвертого опытного орошаемого участка // Почвенный и растительный покров Аршань-Зельменского стационара. Труды института леса. Т. XXVIII. М.: Изд-во АН СССР. С. 177-197.

Новикова А.Ф., Конюшкова М.В., Контобойцева А.А. 2011. Изменение свойств солонцов Приергенинской равнины Калмыкии в условиях лесомелиорации в результате длительного антропогенного воздействия // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 69. С. 87-99.

Новикова Н.М., Конюшкова М.В., Уланова С.С. 2018. Восстановление растительности на мелиорированных солонцовых почвах Приергенинской равнины (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. Т. 24. № 3 (76). С. 74-88. [*Novikova N.M., Konyushkova M.V., Ulanova S.S.* 2018. Vegetation Restoration on Reclaimed Soils on the Peri-Yergenian Plain (Republic of Kalmykia) // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 3. P. 213-224.]

Новикова Н.М., Новикова А.Ф., Конюшкова М.В. 2012. Антропогенная трансформация почв и растительности в результате лесоразведения в опустыненных степях // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 216-230.

Оловянникова И.Н., Эрперт С.Д. 1983. Экспериментальное изучение сукцессионных процессов в полупустынном комплексе Северного Прикаспия // Эколого-ценотические и географические особенности растительности. М.: Наука. С. 184-196.

Пак К.П. 1958. Мелиорация солонцов Прикаспийской низменности в условиях орошения и культуры многолетних трав // Вопросы мелиорации солонцов. М.: Изд-во АН СССР. С. 43-70.

Панкова Е.И., Горохова И.Н., Конюшкова М.В., Любимова И.Н., Базыкина Г.С. 2019. Современные тренды развития почв солонцовых комплексов на юге степной и в полупустынной зонах в природных условиях и при антропогенных воздействиях // Экосистемы: экология и динамика. Т. 3. № 2. С. 44-88.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 992 с.

Шумова Н.А. 2019. Межгодовая изменчивость гидротермических условий в Республике Калмыкия // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. № 1 (38). С. 28-32.

Шумова Н.А. 2020. Анализ климатических условий в республике Калмыкия за период 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 3-9.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 40-49

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4(556)

ИЗУЧЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПУТЕЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА В ПРИГОРОДЕ ЯСУДЖА (ПРОВИНЦИЯ КОХГИЛУЙЕ И БОЙЕРАХМЕД, ИРАН)

© 2020 г. М. Армин*, М. Мохаммад, В.Г. Хейбари*, *****

**Университет Ясуджа*
Иран, 7575156879, провинция Кохгилуйе и Бойерахмед, г. Ясудж, ул. 11-й Абузар, бульвар Бойерахмад, д. 43. E-mail: mohsenarmin2007@gmail.com

***Университет Пайаме Нур*
Иран, 7591854854, провинция Кохгилуйе и Бойерахмед, г. Ясудж, ул. 7-ая Голестан, бульвар Эмам Хомейни, д. 28, стр. Баран. E-mail: majidian@yu.ac.ir

****Университет Мелайера*
Иран, 65719-95863, г. Мелайер, Университет Мелайера. E-mail: ghorbannia2008@gmail.com

Поступила в редакцию 31.08.2019. После доработки 24.04.2020. Принята к публикации 01.05.2020.

Изменения в земном покрове оказывают прямое влияние на экологические функции рельефа и природных ресурсов. Деградация леса затрагивает биохимические циклы и процессы, проистекающие на водозборе, что приводит к эрозии почвы и сокращению водных ресурсов. Таким образом, необходимо периодически проводить пространственные замеры землепользования и замного покрова, чтобы политические деятели и исследователи могли принимать верные решения. Закономерности изменений в землепользовании и земном покрове указывают на изменения в социальных и экономических условиях. Наблюдение за такими изменениями − неотъемлемая часть скоординированных работ на национальном и международном уровнях. За последние годы из-за легкой доступности космоснимков и возможностей ГИС-технологий моделирование и предсказание изменения землепользования и земного покрова, стали весьма широкомасштабны. На настоящий момент были изобретены такие статистические методы, как логистическая регрессия, цепи Маркова и дискретные модели. Данное исследование было проведено для того, чтобы изучить изменения в землепользовании и земном покрове в окрестностях города Ясудж, используя цепь Маркова для периода с 1987 по 2039 гг. Такой анализ позволит описать изменения в землепользовании, произошедшие с одного периода по другой, чтобы затем использовать полученную информацию как основу для предсказания последующих изменений. Это становится возможным благодаря созданию матрицы вероятностей переходов для изменений землепользования за определенный период; она указывает на природу изменений и возможность их применения для предсказания изменений в следующем временном периоде. Результаты данной модели и ее симуляции показали, что процент естественных земель (лесов и пастбищ) в 1987, 1999, 2013 и 2039 гг. составляет 90, 82, 73 и 59% соответственно. Таким образом, можно заявлять, что естественные земли на исследованной территории становятся рукотворными, и примерно за 40 лет (1987-2013 гг.) сократилось около 30% естественных земель. В свою очередь это может иметь опасные последствия для окружающей среды исследованной территории. Результаты логистической регрессии с псевдо-R^2, равным 0.3, и ROC-кривой, равной примерно 0.8, представляют собой относительное согласование модели с произошедшими изменениями и соответствующую способность модели оценить изменения в землепользовании и земном покрове за последние 26 лет. Результаты симуляции карты земного покрова за 2013 и 2039 гг. показали высокий потенциал для цепи Маркова при моделировании изменений земного покрова. В данном исследовании точность итоговой карты земного покрова составила 80%.

Ключевые слова: изменение землепользования, изменение земного покрова, дистанционное зондирование, цепь Маркова, дискретная модель, г. Ясудж.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10105

Землепользование и земной покров − это два самостоятельных термина, но зачастую они становятся взаимозаменяемыми (Dimyati et al., 1996). Земной покров означает физические характеристики земной поверхности, включающие в себя растительность, водные ресурсы, почву и другие физические свойства земель, в том числе созданные в результате человеческой деятельности, например, поселения. Тогда как землепользование означает способы, которыми люди обрабатывают землю для собственных нужд, в основном с упором на функциональную роль земель в экономике. Изменения в землепользовании и земном покрове − это динамический процесс, который протекает на биофизических поверхностях в определенном месте и за определенное время. Этот процесс крайне важен для исследований природных ресурсов. Такие исследования показали, что на планете Земля в своем естественном состоянии осталось всего несколько ландшафтов. Изменения землепользования и земельного покрова, будучи одной из важнейших движущих сил изменений глобальной среды, являются также и центром дискуссий об устойчивом развитии. Они стали главным и важным компонентом современных стратегий поддержания природных ресурсов и мониторинга изменений среды. Изменения землепользования и покрова стали основными проблемами и вызовами для экологически благоприятного и устойчивого развития экономического роста любой территории. Вместе с резким скачком популяции человеческая деятельность, такая как вырубка лесов, почвенная эрозия, глобальное потепление и загрязнения, стала крайне вредоносной для окружающей среды. Изменения в землепользовании и на водосборах могут влиять на количество и качество воды. Например, характер изменений землепользования из-за развития водосбора с недавних пор начали выражаться в возросшем поверхностном стоке, снизившейся скорости возобновления грунтовых вод и распространении загрязняющих веществ (Turner et al., 2001). Таким образом, оценка методов землепользования и их изменений на водосборном уровне является ключевой для планирования и управления водными ресурсами и землепользованием на отдельно взятом водосборе. Методы цифровой фиксации таких изменений основаны на многовременной и многоспектральной информации, полученной путем дистанционного зондирования, продемонстрировали свой высокий потенциал в качестве методов для понимания различий в динамике ландшафтов, идентификации, картографировании и мониторинга структуры землепользования и земного покрова за определенный период, безотносительно причинных факторов. В настоящее время материалы спутниковой съемки широко применимы и удобны для наблюдения за изменениями в землепользовании и покрове (Yuan et al., 2005; Brondizio et al., 1994). Дистанционное зондирование удобно масштабами обзора, многократным перекрытием и доступностью материалов в режиме настоящего времени. В частности, снимки Landsat сыграли важную роль в классификации различных ландшафтных компонентов на больших территориях (Ozesmi, Bauer, 2002). Цепь Маркова описывает изменения в землепользовании с одного по другой период, и полученные результаты станут основой для предсказания будущих изменений. Это становится возможным благодаря созданию матрицы вероятностей переходов для изменений землепользования за определенный период; она указывает на природу изменений и возможность их применения для предсказания изменений с одного периода по следующий. Y.H. Araya и P. Cabral (2010) провели анализ изменений городского землепользования для муниципалитетов Сетубал и Сезимбра в Португалии в период с 1990 по 2006 гг. и смоделировали изменения для 2020 года, применив дискретную модель. Их результаты показали, что городские территории возросли за указанный период на 91.11% и всего на 6.34% за период с 2000 по 2006 гг. Прогнозирующая способность данной модели была успешно подтверждена коэффициентом Каппа. B. Ye и Z. Bai (2008) изучили изменения землепользования в Нанкине (Китай) в 1985-2000 гг., применив ГИС-технологии и дистанционное зондирование. Затем, используя цепь Маркова и дискретную модель, они смоделировали ход землепользования для 2015 и 2030 гг. Результаты показали, что за период исследования установлен тренд уменьшения лесных земель и тренд увеличения сельскохозяйственных угодий.

Наше исследование демонстрирует применение спутниковых снимков, собранных за длительный период, для определения динамики землепользования и земного покрова и моделирования пространственной и временной динамики этих изменений для последующих лет, с использованием цепи Маркова для окрестностей г. Ясудж, расположенного в провинции Кохгилуйе и Бойерахмед, в Иране. Таким образом, главная задача данного исследования − установить и описать различные категории и шаблоны изменений в землепользовании и земном покрове, произошедшие за 26-летний

период с 1987 по 2013 гг., и проанализировать изменения для следующих 26 лет.

Материалы и методы

Область исследований. Пригород г. Ясудж, столицы провинции Кохгилуйе и Бойерахмед расположен между 30° 22' 00"-30° 48' 30" с.ш. и 51° 20' 40"-51° 51' 00" в.д. в Иране (рис. 1). После отделения Кохгилуйе и Бойерахмед от провинции Фарс в 1976 г. город Ясудж сразу же сделали столицей. Область исследований занимает 10193 га. Минимальная и максимальная превышение составляют 1622 и 3263 м н.у.м. соответственно. В среднем здесь выпадает около 823.9 мм дождевых осадков в год.

Сбор данных. Материалы, использованные в нашем исследовании, поделены на спутниковые и вспомогательные. Спутниковые снимки разрешением 30 м были получены с помощью Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM$^+$ в 1987, 1999 и 2013 гг. Их можно загрузить из USGS Earth Explorer. Обработка и дешифровка снимков для подготовки карт землепользования и земного покрова сделаны в программном обеспечении IDRISI KILIMANJARO (Eastman, 2003). Вспомогательные материалы включали в себя топографические карты, карты с расположением деревень и дорог, карты рек и водотоков.

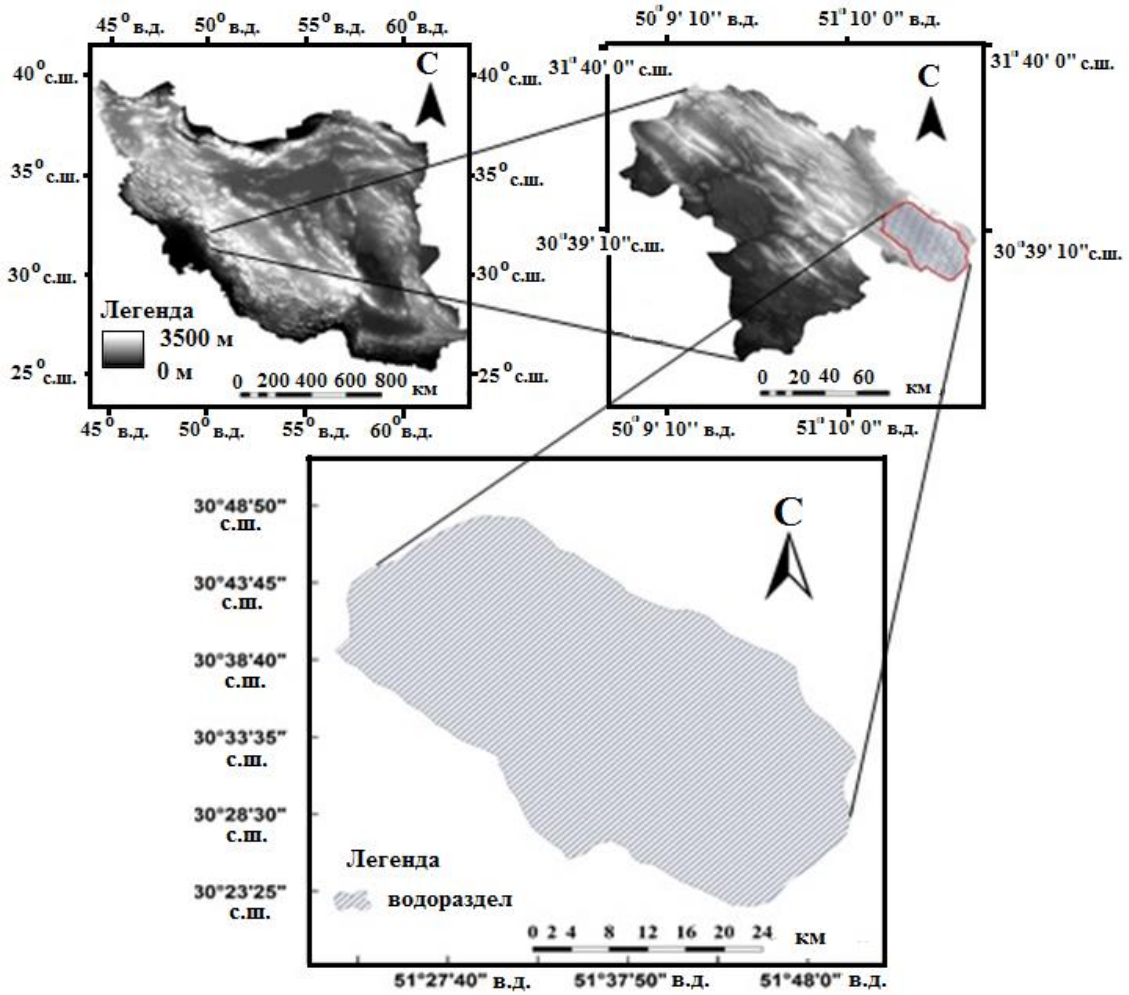


Рис. 1. Область исследований.

Предварительная обработка снимков. Методы для улучшения снимков, такие как выравнивание гистограммы, спектрозональное комбинирование цветовых уровней и распределение спектров, были применены к каждому изображению для улучшения его качества. С помощью топографического листа масштабом 1:50000 мы очертили область исследований.

Методология. Работа выполнялась в 4 этапа: классификация снимков, изменений

землепользования и земного покрова, прогнозирование их последующих изменений, подтверждение прогнозов. Каждый этап сопровождается пояснениями.

Классификация снимков. Обработанные спутниковые данные за 1987, 1999 и 2013 гг. были изучены путем присвоения сигнатуры каждому пикселю и разделения области исследований на разные классы на основе значения дискретного числа каждого элемента из ландшафта, а также разделения методами управляемой и автономной классификации. При автономном методе мы использовали кластерный алгоритм итеративного самоорганизующегося анализа данных (ISODATA), чтобы избежать влияния характеристик наших образцов без назначения предопределенных наборов сигнатур в качестве начальных кластеров. Это позволило выявить спектральные кластеры на снимках, исключив тепловой уровень, и провести классификацию соответственно количеству необходимых кластеров и доступных дискретных чисел. Группировка по спектрам была рассчитана автоматически на основе только математической разницы спектральных значений. Количество кластеров определяется методом проб и ошибок, чтобы правильно установить коэффициент отражения у спектра отдельного снимка. Количество кластеров недостаточно мало, для того чтобы среди них можно было найти смешанные кластеры нескольких классов, но не настолько, чтобы нельзя было определить спектр отражения. Соответственно, каждый снимок был сгруппирован в 24 спектральных кластера. При управляемой классификации мы определили и классифицировали категории и типы покровов, использовав алгоритм максимальной вероятности, который основан на следующих 6 этапах. 1) Обучающие последовательности (сигнатуры), предоставленные пользовательской базой в области знаний этого пользователя; 2) выделение из спектра снимка отдельных спектральных сигнатур для каждого типа землепользования; 3) изучение способности каждого типа землепользования и покрова к спектральному разделению; 4) выбор классификатора или правила принятия решения; 5) классификация снимка; 6) оценка точности данной классификации. Таким образом, карты землепользования за 1987, 1999 и 2013 гг. были составлены двумя способами − с помощью управляемой и автономной классификаций.

Обнаружение изменений землепользования и земного покрова. Модель Маркова не предоставляет никакой информации по пространственной зависимости. Поэтому мы объединили дискретную модель и цепь Маркова (дискретная модель Маркова), чтобы получить результаты с привязкой к локации. Фактически дискретная модель разрабатывает простой весовой коэффициент, который помещает больше веса в области, наиболее близкие к месту землепользования. Это приводит не к случайным изменениям в землепользовании, а только рядом с типами текущего землепользования. После подготовки карт землепользования по вышеупомянутым годам с использованием анализа Маркова, были получены снимки условной вероятности, матрица вероятности перехода и матрица площади перехода для периодов 1987-1999 и 1987-2013 гг. Модуль CROSSTAB помог изучить изменения в земном покрове за те же периоды. Важный аспект обнаружения таких изменений − это определить, что чем заменяется, т.е. какой тип землепользования чем заменяется. Анализ цепи Маркова − удобный метод для моделирования изменений в землепользовании в том случае, когда эти ландшафтные трансформации и процессы трудно описать.

Прогнозирование. После выполнения анализа Маркова мы использовали дискретную модель Маркова, чтобы спрогнозировать карты землепользования и земного покрова для 2013 и 2039 гг. Фактически мы получили спрогнозированное изображение для 2013 года, чтобы подтвердить действенность модели. Для применения дискретной модели Маркова необходимы: 1) базовые снимки землепользования и покрова (классифицированные снимки 1987 г.); 2) файл с матрицей площади перехода, которая является одним из результатов применения модели Маркова; 3) предпочтительное отображение (Desirability images), где предпочтительность − это соответствие ячейки карты определенному земному покрову. Например, желательная картина лесопользования может включать в себя такие критерии, как удаленность от дорог, уклон и т.д. В нашем исследовании были использованы следующие критерии.

Физические переменные: высота н.у.м., уклон и географическое направление, полученные из цифровой модели рельефа (DEM). Метрические ландшафтные параметры: в работах различных исследователей было доказано, что дистанционные параметры важны для изучения изменений в растительном покрове, поэтому мы также учитывали удаленность от дорог, деревень и поверхностной дренажной сети. Из параметров спутниковых снимков мы использовали приведенную

разность растительного индекса, чтобы получить наглядные изображения. Логистическая регрессия потребовалась для создания наибольшего соответствия карт. Чтобы оценить точность модели логистической регрессии, мы использовали псевдо-R^2 и ROC-кривую. Значение 0.2 для псевдо-R^2 считается подходящим (Clark, Hosking, 1989). ROC-кривая − это подходящий статистический метод для оценки пригодности модели и может быть использован для сравнения спрогнозированных и реальных изображений. Значение 1 указывает на полное пространственное соответствие картине, а значение 0.5 − на низкое соответствие (Pantiusjr, Spencer, 2005). Получив карту желаемых критериев с использованием модуля RECLASS, мы сделали карты изменения отдельно для каждого типа землепользования для периодов 1987-1999 и 1987-2013 гг.

Подтверждение пригодности модели. Важным шагом в разработке любой модели, которая прогнозирует какие-либо изменения, является подтверждение ее пригодности. Для оценки точности классификации, мы использовали полевые наблюдения и изображения Google Earth для обучающих последовательностей, случайным образом полученных для региона, от каждого типа землепользования. После применения этих последовательностей к изображению мы получили матрицу классификационной ошибки. На матрице для каждого типа землепользования отображены такие статистические данные, как точность составителя карты, точность пользователя карты, общая точность и коэффициент Каппа.

После использования метода дискретной модели Маркова, применив модуль VALIDATE и использовав карту землепользования за 2013 г. в качестве базовой карты, а спрогнозированную карту для того же года − в качестве сравнительной, мы подтвердили пригодность модели. В модуле VALIDATE это подтверждение разделено на несколько компонентов, включая Каппа для отсутствия информации (K_{no}), для локации ($K_{location}$), для слоев локации и стандартный коэффициент ($K_{standard}$), из которых каждый представляет собой особенный индекс, тип коэффициента Каппа или связанных статистических данных (Pontius, 2000).

Результаты и их обсуждение

На рисунках 2-5 показаны карты землепользования для 1987, 1999, 2013 и 2039 гг. Необходимо подчеркнуть, что карта для 2039 года была спрогнозирована с помощью дискретной модели Маркова, а для других лет − с помощью классифицированных спутниковых снимков.

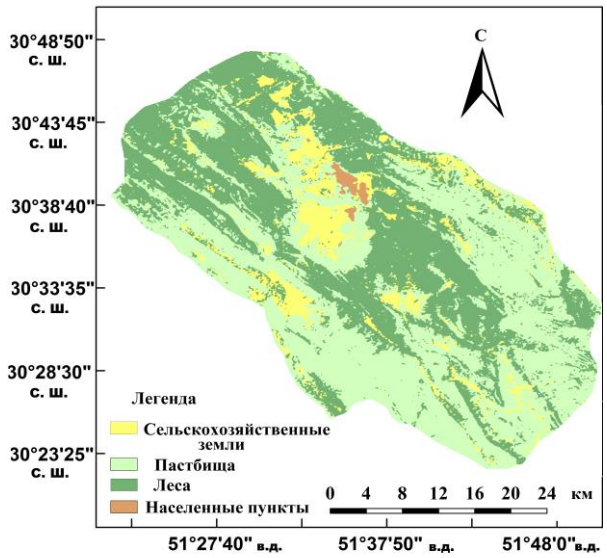


Рис. 2. Карта землепользования для 1987 г.

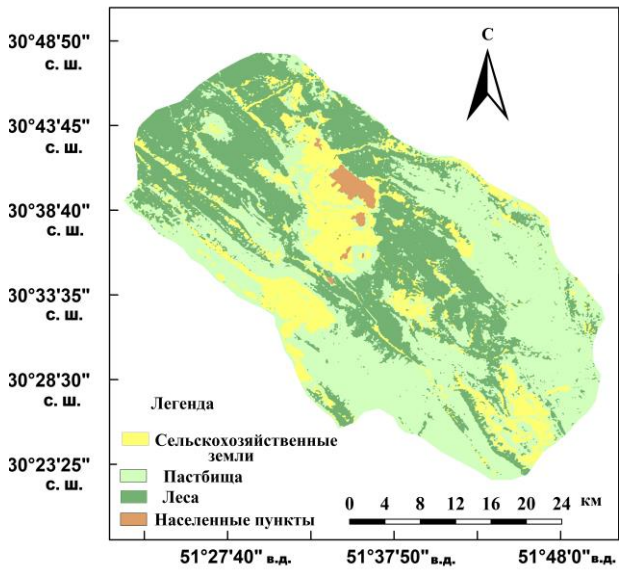


Рис. 3. Карта землепользования для 1999 г.

В таблице 1 показаны площадь и процент от общей площади для каждого типа землепользования за разные годы. Как видно, во все годы исследования самая большая площадь землепользования принадлежала пастбищам, а самая малая − населенным пунктам. Процент естественных земель (лесов и пастбищ) в 1987, 1999, 2013 и 2039 гг. составил 90, 82, 73 и 59% соответственно. Процент

рукотворных земель (сельхозугодий и населенных пунктов) − 10, 18, 27 и 41% соответственно. Таким образом, можно сказать, что естественные земли в области исследований постепенно становятся рукотворными, поэтому примерно за 40 лет (с 1987 по 2013 гг.) около 30% естественных земель сократиться, что может повлечь за собой последствия, опасные для экологии исследованной территории.

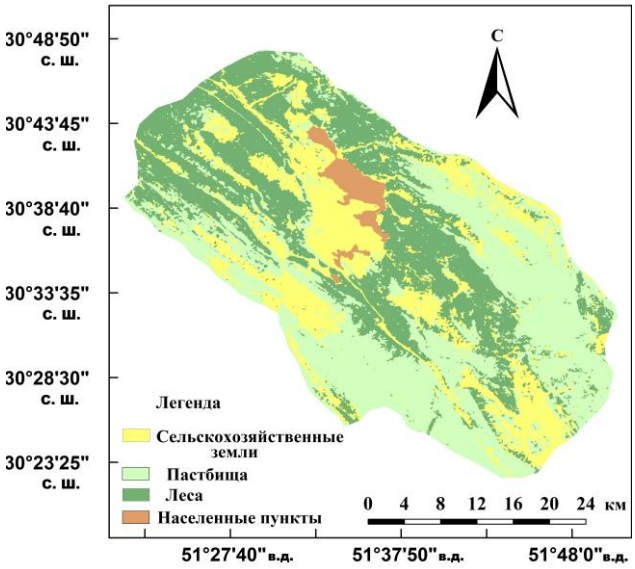


Рис. 4. Карта землепользования для 2013 г.

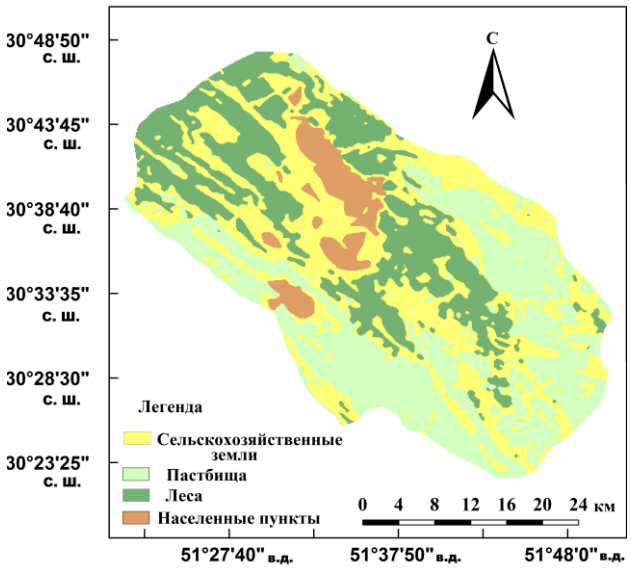


Рис. 5. Карта землепользования для 2039 г.

Таблица 1. Площади, занятые разными типами землепользования в разные годы.

Площадь, %	Площадь, га	Тип землепользования	Год
9.89	12273.84	Сельхозугодия	1987
48.11	59677.92	Пастбища	
41.37	51321.06	Леса	
0.61	758.88	Населенные пункты	
16.47	20427.25	Сельхозугодия	1999
46.32	57436.95	Пастбища	
36.16	44839.85	Леса	
1.03	1287	Населенные пункты	
24.28	30126.96	Сельхозугодия	2013
38.71	48017.34	Пастбища	
34.58	42898.68	Леса	
2.4	2988.99	Населенные пункты	
38.71	43836.39	Сельхозугодия	2039
32.04	39754.8	Пастбища	
26.96	33122.52	Леса	
5.92	7345.89	Населенные пункты	

В таблице 2 показана площадь, проценты и тренд изменений в землепользовании для каждого из изученных периодов. Из нее видно, что за все периоды тренд для лесов и пастбищ был нисходящим, а для сельхозугодий и населенных пунктов − восходящим. Больше всего изменений за 1987-1999 гг. произошло в сельхозугодиях и лесах, при этом площадь лесов уменьшилась на 4240 га больше, чем

сельхозугодий, а значит, множество лесов перевели под сельхозугодия и населенные пункты. Больше всего изменений за 1987-2013 гг. произошло в сельхозугодиях и пастбищах, при этом площадь пастбищ уменьшилась на 4240 га больше, чем площадь лесов, а значит, большинство пастбищ перешло под сельхозугодия и населенные пункты. Спрогнозировано, что больше всего изменений за 2013-2039 гг. произойдет в сельхозугодиях и лесах, при этом леса уменьшатся на 1513 га больше, чем пастбища, а значит, большинство лесов уйдет под сельхозугодия и населенные пункты.

Таблица 2. Площадь в гектарах и процентах и тренд изменений типов землепользования за три временных периода.

Тренд изменений	Изменения площади, %	Изменения площади, га	Тип землепользования	Периоды
Восходящий	6.58	8153.41	Сельхозугодия	1987-1999
Нисходящий	1.79	2240.97	Пастбища	
Нисходящий	5.21	6481.21	Леса	
Восходящий	0.42	528.12	Населенные пункты	
Восходящий	14.39	17853.12	Сельхозугодия	1987-2013
Нисходящий	9.4	11660.58	Пастбища	
Нисходящий	6.79	8422.38	Леса	
Восходящий	1.79	2230.11	Населенные пункты	
Восходящий	11.05	13709.43	Сельхозугодия	2013-2039
Восходящий	6.67	8262.54	Пастбища	
Нисходящий	7.62	9776.16	Леса	
Восходящий	3.52	4356.9	Населенные пункты	

В следующие 26 лет площадь сельхозугодий увеличится на 3%, т.е. меньше, чем за последние 26 лет; пастбищ − уменьшится на 2%, т.е. меньше, чем за прошедший период; лесов − на 0.8%, т.е. больше, чем за прошедший период; населенных пунктов − увеличится на 1.7%, т.е. больше, чем за прошедший период. Поэтому можно утверждать, что за следующие 26 лет леса и населенные пункты будут изменяться быстрее, чем сельхозугодия и пастбища. Однако в связи с необходимостью обратить внимание на ключевую роль природных ресурсов за последние годы это уменьшение изменений остается неудовлетворительным.

Классификация для 1987, 1999 и 2013 гг. имеет общую точность 80% и индекс Каппа 0.89%. И хотя оба показателя для классифицированных снимков всех трех лет примерно равны и составляют 79 и 0.89 соответственно, точность составителя и пользователя карт варьируют за разные годы для разных типов землепользования и земного покрова. Так, в 1987 г. они составили 79 и 76% соответственно; самая низкая точность пользователя наблюдалась для пастбищ − 67.6%. В 1999 г. они составили 78.7 и 74.3%; самая низкая точность пользователя для пастбищ − 67.3%. В 2013 г. они составили 78.5 и 76.8%; самая низкая точность пользователя для пастбищ − 70.3%. Заметно, что точность составителя карт выше пользовательской, потому что первая основана на тестовых пикселях, а вторая − на общем изображении.

В нашем исследовании карты для 2013 и 2039 гг. были спрогнозированы с помощью дискретной модели Маркова. Карта для 2013 года создана, чтобы оценить точность данного метода, а карта для 2039 года − чтобы изучить, как будут проходить изменения в землепользовании в течение следующих 26 лет. При использовании дискретной модели переменные, влияющие на изменения, вовлечены в процесс составления модели, который использует логистическую регрессию, чтобы анализировать и прогнозировать эти изменения. Фактически в логистической регрессии каждый тип землепользования выступает зависимой переменной, а факторы, влияющие на земной покров, − в качестве независимых (критерий предпочтительности), что и было обозначено в нашей модели. Коэффициент корреляции и отношение между независимыми и зависимыми переменными или, другими словами, влияние удаленности от города, дорог и прочего на изменения в землепользовании показано в логистической регрессии с помощью псевдо-R^2 и ROC. Средние значения ROC и псевдо-R^2 для разных типов землепользования и земного покрова за период 1987-1999 гг. составили 0.84 и

0.27 соответственно. Наибольшее среднее значение обоих переменных за указанный период связано с населенными пунктами и составляет 0.9 и 0.4 соответственно. За период 1987-2013 гг. − 0.8 и 0.23, наибольшее среднее значение также связано с населенными пунктами − 0.9 и 0.42. Все перечисленные индексы указывают на точность моделирования с помощью логистической регрессии.

На рисунке 6 показана карта землепользования, спрогнозированная для 2013 г. Чтобы оценить точность нашей модели, эту карту сравнили с настоящей картой, составленной по спутниковым снимкам, в результате чего было получено 4 индекса Каппа, которые показаны в таблице 3. Эти индексы указывают на точность применения дискретной модели Маркова. Индекс $K_{location}$ демонстрирует, насколько ячейки смоделированной карты накладываются на настоящую карту изменений землепользования. Индекс Каппа слоев локации показывает, насколько точно смоделированная карта накладывается на свои типы землепользования.

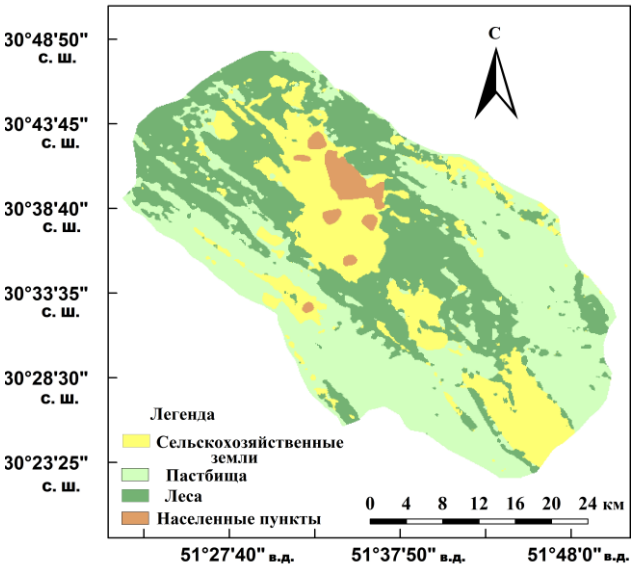


Рис. 6. Карта землепользования для 2013 г.

Выводы

Данное исследование направлено на то, чтобы обнаружить изменения в землепользовании за последние 26 лет и спрогнозировать новые изменения на следующие 26 лет. Оптимальный сценарий жизни в городских сообществах подчеркивает необходимость планирования землепользования, чтобы регулировать его направление и развитие в городах. Территории, которые окружают городские области, находятся под влиянием многих факторов, включая изменения окружающей среды, природные бедствия и человеческую деятельность. Степень изменений среды зависит от демографических, структурных и функциональных характеристик сообщества, в котором эти изменения происходят. В подобных ситуациях планирование рационального развития города играет важную роль в улучшении качества среды и уровня жизни населения. С учетом растущей популяции и активной миграции деревенских жителей в городские области, а также возникновение экологических проблем, в том числе разрушение естественных лесов и пастбищ, необходимо изучать последствия и влияние подобной деятельности. Вследствие широкого распространения изменений в землепользовании и земном покрове, использование технологий дистанционного зондирования стало главным инструментом в их изучении и мониторинге. Создание карт землепользования и покрова с использованием спутниковых снимков − один из самых быстрых и наименее затратных способов достичь поставленных целей. Результаты как нашего, так и других исследований, указывают на то, что спутниковая съемка способна помочь в подготовке карт землепользования. С другой стороны, исследования демонстрируют, что ГИС-технологии и дистанционное зондирование подходят для сбора пространственно-временных данных.

Таблица 3. Индексы подтверждения работоспособности дискретной модели Маркова.

Индекс Каппа (K)				Год
$K_{standard}$	K для слоев локации	$K_{location}$	K_{no}	
0.82	0.5	0.87	0.89	2013

Город Ясудж возник и развился в результате прямого влияния политических решений и воли правительств разных исторических периодов. В 1966 году центральное правительство страны отрядило военные силы, чтобы контролировать восстание местных племен, после чего был заложен сегодняшний

центр Ясуджа, который насчитывал тогда всего 900 человек. Власти намеревались увеличить военное присутствие и свое влияние, поэтому для контроля ситуации в регионе были созданы многочисленные правительственные агентства и выделены новые военные силы и государственные чиновники. Население Ясуджа, который в 1966 году занимал 5 га, выросло до 931 человека. Исследование его роста с 1986 по 2011 гг. показывает, что популяция держалась на высоком уровне: с 29991 человека в 1986 г. при среднем годовом росте на 10.3% она увеличилась до 48958 человек в 1991 г., а затем до 69133 и 100544 при среднем годовом росте на 7.2 и 3.78% в 1996 и 2006 гг. соответственно. Наконец, в 2011 году население города достигло 108505 человек.

Рост населения провинции на 2%, как следует из Переписи населения 2011 года (Program and Budget ..., 2011), указывает на нежелательный феномен переселения сельских жителей в города. Поэтому на данный момент считается, что в г. Ясудж наиболее высокий процент мигрантов, что является одной из самых главных социальных, политических и экономических проблем города.

Стремительный рост населения Ясуджа, особенно с 1970-х гг., происходил за счет строительства и концентрации различных объектов инфраструктуры, таких как большие дороги, обеспечивающие доступ в город и провинцию, больницы, аэропорты и университеты, создание которых послужило толчком для миграции людей из окрестных деревень, что, в свою очередь, несомненно, повлияет на рост населения и дальнейшее развитие инфраструктуры. Помимо прочего, комфортная погода и привлекательная природа в окрестностях Ясуджа превратила его в город иммигрантов, поэтому большое количество людей из других городов и сельской местности переезжает в этот город. С другой стороны, экономическое, социальное и индустриальное развитие Ясуджа за последнее время привело к тому, что жители окрестных деревень бросили свою работу и дома и ушли на более выгодный заработок в поисках лучшей жизни в самом городе, который в свою очередь не был готов принять неожиданных гостей. Недостаток внимания к экологической ситуации и балансу региона, продолжающийся рост населения и, следовательно, расширение города приведет к качественной и количественной редукции естественных территорий и растительности.

Данные из нашего исследования указывают на то, что естественные ландщафты вокруг г. Ясуджа, т.е. леса и пастбища, превращаются в сельскохозяйственные земли и населенные пункты. За 40-летний период 1987-2013 гг. население увеличилось в 3.5 раза, что вызвало необходимость строить новые дома и привело к увеличению площади, занятой поселениями, в 4 раза и сокращению естественных территорий вокруг города на 30%. Все перечисленное может привести к серьезным экологическим последствиям. За последние 26 лет (с 1987 по 2013 гг.) сократилось около 20082 га лесов и пастбищ, из которых 17853 га перевели под сельскохозяйственные угодья, а 2230 га − под населенные пункты. В следующие 26 лет площадь лесов и пастбищ сократится еще на 18038 га.

Результаты логистической регрессии с применением псевдо-R^2, равным примерно 0.3, и ROC кривой, равным 0.9%, указывают на относительное согласование модели с реальными изменениями и подтверждают способность этой модели оценить изменения в землепользовании для последних 26 лет. Дискретная модель Маркова с высокой вероятностью позволяет смоделировать изменения землепользования; в данном исследовании точность составленных карт составила примерно 80%. Изучение землепользования и земного покрова за разные годы показало, что изменения в основном заключаются в сокращении площади лесов и пастбищ и расширении сельхозугодий и городских территорий. На основе этого можно заключить, что основная причина изменений в землепользовании и земном покрове в пределах изученной территории − это вмешательство человека. Таким образом, мониторинг изменений землепользования и растительных индексов в г. Ясудж, который переживает рост населения, важен для налаживания связей между политическими решениями, мерами управления и последующей деятельности в области землепользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Araya Y.H., Cabral P. 2010. Analysis and modeling o urban land cover change in Setubal and Sesimbra, Portugal // Remote Sensing. Vol. 2. P. 1549-1563.

Brondizio E.S., Moran E.F., Wu Y. 1994. Land use change in the Amazon estuary: patterns of Caboclo settlement and landscape management // Human Ecology. Vol. 22. No. 3. P. 249-278.

Clark W.A., Hosking P.L. 1986. Statistical methods for geographers. NY: John Wiley and Sons. 528 p.

Dimyati M., Mizuno K., Kitamura T. 1994. An Analysis of Land Use/Cover Change using the combination of MSS Landsat and Land Use Map: A Case Study in Yogyakarta, Indonesia // International Journal of Remote Sensing.

Vol. 17. No. 5. P. 931-944.
Eastman J.R. 2003. IDRISI KILIMANJARO: Tutorial, Manual version 14.0002. Clark University. 269 p.
Ozesmi S.L., Bauer M.E. 2002. Satellite remote sensing of wetlands // Wetlands Ecology Management. Vol. 10. P. 381-402.
Pantiusjr R.G., Spencer J. 2005. Uncertainty in extrapolations of predictive land cover models // Environment and Planning and Design. Vol. 33. P. 211-230.
Pontius G.R. 2000. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps // Photogrammetric Engineering Remote Sensing. Vol. 66. P. 1011-1016.
Program and Budget Organization of Kohgiluyeh and Boyerahmad Province. 2011. Report.
Turner M.G., Gardner R.H., O'Neill R.V. 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process. NY: Springer-Verlag. 482 p.
Ye B., Bai Z. 2008. Simulating land use cover changes of Nanjing County based on Ca-Markov model // IFIP International Federation for Information Processing. Vol. 1. P. 321-329.
Yuan F., Sawaya K.E., Loeffelholz B., Bauer M.E. 2005. Landcover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing // Remote Sensing Environment. Vol. 98. P. 317-328.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 50-58

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.52

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИКАСПИЯ

© 2020 г. А.С. Табелинова*, **

**Казахстанский филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, кафедра экологии и природопользования*
Казахстан, 010010, г. Нур-Султан, ул. Кажымукана, д. 11
***Республиканское общественное объединение «QazaqGeography»*
Казахстан, 010000, г. Нур-Султан, просп. Абая, д. 22. E-mail: biota0506@mail.ru

Поступила в редакцию 23.09.2019. После доработки 20.12.2019. Принята к публикации 20.12.2019

В статье проведен анализ роли ландшафтной структуры северо-восточного Прикаспия в развитии геоэкологических процессов. Целью исследования было проведение геоэкологического районирования северо-восточного Прикаспия на основе изучения основных факторов, определивших характер и интенсивность развития современных ландшафтов и основных геоэкологических процессов: высотной и геоморфологической дифференциации территории, сложившейся в процессе длительной истории развития региона, значительных периодических колебаний уровня Каспийского моря и развития в регионе хозяйственной деятельности, включая нефтедобывающую промышленность.

Составлена карта пространственной дифференциации геоэкологических процессов в ландшафтах северо-восточного Прикаспия на основе их изучения в пределах различных антропогенных модификаций на шести ключевых участках. Определение пространственного распространения геоэкологических процессов в ландшафтах исследуемого региона проводилось по прямым и косвенным дешифровочным признакам с применением синтезированных многозональных космических снимков Landsat 5, 7. На основе этой карты с помощью геоинформационного картографирования в программе ArcGis 10.3 составлена карта геоэкологического районирования северо-восточного Прикаспия с выделением 25 геоэкологических районов и 127 подрайонов – территориальных подразделений (подвидов современных ландшафтов), отличающихся однотипными природными (ландшафтными) и антропогенно-обусловленными факторами их формирования, определяющимих географическое распространение и преобладание определенных геоэкологических процессов.

Ключевые слова: геоэкологические районы, геоэкологические процессы, современные ландшафты северо-восточного Прикаспия, ландшафтные ярусы.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10106

Современные ландшафты северо-восточного Прикаспия сформировались в процессе длительной истории естественной эволюции природной среды (неотектонических движений и трансгрессивно-регрессивных фаз колебания уровня Каспийского моря) и воздействия антропогенных факторов (экстенсивного сельского хозяйства и нефтедобычи).

Под геоэкологическими процессами понимаются изменения, происходящие в современных ландшафтах под влиянием антропогенных воздействий на фоне естественной эволюции природной среды (неотектонических движений, трансгрессий и регрессий Каспийского моря) и оказывающие влияние на жизнедеятельность населения (расселение, продуктивность сельскохозяйственных угодий и др.).

Основными природными (физико-географическими) и геоэкологическими процессами в современных ландшафтах исследуемого региона являются засоление, деградация и динамика проективного покрытия растительности, дефляция и эоловая аккумуляция, линейная эрозия и плоскостной смыв, карст, подтопление и затопление, техногенные загрязнения.

Цель исследования – геоэкологическое районирование и картографирование северо-восточного Прикаспия по природным и антропогенным факторам, определяющим особенности и пространственную дифференциацию природных (физико-географических) и геоэкологических процессов.

Анализ роли природных свойств ландшафтной структуры северо-восточного Прикаспия в

развитии природных (физико-географических) и геоэкологических процессов основывается на изучении роли современной вертикальной дифференциации территории региона, сложившейся в ходе формирования основных геоморфологических уровней под влиянием значительной неотектонической деформации региона, а также на исследовании влияния колебаний уровня Каспийского моря в периоды исторических трансгрессий (позднехвалынской, ранне- и поздненовокаспийской) и регрессий (Рычагов, 2011). Отправной точкой в теории вертикальной дифференциации стало выделение ландшафтных ярусов и подъярусов (Николаев, 1979; Мильков, 1947), отличающихся по возрасту, особенностям становления их современной структуры, условиям проявления зональных и азональных факторов.

Материалы и методы

На основе геоинформационного картографирования в программе ArcGis 10.1 в результате анализа высотной дифференциации ландшафтов территории и распространения геоэкологических процессов было проведено геоэкологическое районирование северо-восточного Прикаспия. Основными территориальными единицами районирования являются ландшафтные ярусы и подъярусы, подразделяющиеся на геоэкологические районы с учетом пространственного распространения и преобладания определенных геоэкологических процессов. Дифференциация ландшафтов на основании их абсолютных высотных отметок и выделение геоэкологических процессов на этой территории были проведены с помощью типологического районирования.

Согласно мнению Д.Л. Арманда, «Районирование – это классификация территории, положенная на карту» (Арманд, 1975, с. 161), т.е. районирование заключается в объединении территориальных выделов, обладающих относительным сходством по некоторому, признанному для данной ступени классификационному признаку (объединенных однородных участков). По данному принципу было проведено многоуровенное геоэкологическое районирование территории северо-восточного Прикаспия, где на каждом уровне районирования использовался определенный классификационный признак (схема выделяемых единиц геоэкологического районирования; рис. 1).

Рис. 1. Схема геоэкологического районирования.

На основе типологического районирования была проведена ландшафтная дифференциация территории (Мильков, 1947). По морфоструктурным особенностям и генезису рельефа были выделены ландшафтные ярусы (рис. 2), т.е. геоморфологические уровни, отличающиеся по абсолютной высоте, возрасту и истории геологического развития, условиям проявления зональных и азональных факторов, обусловливающих особенности ландшафтного строения территории (Николаев, 1979). Ландшафтные ярусы и подъярусы выступают в роли (макро)фактора ландшафтной дифференциации в северо-восточном Прикаспии.

Ландшафтные ярусы делятся на подъярусы по морфолитологическим и морфометрическим характеристикам рельефа, обуславливающим развитие геоэкологических процессов природного генезиса. Ландшафтные подъярусы по типу антропогенного использования, оказывающему влияние на формирование геоэкологических процессов антропогенного генезиса или усиливающему природные геоэкологические процессы, делятся на

геоэкологические районы, выделенные на основе индивидуального районирования. Например, в условиях близкого залегания высокоминерализованных грунтовых вод выделяется такой геоэкологический район, как Северо-восточная ранненовокаспийская морская аккумулятивная равнина, осложненная соровыми и солончаковыми понижениями, подвергающаяся сильному засолению и деградации растительного покрова в условиях периодического колебания уровня моря. Вследствие расположенных крупных нефтяных месторождений, сосредоточенных на определенной территории с ареалами исторического нефтяного загрязнения, данный геоэкологический район делится на два подрайона: западный и восточный; в первом северном подрайоне преобладают процессы деградации растительного покрова и дефляции, во втором – сильная степень загрязнения техногенными нефтеуглеводородами и засоление.

Геоэкологические районы по степени проявления доминирующих геоэкологических процессов в антропогенных типах подвидов ландшафта дифференцируются на геоэкологические подрайоны.

Исследуемые геоэкологические процессы изучались на ключевых участках в пределах ландшафтов северо-восточного Прикаспия (в масштабе до 1:500000) и на всей исследуемой территории (в масштабе 1:2500000) с применением полевых и дистанционных методов исследования, сравнительного системного анализа и полимасштабного картографирования, что позволило выявить их генезис (природную и антропогенную причины возникновения), пространственное распространение и интенсивность их проявления. Ключевые участки выбирались в зависимости от наибольшей подверженности ландшафтов развитию основных геоэкологических процессов (рис. 2).

Выявление интенсивности природных (физико-географических) и геоэкологических процессов проводилось в соответствии с разработанным комплексом факторов и критериев исследования процессов на шести ключевых (рис. 2, врезки 1) участках (в масштабе до 1:500 000) в зависимости от наибольшей подверженности ландшафтов развитию определенного процесса (табл.).

При исследовании процессов засоления по данным дистанционного зондирования на ключевом участке в пределах залива Кайдак и Комсомолец (рис. 3, график 3) были выявлены участки, вышедшие из-под воды, занятые рапой и представляющие собой обширную сорово-солончаковую равнину, которая расширяется во время регрессий моря. С помощью построения графиков кривых спектральной яркости (Кравцова, 2005) на комбинированном изображении космического снимка Landsat 5 по каналам 4, 3, 2 в программе MultiSpec были определены типы засоленных почв в пределах выделенного ключевого участка (рис. 3). Кривые спектральной яркости маршевых солончаков имеют высокое значение отражательной способности в синем и зеленом спектральных зонах (1 и 2 каналы снимка Landsat 5), а также в инфракрасной зоне (рис. 3, график 2) и формируются на морской слабонаклонной равнине с редкими озерными понижениями под однолетнесолянковой-сарсазановой (*Halocnemum strobilaceum, Climacoptera crassa, Suaeda acuminata, Petrosimonia triandra*) растительностью. На снимке хорошо читается повышенная влажность почвы (рис. 3, график 1).

Также интенсивность засоления почв в прибрежных ландшафтах северо-восточного Прикаспия определялась по растительному покрову, так как солонцы обычно формируются в микропонижениях равнин на засоленных породах под многолетне-солянково-полынной растительностью (биюргун, черная полынь и др.), а солончаки (приморские, соровые и луговые) занимают пониженные части мезорельефа и формируются под солянками или не имеют растительного покрова. Солончаки приморские прослеживаются полосой по современной береговой зоне моря и образуются под редким покровом различных галофитов (солянково-полынными комплексами), на сильно минерализованных грунтовых водах близкого залегания (1-2 м). Отражательная способность данных почв имеет высокие значения в синем, зеленом и инфракрасных спектральных зонах, но значительно ниже по отражательной способности солончаков маршевых (рис. 3, график 2).

Прямые и косвенные дешифровочные признаки пространственного распространения и интенсивности проявления геоэкологических процессов позволили перейти от исследования ключевых участков к картированию процессов на всей изучаемой территории (рис. 4, 5). Например, для процесса засоления почв прямыми дешифровочными признаками являются морфологическая выраженность процесса (светлый тон и четкие контуры рисунка, солевая корка на поверхности), глубина и минерализация грунтовых вод, косвенными признаками – видовой состав растительности (однолетне- и многолетнесолянковая растительность) и появление галофитной растительности на месте тростниково-камышовых зарослей в ландшафтах первичной морской равнины. Прямыми дешифровочными признаками водной эрозии (линейной и плоскостного смыва) являются крутизна и

экспозиция склонов, косвенными – образование конусов выноса и направление потока выносимого материала.

Таблица. Комплекс факторов, методов и критериев оценки степени развития геоэкологических процессов.

Процессы	Факторы	Методы, критерии и дешифровочные признаки
Засоление	● характер рельефа; ● глубина и минерализация грунтовых вод	– наличие галофитно-полынной растительности: 1) сильная (однолетнесолянково-сарсазановой и многолетнесолянковая), средняя (многолетнесолянково-полынная, сарсазановая); слабая (чернополынно-кокпековая истегеково-биюргуновая); – морфологическая выраженность засоления на космических снимках, в %; – изменение площади процесса: сильная степень (≥ 40%), средняя (20-30%); слабая (≤20%); – значение кривой спектральной яркости (КСЯ) многозонального космического снимка Landsat отражательные способности в синем и зеленом спектральных зонах; – результаты расчета нормализованного индекса разновидности засоления (NDSI)
Динамика проективного покрытия растительности	● колебание уровня моря; ● техногенная нагрузка	– смена видового состава растительного покрова и его общего проективного покрытия выявленные на синтезированном космическом снимке Landsat за определенный период времени; – расчет нормализованного вегетационные индексы (NDVI): степень процесса: сильная (изменение ОПП≥40%, NDVI>0.6), умеренная (изменение ОПП – 20-40%, NDVI – 0.45-0.55), слабая (изменение ОПП – 0-20%, NDVI<0.45; Бекмухамедов, Муратова, 2013)
Дефляция и эоловая аккумуляция	● направление и скорость ветра (более 3-5 м/с) на высоте 2 м над землей	– наличие барханных форм рельефа и котловин выдувания; – характер рисунка контуров (Кравцова, 2005) и изменение барханных форм рельефа по синтезированным космическим снимкам Landsat 5, 7 (по каналам 7, 4, 2): сильная степень (эоловая рябь, чередование участков выноса песка, бугры наносов выше 20 см, поверхность более светлая), средняя (наблюдается эоловая рябь, бугры наносов до 20 см, поверхность почв светлая), слабая (разрозненные пятна наносов до 5 см); – растительный и почвенный покров, общее проективное покрытие растительности (ОПП, %), сильная (<10%); средняя (10-30%), слабая (>30%); – механический состав почвенных грунтов
Техногенное загрязнение	● источники техногенного загрязнения	– картографирование нефтегазовых реализуемых месторождений; – анализ изменение кривой спектральной яркости (КСЯ); – отражательная способность загрязнению нефтью почв; – расчет ореола загрязнения атмосферного воздуха при сжигании газа на факелах в программе ЭРА

Ландшафтный подход исследования геоэкологических процессов показал:

1) среди выделенных 123 антропогенных модификаций современных ландшафтов основное распространение на территории северо-восточного Прикаспия получили пастбищные (87%) и техногенные (3%) антропогенные модификации современных ландшафтов, с доминирующим развитием засоления (15%), дефляции (47%) и загрязнением почвенно-растительного покрова нефтеуглеводородами (0.2%) с дисперсным и очаговым типами распространения;

2) за период 1987-2015 гг. наблюдалось усиление дефляции на 25% вследствие перевыпаса, засоления на 0.7% из-за строительства дамбы в Восточно-Прикаспийском районе и на 0.13% в

результате разлива высокоминерализованных пластовых вод (более 150 г/л) на нефтяных месторождениях;

3) в пределах долины реки Урал динамика проективного покрытия растительности за рассматриваемый период составила 23%, из них 7% – вследствие расширения сенокосных и пастбищных угодий;

4) положительная тенденция по увеличению проективного покрытия растительности и снижению площади дефляционных участков за 1987-2011 гг. наблюдалась в пределах северо-западной части песчаного массива Бостанкум вследствие проведенных фитомелиоративных работ в 2007 г. возле населенного пункта Уштаган для защиты от дефляции и песчаных заносов;

5) геоэкологические и природные процессы могут создавать синергетический эффект при взаимодействии с природными (физико-географическими) процессами, примером чего может служить береговая зона северо-восточного Прикаспия, где из-за сгонно-нагонных явлений интенсифицируется процесс засоления почв вследствие подтягивания высокоминерализованных грунтовых вод к поверхности, что приводит к смене почвенно-растительного покрова (появление в ландшафтах первичной морской равнины галофитной растительности и солончаков на месте тростниково-камышовых зарослей на приморских лугово-болотных почвах), в сочетании с дефляцией расширяется ареал засоления почв, интенсифицируется процесс деградации и динамики проективного покрытия растительности, что в свою очередь приводит к сокращению пастбищных угодий.

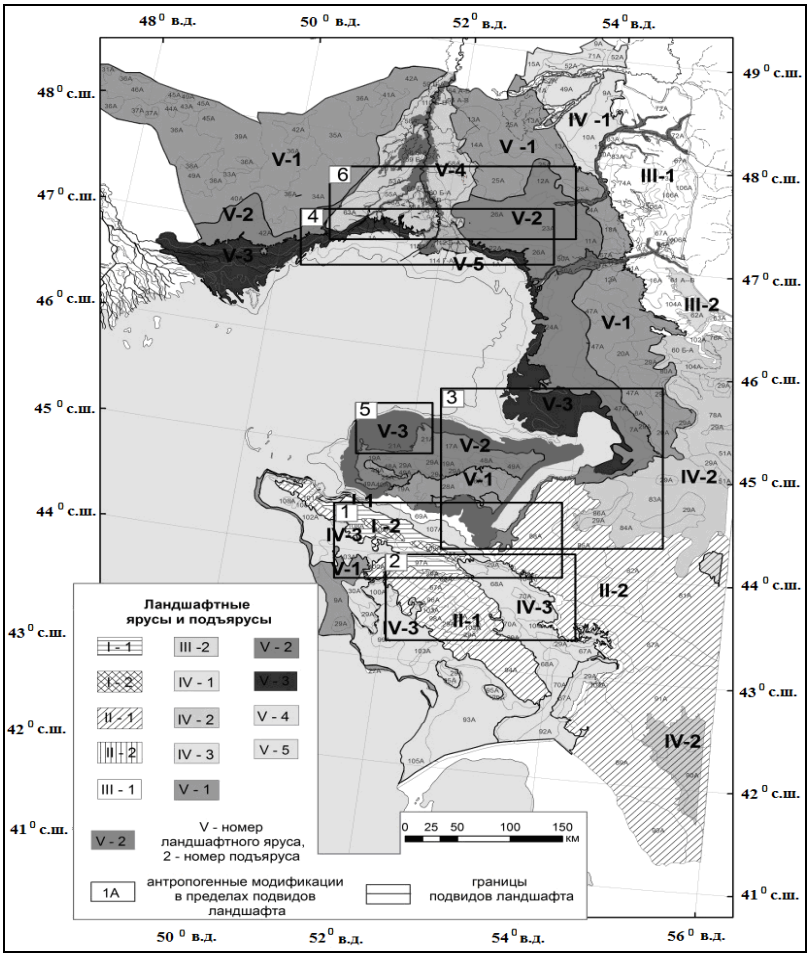


Рис. 2. Ландшафтные ярусы и подъярусы северо-восточного Прикаспия и ключевые участки исследования природных (физико-географических) и геоэкологических процессов. Масштаб 1:2500000. *Условные обозначения.* Ключевые участки исследования интенсивности проявления геоэкологических процессов: 1 – склоновые (линейная и речная эрозия, делювиально-пролювиальный смыв), 2 – эоловые (дефляция и эоловая аккумуляция), 3 – соровые (засоление и соровая дефляция), 4 – аккумулятивные (озерная аккумуляция, подтопление и затопление вследствие колебания уровня моря), 5 – техногенные (техногенное загрязнение), 6 – деградация растительного покрова.

На территории северо-восточного Прикаспия основное распространение среди геоэкологических процессов получили засоление и ветровая эрозия (дефляция). Засоление связано с высокой минерализацией и неглубоким залеганием грунтовых вод (1-6 м), сильным испарением в условиях сухого и жаркого климата. Кроме того, в процессе добычи нефти происходит засоление почв сточными промысловыми водами. Многие нефтяные месторождения исследуемой территории (Каражанбас, Каламкас и Арман) сильно обводнены и отличаются высокой минерализацией.

Дефляция в свою очередь связана как с накоплением на большей части территории песчано-детритово-глинистых отложений неоген-четвертичного возраста в результате новейших трансгрессий уже обособившегося внутриконтинентального морского бассейна (Акиянова, Нурмамбетов, 1998) и интенсивным физическим выветриванием горных пород, так и с антропогенными факторами: перевыпас скота, деградация растительного и почвенного покрова.

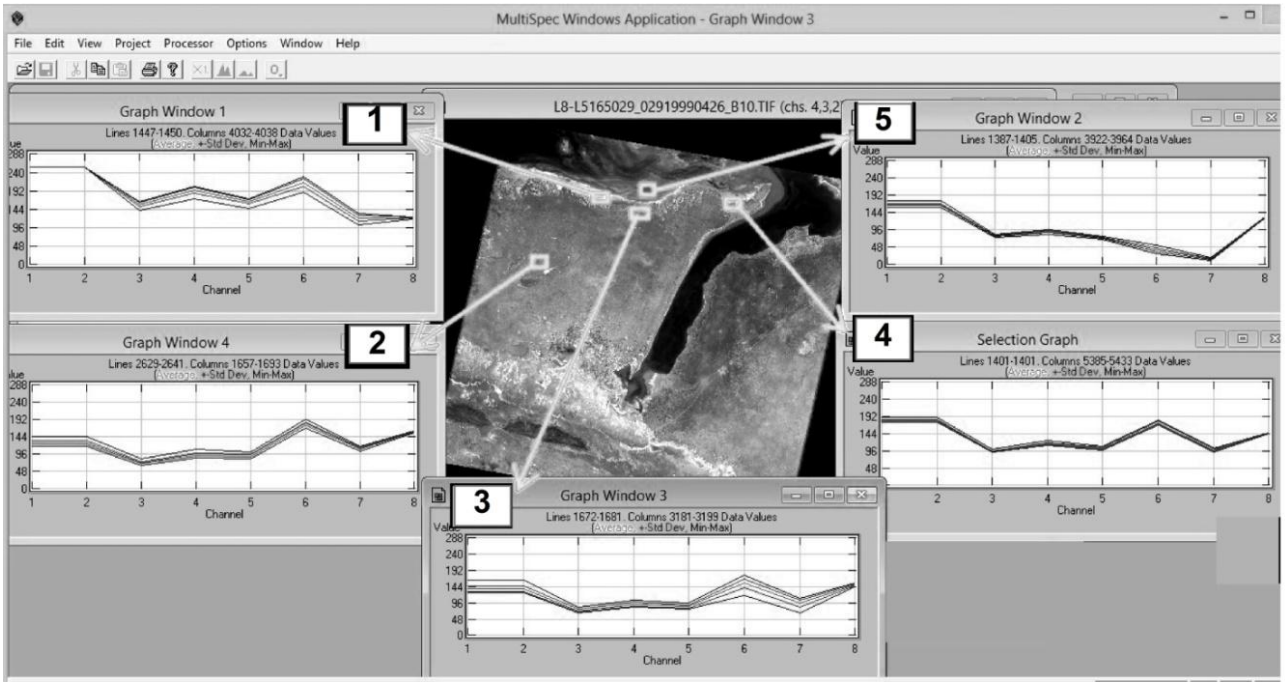


Рис. 3. Определение типов засоленных почв в районе сора Кайдак с помощью кривой спектральной яркости (КСЯ): 1) солончака маршевого, 2) солонца пустынного, 3) бурой пустынной солонцеватой почвы, 4) солончака лугового, 5) солончака сорового.

Из-за малого уклона дна прибрежной зоны северной и северо-восточной части Каспийского моря и прилегающей к ней суши происходит постоянная перестройка береговой линии, охватывающая до 15 км при изменениях фонового уровня моря на один метр и до 20-30 км при сгонно-нагонных колебаниях уровня моря (Каплин, 2010). Для определения основных причинно-следственных связей влияния колебаний уровня моря на прибрежные ландшафты были использованы мультиспектральные космические снимки со спутников Landsat. В результате анализа синтезированных снимков прибрежной зоны за 1977, 1987, 1998 и 2013 гг. и идентификации водного зеркала на основе нормализованного дифференциального индекса влагосодержания NDWI (Normalized Difference Water Index; Gao, Goetz, 1995) были выделены три зоны по степени влияния колебаний уровня моря на прибрежные ландшафты: слабая, умеренная и сильная (рис. 4).

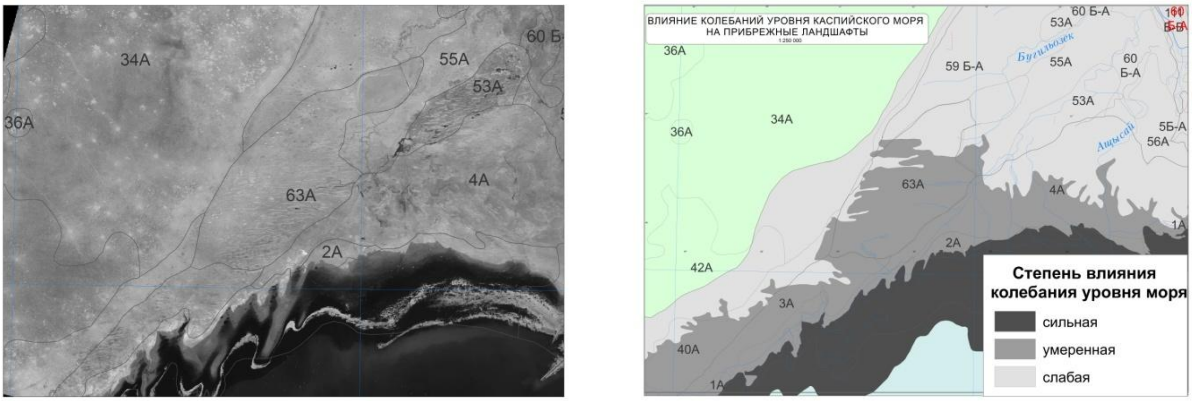
Дистанционный метод исследования позволил выявить современную активную зону влияния колебания уровня моря на прибрежные ландшафты, которая проходит по границе Новокаспийской морской равнины с тремя террасовыми поверхностями: террасы 1929 и 1940 гг. и максимума Новокаспийской трансгрессии, которые в настоящее время несут на себе отпечатки современных колебаний уровня моря и хорошо дешифрируются на многозональных космических снимках.

Терраса 1929 г. выделяется на синтезированном снимке светлым тоном (современные ландшафты 2А, 3А, 4А; рис. 4б), белый цвет говорит о распространении здесь солончаков, обусловленных подтоплением и переувлажнением на момент съемки. Терраса максимум Новокаспийской трансгрессии проходит по границе аллювиально-дельтовой равнине реки Жайык (Урал).

Результаты и их обсуждение

В результате геоэкологического районирования на территории северо-восточного Прикаспия по морфоструктурным особенностям и генезису рельефа было выделено 5 ландшафтных ярусов, часть

из которых подразделяется на ландшафтные подъярусы по морфолитологическим и морфометрическим характеристикам рельефа, обуславливающим развитие геоэкологических процессов природного генезиса (рис. 2):



а) б)

Рис. 4. Схема дешифрирования космического снимка участка северного побережья Каспийского моря в 2011 году: а) синтез каналов 4, 3, 2 многозонального снимка Landsat, б) фрагмент карты влияния колебания уровня моря на прибрежные ландшафты.

I – верхний ярус представлен эрозионно-денудационным грядово-увалистым резко расчлененным низкогорьем Центрального Мангыстау (250-560 м н.у.м. БС), сложенным осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом;

II – ярус выше среднего, структурные возвышенные денудационные плато Устюрта и пластовые равнины Мангыстау (150-300 м н.у.м. БС), сложенные осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом;

III – средний ярус, Подуральское структурно-денудационное плато (50-200 м н.у.м. БС), сложенное осадочными породами кайнозоя на древней платформе с допалеозойским фундаментом и с ландшафтами пластовой наклонной, холмисто-грядовой равнины;

IV – ярус ниже среднего, подножья склонов гор Мангыстау, Актау, чинков Устюрта с конусами выносов (0-100 м н.у.м. БС), представлен пластово-аккумулятивными и пластово-денудационными равнинами, которые сложены осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом;

V – нижний ландшафтный ярус погруженной части Прикаспийской низменности с отрицательными абсолютными отметками поверхности (-29-0 м н.у.м. БС) представлен пластово-аккумулятивными и аккумулятивными субгоризонтальными равнинами на морских четвертичных отложениях с современными морскими террасами и покатыми поверхностями хвалынских и новокаспийских морских равнин.

Значительное влияние на ландшафтную структуру нижнего (V) яруса оказали длительные трансгрессии моря, что объясняет его хорошо выраженное террасированное строение и позволяет подразделить на пять подъярусов (V-1-V-5), различающихся по абсолютной высоте, глубине залегания высокоминерализованных грунтовых вод, особенностям почвенно-растительного покрова и развитием таких геоэкологических процессов, как засоление, дефляция и деградация растительного покрова.

В соответствии с различными типами антропогенного использования современных ландшафтов, которые способствуют развитию геоэкологических процессов антропогенного генезиса или интенсификации природных геоэкологических процессов, ландшафтные подъярусы подразделены на 25 геоэкологических районов (рис. 5). Например, в условиях близкого залегания высокоминерализованных грунтовых вод в подъярусе V-2, подверженном процессам засоления и деградации растительного покрова в условиях периодического колебания уровня моря, а также с расположением здесь крупных нефтяных месторождений, сосредоточенных на территории с ареалами исторического нефтяного загрязнения, выделены два геоэкологических района: западный и восточный, разделенные дельтой реки Жайык (Урал). Западный район с эоловой переработкой и соровыми понижениями характеризуется сильной степенью дефляции и деградации растительного покрова, а

восточный подвержен сильному засолению и загрязнению техногенными нефтеуглеводородами.

По степени проявления доминирующих геоэкологических процессов (слабая, умеренная, сильная) геоэкологические районы разделены на 127 геоэкологических подрайонов.

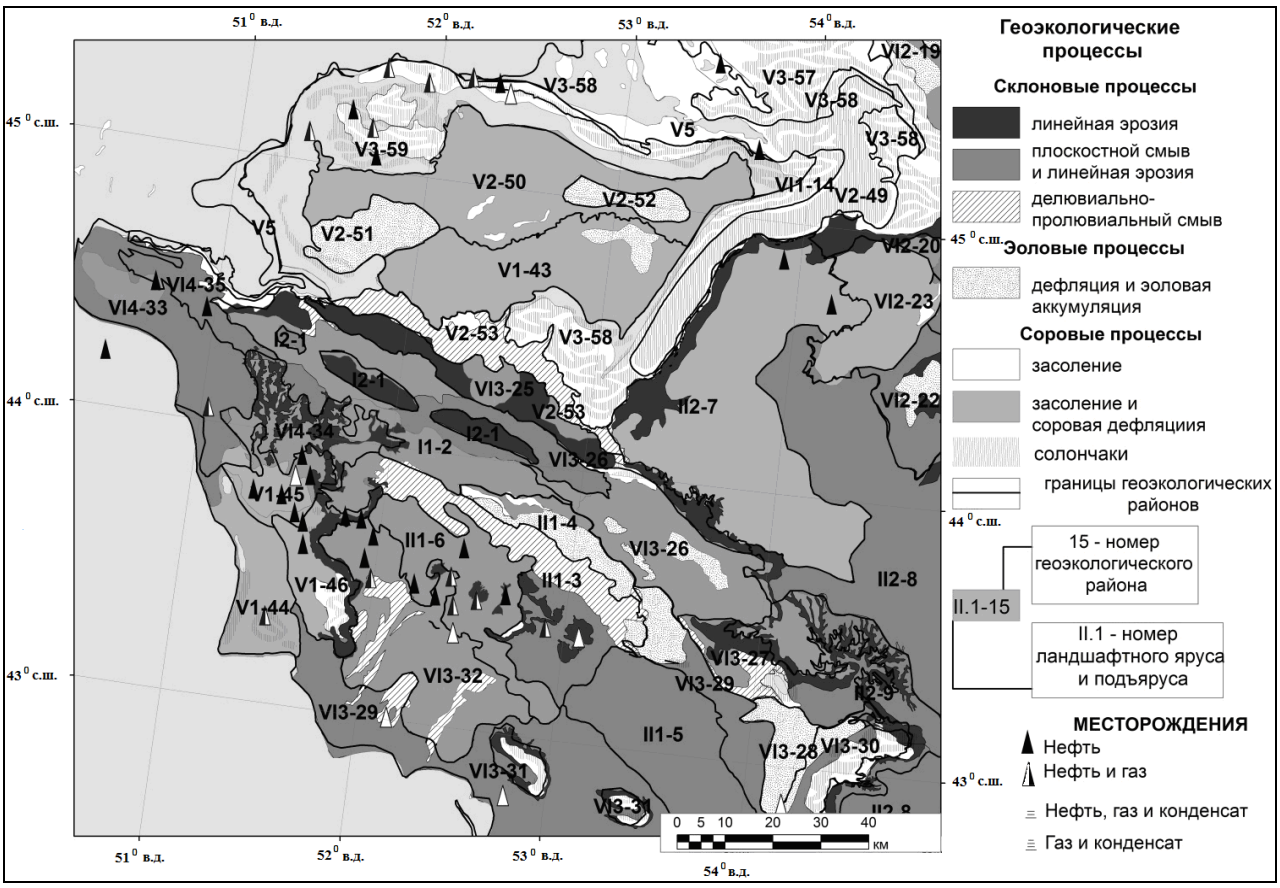


Рис. 5. Геоэкологические районы северо-восточного Прикаспия (масштаб 1:1500000).

Заключение

Выполненное исследование показало, что на Прикаспийской низменности основное распространение получило засоление, связанное с высокой минерализацией и неглубоким залеганием грунтовых вод (3-6 м) в прибрежной зоне, сильным испарением в условиях сухого и жаркого климата и разливом высокоминерализованных (≥100 г/л) сточных вод при нефтедобыче. На полуострове Мангышлак доминирующими процессами являются линейная эрозия и плоскостной смыв, связанные с расположением системы хребтов горной его территории с крутыми и выположенными склонами, сложенными рыхлыми породами мела и юры. В результате эрозионных процессов по мере развития овражной сети выработались Прикаратауские долины. Повсеместное распространение на территории северо-восточного Прикаспия получила дефляция (47%), которая в свою очередь связана с накоплением в большей части территории песчано-детритово-глинистых отложений неоген-четвертичного возраста в результате новейших трансгрессий уже обособившегося внутриконтинентального морского бассейна и с интенсивным физическим выветриванием горных пород.

Использование ландшафтного подхода, раскрывающего историко-генетические особенности развития ландшафтов и современные условия формирования геоэкологических процессов, в изучении пространственного распространения и степени проявления геоэкологических процессов позволило дать комплексный геоэкологический анализ и провести геоэкологическое районирование северо-восточного Прикаспия. В результате выраженной высотной дифференциации территории, динамичности ландшафтов из-за периодического колебания уровня моря и низкого градиента берегового склона, а также антропогенных нагрузок на современные ландшафты на данной

территории выделяются 25 геоэкологических районов и 127 подрайонов, представляющих собой синтез антропогенных модификаций по доминирующему геоэкологическому процессу в пределах высотных уровней (5 ярусов, 15 подъярусов).

На основе объединения геоэкологических районов по интенсивности и распространению природных и геоэкологических процессов и их синергетического эффекта проведена геоэкологическая оценка исследуемого региона и выделены территории с разным состоянием природной среды: кризисная – 21%, напряженная – 44%, умеренная – 30%, относительно благоприятная – 4%, благоприятная – 1%. *Благоприятные условия* проживания и ведения хозяйственной деятельности на территории северо-восточного Прикаспия формируются в Жайыкском геоэкологическом районе, который представляет собой долину реки Жайык (Урал) с близким залеганием (5-7 м) пресных (до 1 г/л) и слабосолоноватых (1-2.5 г/л) грунтовых вод. *Неблагоприятными условиями* характеризуются Нарынский (V.1 – 13), Восточно-прикаспийский (V.3 – 18), Восточный прибрежный (V.3 – 23) геоэкологические районы, формирующиеся в условиях близкого залегания высокоминерализованных грунтовых вод (50-150 г/л), с сильной техногенной нагрузкой и загрязнением при нефтедобыче на почвах с низкой устойчивостью к загрязнению нефтеуглеводородами (преимущественно приморские солончаки и солонцы). Ландшафты данных районов подвержены сильной солевой дефляции, засолению и деградации растительного покрова со значительным синергетическим эффектом.

Дифференциация территории на геоэкологические районы является основой для разработки планов по минимизации развития неблагоприятных воздействий геоэкологических процессов, а также важным фактором устойчивого развития региона для снижения антропогенной нагрузки, сохранения природной среды и благоприятных условий жизни местного населения.

Благодарности. Автор выражает признательность научному руководителю к.г.н., доценту Милановой Е.В. за помощь и поддержку при выполнении работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акиянова Ф.Ж., Нурмамбетов Э.И. 1998. Геоморфология шельфа и береговой зоны казахстанской части Каспийского моря в условиях современной трансгрессии // Доклад на III Ассамблее университетов прикаспийских государств. Актау. С. 198-200.

Арманд Д.Л. 1975. Наука о ландшафте. М.: Мысль. 286 с.

Бекмухамедов Н.Э., Муратова Н.Р. 2013. Оценка информативности разных вегетационных индексов для определения проективного покрытия пастбищ // Сельское, лесное и водное хозяйство. № 1. 2 с. [Электронный ресурс URL: http://agro.snauka.ru/2013/01/830 (Дата обращения 01.08.2019].

Каплин П.А. 2010. Вопросы геоморфологии и палеогеографии морских побережий и шельфа // Избранные труды. М.: Географический факультет МГУ. 620 с.

Кравцова В.И. 2005. Космические методы исследования почв: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс. 190 с.

Мильков Ф.Н. 1947. О явлении вертикальной дифференциации ландшафтов на Русской равнине // Вопросы географии. № 3. С. 35-41.

Николаев В.А. 1979. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: МГУ. 160 с.

Рычагов Г.И. 2011. Колебание уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. № 2. С. 4-12.

Gao B.-C., Goetz A.F.H. 1995. Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies for AVIRIS data // Remote Sensing of Environment. No. 52. P. 155-162.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 59-70

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 581.55; 581.9; 58. 02 (470.67)

РОЛЬ РЕЖИМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ В СТРУКТУРЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЭНДЕМИКА ДАГЕСТАНА – АСТРАГАЛА ЩЕЛЬНОГО

© 2020 г. А.Д. Хабибов, М.М. Маллалиев

Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45
E-mail: Gakvari05@mail.ru, maxim.mallaliev@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019. После доработки 01.03.2020. Принята к публикации 01.03.2020

Проведён сравнительный анализ и дана оценка структуры вариабельности восьми (размерных, числовых, весовых и индексных) признаков семенной продуктивности двух разновысотных (1100 и 1750 м н.у.м. БС) популяций вегетативно подвижного представителя древесной флоры – кустарничка, внесенного в Красные книги Российской Федерации и Республики Дагестан, – астрагала щельного (*Astragalus fissuralis* Alexeenko (Fabaceae)) из среднего горного пояса Внутреннегорного Дагестана. Работа выполнена на популяционном уровне. В результате суммарной статистики, корреляционного и дисперсионного анализов выявлены и оценены как различия средних показателей признаков, так и силы влияния антропогенного фактора – режима использования экосистемы на изменчивость этих признаков семенной продуктивности, непосредственно связанных с адаптивной стратегией. Установлено, что в сравнительно неблагоприятных условиях природы у растений этого раритетного вида в коротких бобах развивается, как правило, малое (одно или два) число крупных семян, в отличие от интродуцентов. При этом в естественных условиях, в отличие от охраняемых территорий, увеличивается доля весовых характеристик, связанных с адаптивной (репродуктивной) стратегией и эффективностью репродуктивного усилия (масса семени и семян из плода, доля массы семян из плода, выделяемая, собственно, на репродукцию).

Однако отмечено, что в более качественных условиях интродукции растения этого эндемика Дагестана и России на обоих разновысотных участках экспериментальных баз Горного ботанического сада Дагестанского федерального исследовательского центра РАН развивают вегетативную массу, увеличивают свои размерные (удлиняется плод) и числовые (увеличивается количество сравнительно лёгких и мелких семян) показатели, и вследствие этого изменяются весовые (утяжеляются плоды) признаки. Иначе говоря, при интродукции развитие получают размеры (геометрические величины) плода, а при естественных условиях – весовые (физические показатели) признаки боба и семени. Установлено, что режим использования экосистемы существенно влияет на изменчивость этих признаков генеративной сферы, а сила влияния этого антропогенного фактора колеблется от 23.6 до 79.3%.

Ключевые слова: астрагал щельный, признаки семенной продуктивности, размерные признаки, весовые признаки, числовые признаки, индексные признаки, плод, семя, суммарная статистика, корреляционный анализ, дисперсионный анализ.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10108

Вследствие усиления антропогенных изменений природной флоры весьма актуальными становятся исследования легко уязвимых эндемичных, редких и исчезающих видов растений. Навсегда теряя какой-либо вид растения, мы лишаемся возможности открыть в нём пока ещё не известные нам достоинства, поэтому каждый исчезнувший вид – это невозвратимая утрата (Редкие …, 1983). И только разностороннее изучение внутри- и межпопуляционной изменчивости, тактик и стратегий выживания и адаптивного потенциала этих видов могут в общих чертах дать объективную оценку состояния ценопопуляций, на основе чего можно организовать их действенную охрану.

Вместе с тем такие виды растений часто характеризуются узкой специализацией и приспособленностью к строго определённым условиям существования и, как следствие,

прерывистым распространением даже в пределах основного ареала (Горчаковский, Зуева, 1984). Они обладают пониженными адаптационными возможностями, поскольку не в состоянии приспособляться к меняющимся условиям среды, не выдерживают конкуренции со стороны других видов и в результате исчезают первыми. В силу этих причин редкие виды легко уязвимы и требуют к себе особого внимания (Артамонов, 1989). Поэтому они приурочены главным образом к местам с ограниченным числом видов и проективным покрытием растительности. Причиной сравнительно слабого адаптивного резерва при интродукции и ограниченного ареала, на наш взгляд, является относительно узкая норма реакции, определяемая генотипом.

Адаптационный потенциал растений можно выявить по их реакции на меняющиеся условия среды. Адаптируется не отдельный признак, а целое растение через изменения этих признаков и свойств, для которых генотипом определены нормы реакции. Особое внимание необходимо уделять изучению семян и семенной продуктивности как основы размножения и интродукции, что позволит выявить возможности их выращивания в качестве самого надёжного метода охраны в условиях ботанических садов.

Однако сохранение вида в условиях естественной среды его обитания наиболее целесообразно, поскольку при этом обеспечивается сохранность основного генофонда и устраняются возможности его изменения под влиянием отбора в нетипичных условиях среды. В то же время для выявления направленности адаптивных изменений и сравнительного анализа эндемичных видов многие считают необходимым использовать оба варианта – изучение в условиях природы и интродукции. В конечном итоге выявление адаптивности видов в гетерогенной среде можно рассматривать в качестве решающего условия расширения ареала интродуцируемых растений.

Наиболее перспективным методом изучения редких и эндемичных растений многие считают исследование их популяций, поскольку именно они являются естественноисторической и эволюционной единицей существования вида.

Цель настоящего исследования состоит в сравнительном изучении роли антропогенного фактора в структуре изменчивости семи признаков семенной продуктивности и эффективности репродуктивного усилия эндемика Дагестана − кустарничка, занесенного в «Красную книгу Российской Федерации» (2008) и «Красную книгу Республики Дагестан» (2009) – астрагала щельного (*Astragalus fissuralis* Alexeenko (Fabaceae)), распространенного в среднем горном поясе Внутреннего Дагестана на высотах 1100 и 1750 м н.у.м. БС. Он также занесен в Красную книгу Международного союза охраны природы (МСОП; Red List ..., 2013) и выделен как приоритетный с точки зрения охраны. Кроме того, специалисты по категориям и критериям МСОП относят этот астрагал к уязвимым (VU) видам (Гельтман и др., 2015).

Предварительные результаты структуры изменчивости некоторых элементов семенной продуктивности этого эндемика в зависимости от высотного фактора мы уже сообщали ранее (Хабибов, Муратчаева, 2017; Хабибов, Маллалиев, 2018).

Материалы и методы

Сбор плодов и семян эндемика РД и РФ *Astragalus fissuralis* Alexeenko был проведён в 2014 г. на фазе завершения стадии семеноношения от интродуцентов на опытных участках и из природных популяций восьми выборок (As_1, As_2 …, As_8) на Цудахарской (ЦЭБ) и Гунибской (ГЭБ) экспериментальных базах Горного ботанического сада Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ДФИЦ РАН), расположенных в среднем горном поясе на высотах 1100 и 1750 м н.у.м. БС соответственно. Основные характеристики мест и сроков сбора выборок и условные обозначения участков приведены в таблице 1. В среднем у 10 целых, максимально развитых и непоражённых плодов каждой выборки учитывали в общей сложности 23 признака, из которых были интерпретированы только 8. Это следующие показатели: размеры (мм) – длина (a), ширина (b), толщина (c) плода; масса (мг) – плода (d), семян из боба (d_1); количество (шт.) – число (n) семян в плоде. Кроме того, дополнительно были вычислены масса семени (d_1/n) и эффективность репродуктивного усилия (d_1/d), показывающая конкретную долю массы семян в сухом весе плодов, выделяемую на репродукцию.

Репродуктивное усилие является главным показателем адаптивной (репродуктивной) стратегии, и в пределах генеративного побега его определяют долей ресурсов, выделяемых на репродукцию (Хабибов, Муратчаева, 2010; Хабибов и др., 2011). Работа выполнена на популяционном уровне: для

каждого учтённого признака в результате биометрической обработки данных по общепринятым методикам были получены характеристики суммарной статистики с последующим использованием методов корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализов (Зайцев, 1983; Лакин, 1990). Компоненты дисперсии определяли по Н.А. Плохинскому (1970). При проведении части расчётов использовался ПСП Statgraf version 3.0. Shareware и система анализа данных Statistica 5.5.

Таблица 1. Районы и характеристика мест сбора выборок *Astragalus fissuralis* в среднем горном поясе Внутреннегорного Дагестана.

Индекс выборки	**Дата сбора**	**Район**			**Экологический фактор – высота склона (м н.у.м. БС) северной экспозиции**	**РИЭ**
		Естественно-исторический	**Географи-ческий**	**Административный (населённые пункты, урочище)**		
As_4	19.07.2014	Внутренне-горный	Гунибское плато	Верхний Гуниб, за тоннелем	1750	Летние пастбища
As_5	21.06.2014			Верхний Гуниб, ГЭБ		Заповедный
As_6	17.06.2014		Гора Чакулабек	Окр. с. Цудахар Левашинского р-на, за ограждением ЦЭБ		Интенсивно выпасаемые пастбища
As_7				Окр. с. Цудахар Левашинского р-на, ЦЭБ		Заповедный

Примечания к таблице 1-3: As – *Astragalus fissuralis*, индекс – порядковый номер популяции, которой соответствует место сбора и район местонахождения по таблице, РИЭ − режим использования экосистемы.

Результаты и обсуждение

Известно, что семенная продуктивность видов цветковых растений зависит как от целого комплекса внутренних и внешних факторов (погодные условия конкретного сезона, особенно во время цветения и созревания семян, агроклиматических условий года, происхождения, репродукции, возраста растений; Работнов, 1950), так и от онтогенетических моментов: числа генеративных побегов (стволиков) на особи, числа боковых ветвей (стеблей) на генеративном побеге, числа соцветий на боковых ветвях, числа цветков (плодов) в соцветии и числа семян в плоде. Для видов растений, используюзих перекрёстное опыление, также велика роль и насекомых-опылителей. Астрагал щельный оправдывает своё видовое название, так как произрастает преимущественно в трещинах скал среднего горного пояса (рис. 1 а, б).

а) **б)** **в)** **г)**

Рис. 1. Особенности типичного местопроизрастания (а, б) и размножения (в, г) *Astragalis fissuralis*.

В пределах генеративного побега или соцветия сроки прохождения фенологических фаз развития, как и у многих видов травянистых растений из рода этого кустарничка, не совпадают, что связано с естественным отбором. Из четырёх узколокальных эндемичных видов астрагала Дагестана (*Astragalus fissuralis, A. charadze* Grossh., *A. daghestanicus* Grossh. и *A. salatavicus* Bunge) астрагал щельный является единственным вегетативно подвижным кустарничком, который размножается и семенами, и корневищами (подземными стеблями; рис. 1 в, г). Для этого мелкого кустарничка с тонкими, ветвистыми серебристо-опушенными стеблями 8-10 см высотой, прижатого к субстрату, в жёстких условиях трещин известняковых скал, среди камней среднего горного пояса (800-1000 м н.у.м. БС), на наш взгляд, характерно преобладание вегетативного размножения над семенным. Для серебристо-опушенных плодов (бобов) объединённой выборки астрагала щельного характерно значительное колебание размеров (рис. 2).

а) **б)** **в)** **г)**

Рис. 2. Составляющие семенной продуктивности *Astragalis fissuralis* (а, б), внутреннее строение плода (в), поражённые фитофагами (насекомыми) плоды (г).

Вообще, боб считается производным листовки. Согласно утверждениям З.Т. Артюшенко и А.А. Фёдорова (1986), это очень близкие между собой типы плодов и строгих различий между листовкой и бобом не имеется. Самые крупные плоды данного эндемика нами получены в условиях посева семенного материала на участке ГЭБ, где отмечена минимальная (13.7%) поражаемость вредителями (табл. 2). В других выборках этого вида доля поражения плодов фитофагами высокая и в среднем составляет 61.4%. При этом главным образом поражаются семена. К примеру, у 89 поражённых плодов целыми оказались только 47 семян, хотя их число в бобе колеблется от 1 до 12. Поражению фитофагами (насекомыми) способствует довольно разогретый в летних условиях субстрат (скала), на который плоды полегают под действием собственного веса.

При сравнительном анализе структуры изменчивости размерных признаков плода объединённой выборки As_{21} (n=41) *A. fissuralis* выяснилось, что абсолютная и относительная вариабельность длины боба (a) значительно выше, чем соответствующие величины ширины (b) и толщины (c) плода (табл. 2, рис. 2). Кроме того, из сравниваемых размерных характеристик плода этот линейный сравнительно лабильный признак отличается и максимальными показателями размаха и частного (соотношения) крайних (наибольшей и наименьшей) величин. При этом минимальные значения всех выше отмеченных показателей, исключая относительную изменчивость, отмечены у сравнительно устойчивого признака – толщины боба (c). Однако показатели асимметрии и эксцесса всех трёх размерных признаков по t-критерию Стьюдента существенно не отклоняются от нормального распределения, и отклонения носят случайный характер. В то же время от размерных признаков сравнительно высокими величинами относительной изменчивости отличаются весовые признаки – сухая масса плода (d), семени (d_1/n) и, особенно, семян из плода (d_1). При этом показатели абсолютной изменчивости (S_X) весовых признаков – массы семени (d_1/n) и эффективность репродуктивного усилия (d_1/d) очень низкие. Весовые признаки, по утверждению С.А. Мамаева (1975), характеризуются в 2-3 раза более высоким уровнем изменчивости, чем размерные. Помимо того, средняя сухая масса семян из плода (d_1) в 4 и более, а масса семени (d_1/n) – в 10 и более раз легче таковой плода (d), с одной стороны, и, с другой, для массы семян из плода (d_1) характерны максимальные величины всех рассматриваемых характеристик изменчивости, включая показатели скошенности и островершинности. Показатель асимметрии для массы семян из плода (d_1) существенно, с высоким уровнем (99.0%) достоверности, отклоняется по t-критерию Стьюдента от нормального распределения. Подобное, на

наш взгляд, связано с большей долей пораженных фитофагами семян в плоде. Для сухой массы семени (d_1/n) только у показателя асимметрии отмечено существенное отклонение от нормального распределения. Величины эксцесса для всех рассматриваемых признаков не существенны, и различия от нормального распределения носят случайный характер.

Таблица 2. Сравнительная характеристика изменчивости признаков семенной продуктивности объединённой выборки *Astragalis fissuralis* (n=41) при df=39: 2.024, 2.704 и 3.551.

Призн-аки	$\bar{X}\pm S_X$ ($\sum\sum As_{21}$)	Cv, %	Min	Max	Размах	Max/Min	As		*Ex*	
							П	t (m_A=0.383)	П	t (m_E=0.765)
a	15.9±0.53	21.5	8	23	15	2.88	-0.33	-0.862	-0.22	-0.288
b	2.6±0.06	14.7	1.85	3.43	1.58	1.85	0.22	0.574	-0.50	-0.654
c	1.9±0.05	17.9	1.13	2.86	1.73	2.53	0.48	1.253	0.58	0.758
d	16.4±0.93	36.1	6	30	24	5.00	0.59	1.540	-0.24	-0.314
n	2.7±0.25	60.4	1	6	5	6.00	0.78	2.037*	-0.62	-0.810
d_1	3.3±0.28	54.9	0.9	8	7.1	8.89	1.21	3.159**	1.03	1.346
d_1/d	0.21±0.015	46.1	0.07	0.43	0.36	6.14	0.49	1.279	-0.74	-0.967
d_1/n	1.5±0.12	51.0	0.5	4	3.5	8.00	0.86	2.245*	1.39	1.817

Примечания к таблицам 2-5. Учтённые признаки: *a* – длина, *b* – ширина, *c* – толщина, *d* – масса плода (боба); *n* – число семян в плоде; d_1 – масса семян из плода; d_1/d – эффективность репродуктивного усилия, d_1/n – масса семени, ($\sum\sum As_{21}$) – объединённая выборка, $\bar{X}\pm S_X$ – среднее арифметическое значение признака с её ошибкой, Cv – коэффициент вариации в %, П – показатель асимметрии или эксцесса и *t*-критерий Стьюдента, *Ex* − эксцесс, As – асимметрия, m_A − ошибка показателя асимметрии, m_E − ошибка показателя эксцесса. Вероятность составляет: * – P<0.05, ** – P<0.01, *** – P<0.001.

Выше отмеченное обстоятельство – высокая доля поражённых фитофагами семян (в пределах природной популяции достигает 74.5%) является, по нашему мнению, также источником или мотивом низкого процента (20.1%) средней массы семян в общей сухой массе боба (рис. 3). Сухая масса створок плода (d-d_1) почти в 4 раза (3.98) выше таковой средней массы семян в бобе объединённой выборки (n=41). Вместе с тем специфически высокой вариабельностью отличаются признаки, определяющие число органов и при их математической интерпретации, согласно утверждению С.А. Мамаева (1975), необходим особый подход. Пока новые подходы в математической интерпретации для изменчивости числовых признаков нами не отмечены, хотя А.Ф. Бабицкий (2016) выделил критерии для оценки биологических количественных признаков и обосновал применение дисперсионного анализа количественных признаков в агрономическом полевом эксперименте. Для числа семян в плоде (n), которое в пределах плода данного вида колеблется от 1 до 12, отмечены как сравнительно низкие средние величины, так и относительно высокие значения абсолютной и максимальные величины относительной изменчивости. Показатели асимметрии и эксцесса этого признака отрицательны, существенно не отклоняются от нормального распределения, и носят случайный характер. Вообще, показатель отрицательного эксцесса, согласно Г.Н. Зайцеву (1973), не может быть меньше, чем -2, это значение указывает, что данная объединённая выборка состоит из вариантов, относящихся к различным совокупностям. Положительный эксцесс по своей величине теоретически не ограничен. Эксцесс считается незначительным, если *Ex*<0.4.

Особый интерес представляет эффективность репродуктивного усилия (d_1/d), которая показывает отношение массы зрелых целых семян из плода к общей массе самого боба. Этот показатель может быть представлен и другими способами в пределах генеративного побега (Магомедмирзаев, 1990).

Эндемик – астрагал щельный – только на семенное размножение выделяет небольшую долю массы ((d_1/d)·100=3.3/16.4=20.1%), что, вероятно, связано с вегетативной подвижностью данного вида или может быть объяснено большой поражённостью семян фитофагами. По этой же причине, как нам

кажется, значителен размах (0.36) максимальных и минимальных вариантов этого относительного признака, хотя таковые прочно связаны с генотипом (табл. 2). Кроме того, показатели асимметрии и эксцесса этого признака также отрицательны и не отклоняются существенно от нормального распределения. При этом масса семени (d_1/n) по всем рассматриваемым здесь показателям изменчивости занимает промежуточное положение (табл. 2).

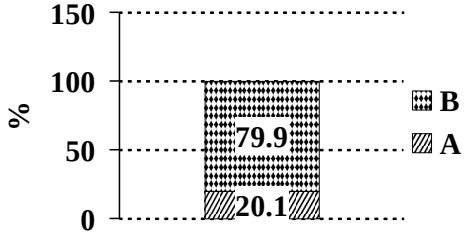


Рис. 3. Структура распределения сухой массы плода (%) *Astragalis fissuralis*. *Условные обозначения:* А – доля сухой массы створок плода, В – доля сухой массы семян в бобе.

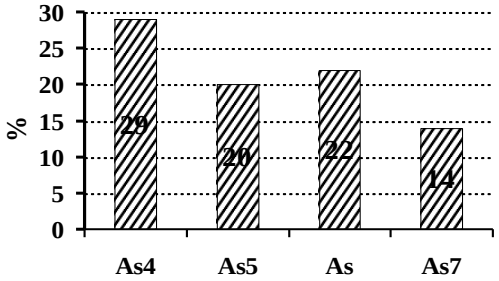


Рис. 4. Показатели эффективности репродуктивного усилия (d_1/d) *Astragalis fissuralis* в естественных условиях (As_4 и As_6) и при заповедном режиме (As_5 As_7).

При сравнительном анализе двух разновысотных (1100 и 1750 м н.у.м. БС) выборок по режиму использования экосистемы выяснилось, что в условиях интродукции (As_5 и As_7) отмечены относительно высокие средние показатели размерных (a), весовых (d) и количественных (n) признаков, чем таковые из природных популяций (As_4 и As_6; табл. 3). Однако из этих признаков на высоте 1750 м н.у.м. БС средние показатели только количества семян в плоде (n), а на высоте 1100 м н.у.м. БС – длины плода (a) существенно, с высокой (99.9%) достоверностью, различаются по t-критерию Стьюдента. Различия этого критерия для остальных признаков носят случайный характер. Кроме того, на двух этих высотах в относительно одинаковой степени и достоверности (95.0% значимости) различаются также средние величины индексного признака – эффективности репродуктивного усилия (d_1/d). При этом для средних показателей этого признака (d_1/d) отмечена обратная тенденция, и в более качественных условиях Горного ботанического сада ДФИЦ РАН растения на чистую репродукцию выделяют меньшую долю сухой массы, чем в природных условиях (рис. 4). Так, на обоих высотных уровнях в условиях природы данная доля в полтора раза выше (1.45 и 1.57 соответственно), чем в условиях интродукции. Подобная тенденция отмечена и для средней массы семени (d_1/n), которая в естественных условиях на обоих высотных уровнях значительно (в 3.83 и 1.64 раза соответственно) выше, чем у выборок интродуцентов. Однако превышение массы семени (d_1/n) с разным режимом использования экосистемы на различных высотных уровнях не одинаково и в условиях 1100 м н.у.м. БС оно в 2 и более раза (3.83/1.64=2.34) уступает таковому с Гунибского плато (1700 м н.у.м. БС). Кроме того, различия средних показателей этого весового признака (d_1/n) при различном режиме использования экосистемы по t-критерию Стьюдента на обоих высотных уровнях доказаны с самой высокой достоверностью (99.9%). Последнее обстоятельство, на наш взгляд, связано тем, что на высоте 1100 м н.у.м. БС в обоих случаях (в природе и в режиме интродукции) данный эндемик рос в трещинах скал, и условия отличались только тем, что одна из скал находилась на территории Горного ботанического сада ДФИЦ РАН. Весьма важна роль данного признака (d_1/n) на ранних этапах онтогенеза, особенно в природных условиях. Кроме того, на обоих высотных уровнях масса плода (d) природных популяций отличается достаточно высокой долей (%) массы семян (d_1), чем у интродуцентов, хотя во всех вариантах масса створок плода (d-d_1) в 2 и более раз (2.37) превышает таковую у семян из плода (рис. 5а). При этом в обоих вариантах доля массы семян из плода в условиях высоты 1750 м н.у.м. БС хотя и незначительно, но превышает соответствующие показатели с высотного уровня 1100 м н.у.м. БС. В то же время средние значения числа семян из плода (n) в 2.79 и 1.39 раза соответственно, в условиях природы обоих высотных уровней уступают таковым показателям выборок интродуцентов. Иначе говоря, в естественных условиях в плодах астрагала щельного формируется меньшее количество семян, однако они крупнее, чем при интродукции.

Таблица 3. Сравнительная характеристика средних показателей признаков семенной продуктивности *Astragalis fissuralis*, сравниваемых по режиму использования экосистемы (для t-критерия Стьюдента $df=n_1+n_2-2$; для r_{xy} $df=n-2=2$).

Высота, м н.у.м. БС	Выборки	N	*a*		*b*		*c*		*d*		*n*		d_1		d_1/d		d_1/n		$d-d_1$
			$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}\pm S_x$	Cv, %	$\bar{X}$
1750	As_4 (прир.)	10	16.2±0.99	19.3	2.5±0.08	9.7	1.8±0.06	10.3	14.5±1.63	35.5	1.9±0.31	52.3	4.3±0.70	51.5	0.29±0.026	28.5	2.3±0.20	27.7	10.2
	As_5 (интр.)	7	17.7±1.60	23.9	2.5±0.18	19.0	1.6±0.10	16.9	16.9±2.38	37.4	5.3±0.29	14.3	3.1±0.24	20.7	0.20±0.026	33.6	0.6±0.04	17.7	13.8
	t-критерий (*df*=15)		–		–		–		–		8.019***		–		2.446*		8.333***		
	$\sum As_{13}$	17	16.8±0.87	21.2	2.5±0.08	13.7	1.7±0.06	13.7	15.5±1.36	36.1	3.3±0.47	58.6	3.8±0.44	47.9	0.25±0.021	34.5	1.6±0.24	62.7	11.7
1100	As_6 (прир.)	10	12.5±0.69	17.4	2.5±0.12	15.2	2.0±0.08	12.1	14.3±1.20	26.6	1.8±0.29	51.1	3.1±0.45	45.7	0.22±0.031	44.3	1.8±0.12	22.1	11.2
	As_7 (интр.)	14	17.1±0.61	13.3	2.8±0.10	13.1	2.1±0.11	19.1	19.1±1.84	35.9	2.5±0.34	51.4	2.8±0.53	70.9	0.14±0.016	43.4	1.1±0.11	36.6	16.3
	t-критерий (*df*=22)		4.995***		–		–		–		–		–		2.292*		4.294***		
	$\sum As_{12}$	24	15.2±0.65	20.9	2.7±0.08	15.2	2.1±0.07	16.6	17.1±1.26	36.1	2.2±0.24	53.4	2.9±0.36	59.6	0.17±0.018	50.4	1.4±0.11	37.3	14.2
t-критерий (*df*=39)			–		–		4.348***		–		2.083*		–		2.878**		–		
r_{xy} между $\bar{X}$ и Cv, %, (*df* =n-2)			–		–		–		0.582		-0.983*		–		-0.719		–		
∑∑	$\sum As_{19}$ (прир.)	20	14.4±0.72	22.5	2.5±0.07	12.4	1.9±0.05	12.3	14.4±0.99	30.6	1.9±0.21	50.4	3.7±0.43	51.8	0.26±0.021	37.1	2.1±0.13	28.5	10.7
∑∑	$\sum As_{20}$ (интр.)	21	17.3±0.65	17.2	2.7±0.09	15.7	1.9±0.09	22.0	18.4±1.44	36.0	3.4±0.38	51.0	2.9±0.36	56.9	0.16±0.015	42.9	0.9±0.09	44.8	15.5
	t-критерий (*df*=39)		2.99**		–		–		2.290*		4.373***		–		3.876***		7.595***		

Примечания к таблицам 3-5. Объединённые выборки: $As_{12}=As_6+As_7$; $As_{13}=As_4+As_5$; $As_{19}=As_6+As_4$;

$As_{20}=As_7+As_5$; $As_{21}=As_{19}+As_{20}$, *df* – число степеней свободы, t – критерий Стьюдента, r_{xy} – коэффициент корреляции, прочерк – существенные различия или связи отсутствуют.

Подобное, вероятно, связано со снабжением питательными веществами и метаболитами. В благоприятных условиях интродукции растение намного интенсивнее развивает вегетативную массу. В природных условиях в результате действия жёсткого естественного отбора растение старается в относительно кратчайший срок после себя оставить вполне плодовитое потомство. Следовательно, условия естественной среды и интродукции ставят перед растением разные цели и задачи отбора.

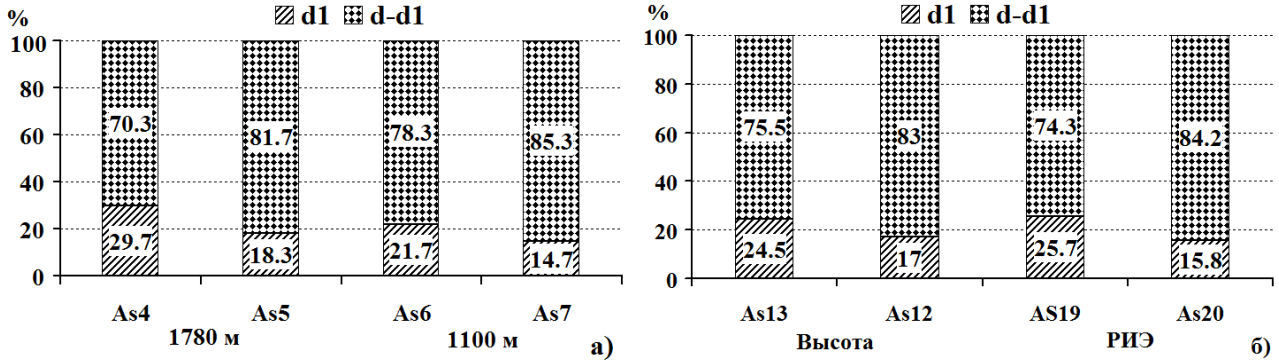


Рис. 5. Структура распределения доли (%) сухой массы по частям плода *Astragalis fissuralis* (d_1 – доля сухой массы семян, (d-d_1) – доля сухой массы створок с плода): а) в естественных условиях (As_4 и As_6) и при заповедном режиме (As_5 и As_7); б) в условиях объединённых выборок с разных высот ($\sum As_{13}$ – 1750 и $\sum As_{12}$ – 1100 м н.у.м. БС) и режима использования экосистемы ($\sum As_{19}$ – в естественных, $\sum As_{20}$ – при заповедном режиме).

Кроме того, между средними показателями числа семян в плоде и их относительной изменчивостью наблюдаются непрочные, отрицательные значения с достоверностью 95%, существенные корреляционные связи (r_{xy}=-0.983*) при числе степеней свободы (*df*) равным двум. Иначе говоря, с увеличением среднего показателя числа семян в плоде уменьшаются величины коэффициента вариации. Такие же отрицательные связи для числовых признаков клевера среднего – *Trifolium medium L.* этого же семейства нами были отмечены и ранее (Хумаева и др., 2016). М.М. Магомедмирзаев (1990) различал 3 группы фактов зависимости параметров изменчивости от размера и морфологической природы элементов организма. В данном исследовании величины корреляции (0.582 и -0.719) между относительной изменчивостью и средними показателями массы плода и эффективностью репродуктивного усилия достаточно высокие, но несущественные, что, вероятно, связано с объёмом выборок. Связи между остальными рассматриваемыми здесь признаками носят случайный характер.

При сравнении разновысотных объединённых выборок ($\sum As_{13}$ и $\sum As_{12}$) астрагала щельного между собой выяснилось, что в условиях среднего горного пояса на высоте 1750 м н.у.м. БС, средние показатели всех учтённых признаков выше, чем таковые с высоты 1100 м н.у.м. БС, за исключением четырёх признаков плода: ширины (*b*), толщины (*c*), массы плода (*d*), а также массы створок (d-d_1). Однако значения *t*-критерия Стьюдента существенны только для трёх признаков: толщины плода (*c*), количества семян в плоде (*n*) и эффективности репродуктивности усилия (d_1/d). Также значительно выше (в 1.44 раза) и доля массы семян из плода (d_1) в условиях большей высоты, чем 1100 м н.у.м. БС (рис. 5б).

При сопоставлении объединённых выборок по режиму использования экосистемы обнаружилось, что в условиях интродукции для растений этого вида характерны относительно высокие средние показатели размерных и числовых признаков боба, из которых различия по *t*-критерию Стьюдента существенны только длина (*a*) и масса (*d*) плода, а также количество семян в бобе (*n*). Кроме того, природным популяциям присущи сравнительно высокие средние показатели относительных признаков (d_1/d и d_1/n) и массы семян из плода (d_1). При этом средние величины массы семени (d_1/n) и

эффективности репродуктивного усилия (d_1/d) различаются существенно, с высокой (99.9%) достоверностью по данному критерию. В то же время в естественных условиях, как и следовало ожидать, в 1.63 раза повышена доля массы семян с плода (d_1), чем соответствующий показатель интродуцентов (рис. 5б). Следовательно, при различных режимах использования экосистемы отмечены частые и высоко значимые показатели *t*-критерия, чем таковые при высотном факторе.

Для большинства выборок в пределах признаков плода отмечены существенные корреляционные связи между шириной плода (*b*), с одной стороны, длиной (*a*), толщиной (*c*), и сухой массой (d) боба, с другой, при случайном характере таковых остальных вариантов этого признака (табл. 4). Такие же значимые корреляции наблюдаются между массой плода (*d*) с числом (*n*) и массой семян (d_1) с боба.

Таблица 4. Сравнительная характеристика корреляционных связей (r_{xy}) признаков семенной продуктивности в выборках *Astragalis fissuralis* (*df*=*n*-2).

Выборки	***df***	**r_{xy} между признаками**								
		a* и *b	***a* и *c***	***a* и *d***	***a* и *n***	***a* и d_1**	***a* и d_1/d**	***a* и d_1/n**	***b* и *c***	***b* и *d***
As_4	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
As_5	5	–	0.82*	–	–	0.80*	–	0.88*	0.84*	0.77*
As_6	8	0.64*	–	–	–	–	–	–	–	–
As_7	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–
As_{12}	22	0.69**	–	–	–	–	–	0.53*	–	0.47*
As_{13}	15	0.58*	0.49*	–	–	–	–	–	0.63*	0.49*
As_{19}	18	0.48*	–	–	–	–	–	–	–	–
As_{20}	19	0.54*	–	–	–	–	–	–	0.48*	0.48*
As_{21}	39	0.56***	–	0.34*	0.35*	–	–	–	0.44*	0.49**

r_{xy} между признаками										
Выборки	***b* и *n***	***b* и d_1**	***b* и d_1/d**	***b* и d_1/n**	***c* и *d***	***c* и *n***	***c* и d_1**	***c* и d_1/d**	***c* и d_1/n**	***d* и *n***
As_4	–	–	–	–	–	0.63*	–	–	–	0.81**
As_5	–	–	0.83*	–	–	–	–	–	0.76*	–
As_6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
As_7	–	–	–	–	0.92***	0.55*	0.68*	–	0.65*	0.65*
As_{12}	–	–	–	–	0.76***	0.51*	0.60*	–	–	0.65*
As_{13}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
As_{19}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.67**
As_{20}	–	–	–	–	0.80***	–	–	–	0.68**	–
As_{21}	–	–	0.34*	–	0.64***	–	0.31*	–	–	0.44*

r_{xy} между признаками									
Выборки	***d* и d_1**	***d* и d_1/d**	***d* и d_1/n**	***n* и d_1**	***n* и d_1/d**	***n* и d_1/n**	**d_1 и d_1/d**	**d_1 и d_1/n**	**d_1/d и d_1/n**
As_4	0.82**	–	–	0.92***	–	–	0.65*	–	–
As_5	–	0.89*	–	–	–	–	–	0.76*	–
As_6	–	–	–	0.88**	–	–	0.74*	–	–
As_7	0.78**	–	0.63*	0.83***	0.74**	–	0.88***	0.60*	–
As_{12}	0.60**	–	–	0.78***	–	–	0.69***	–	0.51*
As_{13}	–	–	–	–	–	0.81***	0.64*	–	0.61*
As_{19}	0.65**	–	–	0.86***	0.50*	–	0.70**	–	–
As_{20}	0.63**	–	0.51*	0.56*	0.67**	–	0.68**	0.43*	–
As_{21}	0.49**	–	–	0.42*	–	0.54**	0.69***	0.38*	0.54**

Крепкие связи характерны, как и следовало ожидать, для самых последних признаков, т.е. между числом (*n*) и массой семян (d_1) из плода. Однако корреляции длины плода (*a*) с массой семени (d_1/n) отрицательны, поскольку в длинных плодах, как у многих зернобобовых культур, развивается обычно множество мелких семян. Несущественны в большинстве случаев связи относительных признаков – эффективности репродуктивного усилия (d_1/d) и массы семени (d_1/n) с двумя размерными признаками плода (*a* и *b*). За исключением единичных случаев спорадические и негативные связи массы семени (d_1/n) и количества (*n*) семян из плода. С увеличением количества (*n*) семян в плоде масса семени (d_1/n) уменьшается, что, на наш взгляд, связано со снабжением питательными веществами и метаболитами. В то же время с увеличением массы плода (*d*) уменьшается эффективность репродуктивного усилия (d_1/d), что, вероятно, связано с относительно большей долей массы створок (d-d_1) боба в плоде. Эффективность репродуктивного усилия (d_1/d) также уменьшается с возрастанием ширины (*b*) плода, поскольку в крупных бобах отмечены семена большего размера. Крепкие связи наблюдаются, как предполагалось, между количеством семян в плоде (*n*) и весовыми признаками – массой плода (*d*) и массой семян в бобе (d_1).

Вышеотмеченные факты на обоих высотных уровнях подтверждают и результаты дисперсионного анализа, где учтённый фактор – режим использования экосистемы – существенно влияет на изменчивость только тех признаков, у которых закономерно средние показатели различаются по *t*-критерию Стьюдента (табл. 5).

Таблица 5. Результаты однофакторного дисперсионного анализа признаков семенной продуктивности *Astragalis fissuralis* по режиму использования экосистемы при *df*=1, *mS*=*SS*.

При-знаки	**Абсолютная высота местности, м н.у.м. БС**						∑		
	1750			**1100**					
	mS	**F(1)**	**h^2, %**	**mS**	**F(1)**	**h^2, %**	**mS**	**F(1)**	**h^2, %**
a	–	–	–	121.90476	24.508***	52.7	88.28624	9.186**	19.6
b	–	–	–	–	–	–	–	–	–
c	–	–	–	–	–	–	–	–	–
d	–	–	–	–	–	–	162.34518	5.082*	11.5
n	47.200840	57.429***	79.3	–	–	–	25.526655	12.814**	24.7
d_1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
d_1/d	0.0330361	5.557*	27.0	0.0413001	6.822*	23.6	0.972860	14.316***	26.9
d_1/n	12.382800	49.424***	76.7	2.6521905	16.446***	42.8	12.763774	49.672***	56.0

Примечания к таблице 5: ∑ – объединённая выборка, mS – дисперсия, F – критерий Фишера с числом степеней свободы в скобках, h^2 – сила влияния фактора, %.

В условиях высоты 1750 м н.у.м. БС среднее количество семян (*n*) в плоде интродуцентов этого эндемика в 2 и более раз (2.79) выше, чем в природных популяциях. Сходные результаты получены и на высоте 1100 м н.у.м. БС, где в условиях экспериментальных участков средние величины длины плода значительно (в 1.37 раза) превышают соответствующие значения за ограждением. При этом на обоих высотных уровнях получены сходные показатели изменчивости массы семени (d_1/n) и эффективности репродуктивного усилия (d_1/d). У этих признаков величины *F* – критерия Фишера или силы влияния на изменчивость этих признаков существенны при одних и тех же уровнях достоверности. Для остальных учтённых признаков на обеих высотах различия средних величин и влияния данного фактора на вариабельность незначимы и они носят случайный характер. Похожие результаты получены и в однофакторном дисперсионном анализе признаков семенной продуктивности объединённой выборки *A. fissuralis* по режиму использования экосистемы (табл. 5, Σ). Наиболее достоверно доказано влияние режима использования экосистемы на изменчивость массы семени (d_1/n)

и эффективности репродуктивного усилия (d_1/d). На вариабельность длины плода (a) и числа семян (n) учтённый фактор влияет на одинаковом уровне достоверности (99.0%). Если влияние режима использования экосистемы на изменчивость массы плода (d) незначительно, то воздействие этого фактора на вариабельность как массы семян с боба (d_1), так и остальных рассматриваемых в настоящем исследовании размерных признаков плода, носит случайный характер. Таким образом, режим использования экосистемы в преобладающем большинстве случаев влияет на изменчивость весовых и числовых признаков репродуктивного характера.

Выводы

1. Выявлена и оценена роль антропогенного фактора (режим использования экосистемы) на структуру изменчивости восьми признаков (размерных, количественых, весовых и индексных) семенной продуктивности эндемика Дагестана, кустарничка, внесенного в Красные книги РФ и РД – *Astragalus fissuralis* для двух популяциях, расположенных на разных высотах (1100 и 1750 м н.у.м. БС) среднего горного пояса Внутреннегорного Дагестана.

2. Зафиксированы существенные различия по *t*-критерию Стьюдента средних показателей большинства признаков семенной продуктивности разновысотных выборок с разным режимом использования экосистемы.

3. Показано, что в более качественных условиях интродукции растения этого вида на обоих разновысотных (1100 и 1750 м н.у.м. БС) участках экспериментальных баз Горного ботанического сада ДФИЦ РАН развивают хорошую вегетативную массу, усиливают размерные (удлиняются плоды), количественные (увеличивается количество лёгких и мелких семян) и весовые (становятся тяжелыми плоды и створки бобов) признаки.

4. Отмечено, что в естественных условиях, в отличие от охраняемых территорий, у растений этого эндемика наблюдается иная адаптивная стратегия (репродуктивная), которая направлена на увеличение доли как весовых характеристик (масса семени и семян из плода), так и доли массы семян из плода (эффективность репродуктивного усилия), выделяемое собственно на репродукцию.

5. Установлено, что в природе главное внимание уделено развитию признаков, способствующих отбору более жизнеспособного потомства (на более коротких бобах развивается меньшее количество (одно или два) семян, но более крупных, чем при интродукции).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Артамонов В.И. 1989. Редкие и исчезающие растения. М. 383 с.

Артюшенко З.Т., Федоров А.А. 1986. Атлас по описательной морфологии высших растений: Плод. Л.: Наука. 392 с.

Бабицкий А.Ф. 2016. Насколько обосновано применение дисперсионного анализа количественных признаков в агрономическом полевом эксперименте // Современные тенденции развития аграрного комплекса. Кишинев. С. 944-953.

Гельтман Д.В., Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А., Шванова В.В. 2015. Растения российской части Кавказа в Red List IUCN // Труды Дагестанского отделения РБО. Вып. 3. С. 17-24.

Горчаковский П.Л., Зуева В.Н. 1984. Возрастная структура и динамика малых изолированных популяций уральских эндемичных астрагалов // Экология. № 3. С. 3-11.

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

Красная книга Республики Дагестан. 2009 / Ред. и сост. Г.М. Абдурахманов. Махачкала. 552 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008 / Ред. Ю.П. Трутнев и др.; Сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК. 855 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.

Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. М.: Изд-во МГУ. 364 с.

Работнов Т.А. 1950. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН АН СССР. Серия 3 «Геоботаника». Вып. 6. М.-Л. С. 179-196.

Редкие и исчезающие виды природной флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны. 1983 / Ре. П.И. Лапин и др. М.: Наука. 304 с.

Хабибов А.Д., Маллалиев М.М. 2018. Межпопуляционная изменчивость некоторых признаков плодов эндемика Дагестана *Astragalus fissuralis* Alexeenko // Труды XIV Съезда РБО и конференции «Ботаника в современном мире». Т. I. Махачкала. С. 311-312.

Хабибов А.Д., Муратчаева П.М.-С. 2010. Об изменчивости весовых признаков *Trifolium raddeanum* Trautv. в зависимости от сроков сбора // Аридные экосистемы. Т. 16. № 4 (44). С. 30-38.

Хабибов А.Д., Муратчаева П.М.-С. 2017. Предварительные результаты анализа структуры изменчивости некоторых элементов семенной продуктивности эндемика Дагестана *Astragalus fissuralis* Alexeenko // Материалы XIX Международной научной конференции с элементами научной школы молодых учёных «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России». Т. I. Махачкала: Типография ИПЭ РД. С. 349-352.

Хабибов А.Д., Муратчаева П.М.-С., Абдулаева Д.М. 2011. Сравнительный анализ структуры изменчивости весовых признаков генеративного побега *Trifolium pratense* L. в природных условиях Внутригорного Дагестана // Аридные экосистемы. Том 17. № 4 (49). С. 113-119.

Хумаева У.Х., Хабибов А.Д., Муратчаева П.М.-С. 2016. Оценка структуры изменчивости морфологических признаков клевера среднего при интродукции в условиях Горного Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 22. № 2 (67). С. 78-86. [*Khumaeva U.H., Khabibov A.D., Muratchaeva P.M.-S.* 2016. Assessment of the Structure of the Variability of Morphological Signs of *Trifolium Medium* L. Introduced under the Conditions of Mountainous Dagestan // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 2. P. 135-141.]

Red List of the Endemic Plants of the Caucasus: Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran, Russia and Turkey. 2013 / Eds. J. Solomon, T. Shulkina, G.E. Schatz. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden (MSB) 125. Missouri Botanical Garden Press. Saint Louis. 451 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 71-78

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 581.1 (575.13)

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ПЛАТО УСТЮРТ В УЗБЕКИСТАНЕ

© 2020 г. Т. Рахимова, Н.К. Рахимова, Х.Ф. Шомуродов, О.С. Абдураимов

Институт ботаники АН Республики Узбекистан
Узбекистан, 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 32. E-mail: rakhimovanodi@mail.ru

Поступила в редакцию 10.10.2019. После доработки 01.03.2020. Принята к публикации 01.03.2020

Статья посвящена оценке состояния онтогенетической структуры некоторых редких видов (*Rosa laxa* Retz., *Crataegus korolkowii* L. Henry, *Artemisia terrae-albae* Krasch. и *Salsola arbusculiformis* Drob.), произрастающих на каракалпакской части Устюрта. Исследование показало, что в эколого-ценотических условиях Устюрта изученные ценопопуляции нормальные, в основном неполночленные. Онтогенетические спектры конкретных ценопопуляций – левосторонний и центрированный, что связано с экологическими условиями обитания и колебаниями погодных условий. Сходство биологических особенностей (длительная продожительность жизни особей в средневозрастном онтогенетическом состоянии, наименьшая их элиминация и затрудненное прорастание семян) у особей разных видов и у онтогенетических реальных спектров с характерным спектром свидетельствует о стабильном состоянии изученных ценопопуляций на каракалпакской части Устюрта.

Ключевые слова: плато Устюрт, развитие инфраструктуры, эндемики, редкие виды растений, онтогенетическая структура, возрастность и эффективность ценопопуляций.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10109

Как известно, проблема глобального изменения климата стоит остро на повестке дня человечества. В последние годы в связи с этим, а также непосредственно с усыханием Аральского моря, процессы деградации земель и опустынивания влияют на состояние биоразнообразия, наблюдаются заметные изменения в структуре популяций как эдификаторных, так и редких элементов флоры. Эти изменения выражаются в виде отсутствия отдельных возрастных групп или многовершенностью онтогенетической структуры ценопопуляции, что является результатом нерегулярности семенного возобновления (Абдураимов, 2017; Шомуродов, 2018; Ценопопуляции …, 2018). Особенно интенсивно эти процессы происходят в Приаралье, на плато Устюрт, в пустыне Кызылкум, в предгорных районах.

В связи с экстремальными экологическими условиями, возникшими в результате изменения климата и развития промышленности в регионе, целью исследования является оценка современного состояния ценотических популяций основных эдификаторов и редких видов Устюрта. При этом изучение возрастной структуры популяций весьма важно в плане прояснения вопросов ее устойчивости и возможностей к самоподдержанию.

Территория исследования – Устюрт представляет собой приподнятое плато с абсолютными высотами 160-300 м н.у.м. БС. Почти со всех сторон плато ограничено обрывами или чинками. На севере Устюрт граничит с Прикаспийской низменностью, на востоке – с осушенным дном Аральского моря, на юге – с дельтой Амударьи и Сарыкамышской впадиной, на западе – с Каспийским морем. На территории плато проходят границы Узбекистана, Туркменистана и Казахстана, а общая площадь Устюрта составляет 21.2 млн. га, из неё на каракалпакскую часть приходится 7.2 млн. га (Аимбетов и др., 2017).

Климат Устюрта резко континентальный, характеризуется жарким сухим летом и довольно суровой зимой, сопровождающейся сильными ветрами, малым количеством атмосферных осадков, высокой испаряемостью и резкой сменой температур по сезонам года и в течение суток (Житомирская, Сабинина, 1963). Абсолютная максимальная температура – +45.5°С (июль), минимальная – -37.0°С (январь). Среднее годовое количество осадков не превышает 120 мм.

С ухудшением экологических условий наблюдаются продолжительные суровые зимы и жаркое сухое лето. Количество атмосферных осадков по сравнению с 1970-1980 годами уменьшилось на 20-30 мм. Засоленность почвы повысилась в 1.2-1.5 раза.

Почвы Устюрта сформировались на базе неоценовых отложений известняков и мергелей, подстилающих относительно слаборазвитый почвенный покров. По классификации ряда ученых различаются: серо-бурые пустынные почвы, промытые почвы, такыры, солончаки, некоторые из которых отличаются высокой гипсоносностью (Кимберг, 1968; Попов, 1986).

Б. Сарыбаев в своей работе «Флора и растительность плато Устюрт и перспективы их использования» (1994) указал список флоры Устюрта, насчитывающий 724 видов из 295 родов и 59 семейств. При этом к наиболее обильным 14 семействам, объединяющим 213 родов и 560 видов, относятся около 72% всех родов и 78% всех видов флоры Каракалпакской части Устюрта. На первом месте по числу видов находится семейство Chenopodiaceae (138), на втором – Brassicaceae (74), на третьем – Asteracea (70), на четвертом – Poaceae (53), затем следуют: Fabaceae (41), Polygonaceae (40), Caryophyllaceae (35), Boraginaceae (25), Apiaceae (21) и Filiaceae (18). По числу родов на первом месте стоят семейства Asteracea (38) и Brassicaceae (28), затем Chenopodiaceae (36), Poaceae (32), Fabaceae (114) и Boraginaceae (14), Caryophyllaceae (11), Apiaceae (10), Ranunculaceae (6) и Polygonaceae (5). Растительный покров плато Устюрт носит явно выраженный пустынный характер. В нем значительный удельный вес занимают длительно вегетирующие однолетники – 200 видов (28%) и стержнекорневые поликарпики – 139 видов (19.46%). Листопадных ксерофитных кустарников насчитывается 57 видов (7.98%). Такое соотношение характерно для флор аридных районов.

Основными факторами экономического развития плато Устюрт в Узбекистане являются нефтегазовая деятельность и развитие инфраструктуры (железная дорога и автомагистраль). По геологическому расположению территория плато богата сырьем для химической и нефтегазовой промышленности. Нефтегазоносная область Устюрт является крупнейшей в Узбекистане, около 25 нефтегазовых месторождений были обнаружены здесь в ходе геологоразведочных работ, которые оказывают негативное воздействие на экосистемы региона, приводя их к нарушению. Кроме того, Устюрт испытывает негативное влияние со стороны усыхания Аральского моря, т.к. при отсутствии естественного терморегулятора локально изменяется климат, что отрицательно сказывается на состоянии биоразнообразия региона.

Необходимо отметить, что в последние годы развитие промышленности и геологоразведочные работы на плато Устюрт стали причиной роста степени отрицательного влияния техногенных факторов на растительность. Еще в 1980 годах А. Алланиязов и Б. Сарыбаев (1983) указали на деградирование территорий, где около скважин, пробуренных на территории плато Устюрт, человеком полностью уничтожена растительность. Основными антропогенными факторами, влияющими на экосистемы Устюрта, являются бессистемный выпас и техногенный фактор. Они вызывают формирование антропогенных пустошей, техногенную деструкцию гипсоносных и соленосных грунтов, разрушение поверхности такыров, возникновение техногенных такыров и солончаков (Сарыбаев, 1994).

По данным Х.Ф. Шомуродова с соавторами (2015), экологические условия на плато Устюрт в последние десятилетия изменяются в худшую сторону из-за усыхания Аральского моря и развития нефтегазовой индустрии. Широкомасштабные разведочно-поисковые работы привели к увеличению числа паутинообразных дорог, ранее используемых для соединения колодцев. Выявлено негативное влияние пылевых частиц, образующихся за тяжелыми грузовиками, на жизненное состояние растений. Вдоль пыльных дорог на юге Устюрта жизненность доминантных видов низкая, в демографическом спектре отсутствуют молодые особи, проективное покрытие относительно низкое. Вдоль дороги растительность значительно деградирует и подолгу не восстанавливается. Совокупность всех этих факторов приводит к ухудшению жизненного состояния, как доминантных, так и редких элементов флоры Устюрта.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись: *Rosa laxa* Retz., *Crataegus korolkowii* L. Henry, *Artemisia terrae-albae* Krasch. и *Salsola arbusculiformis* Drob. Геоботанические описания сделаны во всех сообществах, где изучали популяционную структуру видов, по общепринятой методике (Полевая геоботаника, 1964). При идентификации видовой принадлежности растений использовали

«Определитель растений Средней Азии» (1993). Ценопопуляции описывали согласно классификациям А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), тип ценопопуляции – по классификации «дельта-омега» (Δ-ω) Л.А. Животовского (2001).

Результаты и обсуждение

В ходе экспедиций, организованных в течение 2017-2019 гг. в рамках проекта «Современные тенденции развития растительности и животного мира Устюрта в процессе опустынивания», было оценено современное состояние довольно редких, не занесенных в Красную книгу Республики Узбекистана видов: *Rosa laxa, Crataegus korolkowii, Artemisia terrae-albae* и *Salsola arbusculiformis* (рис. 1).

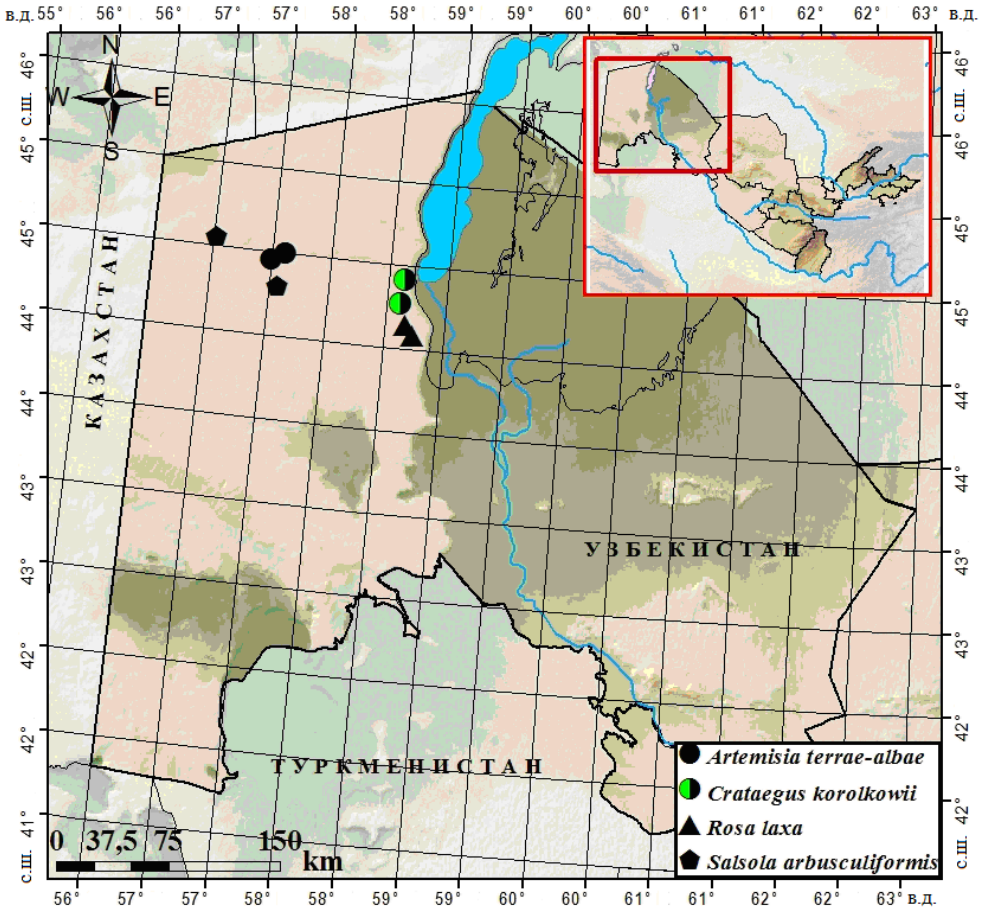


Рис. 1. Карта распространения редких видов на Устюрте (в пределах Каракалпакстана, Узбекистан).

Rosa laxa (шиповник рыхлый) является одним из предков многих сортов роз. Это кустарник высотой до 2 м, распространен в Западной Сибири (Иртышский и Алтайский районы), в Средней Азии. Растет на степных лугах, по берегам рек, озер, горным склонам. Цветение приходится на июнь-август, плодоношение – на август-сентябрь. Растение является декоративным. Настой его плодов употребляют при анемии, язвенной болезни, гастрите, болезнях печени, нефритах, циститах, а также используют как сырье для витаминной промышленности.

В ходе полевых исследований на восточном чинке Устюрта выявлены две ценотических популяций *R. laxa*. Первая ценопопуляция (ЦП) *R. laxa* описана на мысе Улькентумсук в составе малакокарпусово-розового сообщества (44° 08' 26" с.ш., 58° 23' 04" в.д.). Почва описываемой территории – крупнокаменисто-гипсовая. Проективное покрытие травостоя – 28-30%. Флористический состав сообщества слагается из 21 сосудистого растения, где подавляющее большинство составляют кустарники и многолетние травянистые растения. Вторая ЦП исследуемого вида зарегистрирована под чинком в составе разнотравно-шиповникового сообщества (44° 14' 40" с.ш., 58° 16' 26" в.д.) на гипсовой почве. Общее проективное покрытие травостоя

составляет 26-28%. Ботанический состав сообщества слагается из 23 видов сосудистых растений.

Онтогенетическая структура ценотических популяций исследуемого вида ранее не изучалась. Проведенные онтогенетические структуры изученных ценопопуляций выявили два типа спектра: центрированный (ЦП1) и левосторонный (ЦП2; рис. 2).

Центрированный спектр, по данным Л.Б. Заугольновой (1994), формируется у кустарниковых растений при большой продожительности жизни особей в средневозрастном онтогенетическом состоянии, наименьшей их элиминации и затрудненном прорастании семян.

ЦП *с центрированым онтогенетическим спектром.* Онтогенетический спектр ЦП1 совпадает с характерным. Он центрированный, с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Доля особей этой возрастной группы в ЦП состовляет 35.13%, что связано с постепенным увеличением продолжительности жизни особей в генеративном периоде и их элиминацией в ювенильном состоянии.

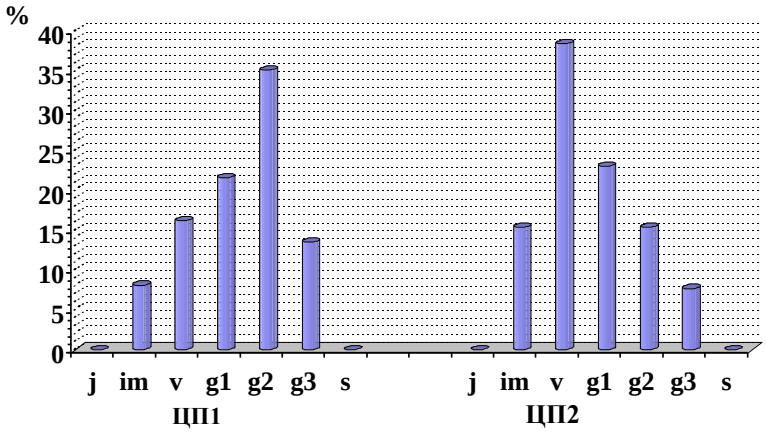


Рис. 2. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Rosa laxa* (ЦП1, ЦП2). *Условные обозначения для рисунков 2-5.* Состояние экземпляров растений в популяции: j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g1 – молодое генеративное, g2 – средневозрастное генеративное, g3 – старовозрастное генеративное, s – сенильное.

ЦП *с левосторонним онтогенетическим спектром*. Онтогенетический спектр данной ЦП не совпадает с характерным. Структура ЦП2 – левостороннего типа, с абсолютным максимумом на особях виргинильных групп. Доля особей этой возрастной группы в ценопопуляции составляет 38.46%. Подобный вариант онтогентического спектра формируется, с одной стороны, в условиях обильного плодоношения и низкого уровня элиминации молодых особей и, с другой, при наиболее продолжительном развитии особей в данном возрастном состоянии (характерном для кустарников в целом).

Согласно классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции *Rosa laxa* нормальные, но неполночленные, т.к. мы не обнаружили ювенильные и сенильные растения. Отсутствие в данной ценопопуляции ювенильных особей – результат нерегулярности семенного возобновления. Это, вероятно, связано с экологическими условиями обитания (с характером и влажностью субстрата и колебаниями погодных условий). Осенне-зимне-весенние осадки легко вымывают семена из осыпи и тем самым препятствуют широкому расселению растений. Кроме того, обвалы обрывов не редко уничтожают молодые особи. Для выявления типов ценопопуляций были оценены возрастность (Δ) и эффективность (ω). Это позволило выявить, что ЦП1 (Δ=0.40, ω=0.72) относится к зрелому типу, а ЦП2 (Δ=0.24, ω=0.58) – к молодому.

Еще одним редким флористическим элементом Устюрта является *Crataegus korolkowii* (боярышник Королькова). Это кустарник или небольшое (до 5 м высотой) деревце, в Республике Каракалпакстан встречается на Устюрте. Цветы белые, плоды сплюснуто-шаровидные. Цветет в мае, плодоносит в июне, размножается семенами и вегетативно. Является лекарственным, медоносным, эфирномасличным, пищевым и кормовым растением.

В ходе полевых исследований на восточном чинке Устюрта выявлены две ценотические

популяции *C. korolkowii*. Первая ценопопуляция описана на причинковой террасе (неглубокие ущелья) в составе люцернево-боярышникового сообщества (44° 27' 45" с.ш., 58° 11' 15" в.д.), в котором преобладает *C. korolkowii*. Проективное покрытие травостоя составляет 35%, доля исследуемого вида в нем – 2%. Ботанический состав сообщества состоит из 23 видов цветковых растений. Вторая ценопопуляция исследуемого вида выделена под чинком на крупных обломках в составе разнотравно-боярышникового сообщества (44° 42' 27" с.ш., 58° 13' 56" в.д.) на гипсовой почве. Общее проективное покрытие травостоя составляет 30%. Ботанический состав сообщества слагается из 26 видов сосудистых растений.

По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции *C. korolkowii* нормальные, но неполночленные, отсутствуют ювенильные и сенильные особи. Онтогенетическая структура обеих ценопопуляций – левостороннего типа, с максимумом на виргинильные особи – 33.3-40.0% (рис. 3).

Как было сказано выше, ЦП1 произрастает на причинковой террасе (неглубокие ущелья), в недоступных для пастьбы местах. Такой рельеф поспособствовал более равномерному распределению генеративных особей в правой части спектра. Отсутствие в данной ценопопуляции ювенильных особей – результат нерегулярности семенного возобновления. Высокие показатели виргинильных особей связаны с большей продолжительностью их развития на данном этапе по сравнению с имматурными особями. ЦП2 выделена под чинком на крупных обломках, расположенных вдали от населенных пунктов. Отсутствие скота способствовало лучшему укоренению молодых особей. Но не все генеративные растения выдерживают экстремальные климатические условия, а выпас скота не является единственным фактором, влияющим на структуру растений. Произрастая на чинке, *C. korolkowii* приспособился к экстремальным природным условиям: засушливый климат, большая амплитуда колебания температур в летние и зимние периоды.

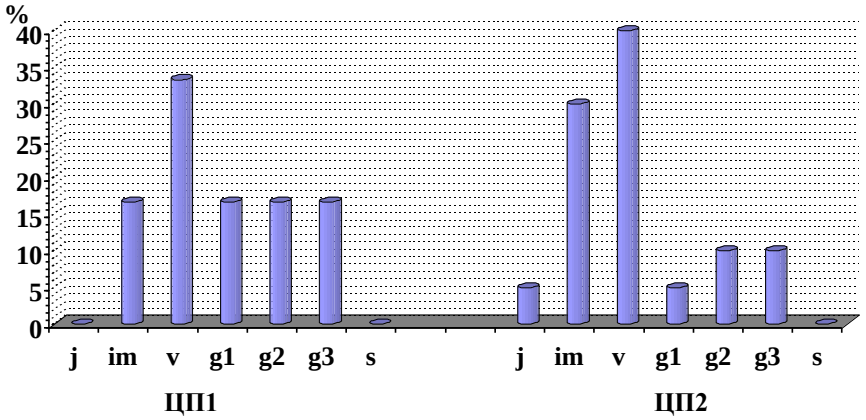


Рис. 3. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Crataegus korolkowii* (ЦП1, ЦП2).

Оценка возрастности и эффективности ценопопуляций показала, что ЦП1 (Δ=0.29, ω=0.59) и ЦП2 (Δ=0.19, ω=0.44) – молодые, чему способствовали высокие значения прегенеративных особей в ценопопуляциях и их присутствие в левой части спектра.

Artemisia terrae-albae (полынь белоземельная) встречается по всей территории Каракалпакской части Кызылкумов и Устюрта, на закрепленных песках, глинистых, щебнистых почвах, почти всегда являясь фоновым растением. Это ксерофитный полукустарничек, с побегами 20-40 см высотой. Местные жители используют его против моли, а также считают лекарственным растением и используют как топливо. На каракалпакских естественных пастбищах полынь играет большую роль в кормовом балансе. Ее отлично поедает крупный рогатый скот и лошади. В растительном покрове Устюрта полынная формация занимает второе место после биюргуновой как по количеству ассоциаций, так и по занимаемой площади. Широкое распространение данной формации на Каракалпакской части Устюрта свидетельствует о большом экологическом диапазоне этого вида.

В сложившихся сложных экологических условиях Устюрта, обусловленных проблемами Арала и нефтегазового промысла, а также развитием дорожной сети, интересно рассмотреть состояние популяций таких широко распространенных эдификаторных видов, как *A. terrae-albae*. В ходе

полевых исследований на Центральный Устюрт выявлены два сообщества с ее участием.

Первая ценопопуляция *A. terrae-albae* описана в районе Белеули в составе биюргунового сообщества (44° 50' 56" с.ш., 57° 11' 60" в.д.) на такыровидной почве. В растительном сообществе преобладает *Anabasis salsa*. Проективное покрытие травостоя составляет 35%, доля исследуемого вида в нем – 3%. Ботанический состав сообщества сложен из 14 видов цветковых растений, где подавляющее большинство – это полукустарники и многолетние травянистые растения. Вторая ценопопуляция исследуемого вида выделена по дороге Чурук-Белеули в составе мортуково-биюргунового сообщества (44° 46' 07" с.ш., 57° 00' 31" в.д.) на супесчаной почве выровненного рельефа. Рельеф ровный. Общее проективное покрытие травостоя составляет 60%. Ботанический состав сообщества слагается из 11 видов сосудистых растений. На двух ЦП встречается всего 18 видов.

Для оценки состояния ценотических популяций изучена онтогенетическая структура двух ценопопуляций *A. terrae-albae*. Онтогенетическая структура ценотических популяций исследуемого вида ранее не изучалась. По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), изученные ценопопуляции *A. terrae-albae* нормальные, но неполночленные, отсутствуют ювенильные особи, что, вероятно, связано с экологическими условиями обитания (засушливым климатом и сильным ветром). Онтогенетический спектр ценопопуляции *A. terrae-albae* – левосторонний и центрированный (рис. 4). Для *A. terrae-albae* характерны семенной и вегетативный способ самоподдержания ценопопуляций, длительное пребывание в средневозрастном генеративном состоянии. Данные биологические состояния позволяют считать, что характерным спектром ценопопуляций этого вида является центрированный. Онтогенетический спектр ЦП2 совпадает с характерным. Он центрированный с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Это связано с постепенным увеличением продолжительности жизни особей в генеративном периоде и их элиминацией в ювенильном состоянии.

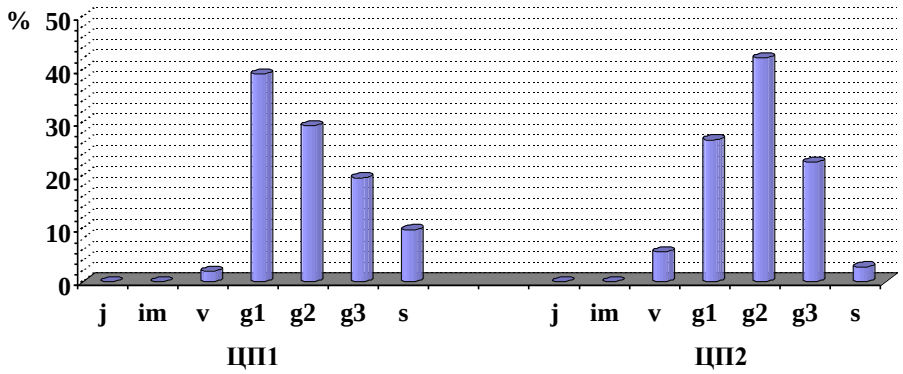


Рис. 4. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Artemisia terrae-albae* (ЦП1, ЦП2).

Онтогенетическая структура ЦП1 – левостороннего типа, с абсолютным максимумом на молодые генеративные особи. Онтогенетический спектр данной ЦП не совпадает с характерным. Доля особей этой возрастной группы в ценопопуляции составляет 37.0%. Подобный вариант онтогенетического спектра формируется, с одной стороны, в условиях обильного плодоношения и низкого уровня элиминации молодых особей, а с другой, при наибольшей продолжительности развития особей в данном возрастном состоянии, наименьшей их элиминации и затрудненном прорастании семян (характерном для кустарников в целом).

Онтогенетический спектр ЦП2 совпадает с характерным. Он центрированный, с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Доля особей этой возрастной группы в ЦП составляет 50.7%, что связано с постепенным увеличением продолжительности жизни особей в генеративном периоде и элиминацией особей в ювенильном состоянии.

Обе ЦП *A. terrae-albae*, исходя из соотношения значения дельта-омега, оцениваются как зреющие (Δ=0.49, ω=0.78 и Δ=0.48, ω=0.83).

Немаловажным ботаническим элементом данной территории является реликтовый вид Устюрта – *Salsola arbusculiformis* (солянка деревцеподобная), встречающаяся в районе исследования небольшими пятнами. В ходе полевых исследований на Устюрте выявлены две ценотические

популяции. Первая описана вдоль дороги Белеули (44° 30' 38" с.ш., 057° 07' 65" в.д.). Рельеф исследуемого участка ровный. Почва – такырная, суглинистая. Растительность разреженная. Эдификаторами растительного покрова являются *Salsola arbusculiformis* и *Anabasis salsa*. Проективное покрытие травостоя – 24%. Флористический состав сообщества слагается из 21 сосудистого растения, где подавляющее большинство составляют кустарники и многолетние травянистые растения. На описываемой площадке не наблюдается антропогенного влияния на растительный покров. Вторая ценопопуляция выделена в составе биюргуново-полынно-боялышевого сообщества на территории Чурук (44° 56' 31" с.ш., 56° 52' 36" в.д.). Рельеф описываемого участка ровный, местами пересеченный. Почва – солончаковая, местами такыровидно-суглинистая. Проективное покрытие травостоя – 35%. Флористический состав сообщества слагается из 16 сосудистых растений, где подавляющее большинство составляют кустарники и многолетние травянистые растения.

Онтогенетическая структура ценотических популяций исследуемого вида ранее не изучалась. Анализ онтогенетических структур изученных ценопопуляций выявил только один тип спектра – центрированный (рис. 5).

Онтогенетический спектр ЦП1 и ЦП2 совпадает с характерным. Он центрированный, с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Отсутствие молодых особей говорит о низкой жизненности *S. arbusculiformis* на данном участке.

Для выявления типов ценопопуляций были оценены возрастность и эффективность ценопопуляции *Salsola arbusculiformis*: ЦП1 (Δ=0.37, ω=0.72) относится к зрелому, а ЦП2 (Δ=0.32, ω=0.77) к зреющему типу.

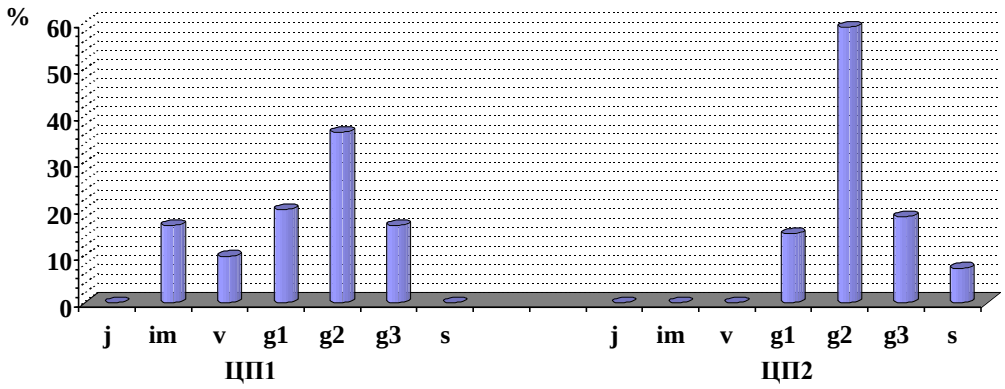


Рис. 5. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Salsola arbusculiformis* (ЦП1, ЦП2).

Заключение

Таким образом, в ходе полевых исследований в Восточном чинке Устюрта найдены 2 сообщества *R. laxa* (малакокарпусово-розовая и разнотравно-шиповниковая) и *C. korolkowii* (люцерневo-боярышниковая и разнотравно-боярышниковая). Отсутствует резкое изменение видового состава шиповниковых и боярышниковых сообществ, что может быть связано с благоприятной приуроченностью данных сообществ к глубоким и теневым ущельям первой и второй террасы Восточного чинка.

Исследованные ценопопуляции *R. laxa* нормальные, неполночленные, не содержат ювенильные и сенильные особи. Онтогенетический спектр ЦП1 совпадает с характерным. Он центрированный, с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Онтогенетическая структура ЦП2 – левостороннего типа, с абсолютным максимумом на особях виргинильных групп. Онтогенетический спектр данной ЦП не совпадает с характерным.

Изученные ценопопуляции *C. korolkowii* нормальные, но неполночленные. Базовый онтогенетический спектр – левосторонний, с пиком на прегенеративные особи и не совпадает с характерным, что связано с экологическими условиями обитания и колебаний погодных условий.

Ценопопуляции *A. terrae-albae* и *S. arbusculiformis* также нормальные, неполночленные. Онтогенетическая структура видов связана с эколого-ценотическими условиями произрастания.

Онтогенетический спектр совпадает с характерным.

В исследованных районах замечено отрицательное влияние неблагоустроенности дорожной сети и ее стихийного роста, в результате которых уничтожаются сообщества (биюргунники и белоземельнополынники), имеющие наиболее высокую пастбищную ценность. Также в результате экспедиционных исследований изучено влияние пылевых частиц, образующихся на автомобильной дороге от передвигаемого транспорта, и подобных факторов на рост и развитие молодых особей и годичных побегов *A. terrae-albae* и *S. arbusculiformis.* Наблюдения показали, что вышеупомянутые факторы оказывают отрицательное влияние на состояние растительного покрова, вследствие чего ухудшаются полночленность онтогенеза, процесс образования вегетативных побегов растений, проективное покрытие травостоя. Был также проведен анализ по определению жизненности особей, произрастающих на расстоянии в 30, 70, 100, 150 м от автомобильной дороги. По наблюдениям установлено, что особи *A. terrae-albae* и *S. arbusculiformis*, произрастающие на расстоянии в 100-150 м от автомобильной дороги, обладают большей жизненностью (биомасса особей, высота особей, длина годичных побегов, число вегетативных и генеративных побегов), а произрастающие на расстоянии в 30-70 м находятся в угнетенном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдураимов О.С. 2017. Биологические особенности и состояние ценопопуляций видов рода *Tulipa* L. в Кызылкуме: Автореф. дисс. … док. философии (PhD) по биол. наук. Ташкент. 43 с.

Аимбетов Н.К., Тлеумуратова Б.С., Мамбетуллаева С.М., Пиржанова Р., Айтмуратов Р. 2017. Динамика и потенциал природной среды Каракалпакстана. Нукус: Илим. С. 78-79.

Алланиязов А., Сарыбаев Б. 1983. Эколого-геоботанические особенности пастбищ Каракалпакской части Устюрта. Ташкент: Фан. 120 с.

Животовский Л.А. 2001. Онтогенетическое состояние, эффективная плотность и классификация популяций // Экология. Т. 2. № 1. С. 3-7.

Житомирская О.М., Сабинина И.Г. 1963. Климатические описания Устюрта. Л.: Гидрометеоиздат. 60 с.

Заугольнова Л.Б. 1994. Структура популяций семенных растений и проблемы их мониторинга: Автореф. дисс. док. наук по биол. наук. Спб. 70 с.

Кимберг Н.В. 1968. Почвы пустынной зоны Узбекистана: Дисс. док. биол. наук. Ташкент. 58 с.

Определитель растений Средней Азии. 1993. Т. X. Ташкент: Фан. 690 с.

Попов В.Г. 1986. Почвенный покров Каракалпакского Устюрта и его рациональное использование. Ташкент: Фан. С. 94-104.

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

Сарыбаев Б.П. 1994. Флора и растительность плато Устюрт и перспективы их использования: Автореф. дисс. … док. биол. наук. Ташкент. 48 с.

Уранов А.А., Смирнова О.В. 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. Т. 74. № 2. С. 119-134.

Ценопопуляции редких и исчезающих видов растений останцовых низкогорий Кызылкума. 2018. Ташкент: Навруз. 230 с.

Шомуродов Х.Ф. 2018. Кормовые растения Кызылкума и перспективы их использования: Автореф. дисс. док. наук (Dsc) по биол. наук. Ташкент. 62 с.

Шомуродов Х.Ф., Сарибаева Ш.У., Ахмедов А. 2015. Распространение и современное состояние редких видов растений на плато Устюрт в Узбекистане // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 75-83. [*Shomurodov H.F., Saribayeva Sh.U., Akhmedov A.* 2015. Distribution pattern and modern status of rare plant species on the Ustyurt Plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 4. P. 261-267.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 79-87

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 502/504; 57.04; 581.55

СОСТОЯНИЕ ПУСТЫННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН НА ТЕРРИТОРИЯХ АВАРИЙНОГО ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ[1]

© 2020 г. С.А. Леднев, И.Н. Семенков, Т.В. Королева, А.В. Шарапова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: sled1988@mail.ru, semenkov@geogr.msu.ru

Поступила в редакцию 19.08.2019. После доработки 01.09.2019. Принята к публикации 01.09.2019

В статье охарактеризован растительный покров, сформировавшийся через 4-12 лет на трех местах аварийных падений ракет-носителей, использующих в качестве топлива токсичный несимметричный диметилгидразин. Авария ракеты-носителя сопровождается химическим, механическим и термическим (или пирогенным) воздействием на растительный покров, которое распространяется на разное расстояние от места удара, формируя характерные зоны техногенных нарушений. Для характеристики растительного покрова на трёх местах аварийных падений ракет-носителей, произошедших в 2006-2013 гг., выполнены геоботанические описания на площадках, расположенных на различном удалении от центра места удара. Особенностью самовосстановления растительного покрова на исследованных местах падения является формирование однолетнесолянкового сообщества (*Climacoptera lanata, Salsola laricina, S. paulsenii* и др.) с относительно высоким проективным покрытием на месте бывшей ударной воронки вследствие просадки грунта и перераспределения поверхностного стока. По мере удаления от центра места удара наблюдается демутация исходной растительности: уменьшается участие однолетников, увеличивается общее проективное покрытие и флористическая насыщенность сообществ. Самовосстановление фитоценозов без проведения биологической рекультивации может составлять не менее 15 лет по наиболее оптимистичным прогнозам.

Ключевые слова: ракета-носитель, техногенное воздействие, самовосстановление фитоценозов, рудеральные однолетники, демутация, Казахстан.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10110

Ракетно-космическая деятельность (РКД), как и любой другой вид техногенеза, негативно воздействует на ландшафты, в том числе на растительный покров (Koroleva et al., 2018). Наибольшую опасность для окружающей среды представляют собой аварийные падения ракет-носителей (РН) на подтрассовую территорию, где на Землю может упасть связка из космического аппарата, разгонного блока и от одной до трех ступеней РН (Экологическая безопасность …, 2015).

В период 2006-2013 гг. произошло три аварийных падения РН, запущенных с космодрома Байконур: РС-20 «Днепр» в 2006 г., «Протон-М» в 2007 и 2013 гг. На каждом из мест падения на экосистемы оказано специфичное воздействие (Lednev et al., 2019). В результате аварий в экосистемы попало большое количество несимметричного диметилгидразина (НДМГ) – высокотоксичного компонента ракетного топлива (КРТ), относящегося к веществам 1-го класса опасности, а также азотного тетраоксида – вещества 2-го класса опасности (Экологическая безопасность …, 2015; Королева и др., 2015).

Согласно выполненным ранее исследованиям (Экологическая безопасность …, 2015; Lednev et al., 2019), аварийное падение ракеты-носителя приводит к формированию выраженных зон техногенных нарушений, различающихся по характеру и интенсивности преобладающего техногенного воздействия. Рассмотренные аварийные падения РН привели к механическому воздействию (взрыв, работы по утилизации фрагментов и детоксикации почвы, засыпка взрывной

[1] Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы I.4 «Природные и антропогенные изменения ландшафтно-геохимических и почвенных систем» (№АААА-А16-116032810057-4).

воронки), пирогенным и термическим нарушениям; наземным проливам КРТ. Рекультивация нарушенных участков включает в себя засыпку взрывной воронки и детоксикацию участков с выявленным химическим загрязнением почвы. В то же время вторичное воздействие, связанное с работами по ликвидации последствий аварий РН, также определяет появление новых техногенно-нарушенных участков (Экологическая безопасность …, 2015).

Геоботанические исследования в районах аварий РН являются составной частью экологического мониторинга РКД и позволяют оценить реальное состояние растительного покрова нарушенных территорий, что необходимо для экологического нормирования – ключевой проблемы для экологической безопасности в РКД. Кроме того, сведения о функционировании аридных сообществ Центральной Азии и их отклике на техногенное воздействие ограничены. Аварийное падение РН можно рассматривать как модельное нарушение экосистемы с известными параметрами оказанного воздействия, а результаты исследования самовосстановления растительного покрова обладают фундаментальным значением и могут быть использованы для оценки возможности и сроков регенерации нарушенных сообществ.

Материалы и методы

В настоящей работе охарактеризовано актуальное на 2017-2018 гг. состояние растительного покрова на трёх местах аварийных падений РН. Место падения РН РС-20 «Днепр» (27.07.2006) расположено в Кармакшинском районе Кызылординской области, в подзоне средних пустынь, в сообществе с преобладанием саксаула чёрного (*Haloxylon aphyllum*) на такыровидных пустынных солончаковатых почвах. Место падения РН «Протон-М» (5.09.2007) расположено в Улытауском районе Карагандинской обл., в подзоне северных пустынь, в сообществах с преобладанием полыни полусухой (*Artemisia semiarida*) и ежовника солончакового (*Anabasis salsa*) на бурых полупустынных почвах и солонцах. Место падения РН «Протон-М» (2.07.2013) расположено в Кызылординской области на территории космодрома «Байконур», в подзоне средних пустынь, в сообществах с преобладанием полыни белоземельной (*Artemisia terrae-albae*) и житняка ломкого (*Agropyron fragile*) на серо-бурых пустынных почвах.

По завершении рекультивации на рассмотренных участках выделены 5 зон техногенного воздействия (Экологическая безопасность …, 2015; Lednev et al., 2019):

1) сильных механических нарушений на месте взрывной воронки, характеризующихся уничтожением растительного покрова;

2) слабого и среднего механического воздействия, где срезаны (с целью засыпки воронки) или перемешаны (при детоксикации) верхние горизонты почв;

3) термического (пирогенного) воздействия от высоких температур в момент взрыва КРТ (один из участков аварии РН «Протон-М» 2007 г. и участок аварии 2013 г.) и воспламенения растительности. Степень модификации сообществ в данной может варьировать от очень сильной (смена полукустарничков эфемерами) до средней или даже слабой (например, при абсолютном преобладании дерновинных злаков до падения РН);

4) механического воздействия на экосистемы, оказываемого взрывной волной и разбрасываемыми фрагментами РН. Степень модификации различна для сообществ с преобладанием разных жизненных форм. Деревья и кустарники ломаются от ударной силы взрывной волны; в то же время сообщества, изначально сложенные низкорослыми одревесневающими кустарничками, полукустарничками и травянистыми растениями, по-видимому, не получают существенных повреждений при описанном воздействии;

5) условно фоновая территория, не испытавшая значительного воздействия от взрыва. В качестве источников воздействия от РКД возможен аэрогенный перенос газообразных КРТ по ветру после аварии или проезд техники к месту падения.

В пределах каждой из зон проведённая характеристика состояния растительного покрова базируется на геоботанических описаниях пробных площадок размером 100 м^2 с характеристикой общего проективного покрытия (ОПП) и высоты сообщества, видового состава с указанием для каждого вида проективного покрытия, высоты и фенологического состояния. На месте падения РН «Протон-М» 2013 г. выполнено 18 описаний в августе 2017 г. до проведения рекультивации. Места падения РН «Днепр» (2006 г.) и «Протон-М» (2007 г.) обследованы в апреле 2018 г.

с геоботаническими описаниями на 5 площадках соответственно в различных зонах. Ввиду специфики собранных данных детальное сопоставление зон техногенных нарушений проведено для участков мест падения РН «Днепр» 2006 г. и «Протон-М» 2013 г., которые при сходном географическом положении наиболее контрастны по ряду параметров: тип РН, природные сообщества на месте падения, срок восстановления, характер выполненных работ и др.

При выполнении геоботанических описаний использована стандартная методика (Воронов, 1973). Основными анализируемыми характеристиками растительного покрова являются флористическая насыщенность (число видов, выявленных на пробной площадке) и проективное покрытие (в %). Кроме того, определена доля видов-однолетников во флористическом составе и сложении проективного покрытия, поскольку данные виды являются важным индикатором техногенного воздействия при осуществлении РКД (Экологическая безопасность …, 2015).

Степень модификации фитоценозов, подвергшихся воздействию, определена по ранее разработанной авторским коллективом шкале воздействия РКД на природные сообщества (табл. 1). Для характеристики степени модификации растительности использованы соотношение жизненных форм в сообществе, проективное покрытие (ПП) однолетников и общее проективное покрытие (ОПП) сообщества.

Видовая принадлежность растений определена по «Флоре Казахстана» (1956-1965) и «Иллюстрированному определителю растений Казахстана» (1969, 1972). Все названия растений приведены по работе С.К. Черепанова (1995).

Таблица 1. Критерии состояния и модификации фитоценозов под воздействием РКД (Феодоритов и др., 2016; Lednev et al., 2019 с изменениями).

Степень модификации фитоценоза	**Показатели состояния фитоценоза**		
	Соотношение жизненных форм растений в сообществе	**ПП однолетников (% от ОПП)**	**ОПП растительности (% от исходного)**
Слабая (I)	Абсолютное преобладание травянистых, кустарничковых и кустарниковых многолетников	Менее 20	90 и более
Средняя (II)	Снижение доли многолетников, появление сорных однолетников	20-40	70-90
Сильная (III)	Переход сорных однолетников на позиции содоминантов	40-70	50-70
Очень сильная (IV)	Абсолютное преобладание сорных и пионерных однолетников	Более 70	Менее 50

Результаты и их обсуждение

1. Общая характеристика растительного покрова на местах аварийных падений РН в период самовосстановления сообществ.

Зоны техногенных нарушений сообществ, выделенные по окончании работ по рекультивации (для места падения РН «Протон-М» 2013 г. – работ по первичной детоксикации), на момент обследования в 2017-2018 гг. также хорошо диагностируются (табл. 2). Выявляемые сообщества не соответствуют фоновым фитоценозам в полной мере, что свидетельствует о незавершённости восстановления ни в одной из обследованных зон.

В зоне 1 на рекультивированных местах падения после засыпки воронки вследствие просадки грунта образовалось понижение, способствующее перераспределению влаги и формированию сообщества с преобладанием однолетников: климакоптеры шерстистой (*Climacoptera lanata*), солянки Паульсена (*S. paulsenii*), солянки многолистной (*S. foliosa*), бассии иссополистной (*Bassia hyssopifolia*), петросимонии сизоватой (*Petrosimonia glaucescens*) и др.. На участке МП РН «Протон-М» 2013 г. до проведения рекультивации к 2017 г. солянковое сообщество также сформировалось в воронке на месте ЦМУ.

В зоне механического воздействия техники (зоне 2) при отсутствии фитомелиорации сохраняется разреженный растительный покров с преобладанием однолетников (преимущественно рогача

песчаного – *Ceratocarpus arenarius*) и эфемероидов. При этом, хотя однолетники доминируют в обеих зонах, видовой состав их различается: перераспределение поверхностного стока в понижение зоны 1, а также сильное механическое воздействие приводит к преобладанию в зоне 2 более ксерофитных рудеральных видов, главным из которых является рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*).

Термическое и пирогенное воздействие в зоне 3 привело к уничтожению не только сравнительно высокорослых деревьев и кустарников, но и надземных частей полукустарничков (полыни – *Artemisia* spp., ежовника солончакового – *Anabasis salsa*), кустарничков (солянки восточной – *Salsola orientalis*) и травянистых растений. Впоследствии у особей многолетников с глубоким залеганием почек возобновления, например, дерновинных злаков из родов ковыль (*Stipa*) и житняк (*Agropyron*), уже в следующем вегетационном сезоне после термического воздействия и/или пожара (а в некоторых случаях – и в текущем сезоне) образуются новые побеги, тогда как полукустарнички (например, полыни подрода *Seriphidium*, широко распространённые в данных природных зонах) возобновляются главным образом за счёт заноса семян с прилегающих территорий. В случаях пирогенного воздействия доминантами сообществ могут становиться виды, толерантные к пожарам, тогда как при более мягком термическом воздействии сохраняется большее количество исходных особей кустарничков и полукустарничков, способствующих быстрому восстановлению исходного фитоценоза.

Таблица 2. Степень модификации фитоценозов на обследованных участках мест падения РН с характеристикой преобладающих на момент обследования видов растений.

Локация			**Критерии**			**Итоговая степень модификации**
Участок	**Зона**	**Виды растений с ПП>1% (на момент обследования)**	**А***	**Б**	**В**	
РС-20 «Днепр» (2006 г.) на 2018 г.	1	*Climacoptera lanata*	IV	IV	**	Очень сильная (IV)
	2	Нет	IV	IV	IV	
	3	Нет	III	III	IV	Очень сильная (IV) к сильной (III)
	4	*Salsola orientalis, Anabasis salsa*	I	I	II	Средняя (II) к слабой (I)
	5	*Haloxylon aphyllum, S. orientalis, A. salsa*	I	I	I	Слабая (I)
«Протон-М» (2007 г.) на 2018 г.	1	*Salsola laricina, C. lanata, Bassia sedoides*	IV	IV	**	Очень сильная (IV)
	2	*Ceratocarpus arenarius*	IV	IV	III	
	3	*Artemisia semiarida, C. arenarius*	III	II	I	Сильная (III) к средней (II)
	4	*A. semiarida, C. arenarius*	I	I	II	Средняя (II) к слабой (I)
	5	*A. semiarida*	I	I	I	Слабая (I)
«Протон-М» (2013 г.) на 2017 г.	1	*Salsola paulsenii, C. lanata, Ceratocarpus utriculosus*	IV	IV	III	Очень сильная (IV)
	2	*C. utriculosus, Salsola paulsenii*	IV	IV	III	
	3	*Agropyron fragile, Stipa hohenackeriana, C. arenarius, Artemisia terrae-albae, Carex physodes*	III (II)	IV	II	Очень сильная (IV) к средней (II)
	4	*A. terrae-albae, C. arenarius, S. orientalis, Carex pachystylis*	I	I	I	Слабая (I)
	5	*A. terrae-albae, C. pachystylis*	I	I	I	

Примечания к таблице 2: *А – соотношение жизненных форм в сообществе, Б – ПП однолетников (в % от ОПП), В – снижение ОПП растительности (% от исходного; табл. 1); ** – не применим, поскольку виды-доминанты исходной растительности отсутствуют, а ОПП превышает фоновые значения.

В зоне 4 на участке места падения РН «Днепр» 2006 г. уничтоженные взрывной волной деревья и кустарники, до падения главным образом представленные *Haloxylon aphyllum*, не восстановились на позициях доминантов сообществ. В 2018 г. в этой зоне преобладают полукустарнички: солянка восточная (*Salsola orientalis*) и ежовник солончаковый (*Anabasis salsa*), а особи *H. aphyllum* встречаются единично и разрозненно. На других местах аварийных падений, где изначально преобладала полукустарничковая растительность, доминанты не сменились. При этом на всех исследованных участках в результате оказанного воздействия в сообществах повышена доля видов-однолетников за счёт локальных механических нарушений растительного покрова.

2. Сравнительная характеристика самовосстановления растительного покрова на местах аварийных падений РН «Днепр» 2006 г. и «Протон-М» 2013 г.

При сопоставлении флористической насыщенности и проективного покрытия сообществ в разных зонах техногенных нарушений обследованных участков можно выявить общие закономерности, несмотря на значительные различия в первоначальном состоянии мест падения РН (разные типы почв и растительность, различные обстоятельства падения РН, продолжительность детоксикации и др.).

Характерной чертой растительного покрова в зонах 1 и 2, а также, в ряде случаев, в зоне 3, является повышенная (70-90%) доля однолетников во флористическом составе относительно условно фоновых сообществ (рис. а, б), что особенно ярко проявляется при рассмотрении ПП (рис. в, г). Многолетники в зонах 1 и 2, как правило, представлены одиночными эфемероидами или проростками полукустарничков, не формирующими значительного проективного покрытия. В зоне 1 в составе обоих сообществ отмечается значительное участие *Climacoptera lanata*, но флористический состав места падения РН «Протон-М» 2013 г. более разнообразен (табл. 2).

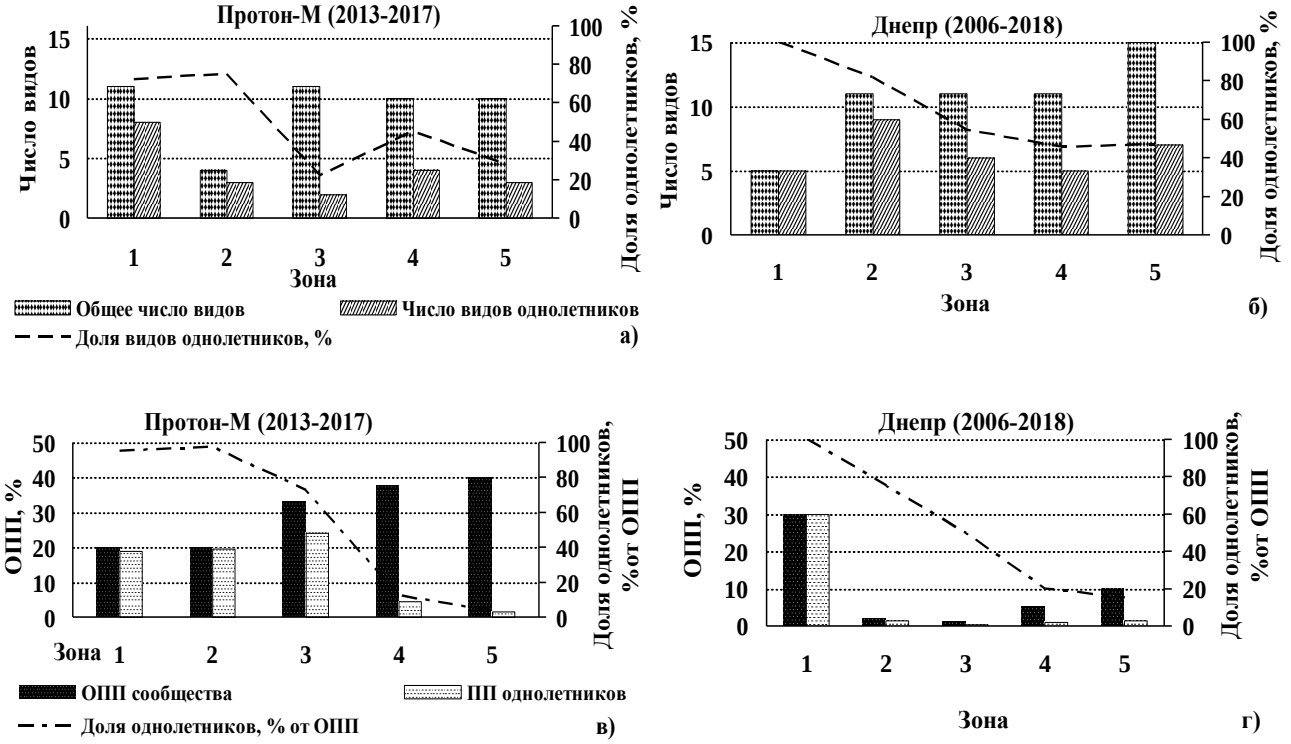


Рис. Флористическая насыщенность (а, б) и проективное покрытие (в, г) растений в зонах техногенных нарушений на участках мест падения РН «Протон-М» (2013) и «Днепр» (2006). Для гистограммы используется левая шкала оси ординат, для пунктирного графика – правая шкала оси ординат.

Начиная с зоны 3, доля однолетников как во флористическом составе, так и в ПП сообществ снижается. На обоих рассмотренных местах падения РН для фонового сообщества ПП однолетников составляет около 2%. При этом характер изменения значений ОПП растительности при движении от

центра места удара к фоновой территории существенно различается. В рогачёвых сообществах (с преобладанием *Ceratocarpus arenarius*) и дерновинно-злаковых сообществах (с преобладанием *Agropyron fragile* и *Stipa hohenackeriana*) на участке места падения РН «Протон-М» 2013 г. ОПП растительности в зоне 2 существенно не отличается от отмеченного в зоне 1, а начиная с зоны 3 быстро восстанавливается, приближаясь к фоновым значениям. В то же время для саксаулово-солянковых сообществ на месте падения РН «Днепр» характерно максимальное покрытие (превышающее фоновое в 3 раза) для участков в зоне 1 и минимальное покрытие (в 3-5 раз меньше фонового) в зонах 2 и 3, что, по всей видимости, связано с формированием благоприятных условий для произрастания однолетников в техногенных просадках и промоинах в центре места удара и оказанным механическим воздействием на почву в пределах зон 2 и 3.

В обоих случаях для зоны 4 доля однолетников как во флористическом составе, так и в проективном покрытии отличается от фоновых значений несущественно, вследствие чего по данному параметру механическое воздействие, оказываемое взрывной волной и разбрасываемыми фрагментами, можно рассматривать как незначительно влияющее на сообщества, особенно в случае полынных и дерновинно-злаковых фитоценозов.

Выделенные на аварийных местах падения РН зоны техногенных нарушений исходных фитоценозов представляют собой участки, на которых наблюдается сукцессия растительного покрова, в большинстве случаев направленная на самовосстановление исходных сообществ и снижение степени модификации сообщества (табл. 2). На протяжении периода самовосстановления наибольшей степенью модификации характеризуются растительные сообщества зон 1 и 2. Восстановление сообществ в данных зонах будет занимать длительное время и, по всей видимости, не всегда возможно – в условиях техногенной просадки грунта на месте бывшей воронки вероятно формирование фитоценозов, характерных для более гидроморфных условий. Степень участия многолетников во флористическом составе сообществ данных зон могут определять 2 положения.

1) Рразница микроклимата, обусловленная градиентом и перепадом высот. В центре места падения РН «Протон-М» 2013 г. сохранилась воронка глубиной более 2 м с относительно крутыми склонами, в которой наблюдается наиболее интенсивное самовосстановление растительности. Наличие здесь большего количества многолетников, в т.ч. проростков *Artemisia terrae-albae,* может быть следствием более благоприятных условий для приживания проростков: увеличение увлажнения почвы за счёт перераспределения поверхностного стока, уменьшение испарения и нагрева при частичном затенении крутыми склонами. В свою очередь, после засыпки взрывной воронки от РН «Днепр» спустя 12 лет общая глубина просадки грунта не превышает 1 м, а развитие относительно сомкнутых микрогруппировок (*Climacoptera lanata, Salsola foliosa* и др.) приурочено к отдельным промоинам глубиной до 50 см;

2) Меньший радиус зоны 2 (механического воздействия техники) и различный характер воздействия. На участке места падения РН «Протон-М» данная зона представлена относительно узкой (до 25 м) полосой боронования почв после экскавации, а не областью «скальпирования» грунта, характерной для других мест падений РН и простирающейся в рассматриваемом случае аварии РН «Днепр» на 50 м. В данной ситуации более вероятно как выживание отдельных особей многолетников в зоне 2 (например, эфемероидов с относительно глубоким залеганием многолетних частей – видов *Rheum, Tulipa* и др.), так и занос семян многолетников из расположенной ближе зоны 3, где отдельные особи полыни и других полукустарничков выживают даже в случае пожара.

В зоне 3 скорость восстановления растительности заметно выше, и переход к слабой степени модификации может происходить уже в первые годы после аварии. Например, на участке места падения РН «Протон-М» 2013 г. к 2017 г. часть фитоценозов в пределах зоны 3 достигла средней степени модификации. Наконец, в зоне 4 техногенное воздействие при падении РН в большинстве случаев не привело к существенным перестройкам в сообществах, в результате чего степень модификации фитоценозов не превышает среднюю и по большинству критериев соответствует слабой модификации. В данной зоне можно выделить 2 подзоны – внутреннюю, где механическое воздействие усиливает мозаичность растительного покрова за счёт появления микрогруппировок однолетников, и внешнюю, где влияние на флористический состав и соотношение видов в фитоценозах незначительно; соответственно, во внутренней подзоне более вероятно пребывание фитоценозов в более высокой степени модификации по сравнению со внешней.

Сообщества галофитов, характерные для такыровидных пустынных солончаковатых почв, более уязвимы к техногенному воздействию по сравнению с полынниками на бурых полупустынных почвах во всех зонах с высокой интенсивностью техногенного воздействия. Не исключено, что восстановление растительности могло бы быть более успешным при фитомелиорации, в т.ч. с высевом доминанта исходных сообществ *Haloxylon aphyllum*, широко используемого как фитомелиорант в пустынях Средней Азии (Кузьмина и др., 2006) и обладающего эдификаторными свойствами (Жагловская, Айдосова, 2014). В то же время на глинистых почвах эффективность фитомелиорации с *H. aphyllum* меньше, чем на песчаных (Meirman et al., 2012). Вероятно, препятствием к успешному самовозобновлению *H. aphyllum* на месте аварийного падения РН «Днепр» являются относительно низкие всхожесть семян и выживаемость проростков в отсутствие периодического полива (Кузьмина и др., 2006; Meirman et al., 2012; Chlachula, Zhaglovskaya, 2017).

Сравнительно успешное возобновление растительности в зонах 3 и 4 объяснимо не только более низкой интенсивностью воздействия, но и «близким к естественному» характером повреждений, так как структура, свойственная аридным сообществам Земли, сформировалась в т.ч. под влиянием периодического пирогенного воздействия? вследствие чего в них заложены механизмы к сравнительно быстрому самовосстановлению после пожаров (Степные пожары …, 2015). Вследствие этого в них заложены механизмы к сравнительно быстрому самовосстановлению после пожаров при условии полночленности экосистем. Полынные степи Казахстана выгорают с периодичностью 10-20 лет (Иванов, 1958), но при этом считается, что необходимым фактором для восстановления доминирования полыней является выпас скота (Степные пожары …, 2015). После механического воздействия, аналогом которого можно рассматривать перевыпас скота или вспашку, сообщества полыни белоземельной, характерные для обоих мест падения РН «Протон-М», могут восстанавливаться за срок от 15 лет (Kerven, 2003) до 25 лет (Димеева и др., 2017).

Предположить сроки окончания демутации растительности на наиболее модифицированном участке места падения – РН «Днепр» 2006 г. – затруднительно ввиду ограниченности необходимых сведений для сообществ саксаула на такыровидных пустынных солончаковых почвах. Для галосерий на обнажённом дне Аральского моря кустарниковая стадия длится с 7-го по 18-й годы с момента начала зарастания (Димеева, 2007). Однако развитие растительности здесь идёт по иной схеме в условиях постепенного понижения уровня грунтовых вод, определяющего скорость и порядок стадий сукцессии. Кроме того, данная сукцессия является первичной, тогда как характер техногенного воздействия на местах падения РН позволяет рассматривать посттехногенную сукцессию как вторичную. Грядовые посадки *H. aphyllum* на солончаках обсохшего дна Аральского моря, перешедшие к эффективному семенному возобновлению через 6 лет (Кузьмина, Трешкин, 2013), нельзя считать примером самовосстановления растительности. M. Ebrahimi с соавторами (2019) сообщает о достижении максимальных значений флористической насыщенности и ОПП в сообществах *H. aphyllum* возрастом 25 лет, однако здесь также рассматриваются искусственные посадки саксаула. К тому же отличается природная зона (пустынно-степная) и гранулометрический состав почв (пылеватый суглинок). Кроме того, посадка возрастом 25 лет является примером наиболее длительной сукцессии в данной публикации, и нет сведений о дальнейшей динамике сообществ (возможно, рассматриваемая стадия сукцессии является промежуточной). Наконец, известно, что срок восстановления саксауловых сообществ после массовых вырубок может составлять 30-40 лет (Жагловская, Айдосова, 2014). Однако неизвестно, применимы ли эти цифры к рассматриваемому сообществу в условиях наличия вторичного техногенного воздействия со скальпированием верхнего слоя почвы.

Для штатных мест падений первой ступени РН «Протон-М» в случае максимальных степеней модификации фитоценозов расчётный срок самовосстановления экосистем может составлять 15-20 лет (Кречетов и др., 2011; Koroleva et al., 2018; Lednev et al., 2018). Можно предположить, что для аварийных мест падений РН, характеризующихся бóльшей площадью нарушенных участков, данные значения являются нижней границей возможных сроков самовосстановления, и в реальности демутация займет не меньший промежуток времени. Очень сильная степень модификации растительности в зонах 1 и 2 мест падения РН «Днепр» (2006 г.) и «Протон-М» (2007 г.) в 2018 г. не позволяет рассчитывать на завершение демутации в срок 15-20 лет, т.е. к 2021-2027 гг. Для участка места падения РН «Протон-М» 2013 г., рекультивированного в конце 2017 г. с засыпкой и

выравниванием территории зон 1 и 2, а также внесением удобрений и семян растений, напротив, можно ожидать ускорение восстановительного процесса.

Выводы

Даже спустя 12 лет после воздействия на местах аварийных падений ракет-носителей отмечаются сообщества, находящиеся в очень сильной и сильной стадиях модификации.

Для разных мест падения характерен одинаковый набор зон техногенного воздействия; динамика восстановления растительных сообществ в них различается между собой.

Вследствие перераспределения тепла и влаги в гидроморфных условиях на месте воронки формируется однолетнесолянковое сообщество, в котором однолетники составляют 75-100% видового состава и 95-100% ОПП. На окружающей территории наблюдаются демутационные процессы, скорость которых возрастает при удалении от центра места удара.

По сравнению с полынными сообществами, наиболее распространёнными в северных и средних пустынях, саксауловые сообщества на такыровидных пустынных солончаковатых почвах более уязвимы к воздействию, вызванному падением РН, и характеризуются более длительными сроками восстановления растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воронов А.Г. 1973. Геоботаника. Изд-е 2-е, испр. и доп. М.: Высшая школа. 384 с.

Димеева Л.А. 2007. Закономерности первичных сукцессий Аральского побережья // Аридные экосистемы. Т. 13. № 33-34. С. 89-100.

Димеева Л.А., Пермитина В.Н., Султанова Б.М., Усен К., Лысенко В.В. 2017. Оценка восстановительной динамики белоземельнополынников (*Artemisia terrae-albae*) в Северном Приаралье // Аридные экосистемы. Т. 23. № 4 (73). С. 50-60. [*Dimeyeva L.A., Permitina V.N., Sultanova B.M., Ussen K., Lyssenko V.V.* 2017. Evaluation of the restoration dynamics of the *Artemisia terrae-albae* communities in the northern part of the Aral Sea region // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 4. P. 256-264.]

Жагловская А.А., Айдосова С.С. 2014. Разнообразие типов и динамика саксаульных лесов Иле-Балхашского региона // Вестник КазНУ. Серия: Экология. № 2 (41). С. 78-88.

Иванов В.В. 1958. Степи западного Казахстана в связи с динамикой их покрова. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 288 с.

Иллюстрированный определитель растений Казахстана. 1969-1972. Алма-Ата: Наука. Т. 1. 1969. 644 с.; Т. 2. 1972. 572 с.

Королева Т.В., Кондратьев А.Д., Кречетов П.П., Семенков И.Н., Шарапова А.В., Черницова О.В. 2015. Совершенствование экологических характеристик ракетно-космической техники и мониторинг её воздействия на окружающую среду // Экология и промышленность России. Т. 19. № 6. С. 17-23.

Кречетов П.П., Неронов В.В., Королева Т.В., Черницова О.В. 2011. Трансформация почвенно-растительного покрова на местах падений первых ступеней ракет-носителей // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (46). С. 55-64.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2013. Мониторинг развития саксаула черного (*Haloxylon aphyllum*) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4 (57). С. 40-48. [*Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye.* 2013. Monitoring of growth of black haloxylon (*Haloxylon aphyllum*) on hydromorphic salt marches of dried bottom of Aral Sea // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 4. P. 220-226.]

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. 2006. Результаты опытного формирования естественной растительности на засолённых землях обсохшей части Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 12. № 29. С. 27-39.

Степные пожары и управление пожарной ситуацией в степных ООПТ: экологические и природоохранные аспекты. Аналитический обзор. 2015 / Ред. И.Э. Смелянский. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. 144 с.

Феодоритов В.М., Шарапова А.В., Королева Т.В., Кречетов П.П. 2016. Состояние растительности в районах падения ступеней ракет (Центральный Казахстан) // Вестник МГУ. Серия 5: География. С. 40-47.

Флора Казахстана. 1956-1966. Алма-Ата: Издательство АН Казахской ССР. Т. 1. 1956. 373 с.; Т. 2. 1958. 292 с.; Т. 3. 1960. 476 с.; Т. 4. 1961. 571 с.; Т. 5. 1961. 528 с.; Т. 6. 1963. 486 с.; Т. 7. 1964. 517 с.; Т. 8. 1965. 465 с.; Т. 9. 1966. 656 с.

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

Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности. 2015 / Ред. Н.С. Касимов. М.: Спутник+. 280 с.

Chlachula J., Zhaglovskaya A.A. 2017. Environmental aspects of the black saxaul forests' distribution in the cold semi-deserts of Central Asia / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017. P. 821-828.

Ebrahimi M., Mohammadi F., Fakhireh A., Bameri A. 2019. Effects of *Haloxylon* spp. of Different Age Classes on Vegetation Cover and Soil Properties on an Arid Desert Steppe in Iran // Pedosphere. Vol. 29. №5. P. 619-631.

Kerven C. 2003. Prospects for Pastoralism in Kazakstan and Turkmenistan: From State Farms to Private Flocks.

London/New York: Routledge Curzon. 276 p.

Koroleva T.V., Krechetov P.P., Semenkov I.N., Sharapova A.V., Lednev S.A., Karpachevskiy A.M., Kondratyev A.D., Kasimov N.S. 2018. The environmental impact of space transport // Transportation Research Part D: Transport and Environment. No. 58. P. 54-69.

Lednev S., Koroleva T., Krechetov P., Sharapova A., Semenkov I., Karpachevskiy A. 2018. Revegetation of areas disturbed by rocket impact in Central Kazakhstan // Ecoscience. Vol. 25. No. 1. P. 25-38.

Lednev S.A., Koroleva T.V., Semenkov I.N., Klink G.V., Krechetov P.P., Sharapova A.V., Karpachevskiy A.M. 2019. The natural regeneration of desert ecosystem vegetation at the 2013 crash site of a Proton-M launch vehicle, Republic of Kazakhstan // Ecological Indicators. No. 101. P. 603-613.

Meirman G.T., Dimeyeva L., Dzhamantykov K., Wucherer W., Breckle S.-W. 2012. Seeding experiments on the dry Aral Sea floor for phytomelioration // Sustainable Land Use in Deserts. Springer Science & Business Media. P. 318-322.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 88-92

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 595.36+595.617:633.18

РАЗЛОЖЕНИЕ РИСОВОЙ СОЛОМЫ МОКРИЦАМИ (ISOPODA, ONISCIDEA) И ДВУПАРНОНОГИМИ МНОГОНОЖКАМИ (MYRIAPODA, DIPLOPODA) В ПОЧВАХ КАЛМЫКИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ[1]

© 2020 г. Ю.М. Лебедев, К.Б. Гонгальский, А.Ю. Горбунова, А.С. Зайцев

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: gongalsky@gmail.com

Поступила в редакцию 17.09.2019. После доработки 20.12.2019. Принята к публикации 20.12.2019

Пожнивные остатки риса являются одним из наиболее трудноразлагаемых отходов сельского хозяйства в аридных условиях. Был проведен лабораторный эксперимент по разложению рисовой соломы мокрицами и двупарноногими многоножками, обитающими в сухих степях Калмыкии в России. По пять особей двух видов мокриц (*Armadillidium vulgare* и *Protracheoniscus kryszanovskii*) или двух видов многоножек (*Brachydesmus assimilis* и *Cylindroiulus* sp.) были помещены в микрокосмы с почвой и 2.5 г рисовой соломы. Масса соломы достоверно снизилась для всех видов в среднем приблизительно на 50% за 4 месяца эксперимента. Содержание органического вещества в почве до и после эксперимента достоверно не изменилось, что позволяет предположить, что отобранные виды мокриц и многоножек могут поедать и, таким образом, утилизировать рисовую солому по меньшей мере в экспериментальных условиях.

Ключевые слова: биоразложение, Isopoda, Diplopoda, переработка пожнивных остатков, трудноразлагаемое органическое вещество.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111

Более чем десятипроцентный рост посевных площадей под рис при резком росте урожайности в 2006-2014 годах увеличил валовый сбор этой культуры в России до более чем 1 млн. тонн в год (Российский …, 2017). Это достигается в том числе и постоянным увеличением доз внесения удобрений, пестицидов и гербицидов, которые приводят к практически полному уничтожению сообществ животных не только на самих рисовых чеках, но и в их окрестностях. Помимо выделения значительных объемов парниковых газов рисоводство приводит к образованию большой массы пожнивных остатков и в первую очередь соломы: до 1 кг на 1 кг произведенного риса (Российский …, 2017). Особенностью этого сельскохозяйственного отхода является высокое содержание кремния и низкое соотношение содержания азота к углероду, в результате чего рисовая солома малопригодна на корм скоту и с трудом разлагается микроорганизмами, особенно в условиях умеренного и засушливого климата. Таким образом, проблема утилизации отходов рисоводства – одна из наиболее актуальных в современном сельском хозяйстве не только в России, но и во всем мире (Tang et al., 2016). В настоящее время значительная часть соломы сжигается, что приводит к масштабным выбросам парниковых газов, сажи и других вредных продуктов горения в атмосферу, а также потерям микроэлементов в почве. Все это создает неприемлемый уровень риска как для климата, так и для функциональной устойчивости ландшафтов в районах рисоводства (Горбунов, Расулов, 2013).

Одним из возможных путей решения данной проблемы могла бы стать разработка биотехнологий с вовлечением естественной почвенной фауны, населяющей окрестности рисовых чеков. Убедительно показана перспективность применения для этих целей дождевых червей и энхитреид (Zaitsev et al., 2018;

[1] Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 16-14-00096 «Роль беспозвоночных животных в сокращении выбросов парниковых газов и повышении климатической и экологической безопасности производства риса в России» и Российского фонда фундаментальных исследований № 18-29-25067 «Переработка сельскохозяйственных отходов в продукты с высокой добавочной стоимостью с использованием почвенных животных».

John et al., 2019). Вместе с тем климатические условия основных районов рисосеяния в России в силу невысокой влажности не оптимальны для активной переработки рисовой соломы вышеупомянутыми таксонами. Например, выращивание риса в Калмыкии сопряжено с недостатоком воды и слабой засоленностью почв (Кулакова и др., 2017), что позволяет выращивать эту культуру только при условии переброски значительных объемов воды из Волги. Более того, район характеризуется невысокой плотностью почвенной биоты и специфическим составом: среди сапрофагов в естественных степных и полупустынных экосистемах нет червей, которые функционально замещаются насекомыми, ракообразными (мокрицами) и многоножками (Миноранский, 1984).

Таким образом, представляется целесообразным рассмотреть и другие группы почвенной мезофауны, являющиеся активными детритофагами, например, изопод и многоножек (David, 2014). Несмотря на относительно скромный собственный прямой вклад этих групп в процессы мобилизации и иммобилизации углерода, азота и других биогенных элементов, они играют важную роль в регуляции активности, продукции и биомассы микробиального звена детритных пищевых сетей (David, 2014), которые на 95% ответственны за эмиссию парниковых газов с рисовых чеков. Кроме того, эти почвенные животные потенциально играют важную роль в подготовке разложения рисовой соломы микроорганизмами, а также реинтеграции в почву накопленного в соломе углерода и других биогенных элементов. В результате этого возможно не только решить проблему утилизации трудноразлагаемых пожнивных остатков рисоводства биологическими методами, но и повысить здоровье и естественное плодородие почв рисовых чеков. Целью настоящего исследования стало тестирование в условиях лабораторного эксперимента потенциала различных видов мокриц и многоножек, обитающих на территории республики Калмыкия, перерабатывать рисовую солому.

Материал и методы

Был проведен эксперимент по разложению рисовой соломы мокрицами и двупарноногими многоножками. Особи двух видов мокриц (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804 и *Protracheoniscus kryszanovskii* Borutzky, 1957) и двух видов многоножек (*Brachydesmus assimilis* Lohmander, 1936 и *Cylindroiulus* sp.) были отловлены во время экспедиции в Октябрьский район Республики Калмыкия 27-30 апреля 2017 г. и привезены в живом виде в Лабораторию изучения экологических функций почв Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова в Москву. Определение мокриц до вида провел К.Б. Гонгальский, диплопод – Д.И. Коробушкин. Популяции беспозвоночных, в дальнейшем использованные для эксперимента, поддерживали в культуре в контейнерах с влажным песком и растительным опадом, собранным в естественных условиях, при естественном режиме освещения.

В эксперименте каждый микрокосм размером 10.5x8.5x8.5 см и объемом 0.76 л помещали 100 г бурой солонцеватой почвы из окрестностей п. Большой Царын Октябрьского района Республики Калмыкия. Почва была просеяна через сито 2 мм и увлажнена до 25% от полной влагоудерживающей способности, определенной в соответствии с процедурой, описанной А.С. Зайцевым с соавторами (Zaitsev et al., 2018). Солома от риса сорта «Богатырь», применявшаяся в качестве стандартной в серии ранее успешно проведенных экспериментов (John et al., 2019; Zaitsev et al., 2018), была отобрана на полях Краснодарского края, высушена при комнатной температуре и предварительно измельчена на фрагменты длиной 2-3 см. По 2.5 г рисовой соломы были помещены на поверхность почвы в воздушно-сухом виде в каждый микрокосм, что соответствует уровню производства соломы на 1 м^2 в условиях Калмыкии (Дедова, Шабанов, 2011). Для эксперимента в каждый микрокосм были помещены по пять особей одного из тестируемых видов в двух повторностях. Перед этим все животные были индивидуально взвешены на весах *Sartorius* CP224S с точностью до 0.0001 г. В ходе эксперимента погибших животных заменяли на живых. Эксперимент с диплоподами был менее продолжительным, чем с мокрицами, за счет более низкой выживаемости диплопод в культуре. В качестве контрольного варианта использовали микрокосмы с соломой, но без животных. Микрокосмы увлажняли очищенной водой по мере необходимости, но не реже одного раза в семь дней для поддержания изначально заданного уровня влажности.

Эксперимент продолжался 123 суток с промежуточными замерами потери массы соломы на 40 и 82 сутки. Для этого солому вынимали из микрокосмов, очищали от почвы, сушили при температуре 50°C в течение 5 ч. и взвешивали. После измерений солома опять увлажнялась и помещалась обратно

в микрокосмы.

Для оценки эффективности потребления соломы, а не ее измельчения и реинтеграции в виде углерода в почву, содержание органического вещества в почве измеряли до и после эксперимента путем прокаливания проб почвы при температуре 450°С в течение 5 часов (Методы …, 2003).

Статистическая обработка данных. Для массы соломы в каждый день измерений и массы животных рассчитаны средние значения и стандартные ошибки в даукратной повторности. При этом индивидуальная масса животных в пределах одного микрокосма усреднялась. Для сравнения средних значений во времени использован непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA). Для определения скорости убывания массы соломы использован однофакторный регрессионный анализ. Все статистические вычисления проведены с использованием программного пакета STATISTICA 13.3 RUS (Tibco Inc.).

Результаты и обсуждение

Масса соломы достоверно (Kruskal-Wallis ANOVA, df=3, p=0.0011) убывала со временем для всех четырех видов тестируемых членистоногих (рис.). Достоверного различия в скорости потери массы соломы между разными видами не обнаружено (Kruskal-Wallis ANOVA, df=3, p=0.45). В среднем количество соломы сократилось приблизительно на 50% за 4 месяца. Скорость убывания массы в контроле была ниже, чем для всех исследуемых видов, кроме *B. assimilis* (рис.).

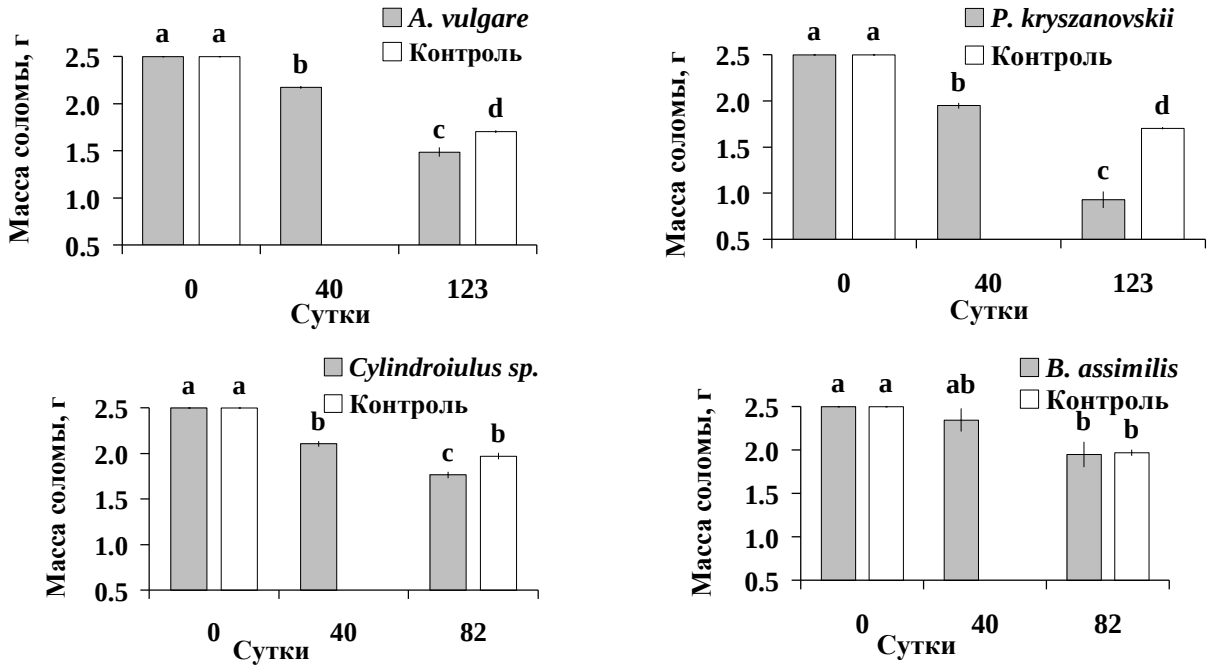


Рис. Сокращение массы рисовой соломы в лабораторном эксперименте с мокрицами *Armadillidium vulgare* и *Protracheoniscus kryszanovskii* и двупарноногими многоножками *Brachydesmus assimilis* и *Cylindroiulus* sp. и в контроле. Параметры графиков регрессии представлены в таблице.

Особи разных видов отличались по средней массе. Наиболее крупными были *B. assimilis* – 0.121±0.013 г; средняя масса *P. kryszanovskii* составила 0.076±0.003 г, *A. vulgare* – 0.046±0.005 г, *Cylindroiulus* sp. – 0.014±0.001 г. Таким образом, за 123 суток *A. vulgare* переработали 21.96 г соломы на 1 г массы собственного тела, *P. kryszanovskii* – 20.77 г. За 82 суток *B. assimilis* разложили 4.54 г соломы на 1 г массы собственного тела, *Cylindroiulus* sp. – 51.21 г.

Содержание органического вещества в почве до и после эксперимента достоверно (Kruskal-Wallis ANOVA, df=1, p=0.121) не изменилось во всех вариантах. До эксперимента оно составляло 7.79±0.17% во всех вариантах. После эксперимента оно было на уровне 6.10±0.03% для варианта с *A. vulgare*, 5.99±0.03% – с *P. kryszanovskii*, 6.70±0.04% – с *B. assimilis*, 6.63±0.05% – с *Cylindroiulus* sp. и 6.56±0.05% – в контроле.

Таблица. Результаты регрессионного анализа процесса разложения соломы разными видами почвенных членистоногих и в контроле без животных.

Вариант	R^2	p	Уравнение регрессии
Armadillidium vulgare	0.9953	0.000008	$y=-0.0059x^2-0.3082x+2.8141$
Protracheoniscus kryszanovskii	0.9919	0.000024	$y=0.0136x^2-0.5912x+3.0776$
Brachydesmus assimilis	0.7662	0.022339	$y=-0.1225x^2+0.2146x+2.4079$
Cylindroiulus sp.	0.9889	0.000046	$y=0.0258x^2-0.4703x+2.9446$
Контроль	0.9958	0.000007	$y=-0.00002x^2-0.2647x+2.7648$

Наши результаты позволяют предположить, что отобранные для эксперимента массовые виды мокриц и многоножек из естественных местообитаний Калмыкии могут питаться рисовой соломой. Это подтверждается тем фактом, что содержание органического вещества в почве до и после эксперимента не изменилось. В целом интенсивность потребления растительного опада зависит от его питательных свойств. Наиболее привлекательным субстратом является богатый азотом опад (David, 2014; Patoine et al., 2017) с соотношением C/N около 8-15 (Enríquez et al., 1993), в то время как в рисовой соломе, использованной нами, эта величина значительно выше – около 75 (Zaitsev et al., 2018). Возможно, с этим связан и низкий уровень выживаемости протестированных видов, особенно многоножек, которые не могут долго питаться столь бедными в пищевом отношении органическими остатками.

Различия в средней индивидуальной массе животных привели к различиям в скорости потребления соломы. При этом *P. kryszanovskii* – эндемик Калмыкии, встречающийся в слабо засоленных почвах, в том числе в выбросах водной растительности по берегам водоемов (Боруцкий, 1957; Gongalsky, Turbanov, 2018), что может представлять определенный приоритет для его использования при переработке соломы благодаря его засухо- и солеустойчивости. Второй вид мокриц (*A. vulgare*) – синантропный космополитный вид, достаточно неразборчивый к типу пищи, в связи с чем его рассматривают в качестве удобного объекта для культивирования (Dangerfield, 1989; Morcquard et al., 1989).

Таким образом, для дальнейших исследований в условиях калмыцких почв протестированные виды можно ранжировать по убыванию уровня перспективности и эффективности для переработки рисовой соломы следующим образом: *P. kryszanovskii*, *B. assimilis*, *Cylindroiulus* sp., *A. vulgare*. При этом целесообразно проведение дальнейших манипулятивных экспериментов с изменением соотношения азота и углерода в предлагаемом членистоногим пищевом субстрате, а также отработка разведения этих видов в культуру и в перспективе – для промышленного разведения.

Благодарности. Авторы признательны Э.Б. Дедовой, С.Н. Чимитову и Е.В. Попикову за возможность проведения работ на рисовых полях Октябрьского района Калмыкии и за помощь в сборе материала. Авторы признательны Д.И. Коробушкину за определение видов многоножек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боруцкий Е.В. 1957. Наземные Isopoda юго-востока Европейской части СССР // Зоологический журнал. Т. 36. С. 467-478.

Горбунов Г.И., Расулов О.В. 2013. Проблемы рациональной утилизации рисовой соломы // Вестник МГСУ. Т. 7. С. 106-113.

Дедова Э.Б., Шабанов Р.М. 2011. Возделывание риса при орошении дождеванием в условиях пустынной зоны Калмыкии // Плодородие. № 6. С. 32-33.

Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д. 2017. Элементы круговорота C и N в природных и антропогенных экосистемах полупустыни Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 23. № 1. С. 17-25. [*Kulakova N.Yu., Abaturov B.D., Nukhimovskaya Yu.D.* 2017. Components of C and N cycles in natural and anthropogenic ecosystems of semideserts of the northern Caspian area // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 1. P. 11-18.]

Методы исследования структуры, функционирования и разнообразия детритных пищевых сетей. 2003. Методическое руководство // Ред. А.Д. Покаржевский, К.Б. Гонгальский, А.С. Зайцев. М.: ИПЭЭ РАН. 100 с.

Миноранский В.А. 1984. Распределение почвенно-подстилочных беспозвоночных в рисовых системах // Животный мир Калмыкии и сопредельных районов / Ред. В.И. Голиков и др. Элиста: Калмыцкий

университет. С. 72-85.
Российский статистический ежегодник – 2016. 2017. М.: Росс-Стат. 725 с.
Dangerfield J.M. 1989. Competition and the effects of density on terrestrial isopods // Monitore Zoologico Italiano. Vol. 4. P. 411-423.
David J.F. 2014. The role of litter-feeding macroarthropods in decomposition processes: A reappraisal of common views // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 76. P. 109-118.
Enríquez S., Duarte C.M., Sand-Jensen K.A.J. 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content // Oecologia. Vol. 94. P. 457-471.
Gongalsky K.B., Turbanov I.S. 2018. Description of a new species of genus *Protracheoniscus* Verhoeff 1917 and redescription of *Protracheoniscus kryszanovskii* Borutzky 1957 (Isopoda, Oniscidea, Agnaridae) from the southeast of European Russia // ZooKeys. Vol. 801. P. 189-205.
John K., Degtyarev M., Gorbunova A., Korobushkin D., Knöss H., Wolters V., Zaitsev A.S. 2019. Enchytraeids simultaneously stimulate rice straw degradation and mitigate CO_2 release in a paddy soil // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 131. P. 191-194.
Morcquard J.P., Juchault P., Souty-Grosset C. 1989. The role of environmental factors (temperature and photoperiod) in the reproduction of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) // Monitore Zoologico Italiano. Vol. 4. P. 455-475.
Patoine G., Thakur M.P., Friese J., Nock C., Honig L., Haase J., Scherer-Lorenzen M., Eisenhauer N. 2017. Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community // Pedobiologia. Vol. 65. P. 29-42.
Tang S., Cheng W., Hu R., Guigue J., Kimani S.M., Tawaraya K., Xu X. 2016. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH4 production during the growth season in a paddy soil // Biology and Fertility of Soils. Vol. 52. P. 739-748.
Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B. 2018. Earthworms *Eisenia fetida* modulate greenhouse gases release and carbon stabilization after rice straw amendment to paddy soil // European Journal of Soil Biology. Vol. 89. P. 39-44.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 3 (84), с. 93-102

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 574.5:550.4(470.46)

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ МАКРОФИТОВ ПРЕСНОВОДНОЙ ЧАСТИ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ВОЛГИ

© 2020 г. А.В. Савенко*, В.Ф. Бреховских, О.С. Покровский*****

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, Геологический факультет
E-mail: Alla_Savenko@rambler.ru
***Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: vadim@aqua.laser.ru
****Национальный исследовательский Томский государственный университет*
Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, д. 36. E-mail: Oleg.Pokrovski@get.omp.Eu

Поступила в редакцию 13.06.2019. После доработки 01.12.2019. Принята к публикации 20.12.2019

Определены концентрации макрокомпонентов (Na, K, Mg, Ca, P) и микроэлементов (Rb, Cs, Be, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, Sn, Sb, Al, Ga), а также редкоземельных элементов (Ti, Zr, Hf, Th, U, Nb, Ta, B, V, Cr, Ge, As, Mo, W) в 12 видах макрофитов, отобранных в пресноводной части устьевой области Волги. Установлены тесные корреляционные связи средневидовых содержаний: а) большинства изученных микроэлементов, подтверждающие обнаруженное ранее для тяжелых металлов и хрома явление группового концентрирования; б) магния, кальция и микроэлементов, способных к их изоморфному замещению; в) типично биогенных элементов – калия и фосфора. Выявлено закономерное возрастание концентраций микроэлементов и в меньшей степени магния и кальция в ряду «гелофиты → крупнолистные гидрофиты → разнолистные гидрофиты → мелколистные, в том числе полностью погруженные в воду гидрофиты», который соответствует увеличению эффективной площади поверхности растений, находящейся в водной среде.

Ключевые слова: макрофиты, микроэлементы, макрокомпоненты, групповое концентрирование, межвидовые различия, устьевая область Волги.
DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10107

Благодаря снижению скоростей течения и аккумуляции богатых минеральными и органическими веществами взвешенных наносов в устьевых областях многих рек происходит интенсивное развитие высших водных растений (макрофитов), которые могут образовывать заросли, занимающие более половины водного сечения. В местах развития макрофитов резко усиливается биогеохимическая трансформация речного стока, важная роль в которой принадлежит явлениям биологического концентрирования растворенных форм химических элементов. Сведения о химическом составе пресноводных гидробионтов немногочисленны, что препятствует получению достаточно надежных количественных оценок их роли в трансформации речного стока. Особенно мало данных о содержании микроэлементов. Дополнительные сложности создает большое видовое разнообразие макрофитов, обладающих различной способностью извлекать химические элементы из водной среды. В связи с этим нами была выполнена настоящая работа, целью которой являлось расширение базы данных по макро- и микроэлементному составу гидробионтов, а также выявление его межвидовых различий и корреляционных связей между химическими элементами.

Материалы и методы исследований

Образцы макрофитов были отобраны в пресноводной части устьевой области Волги в период максимального накопления фитомассы (в августе 2009 г.). Изученные образцы включали 12 видов: а) гелофиты (тростник обыкновенный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., сусак зонтичный *Butomus umbellatus* L., ежеголовник прямой *Sparganium erectum* L.); б) гидрофиты (лотос орехоносный *Nelumbo caspica* (DC.) Fisch., кубышка желтая *Nuphar lutea* (L.) Smith., кувшинка белая

Nymphaea alba L., нимфейник щитолистный *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze, водяной орех плавающий *Trapa natans* L. s.l., рдест (плавающий, пронзеннолистный, блестящий) *Potamogeton* spp. (incl. *P. natans* L., *P. perfoliatus* L., *P. lucens* L.), наяда малая *Caulinia minor* (All.) Coss. (*Najas minor* All.), роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* L., сальвиния плавающая *Salvinia natans* (L.) All.). Экологические группы растений даны в соответствии с классификацией В.Г. Папченкова (2001), номенклатура – согласно работе С.К. Черепанова (1995).

Водные растения собирали с использованием виниловых перчаток, после чего образцы тщательно промывали дистиллированной водой и помещали в осмотические пакеты фирмы Osmofilm для высушивания до воздушно-сухого состояния и защиты от загрязнения. Перед разложением высушенные растения растирали в агатовой ступке и доводили до постоянной массы при температуре 105°C в течение 5 ч. Подготовку образцов к анализу проводили методом кислотного разложения смесью азотной, плавиковой и хлорной кислот в стаканах из фторопласта. Элементный состав определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500ce с добавлением внутреннего стандарта In + Re. Предел обнаружения в анализируемом растворе находился на уровне 1 мг/л для макрокомпонентов и 1 нг/л для микроэлементов. Погрешность измерений составила ±5%.

Для анализа межвидовых различий использовали среднегеометрические концентрации, которые при логнормальном распределении микроэлементов в растениях (Bowen, 1966, 1979) более репрезентативны по сравнению со среднеарифметическими значениями.

Результаты и их обсуждение

Средние концентрации макро- и микроэлементов в различных видах макрофитов, диапазоны их изменчивости и данные об осредненном химическом составе растительного сообщества пресноводной части устьевой области Волги приведены в таблице 1. Сопоставление средневидовых концентраций с имеющимися литературными данными по тяжелым металлам и хрому представлено в таблице 2.

Таблица 1. Концентрации макрокомпонентов и микроэлементов в различных видах макрофитов пресноводной части устьевой области Волги в пересчете на сухой вес (в числителе приведены среднегеометрические значения, в знаменателе – диапазоны измеренных концентраций; *n* – число проб).

Элемент	Тростник (*n*=4)	Сусак (*n*=3)	Ежеголовник (*n*=4)	Лотос (*n*=6)	Кубышка (*n*=3)	Кувшинка (*n*=2)	Нимфейник (*n*=3)	Водяной орех (*n*=5)	Рдест (*n*=10)	Наяда (*n*=3)	Роголистник (*n*=6)	Сальвиния (*n*=5)	Среднее для сообщества
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Главные компоненты, %													
Na	0.048 / 0.034-0.067	0.204 / 0.094-0.462	0.244 / 0.124-0.607	0.225 / 0.017-1.40	0.281 / 0.264-0.291	2.20 / 1.75-2.78	1.06 / 0.766-1.42	0.399 / 0.284-0.491	0.408 / 0.208-0.690	1.64 / 1.31-1.94	0.755 / 0.564-0.922	0.974 / 0.878-1.06	0.450 / 0.048-2.20
K	2.17 / 1.34-2.79	3.68 / 3.36-4.04	3.59 / 3.00-4.55	1.86 / 0.740-3.36	2.28 / 2.03-2.68	2.67 / 2.21-3.22	2.87 / 2.24-3.58	1.26 / 1.04-1.49	1.09 / 0.477-1.74	5.24 / 4.39-6.24	3.10 / 2.22-3.60	3.56 / 2.89-4.27	2.54 / 1.09-5.24
Mg	0.088 / 0.068-0.102	0.314 / 0.304-0.325	0.244 / 0.223-0.275	0.216 / 0.096-0.527	0.161 / 0.156-0.170	0.311 / 0.308-0.315	0.270 / 0.228-0.355	0.457 / 0.332-0.590	0.455 / 0.320-0.942	0.559 / 0.550-0.602	0.986 / 0.834-1.14	0.643 / 0.426-1.10	0.326 / 0.088-0.986
Ca	0.065 / 0.053-0.086	0.568 / 0.440-0.696	0.458 / 0.319-0.672	0.416 / 0.148-0.784	0.552 / 0.501-0.662	0.771 / 0.586-1.01	0.350 / 0.290-0.500	0.946 / 0.683-1.28	1.51 / 1.10-2.17	1.46 / 1.41-1.57	2.11 / 1.40-5.25	1.65 / 0.920-2.75	0.667 / 0.065-2.11

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Главные компоненты, %													
P	0.213 0.163-0.244	0.497 0.392-0.582	0.564 0.498-0.656	0.245 0.127-0.745	0.257 0.233-0.290	0.405 0.354-0.463	0.372 0.298-0.461	0.190 0.171-0.208	0.232 0.135-0.338	0.571 0.496-0.648	0.601 0.422-0.920	0.447 0.347-0.505	0.354 0.190-0.601
Редкие щелочные и щелочноземельные элементы, мкг/г													
Rb	6.6 5.3-8.6	4.8 3.9-5.3	4.8 3.8-6.9	14.7 3.0-41.9	10.9 10.6-11.2	9.2 5.0-17.1	3.9 3.2-4.7	6.0 4.8-7.0	4.5 1.7-9.2	7.7 5.2-15.8	11.4 6.4-26.7	20.9 10.6-49.9	7.7 3.9-20.9
Cs	0.007 0.004-0.024	0.039 0.019-0.059	0.007 0.002-0.029	0.043 0.024-0.074	0.072 0.056-0.12	0.017 0.008-0.038	0.12 0.091-0.17	0.15 0.12-0.19	0.13 0.023-0.44	0.12 0.057-0.40	0.35 0.13-1.00	0.85 0.41-2.25	0.067 0.007-0.85
Be	0.005 0.004-0.009	0.007 0.004-0.012	0.008 0.004-0.017	0.006 0.003-0.009	0.018 0.011-0.039	0.017 0.014-0.020	0.042 0.032-0.057	0.059 0.044-0.085	0.035 0.004-0.13	0.059 0.017-0.20	0.18 0.082-0.45	0.35 0.18-0.95	0.027 0.005-0.35
Sr	17.3 10.5-31.3	73.3 60.7-84.6	67.5 47.8-92.8	57.5 25.5-144	31.5 26.2-40.9	66.0 60.7-71.7	79.4 70.1-99.4	166 121-210	243 180-369	247 236-268	312 212-569	207 141-295	94.7 17.3-312
Ba	6.4 4.0-8.5	7.9 5.6-12.3	6.7 4.5-8.3	6.2 3.6-10.3	28.6 25.4-31.1	9.0 8.7-9.3	17.5 11.6-30.1	23.8 15.5-32.7	52.9 34.2-85.5	57.7 31.6-103	93.6 77.4-138	94.5 47.8-202	20.7 6.2-94.5
Тяжелые металлы, мкг/г													
Mn	65.8 46.2-79.0	165 112-327	309 163-236	214 195-236	179 155-222	214 195-236	147 86.9-341	185 85.3-417	286 111-834	1130 396-2120	3140 1180-5990	1310 598-2490	316 65.8-3140
Fe	58.1 32.8-181	135 98.7-234	96.6 50.4-273	147 59.9-301	420 298-823	197 107-365	923 706-1390	1270 983-1790	942 171-3740	1440 625-6910	4750 1520-12900	11100 5450-27500	550 58.1-11100
Co	0.037 0.014-0.091	0.15 0.085-0.22	0.11 0.051-0.25	0.20 0.12-0.34	0.35 0.25-0.64	0.25 0.19-0.34	0.71 0.60-0.99	1.5 1.0-1.7	0.86 0.15-2.2	1.2 0.65-2.3	3.9 1.8-6.3	4.6 2.5-10.7	0.49 0.037-4.6
Ni	0.60 0.52-0.76	0.56 0.43-0.66	0.51 0.27-0.67	2.9 0.76-9.1	1.1 0.81-1.8	1.7 0.86-3.2	2.2 1.4-3.4	2.8 2.3-3.9	4.3 1.9-11.3	5.0 2.4-13.9	21.9 11.7-36.1	16.8 8.8-39.5	2.4 0.51-21.9
Cu	2.0 1.3-2.9	3.8 2.2-6.4	3.7 2.6-5.2	6.7 1.8-20.8	3.0 2.4-3.5	3.0 2.3-4.0	3.4 2.1-4.7	3.6 3.1-4.6	4.8 1.7-15.0	4.1 2.5-6.7	8.0 5.7-12.5	14.8 10.2-22.2	4.4 2.0-14.8
Zn	9.0 6.6-11.2	12.3 7.7-15.5	8.7 5.9-12.6	21.9 6.3-93.9	12.0 9.1-14.3	11.8 8.6-16.1	11.6 8.1-16.6	9.1 8.6-9.6	13.6 5.9-21.8	15.9 9.1-23.0	16.2 9.3-26.8	36.8 24.4-55.2	13.6 8.7-36.8

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тяжелые металлы, мкг/г													
Pb	0.25 0.16-0.38	0.36 0.19-0.59	0.11 0.04-0.20	0.10 0.03-0.42	0.32 0.26-0.44	0.15 0.08-0.27	0.46 0.33-0.60	0.53 0.41-0.77	0.62 0.17-1.7	0.76 0.36-2.0	1.6 0.77-3.4	3.3 1.8-7.1	0.42 0.10-3.3
Cd	0.0008 0.004-0.028	0.12 0.085-0.16	0.021 0.015-0.035	0.066 0.021-0.25	0.046 0.032-0.067	0.042 0.031-0.057	0.099 0.077-0.14	0.081 0.054-0.10	0.14 0.038-0.50	0.11 0.075-0.13	0.30 0.18-0.45	0.75 0.41-0.99	0.080 0.008-0.75
Ag	0.002 0.001-0.007	0.005 0.002-0.008	0.003 0.001-0.006	0.003 0.002-0.004	0.007 0.006-0.009	0.004 0.003-0.006	0.008 0.006-0.011	0.008 0.006-0.012	0.013 0.004-0.032	0.024 0.012-0.073	0.031 0.019-0.059	0.075 0.030-0.12	0.008 0.002-0.075
Sn	0.024 0.016-0.047	0.043 0.019-0.087	0.024 0.008-0.072	0.026 0.020-0.036	0.036 0.028-0.054	0.025 0.019-0.034	0.058 0.043-0.081	0.062 0.051-0.080	0.070 0.025-0.18	0.073 0.042-0.21	0.16 0.069-0.38	0.43 0.19-0.87	0.055 0.024-0.43
Sb	0.004 0.003-0.013	0.029 0.019-0.059	0.008 0.006-0.013	0.008 0.002-0.023	0.018 0.015-0.024	0.024 0.012-0.049	0.021 0.017-0.028	0.023 0.016-0.034	0.039 0.021-0.093	0.066 0.035-0.11	0.078 0.059-0.14	0.17 0.11-0.31	0.025 0.004-0.17
Элементы-гидролизаты, мкг/г													
Al	40.0 21.8-108	166 106-308	86.8 40.2-190	150 40.6-389	514 303-1190	200 82.6-482	1350 994-1990	1720 1340-2360	1200 194-4990	1900 868-8480	5650 2070-16000	13500 6560-35300	625 40.0-13500
Ga	0.014 0.009-0.044	0.047 0.031-0.084	0.029 0.023-0.046	0.058 0.023-0.12	0.15 0.10-0.33	0.052 0.025-0.10	0.35 0.28-0.48	0.47 0.37-0.65	0.38 0.067-1.5	0.40 0.17-1.7	1.2 0.50-3.2	2.8 1.4-7.2	0.17 0.014-2.8
Ti	4.0 2.4-8.9	15.1 10.6-25.2	9.7 7.2-13.2	11.0 4.7-26.4	34.9 22.1-77.9	15.0 7.2-31.2	86.3 64.8-125	109 84.0-169	68.8 12.3-245	144 58.2-882	405 124-1210	962 480-2520	47.2 4.0-962
Zr	0.13 0.090-0.23	0.28 0.19-0.46	0.18 0.12-0.24	0.20 0.06-0.48	0.76 0.48-1.8	0.31 0.14-0.68	2.0 1.4-3.1	2.8 2.1-4.2	2.1 0.29-8.9	3.9 1.2-36.3	7.7 2.6-26.3	19.2 8.3-54.2	1.1 0.13-19.2
Hf	0.019 0.013-0.027	0.014 0.008-0.026	0.008 0.002-0.029	0.013 0.005-0.023	0.027 0.017-0.066	0.010 0.005-0.019	0.056 0.046-0.085	0.084 0.067-0.12	0.074 0.011-0.26	0.10 0.032-0.82	0.20 0.071-0.57	0.47 0.23-1.2	0.041 0.008-0.47
Th	0.009 0.005-0.022	0.018 0.009-0.056	0.009 0.003-0.023	0.016 0.002-0.049	0.074 0.044-0.18	0.021 0.009-0.048	0.17 0.13-0.25	0.23 0.18-0.31	0.17 0.024-0.63	0.18 0.080-0.93	0.55 0.21-1.5	1.3 0.63-3.6	0.076 0.009-1.3
U	0.005 0.002-0.018	0.021 0.013-0.028	0.008 0.006-0.021	0.009 0.001-0.032	0.066 0.056-0.076	0.058 0.050-0.068	0.12 0.090-0.17	0.31 0.19-0.45	0.42 0.28-0.56	0.33 0.25-0.45	0.49 0.29-0.70	0.76 0.54-1.2	0.078 0.005-0.76

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Элементы-гидролизаты, мкг/г													
Nb	0.053 0.035-0.083	0.034 0.019-0.099	0.031 0.011-0.082	0.038 0.008-0.064	0.10 0.061-0.22	0.064 0.044-0.094	0.22 0.17-0.33	0.31 0.25-0.42	0.24 0.038-0.73	0.36 0.15-2.0	0.84 0.32-2.3	1.9 0.91-5.2	0.15 0.031-1.9
Ta	0.019 0.006-0.034	0.008 0.005-0.017	0.013 0.007-0.022	0.005 0.003-0.011	0.015 0.008-0.030	0.041 0.036-0.046	0.018 0.015-0.023	0.032 0.028-0.039	0.029 0.009-0.066	0.18 0.082-0.77	0.20 0.080-0.45	0.42 0.19-1.2	0.033 0.005-0.42
Редкоземельные элементы, мкг/г													
La	0.015 0.010-0.036	0.049 0.042-0.059	0.033 0.024-0.048	0.044 0.007-0.15	0.27 0.17-0.62	0.11 0.060-0.19	0.58 0.48-0.82	0.82 0.61-1.2	0.63 0.10-2.3	0.78 0.35-3.6	2.1 0.85-5.3	5.0 2.3-14.9	0.26 0.015-5.0
Ce	0.027 0.016-0.076	0.099 0.079-0.13	0.061 0.041-0.093	0.088 0.012-0.33	0.53 0.34-1.2	0.20 0.11-0.37	1.2 0.95-1.6	1.6 1.2-2.4	1.3 0.19-4.9	1.7 0.67-9.9	4.4 1.7-13.8	10.8 4.8-30.2	0.51 0.027-10.8
Pr	0.003 0.002-0.009	0.011 0.008-0.014	0.007 0.003-0.012	0.011 0.002-0.039	0.063 0.040-0.14	0.019 0.009-0.040	0.13 0.11-0.19	0.19 0.14-0.28	0.14 0.022-0.55	0.17 0.070-0.94	0.49 0.20-1.3	1.1 0.54-2.9	0.056 0.003-1.1
Nd	0.013 0.008-0.039	0.040 0.032-0.054	0.031 0.018-0.050	0.038 0.006-0.14	0.23 0.15-0.52	0.093 0.046-0.19	0.48 0.37-0.74	0.70 0.52-1.0	0.54 0.10-2.1	0.77 0.33-3.6	2.3 0.96-6.1	5.2 2.6-13.7	0.23 0.013-5.2
Sm	0.003 0.002-0.008	0.008 0.007-0.010	0.007 0.004-0.011	0.009 0.001-0.028	0.047 0.030-0.11	0.022 0.012-0.039	0.10 0.072-0.15	0.14 0.10-0.21	0.11 0.019-0.41	0.16 0.068-0.73	0.47 0.19-1.2	1.1 0.54-2.8	0.049 0.003-1.1
Eu	0.001 <0.001-0.002	0.002 0.002-0.003	0.001 0.001-0.002	0.003 0.001-0.007	0.014 0.010-0.027	0.004 0.003-0.006	0.023 0.018-0.034	0.032 0.024-0.047	0.031 0.008-0.096	0.036 0.015-0.17	0.093 0.042-0.24	0.20 0.10-0.51	0.012 0.001-0.20
Gd	0.002 0.001-0.008	0.009 0.007-0.010	0.006 0.003-0.011	0.009 0.002-0.031	0.046 0.030-0.10	0.021 0.012-0.038	0.10 0.082-0.15	0.14 0.11-0.21	0.11 0.018-0.40	0.15 0.067-0.67	0.47 0.19-1.2	1.1 0.54-2.7	0.048 0.002-1.1
Dy	0.002 0.001-0.005	0.007 0.006-0.009	0.005 0.003-0.007	0.007 0.001-0.023	0.039 0.027-0.083	0.015 0.009-0.025	0.080 0.063-0.12	0.12 0.091-0.18	0.088 0.014-0.31	0.11 0.044-0.56	0.32 0.13-0.82	0.75 0.39-1.8	0.037 0.002-0.75
Ho	0.001 <0.001-0.001	0.001 0.001-0.002	0.001 <0.001-0.002	0.002 <0.001-0.005	0.008 0.006-0.018	0.003 0.002-0.005	0.015 0.012-0.022	0.021 0.016-0.034	0.017 0.002-0.060	0.022 0.009-0.11	0.063 0.026-0.16	0.15 0.081-0.35	0.008 0.001-0.15

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Редкоземельные элементы, мкг/г													
Er	0.002 0.001-0.003	0.004 0.003-0.004	0.002 0.001-0.004	0.004 0.001-0.012	0.023 0.015-0.051	0.009 0.005-0.015	0.042 0.032-0.064	0.066 0.049-0.098	0.056 0.009-0.48	0.063 0.025-0.33	0.18 0.073-0.46	0.45 0.25-1.0	0.022 0.002-0.45
Tm	<0.001 <0.001-0.001	0.001 ≈0.001	0.001 <0.001-0.001	0.001 <0.001-0.002	0.004 0.003-0.007	0.001 0.001-0.002	0.007 0.005-0.010	0.009 0.007-0.013	0.007 0.001-0.025	0.010 0.004-0.049	0.026 0.010-0.067	0.065 0.036-0.15	0.004 <0.001-0.065
Yb	0.002 0.001-0.003	0.004 ≈0.004	0.003 0.001-0.004	0.004 0.001-0.013	0.021 0.014-0.045	0.009 0.005-0.017	0.044 0.032-0.065	0.062 0.047-0.096	0.046 0.007-0.17	0.068 0.029-0.31	0.20 0.076-0.52	0.52 0.29-1.2	0.022 0.002-0.52
Lu	0.001 <0.001-0.001	0.001 ≈0.001	0.001 ≈0.001	0.001 <0.001-0.002	0.004 0.003-0.008	0.001 0.001-0.002	0.007 0.005-0.010	0.009 0.006-0.014	0.007 0.001-0.025	0.009 0.004-0.049	0.026 0.010-0.068	0.066 0.037-0.15	0.004 0.001-0.066
Анионогенные элементы, мкг/г													
B	3.7 2.9-4.3	26.8 18.6-36.9	15.5 11.5-24.3	16.9 9.2-25.1	14.1 13.5-15.4	23.9 23.0-24.8	21.1 20.0-22.9	14.4 10.5-16.9	19.4 16.6-26.4	22.4 19.4-25.4	25.6 21.4-29.1	29.3 20.6-53.9	17.6 3.7-29.3
V	0.085 0.044-0.21	0.25 0.22-0.29	0.15 0.085-0.24	0.18 0.018-0.83	1.2 0.79-2.3	0.82 0.76-1.1	2.6 1.8-4.0	4.0 2.9-5.6	3.8 1.3-10.9	4.2 1.8-15.6	12.1 5.1-30.7	29.3 14.8-70.1	1.3 0.085-29.3
Cr	0.19 0.14-0.24	0.34 0.32-0.37	0.26 0.17-0.34	0.36 0.10-0.72	1.0 0.71-1.9	0.50 0.24-1.1	2.1 1.5-3.4	2.9 2.2-4.1	2.3 0.43-8.6	3.6 1.5-16.5	9.5 3.6-25.6	21.9 10.5-56.3	1.3 0.19-21.9
Ge	0.003 0.001-0.005	0.007 0.006-0.011	0.004 0.003-0.006	0.007 0.003-0.012	0.019 0.013-0.037	0.002 0.002-0.003	0.038 0.031-0.053	0.054 0.043-0.080	0.053 0.019-0.14	0.044 0.021-0.14	0.091 0.043-0.28	0.13 0.043-0.29	0.018 0.002-0.13
As	0.19 0.14-0.26	0.22 0.11-0.53	0.11 0.050-0.21	0.075 0.038-0.17	0.28 0.22-0.39	0.45 0.36-0.56	0.33 0.24-0.53	0.50 0.31-0.80	0.83 0.45-1.5	1.1 0.72-1.9	2.3 1.7-3.4	2.3 1.1-4.7	0.42 0.075-2.3
Mo	0.22 0.12-0.39	0.30 0.21-0.43	0.22 0.10-0.56	0.10 0.044-0.22	0.065 0.063-0.067	0.10 0.082-0.13	0.15 0.094-0.19	0.10 0.071-0.13	0.50 0.32-1.3	0.52 0.41-0.71	0.30 0.17-0.69	0.35 024-0.45	0.20 0.065-0.52
W	0.024 0.013-0.040	0.021 0.012-0.043	0.015 0.005-0.040	0.024 0.006-0.096	0.054 0.040-0.077	0.017 0.011-0.026	0.032 0.024-0.050	0.056 0.044-0.077	0.077 0.018-0.17	0.061 0.033-0.20	0.15 0.077-0.32	0.27 0.14-0.71	0.044 0.015-0.27

Полученные данные подтверждают отмечавшуюся в предыдущих работах (Лычагина и др., 1998; Савенко, Бреховских, 2010, 2017; Касимов и др., 2016) сильную вариабельность химического состава макрофитов устьевой области Волги. В наибольшей степени это проявляется для микроэлементов, концентрации которых в отдельно взятых образцах водных растений могут различаться более чем на порядок величины (табл. 1). Вместе с тем в целом наблюдается удовлетворительное соответствие химического состава изученных видов макрофитов в разные годы (табл. 2).

Таблица 2. Сопоставление средних концентраций тяжелых металлов и хрома (мкг/г сухого веса) в макрофитах пресноводной части устьевой области Волги по данным разных авторов.

Вид	Год	Число проб	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Ссылка
Тростник	1993-1995	36	0.6	286	83.7	0.3	0.9	1.7	13.3	0.2	0.04	(Лычагина и др., 1998)
	2004	11	–	44.1	62.8	0.4	3.7	0.2	3.7	0.5	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	4	0.2	65.8	58.1	0.04	0.6	2.0	9.0	0.2	0.01	Данная работа
Сусак	2004	1	–	18.0	308	0.3	14.3	0.2	8.7	0.5	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	3	0.3	165	135	0.2	0.6	3.8	12.3	0.4	0.12	Данная работа
Ежеголовник	1993-1995	12	0.05	193	116	0.04	0.07	3.0	12.5	0.1	0.04	(Лычагина и др., 1998)
	2004	6	–	131	239	0.8	3.5	1.1	6.4	0.6	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	4	0.3	309	96.6	0.1	0.5	3.7	8.7	0.1	0.02	Данная работа
Лотос	1993-1995	76	0.2	500	1750	0.4	2.0	2.2	18.7	1.3	0.04	(Лычагина и др., 1998)
	2009	6	0.4	214	147	0.2	2.9	6.7	21.9	0.1	0.07	Данная работа
Кубышка	1993-1995	10	0.8	474	336	0.6	1.1	1.8	16.4	0.3	0.04	(Лычагина и др., 1998)
	2004	2	–	273	106	1.0	8.5	0.7	6.3	0.5	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	3	1.0	179	420	0.4	1.1	3.0	12.0	0.3	0.05	Данная работа
Кувшинка	1993-1995	8	0.7	506	424	0.7	1.3	2.0	26.8	0.3	0.04	(Лычагина и др., 1998)
	2009	2	0.5	214	197	0.3	1.7	3.0	11.8	0.2	0.04	Данная работа
Нимфейник	1993-1995	18	3.3	709	2000	1.2	5.6	4.0	18.7	1.1	1.1	(Лычагина и др., 1998)
	2009	3	2.9	147	923	0.7	2.2	3.4	11.6	0.5	0.10	Данная работа
Водяной орех	1993-1995	23	4.3	991	2980	2.2	6.9	5.4	16.6	3.1	0.18	(Лычагина и др., 1998)
	2004	2	–	585	2170	0.7	0.9	2.4	9.6	1.8	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	5	2.9	185	1270	1.5	2.8	3.6	9.1	0.5	0.08	Данная работа
Рдест	1993-1995	21	4.1	748	2740	1.6	8.0	5.7	21.4	2.3	0.12	(Лычагина и др., 1998)
	2004	10	–	217	2430	2.0	6.6	1.6	12.8	1.4	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	10	2.3	286	942	0.9	4.3	4.8	13.6	0.6	0.14	Данная работа

Продолжение таблицы 2.

Вид	Год	Число проб	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Ссылка
Наяда	2004	4	–	727	2205	1.6	4.8	1.7	13.1	0.5	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	3	3.6	1130	1440	1.2	5.0	4.1	15.9	0.8	0.11	Данная работа
Роголистник	1993-1995	28	7.4	5370	6440	6.3	33.2	8.8	23.6	2.4	0.48	(Лычагина и др., 1998)
	2004	7	–	1510	1510	1.7	11.1	1.8	7.7	0.9	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	6	9.5	3130	4750	3.9	21.9	8.0	16.2	1.6	0.30	Данная работа
Сальвиния	1993-1995	26	18.8	3290	12700	6.0	23.7	11.7	44.5	4.5	0.41	(Лычагина и др., 1998)
	2004	2	–	1430	475	0.6	6.8	7.9	10.4	0.5	–	(Савенко, Бреховских, 2010)
	2009	5	21.9	1310	11100	4.6	16.8	14.8	36.8	3.3	0.75	Данная работа

Наиболее низкие концентрации микроэлементов свойственны жестколистным гелофитам, типичными представителями которых являются тростник, сусак и ежеголовник. Гидрофиты обладают большей способностью к поглощению микроэлементов из водной среды, причем, как видно из таблицы 3, степень их концентрирования возрастает при переходе от крупнолистных видов (лотос, кубышка, кувшинка, нимфейник) к разнолистным (водяной орех, рдесты, наяда) и мелколистным, в том числе полностью погруженным в воду растениям (роголистник, сальвиния). Это согласуется с обнаруженным А.М. Никаноровым с соавторами (1985) увеличением содержания тяжелых металлов в растениях при возрастании роли водной среды в их жизнедеятельности. Из макрокомпонентов тенденция к увеличению концентраций от гелофитов к мелколистным гидрофитам проявляется для магния и кальция.

Таблица 3. Коэффициенты накопления макрокомпонентов и микроэлементов растениями-гидрофитами пресноводной части устьевой области Волги относительно гелофитов.

Элемент	Лотос	Кубышка	Кувшинка	Нимфейник	Водяной орех	Рдест	Наяда	Роголистник	Сальвиния
Главные компоненты									
Na	1.7	2.1	16.5	8.0	3.0	3.1	12.3	5.7	7.3
K	0.6	0.7	0.9	0.9	0.4	0.4	1.7	1.0	1.2
Mg	1.1	0.9	1.6	1.4	2.4	2.4	3.0	5.2	3.4
Ca	1.6	2.1	3.0	1.4	3.7	5.9	5.7	8.2	6.4
P	0.6	0.7	1.0	1.0	0.5	0.6	1.5	1.5	1.1
Редкие щелочные и щелочноземельные элементы									
Rb	2.8	2.1	1.7	0.7	1.1	0.8	1.4	2.1	3.9
Cs	3.4	5.7	1.4	9.1	11.9	10.5	9.3	27.8	66.9
Be	0.9	2.7	2.4	6.1	8.6	5.1	8.6	26.2	51.3
Sr	1.3	0.7	1.5	1.8	3.8	5.5	5.6	7.1	4.7
Ba	0.9	4.1	1.3	2.5	3.4	7.6	8.3	13.4	13.6
Тяжелые металлы									
Mn	1.4	1.2	1.4	1.0	1.2	1.9	7.6	20.9	8.8
Fe	1.6	4.6	2.2	10.1	13.9	10.3	15.8	52.1	122
Co	2.3	4.1	3.0	8.4	17.8	10.2	13.9	46.4	54.7
Ni	5.2	1.9	3.0	4.0	5.0	7.8	9.0	39.4	30.2
Cu	2.2	1.0	1.0	1.1	1.2	1.6	1.3	2.6	4.9
Zn	2.2	1.2	1.2	1.2	0.9	1.4	1.6	1.6	3.7

Продолжение таблицы 3.

Элемент	Лотос	Кубышка	Кувшинка	Нимфейник	Водяной орех	Рдест	Наяда	Роголистник	Сальвиния
Тяжелые металлы									
Pb	0.5	1.5	0.7	2.2	2.5	2.9	3.6	7.7	15.4
Cd	2.4	1.7	1.5	3.7	3.0	5.2	4.0	10.9	27.5
Ag	0.9	2.2	1.4	2.6	2.6	4.0	7.7	9.7	23.9
Sn	0.9	1.2	0.9	2.0	2.1	2.4	2.5	5.3	14.8
Sb	0.9	1.9	2.4	2.1	2.3	4.0	6.8	8.0	17.5
Элементы-гидролизаты									
Al	1.8	6.2	2.4	16.2	20.6	14.4	22.8	67.8	162
Ga	2.2	5.7	1.9	13.1	17.4	14.0	14.8	44.0	102
Ti	1.3	4.2	1.8	10.3	13.1	8.2	17.3	48.3	115
Zr	1.1	4.1	1.7	10.7	15.0	11.2	21.2	41.6	104
Hf	1.0	2.2	0.8	4.5	6.7	5.9	8.0	16.1	37.3
Th	1.4	6.3	1.8	14.4	20.2	15.0	15.7	47.8	114
U	0.9	7.0	6.2	12.5	32.8	44.3	35.3	51.8	81.0
Nb	1.0	2.6	1.7	5.8	8.0	6.3	9.4	21.8	49.5
Ta	0.4	1.3	3.3	1.4	2.6	2.4	14.8	16.0	34.5
Редкоземельные элементы									
La	1.5	9.5	3.7	20.0	28.2	21.7	26.8	72.2	173
Ce	1.6	9.7	3.6	21.0	30.0	23.1	30.4	80.5	196
Pr	1.7	10.2	3.1	21.6	30.6	23.4	28.2	78.8	177
Nd	1.5	9.1	3.7	18.8	27.2	21.3	30.2	91.0	204
Sm	1.5	8.3	3.8	17.4	24.9	18.8	27.3	82.6	189
Eu	2.0	8.8	2.7	14.7	20.5	19.5	23.2	59.5	130
Gd	1.9	9.3	4.2	20.4	28.6	22.3	30.9	95.2	214
Dy	1.6	9.1	3.5	18.7	26.8	20.3	25.3	74.2	173
Ho	1.6	8.4	3.2	14.9	21.4	16.7	22.1	63.1	150
Er	1.7	9.5	3.5	17.3	27.0	22.7	25.7	75.4	183
Tm	1.6	6.5	2.2	11.0	15.2	11.7	16.1	44.5	110
Yb	1.5	7.8	3.5	15.9	22.5	16.7	24.8	74.5	189
Lu	0.9	6.6	1.9	10.1	13.5	10.0	14.2	39.3	99.3
Анионогенные элементы									
B	1.5	1.2	2.1	1.8	1.2	1.7	1.9	2.2	2.5
V	1.2	7.8	6.2	17.3	26.7	25.6	28.1	81.6	198
Cr	1.4	3.9	2.0	8.2	11.3	9.2	14.1	37.2	86.0
Ge	1.8	4.6	0.6	9.3	13.0	12.8	10.7	21.9	32.1
As	0.4	1.6	2.7	1.9	2.9	5.0	6.3	13.7	13.5
Mo	0.4	0.3	0.4	0.6	0.4	2.0	2.1	1.2	1.4
W	1.3	2.8	0.9	1.6	2.9	3.9	3.1	7.7	14.1

Примечание к таблице 3: * – среднее для тростника, сусака и ежеголовника.

Корреляционный анализ показал, что средневидовые содержания подавляющего числа изученных микроэлементов (Rb, Cs, Be, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, Sn, Sb, Al, Ga), а также редкоземельных элементов (Ti, Zr, Hf, Th, U, Nb, Ta, V, Cr, Ge, As, W), достаточно плотно коррелируют между собой (r=0.70-0.999). Это явление, названное «групповым концентрированием», ранее было установлено для тяжелых металлов и хрома (Лычагина и др., 1998; Савенко, Бреховских, 2010, 2017; Касимов и др., 2016) и подтверждается данными настоящей работы.

Другая группа химических элементов с высокими значениями коэффициентов парной корреляции (r=0.80-0.99) объединяет Mg, Ca, Sr, Mn, Co, Ni, U, Ge и As. За исключением германия и мышьяка, присутствующих в форме оксианионов, другие элементы этой группы находятся в водной среде в форме двухзарядных катионов Me^{2+}, причем микроэлементы способны изоморфно замещать

Mg^{2+} и Ca^{2+} в различных неорганических и органических соединениях. Последнее обстоятельство, по-видимому, служит причиной наблюдаемых корреляционных связей между катионами данной группы элементов. Нахождение же здесь германия и мышьяка не имеет простого объяснения.

Два типично биогенных элемента – калий и фосфор – образуют единственную значимую корреляционную связь с r=0.89, которая, скорее всего, обусловлена вхождением обоих элементов в органическое вещество макрофитов.

Для бора и молибдена, присутствующих в форме устойчивых в водной среде оксианионов $H_2BO_3^-$ и MoO_4^{2-}, также как и для натрия, сколько-нибудь значимых корреляций (r>0.70) ни с одним из определявшихся элементов не обнаружено.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить тесные корреляционные связи средневидовых содержаний всех изученных микроэлементов в макрофитах пресноводной части устьевой области Волги, что свидетельствует об их преимущественно групповом концентрировании. Исключение составляют наиболее устойчивые в водной среде бор и молибден, а также макрокомпоненты (Na, K, Mg, Ca, P) и ассоциированный с кальцием стронций, ведущую роль в накоплении которых, по-видимому, играют индивидуальные особенности водных растений. Межвидовые различия химического состава макрофитов заключаются в закономерном возрастании концентраций микроэлементов и в меньшей степени магния и кальция в ряду «гелофиты → крупнолистные гидрофиты → разнолистные гидрофиты → мелколистные, в том числе полностью погруженные в воду гидрофиты», который соответствует увеличению эффективной площади поверхности растений, находящейся в водной среде.

Выводы

В изученных 12 видах макрофитов из пресноводной части устьевой области Волги средневидовые содержания микроэлементов (Rb, Cs, Be, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, Sn, Sb, Al, Ga, а также редкоземельных элементов (Ti, Zr, Hf, Th, U, Nb, Ta, V, Cr, Ge, As, W), достаточно плотно коррелируют между собой (r=0.70-0.999). Эти данные соответствуют ранее описанному явлению “группового концентрирования”. Другая группа химических элементов с высокими значениями коэффициентов парной корреляции (r=0.80-0.99) объединяет Mg, Ca, Sr, Mn, Co, Ni, U, Ge и As. Наблюдается также плотная корреляционная связь между концентрациями двух типично биогенных элементов – K и P (r=0.89). Для Na, B и Mo значимые корреляционные связи ни с одним из определявшихся химическим элементов не установлены.

Межвидовые различия химического состава макрофитов проявляются в закономерном увеличении концентраций микроэлементов и в меньшей степени магния и кальция при переходе от гелофитов (тростник, сусак, ежеголовник) к крупнолистным гидрофитам (лотос, кубышка, кувшинка, нимфейник), разнолистным гидрофитам (водяной орех, рдесты, наяда) и мелколистным, в том числе полностью погруженным в воду гидрофитам (роголистник, сальвиния).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. 2016. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-Вент. 244 с.

Лычагина Н.Ю., Касимов Н.С., Лычагин М.Ю. 1998. Биогеохимия макрофитов дельты Волги. М.: Географический факультет МГУ. 84 с.

Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Д. 1985. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат. 144 с.

Папченков В.Г. 2001. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМПМУБ и НТ. 214 с.

Савенко А.В., Бреховских В.Ф. 2010. Микроэлементный состав макрофитов в дельте и на устьевом взморье Волги // Дельты Евразии: происхождение, эволюция, экология и хозяйственное освоение. Материалы Международной научной конференции Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. С. 295-302.

Савенко А.В., Бреховских В.Ф. 2017. Высшая водная растительность как биологический фильтр // Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна. Раздел 6.2. Астрахань: Издатель Сорокин Р.В. С. 148-157.

Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья. 992 с.

Bowen H.J.M. 1966. Trace elements in biochemistry. L.: Acad. Press. 241 p.

Bowen H.J.M. 1979. Environmental chemistry of the elements. L.: Academic Press. 333 p.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2020. Т. 26. № 3 (84)

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. Подписано в печать 28 августа 2020 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60х 84 $^{1}/_{8}$	Объем 12 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

Распространяется
только по подписке

Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)