ISSN 1993-3916

Том 28 Номер 1 (90) Март 2022

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

SCIENTIFIC КМК PRESS Ltd.

2021

ISSN 1993-3916

Том 28 Номер 1 (90) Март 2022

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

2022

© 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, 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 28, № 1 (90), 2022, март
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
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Том 28, номер 1 (90), 2022 март

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Изменения в компонентах степных геосистем Юго-восточного Забайкалья в условиях потепления климата
Н.Д. Давыдова 3-10

Конвективный вынос аэрозоля в пустынных зонах как фактор повышения температуры воздуха
Б.С. Тлеумуратова, Б.Ж. Нарымбетов 11-19

Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья
Д.И. Губарев, Н.Г. Левицкая, С.С. Деревягин 20-27

Оценка изменений естественного растительного покрова в источниках пылеобразования в юго-западном Иране при разных режимах распределения осадков и использовании оросительных систем для выращивания саженцев
Мехри Динарванд, Сейед Абдолхоссейн Арами, Саджад Али Махмоди Сараб 28-41

Почвы аридных регионов юга России в базовой классификации почв мира
З.Г. Залибеков, С.А. Мамаев, А.Б. Биарсланов, А.С. Курбанисмаилова 42-52

Серия среднемасштабных природных карт Джизакской степи в 70-е годы XX века (до начала мелиоративного освоения)
Е.И. Панкова, Д.Л. Голованов, И.А. Ямнова 53-64

Спектральные характеристики опустыненных пастбищ Черных Земель
В.Г. Юферев, Н.А. Ткаченко, К.П. Синельникова 65-72

Радиальный рост древесных растений в экстразональных и антропогенных ландшафтах сухой степи Западно-Сибирской равнины
Н.В. Рыгалова, Н.И. Быков, А.А. Шигимага 73-79

Опасные для здоровья человека растения аридных и семиаридных биомов России
Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова 80-90

Онтогенез и онтогенетическая структура ценопопуляций узколокального эндемика Кызылкума *Astragalus holargyreus* Bunge (Fabaceae)
Ш.У. Сарибаева, Х.Ф. Шомуродов, О.А. Абдураимов 91-98

Накопление тяжелых металлов растениями рода *Achillea L.* в засушливых условиях равнинной зоны Дагестана
В.В. Семенова, Д.М. Анатов 99-106

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Реакция ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие
В.В. Вилкова, К.Ш. Казеев, А.К. Шхапацев, С.И. Колесников 107-114

Особенности сезонной динамики структуры фитоценозов на песчаных землях юга Европейской территории России
М.В. Власенко, К.Ю. Трубакова 115-124

Методика оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области
А.М. Беляков, А.В. Кошелев, М.В. Назарова 125-130

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Состояние популяции эйзенамской форели (*Salmo trutta ezenami* Berg, 1948) и прогноз развития экологической ситуации в озере Кезеной-ам
Н.И. Рабазанов, Р.М. Бархалов, Р.Н. Рабазанов, Г.Н. Маркевич 131-139

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 3-10

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.2:550.46

ИЗМЕНЕНИЯ В КОМПОНЕНТАХ СТЕПНЫХ ГЕОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

© 2022 г. Н.Д. Давыдова

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1. E-mail: davydova@irigs.irk.ru

Поступила в редакцию 27.05.2021. После доработки 11.10.2021. Принята к публикации 12.10.2021

Одной из проблем развития общества на Земле стало изменение климата вследствие повышения температуры воздуха, которое для разных регионов было и остается неравнозначным. Проведен анализ многолетних данных по температуре воздуха, атмосферным осадкам и влажности глубокопромерзающих мучнисто-карбонатных черноземов Онон-Аргунской степи Юго-Восточного Забайкалья. Показано, что очередной сухой период 1999-2020 гг. отличается от предыдущего 1965-1981 гг. существенным повышением температуры и неоднозначным годовым количеством атмосферных осадков. По этим показателям он делится на две части: очень сухую теплую и влажную очень теплую. В наиболее сухой период (2001-2011 гг.) запасы влаги в почвах большую часть времени находились на уровне влажности завядания и ниже. В природе наблюдались такие катастрофические явления, как повсеместное усыхание древостоев, исчезновение озер, в том числе крупного – Барун-Торей. С 2012 г. количество атмосферных осадков увеличилось, но мало повлияло на запасы влаги почв и пополнение объема воды в озерах. Вследствие этого к 2018 году практически исчезла акватория другого крупного озера Торейской депрессии – Зун-Торей. Днища высохших озер превратились в содово-сульфатные натриевые и содово-хлоридно-сульфатные натриевые солончаки. В наземном травостое степей наблюдалось внедрение в состав сообществ ксерофильных видов, а также снижение его высоты и густоты. Надземная растительная масса уменьшилась в 1.5-2.0 раза.

Ключевые слова: глобальное потепление, Онон-Аргунская степь, атмосферные осадки, температура воздуха, влажность, почва, усыхание озер, растительность, ксерофильные виды, древостой.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-3-10

В последние 100 лет одной из проблем развития общества на Земле стало изменение климата. Считается, что главной причиной, влияющей на температуру атмосферы Земли, является повышение концентрации парниковых газов (Изменения климата …, 2002), которая может быть дополнительной, а основной – факторы орбитального характера (Параев, Еганов, 2013; Покровский, 2010). Наибольшее повышение температуры (до 1.4-16°С) наблюдается в районах Сибири, Дальнего Востока и южной части Урала. На территории России оно составило 1.29°С при среднем глобальном значении 0.74±0.18°С (Оценочный доклад …, 2008). В последнее время (1976-2018 гг.), по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, скорость роста среднегодовой температуры воздуха составила 0.47°С за 10 лет, что в 1.5 раза больше средней скорости потепления над сушей земного шара. Увеличивается также и количество выпадающих атмосферных осадков, которое в целом по России составляет 5% от нормы за 10 лет в основном за счет весеннего сезона (Доклад …, 2019). Из материалов доклада следует, что климат на территории России становится более теплым и влажным. Такие сведения представляют большую ценность, т.к. количество и соотношения тепла и влаги являются главными факторами формирования на Земле географических зон и их структурных особенностей внутри каждой зоны (Григорьев, 1964), а также обеспечивают нормальную жизнедеятельность человека и всего живого.

Исследования показывают, что в разных регионах изменения гидротермических показателей осуществляется по-разному. Если в Калмыкии (Шумова, 2020) и Каменной степи (Чевердин, Зборищук, 2009) идет процесс гумидного потепления, то в сухих степях Поволжья (Пугачева, 2020),

напротив, особенности влагообеспечения свидетельствуют об изменение климата в сторону аридизации. Особенно ярко этот процесс проявился в первое десятилетие XXI века на востоке Центральной Азии. Многими исследователями установлены катастрофические признаки аридизации: иссушение водоемов и болот (Замана, 2010; Slynko et al., 2010; Sirin et al., 2010; Давыдова, 2020), гибель древостоев (Malykh et al., 2015; Давыдова, 2014), снижение численности краснокнижных птиц (Горошко, 2010), смещение границы опустыненных степей к северу (Иванов и др., 2010).

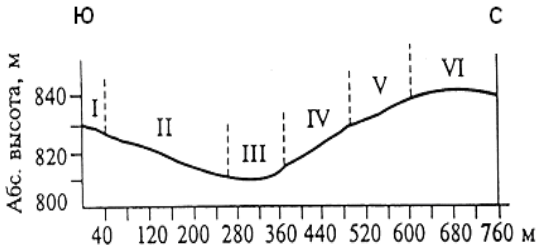
Цель нашего исследования – выявить тренды изменения гидротермических условий Юго-Восточного Забайкалья и их влияние на компоненты степных геосистем.

Объекты и методы исследования

Район исследования – Онон-Аргунская степь, расположенная в междуречье Онона и Аргуни (рис. 1а) на стыке трех физико-географических областей: Центральноазиатской, горной Южносибирской, горной Байкало-Джугджурской. По своим природным свойствам она отнесена к Центральноазиатской области (Сочава, 1964) и занимает обширную территорию (около 50 тыс. км^2) Юго-Восточного Забайкалья, простираясь с запада на восток свыше 300 км и с севера на юг – свыше 150 км. Основными чертами данной территории являются континентальность климата, недостаточное увлажнение, обилие солнечного света, островное распространение вечной мерзлоты и отрицательные среднегодовые температуры. Зима холодная и малоснежная при средней температуре января от минус 24°С до минус 34°С. Абсолютный максимум положительных температур – 40°С. Среднемесячные температуры июля составляют 18-20°С. Годовое количество осадков неустойчиво во времени и меняется от 150 до 400 мм. Их распределение в течение года крайне неравномерно и приурочено к летнему сезону (Климатический …, 1958) .

Природа региона исследования (рис. 1а) достаточно изучена. Комплексные исследования были проведены в периоды 1958-1960 и 1962-1980 гг. сотрудниками Института географии СО РАН под руководством В.Б. Сочавы. Было установлено, что критическими показателями развития степных геосистем топологического уровня являются тепло и влага, а результатом их взаимосвязи – биологическая продукция (Алкучанский говин, 1964; Топология степных …, 1970). В 2001 г. после 20-летнего перерыва в связи с изменением климата натурные наблюдения были возобновлены на Харанорском ключевом участке, расположенном в отрогах Нерченского хребта с ясно выраженным мелкосопочным рельефом (рис. 1б). Вследствие развития криоксерофитных степей в условиях дефицита влаги и недостаточной обеспеченности теплом они рассматриваются нами как чуткий индикатор на глобальные изменения лимитирующих факторов природной среды – тепла и влаги.

а)



б)

Рис. 1. Район исследований, в том числе ключевые участки степного физико-географического стационара Института географии СО РАН. *Условные обозначения:* а) 1 ■ – Харанорский (1962-1980, 2001-2020 гг.); 2 ● – Алкучанский говин (1958-1960 гг.); 3 ▬ – железные дороги; б) профиль Харанорского ключевого участка; I-VI – физико-географические фации: I – элювиальная фация вершины сопки, II – трансэлювиальная фация склона северной экспозиции, III – элювиально-аккумулятивная фация днища пади, IV – трансэлювиально-аккумулятивная фация нижней части южного склона, V – трансэлювиальная фация средней части южного склона, VI – элювиальная фация древней поверхности выравнивания (Давыдов, 2014).

Для оценки состояния компонентов геосистем, развивающихся в новых условиях, изучались следующие показатели: влажность почвы, солевой состав почвенных растворов и озерной воды, растительный покров, флористический состав растительных сообществ и надземная растительная масса. При этом анализировались материалы как литературных источников, так и собственных наблюдений (Давыдова, Снытко, 1971; Вещество …, 1984; Изучение …, 1976; Дубынина, Давыдова, 2005; Давыдова, 2015, 2020). Для оценки климата использовали количественные данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам метеостанции Борзя.

До 1980 года исследования на Харанорском ключевом участке велись по широкой программе с применением метода комплексной ординации (Топология степных …, 1970). Влажность почвы в 1962-1965 гг. определялась В.И. Бычковым (1968) весовым методом (Роде, 1960). Далее работы выполнялись Н.Д. Давыдовой и Л.В. Мироненко. Образцы почв на влажность отбирались по шести фациям два раза в месяц круглогодично.

В 2001-2020 гг. наблюдения вели за наиболее чувствительными показателями природной среды ежегодно в августе (в период наибольшего увлажнения). Количественный учет фитомассы вели методом укосов (Дружинина, 1973) в 3-5-кратной повторности с площади ограниченной металлической рамкой 50х50 см. Виды растений определяли по «Определителю растений юга Красноярского края» (1979) и корректировали по данным А.А. Горшковой (1966). Структура растительного покрова каждый раз фиксировалась с помощью фотокамеры (Волкова, 1965; Дубынина, Давыдова, 2005). Для определения влажности и водорастворимых веществ почвы на шести фациях ключевого участка в рамках постоянной площади закладывали почвенные разрезы или бурили скважины на глубину 100 см доминирующих здесь глубокопромерзающих черноземов (рис. 1б). Образцы почв отбирали каждые 10 см и помещали в герметичную упаковку. Варьирование показателей нивелировалось 3-5-кратной повторностью отбора проб из стенок разреза или увеличением буровых скважин (Дмитриев, 1972).

В период 1969-1980 гг. лабораторные работы, в том числе по химическому анализу водорастворимых солей в почвах и озерах проводились автором на базе степного Харанорского физико-географического стационара с применением соответствующих методик (Аринушкина, 1970; Алекин и др., 1973). В 2000-е гг. отобранные пробы доставляли в Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и анализировали в сертифицированном химико-аналитическом центре с участием автора. Количество влаги в образцах почвы определяли также весовым методом (Роде, 1960), содержание водорастворимых солей – методами количественного химического анализа (КХА), приведенными в соответствующих методиках (Аринушкина, 1970; Руководство …, 2009). При этом концентрации металлов определяли более современными способами на спектрометре атомно-эмиссионном с индуктивно связанной плазмой Optima 2000 DV фирмы Perkin Elmer и соответствующей методике (ПНДФ …, 2008). Статистическая обработка результатов (КХА) проведена по работе В.И. Губина и В.Н. Осташкова (2007).

Результаты и их обсуждение

Характерной чертой климата исследуемой территории является цикличность – чередование влажных (1955-1964, 1982-1998 гг.) и сухих (1965-1981, 1999-2020 гг.) периодов. Анализ количественных данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам 1940-2020 гг. показал, что их годовое поступление в среднем составляет 302 мм. Влажные 1955-1964 гг. и сухие 1965-1981 гг. были холодными и близкими по величине температуры воздуха (табл.). Последующий влажный период (1982-1998 гг.) отличается заметным потеплением, о чем можно судить по величине отклонения от среднего значения температуры (–2.54°С). Современный сухой период (1999-2020 гг.) характеризуется постоянным увеличением тепла и неоднозначным поступлением осадков, поэтому он подразделяется на две части: очень сухую, теплую 1999-2011 гг. и умеренно влажную, очень теплую 2012-2020 гг.

В условиях снижения прихода атмосферных осадков и одновременном увеличении температуры воздуха в 1999-2011 гг. запас влаги в слое почвы 0-100 см по сравнению с предыдущими годами существенно уменьшился (рис. 2). В переходный период (1999, 2000 гг.) увлажнение почвы еще поддерживалось на уровне 160-170 мм за счет осадков предыдущего влажного периода, но впоследствии с 2001 по 2011 гг. запас влаги в почве большую часть времени находился на уровне

50-100 мм. В период 2012-2020 гг. количество осадков увеличилось, но из-за повышения температуры запас влаги в слое почвы 0-100 см не достигал уровня сухих 1965-1981 годов и находился на 50 мм ниже, а по сравнению с влажными периодами был на 75-100 мм ниже (рис. 3).

Таблица. Гидротермические показатели Онон-Аргунской степи для разных периодов.

Периоды: влажные и сухие, годы	Осадки, мм		Температура воздуха, °С		Запас влаги в слое почвы 0-100 см		Длитель-ность периодов, годы
	Годовая сумма	Отклонение от нормы	Средне годовая	Отклонение от нормы	Средне годовой	Отклонение от нормы	
1940-1954	304	+ 2	-2.44	+0.10	нет	нет	15
1955-1964	325	+23	-2.72	+0.18	255	+37	10
1965-1981	277	-25	-2.47	+0.07	182	-36	15
1982-1998	330	+ 28	-1.65	+0.89	183	-35	17
1999-2020	280	-22	-1.39	+1.15	110	-108	22
1999-2011	250	-52	-1.65	+0.89	104	-114	13
2001-2011	244	-58	-1.65	+0.89	94	-114	11
2012-2020	323	+21	-1.03	+1.51	119	-99	9

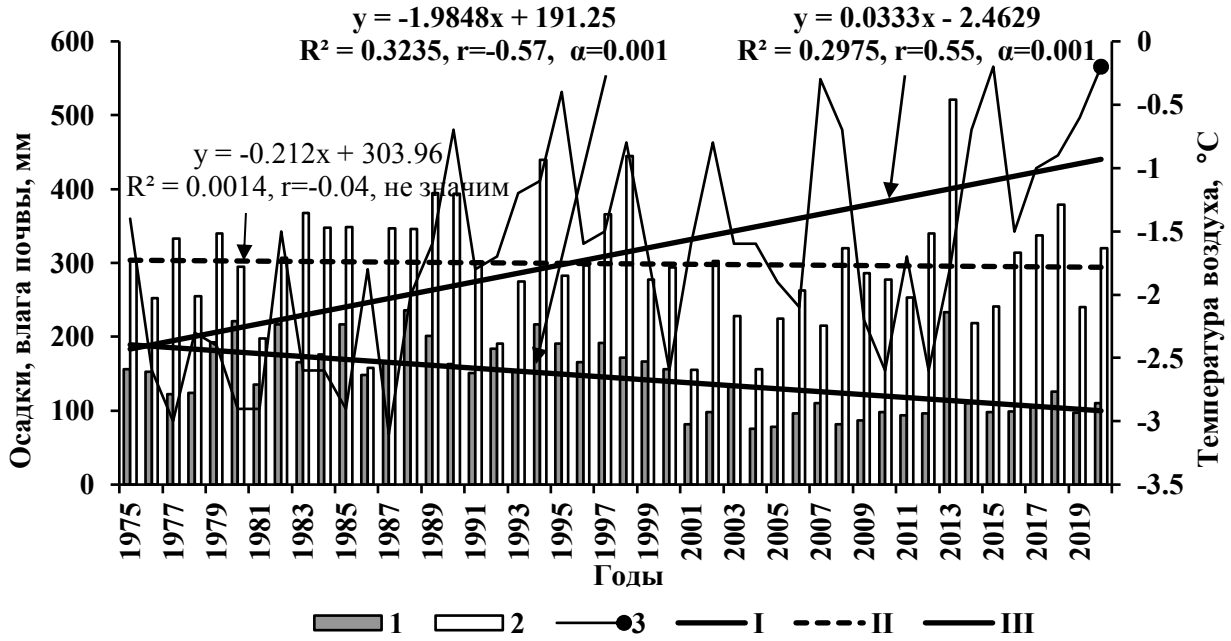


Рис. 2. Динамика показателей гидротермических условий Онон-Аргунской степи. *Условные обозначения:* 1 – запас влаги в слое почвы 0-100 см, 2 – атмосферные осадки, 3 – температура воздуха, I-III – линейное изменение показателей.

Пространственное распределение влаги в почвах топогеосистем зависит от многих факторов, таких как интенсивность выпадения атмосферных осадков, рельеф местности (уровень расчлененности, экспозиция и крутизна склонов), высота и густота травостоя, гранулометрический состав минеральной субстанции, наличие и длительность сезонной мерзлоты. Их влияние на распределение влаги в большей мере проявляется во влажные годы и периоды. Заметную распределительную функцию осадков в данных условиях выполняет рельеф местности. Так, при наличии поверхностного стока почвы фаций пологих склонов и днища падей получают больше влаги по сравнению с почвами вершинных поверхностей. Если во влажные периоды по запасам влаги в почвах проявлялись фациальные различия (Бычков, 1968), то в настоящее время различия нивелировались. Так, ранее более увлажненные черноземы нижней части склона вострецово-

ковыльной фации IV и лугово-черноземные почвы западины зубровко-вейниковой фации III, где запасы влаги пополнялись за счет поверхностного стока, при его отсутствии оказались наименее увлажненными (рис. 3). Несколько большим ее запасом выделяются черноземы северного склона фации II.

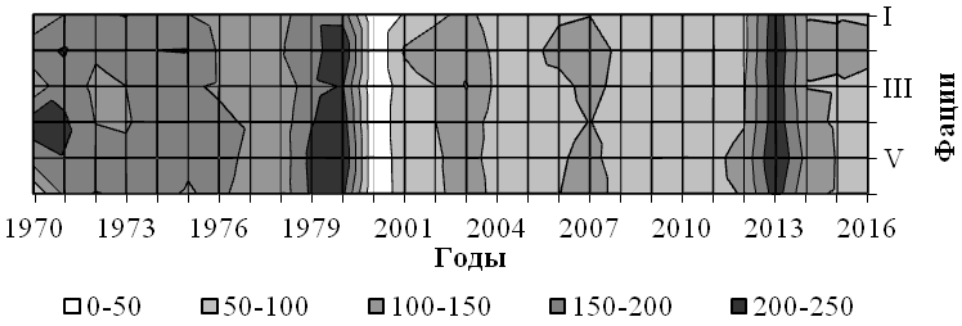


Рис. 3. Запас влаги (мм) в слое почвы 0-100 см в годы многолетних засух 1965-1981 гг. и 1999-2020 гг. степных физико-географических фаций (I-VI) Харанорского ключевого участка (фрагмент). *Условные обозначения:* МГ – максимальная гигроскопичность, ВЗ – влажность завядания, ВРК – влажность разрыва капиллярной связи, НВ – наименьшая влагоемкость. Соответствие значений категориям влажности: 50-100 мм (МГ-ВЗ), 100-150 мм (ВЗ), 150-200 мм (ВРК), 200-250 мм (ВРК-НВ).

Особенность водного режима почв Юго-Восточного Забайкалья заключается в осенней влагозарядке, за счет которой поддерживается запас влаги в последующий год. При этом большое влияние на распределение влаги в почвенном профиле оказывает длительная сезонная мерзлота. В осенне-зимний период влага движется вверх к фронту промерзания, а весной – вниз за фронтом оттаивания. Вследствие этого в весенний период ее количество может достигать величины наименьшей влагоемкости, поддерживая нормальное развитие растений в начале вегетации. Постепенно влага расходуется на десукцию и физическое испарение, и в первой половине июня ее запас в верхнем легкосуглинистом слое почвы 0-50 см становится на уровне влажности завядания и ниже (Давыдова, 2014). Во время летне-осенних дождей запас влаги в почвах вновь пополняется (Изучение …, 1976). В период длительных засух эта важная региональная особенность не проявляется.

Кроме изменений среднегодовой температуры воздуха и годового количества атмосферных осадков за многолетний период важны сведения и о таковых распределениях по сезонам года. Если ранее, в общем, говорилось о потеплении на территории России в зимний период, то в последнее время ситуация изменилась в пользу повышения летних температур и увеличения выпадения атмосферных осадков весной (Доклад, 2019). Для степей Юго-Восточного Забайкалья характерно увеличение температуры, как в зимнее, так и в летнее время с трендом в область положительных температур в весенний период. Наибольшее ее повышение (на 2.5-3°С) отмечалось в апреле 2012-2020 гг. (рис. 4а). Распределение поступающих атмосферных осадков в течение года неравномерное (рис. 4б). Основное их количество, как и до потепления, приходится на летний период, с максимумом в июле месяце. Характер их распределения также практически не изменился, чего нельзя сказать о количестве.

Выделяется экстремально сухой (244 мм/год) период 2001-2011 гг. с дефицитом поступившей влаги в 44 мм в летние месяцы и сентябре. Напротив, в весеннее время, увлажнение увеличилось, хотя и не на много (на 10 мм). В общем, указанный 11-летний период выделяется как наиболее сухой за последние 100 лет, с годовым минусом прихода влаги, равным 33 мм, по сравнению с прежним сухим периодом (1965-1981 гг.). В дальнейшем (2012-2020 гг.) количество атмосферных осадков увеличилось в среднем до 323 мм/год (с максимумом – 521 мм), а температура повысилась еще на 0.62°С, что в среднем за год составило –1.03°С. От среднего значения температура воздуха отклонилась в сторону потепления на 1.51°С (табл.).

Острый недостаток влаги в почве 2001-2011 гг. катастрофически сказался прежде всего на древесной растительности, гибель которой наблюдалась повсеместно в течение 8 лет в зависимости

от местоположения в последовательности: вершины сопок > склоны > западины. Напочвенный растительный покров отличался низким ростом и разреженностью. Соответственно, уменьшилась и его продуктивность – в среднем в 1.5-2 раза, еще сохранив, различая по фациям: III > IV > V > II > VI > I (Davydova, Dubynina, 2015).

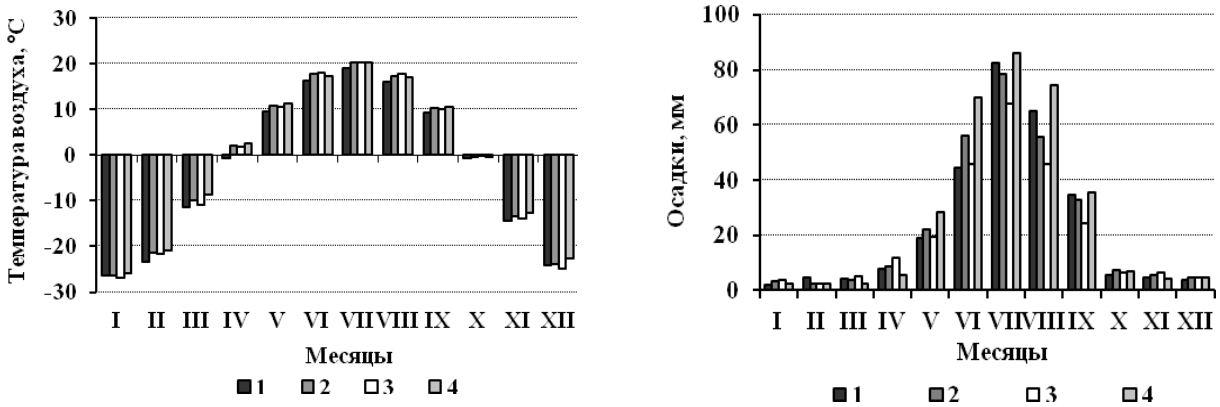


Рис. 4. Сезонная динамика температуры воздуха (а) и годовой суммы осадков (б) сухих периодов на территории Онон-Аргунской степи. *Условные обозначения:* 1 – 1965-1981 гг., 2 – 1999-2020 гг., 3 – 2001-2011 гг., 4 – 2012-2020 гг.

Трансформация степных сообществ осуществлялась за счет внедрения более ксерофильных видов. Наибольшей активностью отличается чий сибирский (*Achnatherum sibiricum* L.) приспособленный к повышению концентрации растворимых солей в почвах на испарительном барьере (Давыдова, 2005). Появившиеся в первые годы засухи его единичные особи на южных склонах увеличивают свое присутствие на обширной территории.

В первое десятилетие сухого периода около половины озер Онон-Борзинской группы высохло. В 2010 г. исчезла акватория оз. Барун-Торей, а позднее (2018 г.) и большая часть акватории оз. Зун-Торей. Эти крупнейшие озера Торейской депрессии по сообщению гидрологов метеостанции Борзя, как и прочие озера не восстановились до настоящего времени. Их днища представляют собой солончаки преимущественно содово-сульфатного и содово-хлоридно-сульфатного типов засоления группы натрия. Они активно заселяются солеросами в направлении от береговой линии к центру днища сухих озер (Давыдова, 2020).

Выводы

Особенностью климата Юго-Восточного Забайкалья является цикличность, которая проявляется в чередование сухих и влажных временных периодов. Анализ материалов исследований показал, что очередной период иссушения 1999-2020 гг. был более теплым и сухим по сравнению с предыдущим 1965-1981 гг. Он характеризуется постоянным увеличения тепла (от –2.54°С до –1.39°С) и неоднозначным поступлением количества атмосферных осадков, поэтому подразделяется на две части: очень сухую, теплую (1999-2011 гг.) и умеренно влажную, очень теплую (2012-2020 гг.). Изменение гидротермических условий сопровождалось негативными преобразованиями в объектах и компонентах геосистем исследуемой территории, последствия которых наиболее ярко проявились в первой половине и остаются таковыми во второй. Наиболее негативные последствия проявляются в следующем:

– уменьшение запасов влаги в почвах до уровня влажности завядания и ниже;

– повсеместное усыхание и гибель древостоев;

– трансформация травяного покрова степей (изменение структуры видового состава растительных сообществ вследствие внедрения ксерофильных видов);

– уменьшение высоты и густоты травостоя и как следствие снижение продуктивности лугово-степных и степных сообществ в 1.5-2.0 раза;

– снижение уровня воды в озерах вплоть до полного их исчезновения;

– увеличение площади солончаков за счет днища сухих озер содово-сульфатного и содово-хлоридно-сульфатного типов засоления группы натрия и активное заселение их галофитами от периферии (береговой линии) к центру озерных котловин.

Благодарности. Благодарю заведующую метеостанцией Борзя Л.И. Карпикову, гидролога О.В. Перминову и всех сотрудников, работавших в разные годы, за многолетнюю помощь в подборе материалов, консультации, за понимание и теплое дружеское отношение, а также к.б.н. Л.В. Дудареву, принимавшую непосредственное участие в становлении Химико-аналитического центра Института географии СО РАН и его аккредитации, освоении приборной базы и получение данных КХА.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств государственного задания ИГ СО РАН, № госрегистрации темы АААА-А17-117041910171-7 «Пространственно-временные закономерности вещественного состояния ландшафтов Сибири в изменяющихся условиях среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. 1973. Руководство по химическому анализу вод суши. Ленинград: Гидрометеоиздат. 270 с.

Алкучанский говин. 1964. М.-Л.: Наука. 167 с.

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 487 с.

Бычков В.И. 1968. Динамика влажности почв низкогорных ландшафтов Юго-Восточного Забайкалья // Материалы по растительности и почвам Байкальской Сибири. С. 39-63.

Вещество в степных геосистемах. 1984 / Ред. В.В. Воробьев. Новосибирск: Наука. 158 с.

Волкова В.Г. 1965. Использование фотокамеры для получения количественных данных по структуре растительного покрова степе // Ботанический журнал. Т. 50. № 12. С. 171-174.

Горошко О.А. 2010. Традиционное скотоводство и экологические проблемы трансграничной Даурии в условиях многолетних засух // Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии. Материалы Научно-практической конференции. Чита: Экспресс-издательство. С. 22-26.

Горшкова А.А. 1966. Биология степных пастбищных растений Забайкалья. М.: Наука. 274 с.

Григорьев А.А. 1964. Теоретические проблемы современной физической географии // Развитие и преобразование географической среды. М.: Наука. С. 15-22.

Губин В.И., Осташков В.Н. 2007. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Учебное пособие для студентов технических вузов. Тюмень: Тюменский ГНГУ. 202 с.

Давыдова Н.Д. 2005. Ландшафтно-геохимические барьеры и их классификация // География и природные ресурсы. № 4. С. 24-30.

Давыдова Н.Д. 2014. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 4. С. 120-125.

Давыдова Н.Д. 2015. Гидротермический режим черноземов Юго-Восточного Забайкалья // Почвы холодных областей: генезис, география, экология. Материалы научной конференции с международным участием. Улан-Удэ: Изд-во ИОЭБ СО РАН. С. 53-54.

Давыдова Н.Д. 2020. Состояние озер Онон-Аргунского междуречья в условиях меняющегося климата // География и природные ресурсы. № 5. С. 147-153.

Давыдова Н.Д., Снытко В.А. 1971. Режим влажности почв степных фаций Онон-Аргунского ландшафта в течение года // Топологические аспекты исследования степного ландшафта. Иркутск. С. 51-56.

Дмитриев Е.А. 1972. Математическая статистика в почвоведении М. 292 с.

Доклад. 2019. Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет. 79 с.

Дружинина Н.П. 1973. Фитомасса степных сообществ Юго-Восточного Забайкалья. Новосибирск: Наука. 149 с.

Дубынина С.С., Давыдова Н.Д. 2005. Сравнительный анализ состояния коренных и антропогенно-измененных степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья // География и природные ресурсы. С. 90-95.

Замана Л.В. 2010. Соленые озера Забайкалья как индикаторы климатических изменений в северо-восточном секторе Центральной Азии // Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии. Материалы Научно-практической конференции. Чита: Экспресс-издательство. С. 22-26.

Иванов Л.А., Иванова Л.А., Рончина Д.А. 2010. Зональные изменения структурно-функциональных параметров листьев растений Монголии // Ecological consequences of biosphere processes in the ecotone zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceeding of the International Conference. Oral reports. Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 127-129.

Изменения климата и их последствия. 2002. СПб.: Наука. 269 с.

Изучение степных геосистем во времени. 1976 / Ред. В.Б. Сочава. Новосибирск: Наука. 237 с.

Климатический справочник СССР. 1958. Л.: Гидрометеоиздат. Вып. 23. Ч. 1. 288 с.

Определитель растений юга Красноярского края. 1979. Новосибирск: Наука. 669 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Последствия изменения климата. 2008. М.: Росгидромет. Т. 2. 104 с.

Параев В.В., Еганов Э.А. 2013. Глобальные природно-климатические катаклизмы в истории Земли. Возможная их природа // Геоэкологические и геоинформационные аспекты в исследовании природных условий и ресурсов Науками о Земле. Материалы международной научно-практической конференции «VII Жандаевские чтения». Алматы: «Казак университетi». С. 266-270.

ПНДФ 14.1:2:4.135. 2008. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М.: Госком. РФ по охране окружающей среды. 24 с.

Покровский О.М. 2010. Анализ факторов изменения климата по данным дистанционных и контактных измерений // Исследования Земли из космоса. № 5. С. 11-24.

Пугачева А.М. 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в вопросе демутации // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 23-29. [*Pugacheva A.M.* 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]

Роде А.А. 1960. Методы изучения водного режима почв. М.: Изд-во АН ССС. 224 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. 2009. Ч. 1 / Ред. Л.В. Боева. Ростов-на-Дону, Новочеркасск: НОК. 1032 с.

Сочава В.Б. 1964. Онон-Аргунская степь как объект стационарных физико-географических исследований // Алкучанский Говин. М.-Л.: Наука. С. 3-23.

Термограф: архивные данные температуры воздуха и количества осадков Борзя [Электронный ресурс thermograph. ru/mon/st_30965/htm (дата обращения 17.01. 2021)].

Топология степных геосистем. 1970 / Ред. В.Б. Сочава. Л.: Наука. 174 с.

Чевердин Ю.Н., Зборищук Ю.Н. 2009. Тенденции изменения климатических условий в Каменной степи // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. С. 24-26.

Шумова Н.А. 2020. Анализ климатических условий в республике Калмыкия за 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22. [*Shumova N.A.* 2020. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966-2017 // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 188-193.]

Davydova N.D., Dubynina S.S. 2015. The dynamics indicators of the state of North steppes of Central Asia in modern conditions // Ecosystems of Central Asia under Current Conditions of Socio-Economic Development. Mongolia, Ulaanbaatar. Vol. 2. P. 347-351.

Malykh O., AbakumovaV., Obyazov V., Vakhnina I. 2015. The Changes of the Birch Forests in Connection with the Precipitation Changes in Onon River Basin // Ecosystems of Central Asia under Current Conditions of Socio-Economic Development. Proceedings of International Conference. Mongolia, Ulaanbaatar. Vol. 2. P. 238-241.

Sirin A., Minayeva T., Gunin P., Dugarjav Ch., Bazha S., Bayasgalan D., Dorofenyuk N., Sulerzhitsky L., Uspenskaya O. 2010. Between Humid and Arid Environment: Peatland Ecosystems Indicate Desertification Trends in Mongolia // Ecological Consequences of Biosphere Processes in the Ecotone Zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceeding of the International Conference. Oral Repots. Mongolia, Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 86-88.

Slynko Yu.V., Dulmaa F., Dgebuadze Yu.Yu., Erdenebat M., Mendsaikhan B., Karabanov D.P. 2010. Fishes of Mongolia: Fauna, Zoogeography, Current State of Populations, Conservation // Ecological Consequences of Biosphere Processes in the Ecotone Zone of Southern Siberia and Central Asia: Proceedings of the International Conference. Oral Repots. Mongolia, Ulaanbaatar: Bembi san Publishing House. Vol. 1. P. 92-94.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 11-19

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 551.511.61; 551.513.22

КОНВЕКТИВНЫЙ ВЫНОС АЭРОЗОЛЯ В ПУСТЫННЫХ ЗОНАХ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

© 2022 г. Б.С. Тлеумуратова, Б.Ж. Нарымбетов

Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук
Каракалпакского отделения АН Республики Узбекистан
Россия, 230100, Узбекистан, Республика Каракалпакстан, г. Нукус, просп. Бердаха, д. 41
E-mail: tbibigul@mail.ru, bahanarym@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.09.2021. После доработки 14.10.2021. Принята к публикации 15.10.2021

В статье обсуждается аэрозольное загрязнение атмосферы в Южном Приаралье как фактор климатических изменений в регионе. Основными причинами загрязнения являются ветровой и конвективный выносы почвенных частиц с подстилающей поверхности. Показаны различия обоих типов эмиссии. Поскольку влияние ветрового выноса аэрозоля с осушенного дна Аральского на региональный климат изучено в выполненных ранее нами исследованиях, в данной работе впервые в качестве фактора увеличения летних температур воздуха в Южном Приаралье рассматривается лишь конвективный вынос почвенных микрочастиц с пустынных поверхностей. В работе приведены результаты расчетов массовой концентрации аэрозоля в приземном слое атмосферы, обусловленной конвективными потоками. Полученная методами математического моделирования количественная оценка показала существенность конвективного выноса аэрозоля в Южном Приаралье, увеличивающего концентрацию аэрозоля до 1.2 мг/м^3. В результате численных экспериментов выявлена зависимость повышения температуры воздуха конвективным выносом почвенных частиц от дисперсности аэрозоля в диапазоне 0.3-5°C. Отсутствие в Южном Приаралье осадков в июле-августе, противодействующих конвективному выносу почвенного аэрозоля вымыванием аэрозоля из атмосферы и смачиванием подстилающей поверхности, обеспечивает непрерывное поступление аэрозольных частиц в атмосферу, что увеличивает климатообразующий эффект рассматриваемого процесса. В первом приближении оценено значение прогрессирующего опустынивания во многих регионах планеты для глобального потепления климата.

Ключевые слова: конвективный вынос, аэрозоль, приповерхностная температура воздуха, климатический форсинг, Южное Приаралье.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-11-19

Одной из актуальнейших проблем современности стало глобальное потепление климата, основным фактором которого считается увеличение концентрации парниковых газов CO_2 и метана. Существенно изменять региональные климатические характеристики может также, как известно, аэрозольное загрязнение атмосферы, влияющее на радиационный режим и процессы осадкообразования. Механизм и количественные оценки этого форсинга в зависимости от его состава и локализации детально рассмотрены, например, в работах К.Я. Кондратьева (1991, 1992). Сложность взаимодействий атмосферного аэрозоля и метеорологических процессов определяет недостаточную изученность некоторых аспектов воздействий на климатические характеристики. В частности, не до конца выявлена структура факторов изменения климата в Южном Приаралье. Основным фактором общепризнано усыхание Аральского моря. Но здесь требуется уточнение. Дело в том, что под влиянием Аральского моря обычно подразумевают воздействие его *акватории* на температуру и влажность воздуха. Между тем, исследованная нами (Тлеумуратова, 2018) многолетняя динамика воздействия усыхания Арала на почвенно-климатические условия Южного Приаралья указывает на то, что зона влияния акватории в настоящее время сократилась до 20 км. На данный момент фактор климатических изменений – усыхание моря – означает влияние *ландшафтных изменений* (образования огромной, сильно засоленной постаквальной суши) и *ветрового выноса солей*. Солевой покров (60-70% – сульфаты), мощность которого местами достигает 15 см, увеличивает альбедо

подстилающей поверхности, рассеивающий сульфатный аэрозоль уменьшает поток прямой радиации и способствует усилению процессов осадкообразования. Исследования воздействий сульфатного аэрозоля, вынесенного с осушенного дна Аральского моря (Тлеумуратова, 2018), показали, что в отдельных местах региона вследствие этого форсинга количество осадков увеличивается на 14 мм/год, летняя температура снижается на 3К. Этот вклад может быть определен лишь методами математического моделирования, поскольку не улавливается методами стандартных метеорологических измерений из-за компенсационных эффектов других факторов, одним из которых является опустынивание.

Отепляющий эффект опустынивания вследствие дефорестизации (преимущественно путем изменения углеродного круговорота) изучен во многих работах (Cox et al., 2008; Fairhead, Leach, 1998; Fearnside, Laurance, 2004; Geist, Lambin 2002). В данной статье рассматривается неисследованный ранее эффект опустынивания – повышение температуры воздуха конвективным выносом почвенных частиц с нагретой подстилающей поверхности.

Специфика аэрозольного форсинга климатических изменений в Южном Приаралье, окруженном с трех сторон расширяющимися пустынями Каракум, Кызылкум и Аралкум, заключается прежде всего в его генезисе – опустынивании.

Для Южного Приаралья характерно опустынивание вследствие усыхания Аральского моря, деградации растительного покрова из-за изменения гидрорежима реки Амударьи, растущей засоленности почв и миграции песков. Особенностью аэрозольно-климатического форсинга в Южном Приаралье является также динамичность, обусловленная высокой скоростью происходящих здесь экологических трансформаций. Климатические изменения в Южном Приаралье наиболее ярко проявляются в повышении среднегодовой температуры воздуха, негативные последствия и риски которого общеизвестны. Так, участившиеся волны тепла с экстремальными значениями (выше 39К) увеличивают заболеваемость и, в частности, смертность населения Южного Приаралья от цереброваскулярных болезней на 17% (Спекторман, Петрова, 2007).

Аэрозольное загрязнение атмосферы в Южном Приаралье происходит благодаря ветровому и конвективному выносу почвенных частиц с подстилающей поверхности, имеющими место лишь в теплое время года. Механизм ветрового выноса аэрозолей (при скорости ветра больше 5 м/с) связан с наличием отрывных течений в пограничном слое, обусловленных значительной турбулентностью атмосферы (Shao et al., 1993; Тлеумуратова, 2018; Alfaro, Gomes, 2001).

Конвективный вынос аэрозоля, происходящий в условиях, близких к штилевым, обусловлен сильным градиентом температуры в вязком подслое, создающим условия для конвективного подъема частиц тонкодисперсного аэрозоля (Гранберг, 2009; Шукуров, 2003; Гледзер и др., 2009). При слабом ветре и жаркой погоде (температура поверхности – 50-80 градусов, относительная влажность – 20-30%, ветер – 2-3 м/с) механизм перемешивания воздуха в приповерхностном слое практически не отличается от механизма свободной конвекции тонкодисперсного пустынного аэрозоля (Гледзер и др., 2009).

Эти два типа аэрозольного загрязнения атмосферы различаются также по механизму влияния на локальный климат, по составу и источникам.

Значимый для климатических изменений ветровой вынос солей (преимущественно сульфатов) происходит с осушенного дна Аральского моря. Охлаждающий эффект сульфатного аэрозоля общеизвестен и для условий Южного Приаралья количественно оценен в работе Б.С. Тлеумуратовой (2018). Особую роль играет субмикронная фракция аэрозоля, поскольку она имеет большое время жизни в тропосфере и переносится на большие расстояния (рис. 1).

Конвекция также является важным фактором тепло- и массопереноса в атмосфере и способна поднять с пустынных участков поверхности большое количество песка и пыли в верхние слои атмосферы. Конвективный вынос аэрозоля (преимущественно почвенного) в летнем сезоне происходит, в отличие от ветрового выноса, практически ежедневно (Семенов и др., 2006; Гранберг, 2009; Шукуров, 2003), поскольку в это время преобладает безветренная и засушливая погода. Отметим, что в имеющихся немногочисленных работах по конвективному выносу не рассматривается его влияние на климатические характеристики, поэтому можно утверждать, что климатический эффект конвективного выноса аэрозоля не изучен. В то же время ввиду значительности концентрации эмитирующих частиц (Семенов и др., 2006; Гранберг, 2009;

Шукуров, 2003) закономерно предположение о вкладе конвективного выноса в повышение летних температур в нижней тропосфере. Подтверждению этой гипотезы и посвящена данная статья.

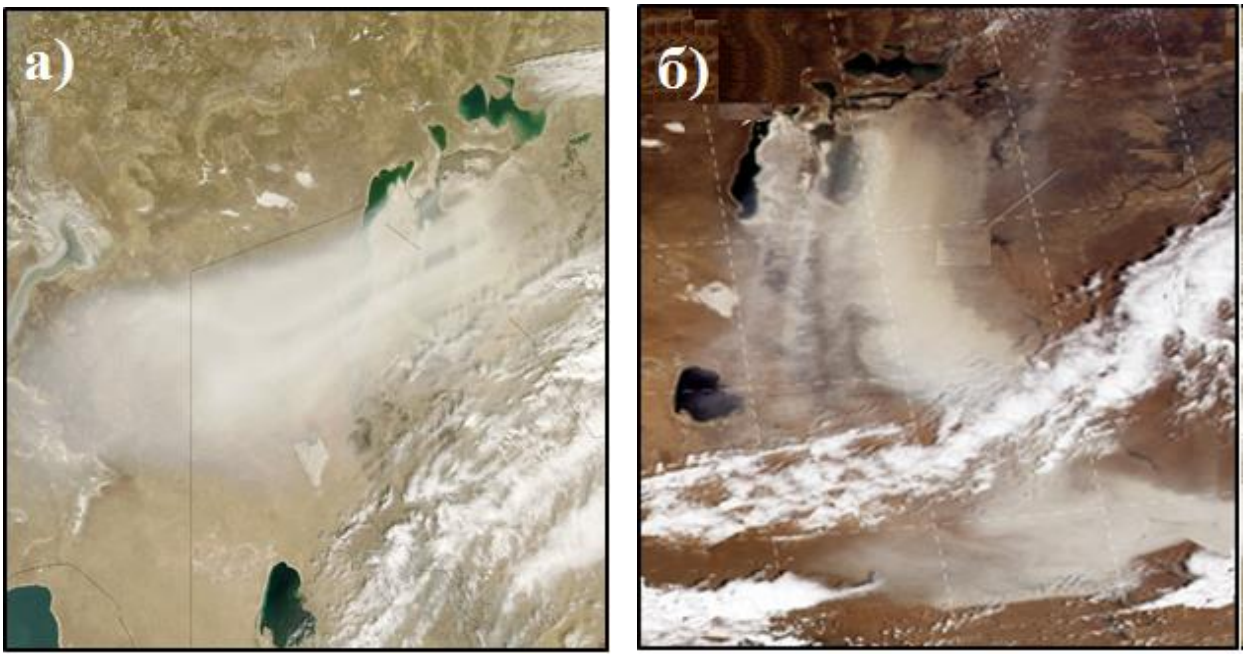


Рис. 1. Солепылевые бури с выносом солей в юго-западном (а) и южном (б) направлениях (спутниковый снимок ИСЗ NOAA).

Поскольку ветровой вынос аэрозоля происходит в основном в апреле-мае, а конвективный вынос возможен лишь в летние месяцы, такая разнесенность во времени исключает необходимость учета компенсационных эффектов при исследовании влияния на основную климатическую характеристику – температуру воздуха – естественных пустынных поверхностей региона и антропогенной постаквальной суши Аральского моря (Аралкума).

Отметим, что полученные в данной работе результаты не имеют видимых ограничений для приложения к другим пустынным регионам Земли с аналогичным ветровым и температурным режимом. При интегральном подходе полученные результаты могут также уточнить структуру факторов глобального потепления.

Методы исследования

Исследование проводилось методами математического моделирования для условий Южного Приаралья, окружённого пустынями Кара-Кум, Кызылкум и образовавшейся пустыней Аралкум. Оценивается вклад конвективного выноса в повышение температуры воздуха в нижнем 3-метровом слое – уровне жизнедеятельности человека. Подстилающая поверхность представляет собой песчаный грунт с близким к нулю общим проективным покрытием растений. Состав грунта в порядке убывания: кварц, карбонаты, слюда, соли, окись железа и др.

Поскольку почвенный аэрозоль является преимущественно поглощающим, то рассеяние радиации в заднюю полусферу игнорируется.

Моделирование выполнялось для полуденных часов летнего сезона и его средних метеорологических величин (Субботина, Чанышева, 2006; табл. 1).

Разработанная математическая модель оценки вклада конвективной эмиссии аэрозоля в повышение приповерхностной температуры воздуха состоит из двух блоков. В первом блоке вычисляется массовая концентрация аэрозоля, генерируемая конвективными токами. Для этого используются эмпирическое соотношение, теоретическое обоснование которого дано в работе Е.Б. Гледзера с соавторами (2009):

$$\Delta\rho = 0.12\ \delta T^{0.58} \quad (1),$$

где $\Delta\rho$ – отклонение массовой концентрации аэрозольных частиц от фоновой концентрации (мг/м^3),

δT – скачок (падение) температуры в термическом пограничном слое, толщина которого варьирует от 10 до 30 см.

Таблица 1. Среднемесячные метеорологические характеристики летнего сезона в Южном Приаралье.

Месяцы	Температура воздуха, °С	Температура почвы, °С	Относительная влажность, %
Июнь	32	58	25
Июль	40	61	19
Август	36	59	21

Соотношение (1) выполняется для частиц размером 0.15-5 мкм и динамической скорости u<20 см/с (корреляция r=0.47). Скорость u вычисляется на основе измерения средней горизонтальной скорости на высоте z=3 м по формуле (Гледзер и др., 2009):

$$u = \frac{\chi \cdot u(z)}{\frac{\ln z}{z_O}} \quad (2),$$

где u – динамическая скорость (скорость трения), $u(z)$ – скорость ветра, z – высота (координата по вертикали), $z_o=10^{-4}$ м – высота шероховатости подстилающей поверхности, χ=0.4 – постоянная Кармана,

Разность температур δT на поверхности почвы и на высоте 0.2 м зависит от u, и при u<20 см/с диапазон её изменения составляет 10-30К (Гледзер и др., 2009). Так как данная статья носит прикладной характер, то сложные выкладки для вычисления δT заменены вариантными расчётами для значений 10, 20, 30 и 40 К.

Во втором блоке методом частиц *particle-in-cell* (Харлоу, 1967) вычисляется повышение температуры окружающего воздуха (в слое 0-3 м) нагретыми взвешенными почвенными частицами. Алгоритм расчетов следующий.

На первом шаге при условии однородности аэрозоля и равномерного распределения в единице объёма вычисляется нагрев элементарного объёма воздуха, приходящегося на одну частицу. Изотропный поток тепла от нагретой, взвешенной в воздухе сферической частицы равен (Щукин и др., 2012):

$$Q = 4\pi R \cdot k_B \cdot T_B \cdot f \quad (3),$$

где T_B – температура воздуха, R – радиус аэрозольной частицы, k_B – коэффициент теплопроводности воздуха при данной температуре. Коэффициент f определяется по формуле (Щукин и др., 2012):

$$f = \frac{t^{1+\omega} - 1}{1+\omega} \quad (4),$$

где $t=t_p-\Delta t$, $t_p=T_p/T_B$ – безразмерная температура поверхности частицы, T_P – температура поверхности частицы, равная с точностью до 1.5% температуре поверхности почвы. Значение ω для воздуха равно 0.85 (Варгафтик, 1972). Изменение температуры Δt определяется выражением (Щукин и др., 2012):

$$\Delta t = \frac{A_1 - \sqrt{A_1^2 - 4A_0A_2}}{2A_2} \quad (5),$$

где $A_0 = \varepsilon(t_p^2 - t_p^{1-\omega})$, $A_1 = \left(1 + \varepsilon(2t_p - (1-\omega)t_p^{-\omega})\right)$,

$$A_2 = \varepsilon\left(1 + \frac{\omega(1-\omega)}{2} \cdot t_p^{-(1+\omega)}\right) \quad (6),$$

$$\varepsilon = \frac{C_T}{1+\omega}\left(\frac{\lambda}{R}\right),$$

где C_T – коэффициент скачка температуры ≈2.2 (Яламов и др., 1980; Латышев, Юшканов, 1992), λ – длина свободного пробега молекулы воздуха

$$\lambda = \frac{kT_B}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \quad (7),$$

В соотношении (7) d=3.6·10^{-10} м – диаметр молекулы воздуха, p – атмосферное давление, k=1.38·10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана.

По отклонению массовой концентрации аэрозоля, вычисленной в первом блоке модели, определяется счётная концентрация N и объем воздуха dV, занимаемый одной частицей. При этом предполагается, что стенки dV непроницаемы, а объём dV инвариантен относительно размера и химического состава частицы.

По формуле $\rho_B = \frac{p \cdot \mu}{R_\Gamma \cdot T_B}$ определяется плотность воздуха при данной температуре и масса воздуха, приходящуюся на одну частицу $m_B = \rho_B \cdot dV$. Здесь μ=0.029 кг/моль – молярная масса воздуха, R_I=8.31 Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная.

Далее вычисляется изменение температуры ΔT_i элементарного объема dV, вызванное теплоотдачей одной частицей, по формуле:

$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m_B} \quad (8),$$

где c =1005 Дж/кг·К – удельная теплоёмкость воздуха.

При предположении о химической однородности и монодисперсности аэрозоля тепловой эффект от ансамбля частиц при непроницаемости стенок равен ΔT.

На втором шаге алгоритма расчетов модель реализуется для каждого вида частиц песчаного грунта с вариациями размеров – 0.2, 0.5, 1.1, 3 и 5 мкм.

Третий шаг алгоритма второго блока состоит в определении теплового эффекта реального полидисперсного неоднородного аэрозоля. Расчеты проведены для нескольких вариантов функций распределения веществ и размеров аэрозоля. При этом по-прежнему предполагается, что элементарный объем нагреваемого воздуха инвариантен относительно вида и размера частиц.

Результаты и обсуждение

Численные эксперименты с вышеизложенной моделью с различными вариантами функций распределения размеров частиц и веществ, а также толщины термического пограничного слоя выявили, что искомое изменение температуры ΔT наиболее чувствительно к вариациям дисперсности. На рисунке 2, отображающем результаты расчетов для монодисперсного аэрозоля, видно, что максимальные значения ΔT соответствуют субмикронным размерам частиц.

Надо отметить существенную нелинейность указанной зависимости: ΔT резко возрастает для частиц, радиус которых меньше 0.5 мкм. В этом же диапазоне проявляется значимость толщины термического пограничного слоя δT: значения ΔT падают от 10К до 0.8К. Различия, обусловленные δT, нивелируются для частиц, радиус которых больше 1 мкм (табл. 2).

Однако результаты численных экспериментов с монодисперсным аэрозолем имеют чисто теоретическое значение. Понятно, что в реальности генерируемый конвективными потоками аэрозоль с пустынной поверхности является полидисперсным. Модельные расчеты с полидисперсным аэрозолем показали следующее.

Изменения температуры ΔT слоя воздуха, прилегающего к подстилающей поверхности, как следует из приведенных результатов, существенно зависит от функции распределения размеров частиц. Наиболее характерная для рассматриваемого процесса функция распределения представляется выражением (Шукуров, 2003):

$$f(R)=0.0386R^{-1.678} \quad (9).$$

Расчёты, выполненные согласно (9), показали, что ΔT прямо пропорционально массовой концентрации (рис. 3). Однако ввиду отличия дисперсного и вещественного состава песка пустынь Калмыкии и Центральной Азии в дальнейших расчетах мы использовали следующую функцию распределения для размера частиц в диапазоне 0.2-3 мкм:

$$f(R)=0.0386R^{-1.465} \quad (9а).$$

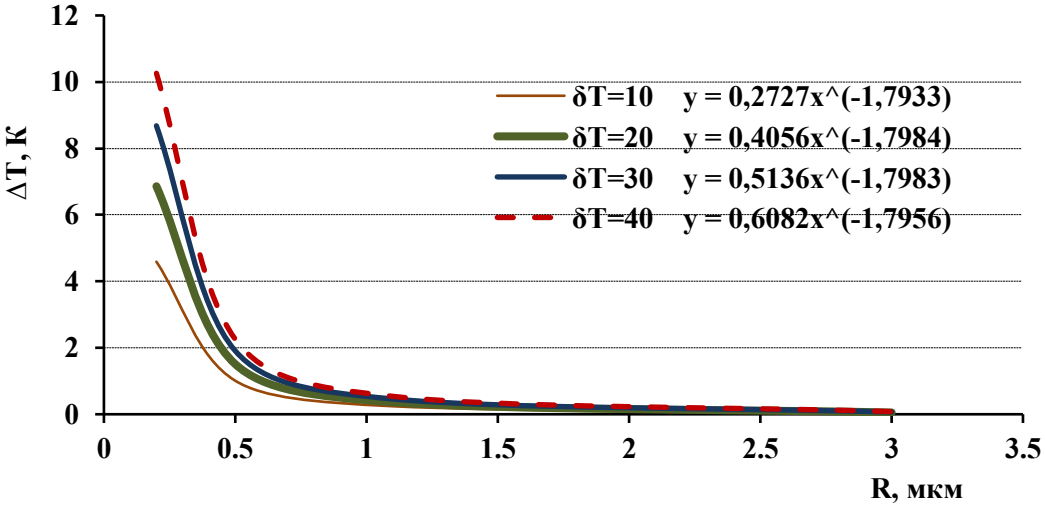


Рис. 2. Зависимость изменения ΔT от радиуса частиц монодисперсного аэрозоля и толщины термического пограничного слоя (июнь).

Таблица 2. Зависимость изменения ΔT от радиуса частиц монодисперсного аэрозоля и толщины термического пограничного слоя (июнь).

δT, K	*R, мкм*	***ΔT, K***	***δT, K***	***R**, мкм*	***ΔT, K***
10	0.2	4.59	30	0.2	8.68
	0.5	1.01		0.5	1.91
	1.1	0.242		1.1	0.46
	3	0.036		3	0.067
20	0.2	6.86	40	0.2	10.26
	0.5	1.51		0.5	2.26
	1.1	0.362		1.1	0.54
	3	0.053		3	0.08

Численные эксперименты с вариацией вещественных компонентов эмитирующего песка выявили незначительную чувствительность (до 10%) к химическому составу частиц. Это можно объяснить тем, что теплоемкость составляющих песчаного грунта приблизительно одного порядка.

Приведем результаты натурных наблюдений, проведенных нами в июне-августе в пустыне с целью экспериментального подтверждения полученных моделированием результатов. На пустынных участках без растительного покрова повышение температуры воздуха конвективным выносом составляло в среднем 0.9К. Замеры, проведенные при прочих равных условиях (дата, время) на соседних участках с зарослями джузгуна *Callygonum* sp. с проективным покрытием 30%, показали, что ΔT=0.5К. Нелинейность зависимости ΔT от проективного покрытия можно объяснить транспирацией растений, увеличивающей влажность воздуха на 5%, что ослабляет конвективный вынос мелкодисперсных частиц с подстилающей поверхности.

В целом проведенное исследование показало значимость конвективного выноса аэрозоля с пустынных поверхностей как форсинга приповерхностной температуры воздуха в летние месяцы. Достаточно отметить, что вклад в произошедшее за последние 2 десятилетия в Южном Приаралье потепление летнего сезона на 2К оценивается как 10-30%. Обратная положительная связь, существующая между потеплением и рассматриваемым форсингом, лишь усиливает его. Необходимо отметить, что повышенная при дневной эмиссии концентрация аэрозоля сдерживает из-за поглощающих свойств почвенного аэрозоля ночное излучение, что усиливает отепляющий эффект.

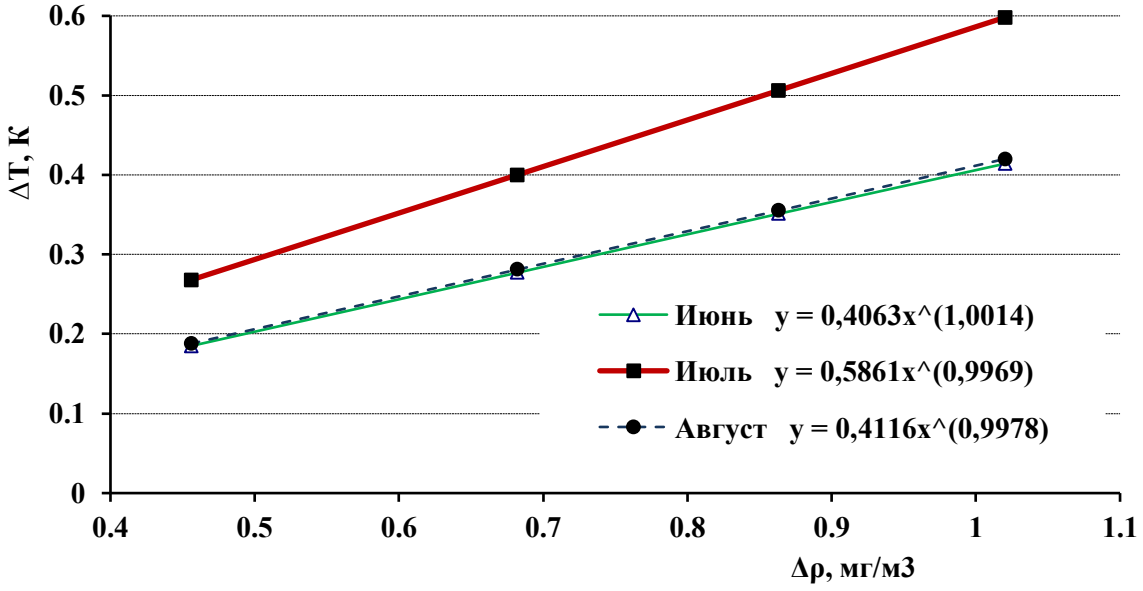


Рис. 3. Зависимость изменения ΔT от массовой концентрации полидисперсного аэрозоля и месяца летнего сезона года.

Значение форсинга летних температур воздуха при конвективном выносе аэрозоля возрастает ввиду прогрессирующего опустынивания во многих регионах земного шара (рис. 4).

На рисунке 4 цифры указывают мировые температурные аномалии в аридных зонах в привязке к базовым климатическим условиям 1979-2000 годов. Исходные данные получены из версии 5 реанализа Европейского центра (ERA 5; Метеофорум ..., 2020).

Простые расчеты в соответствии с разработанной моделью показывают, что увеличение пустынных площадей на 6500 тыс. км^2 (красный цвет на рисунке 4) приведёт к повышению средней глобальной температуры на 14%.

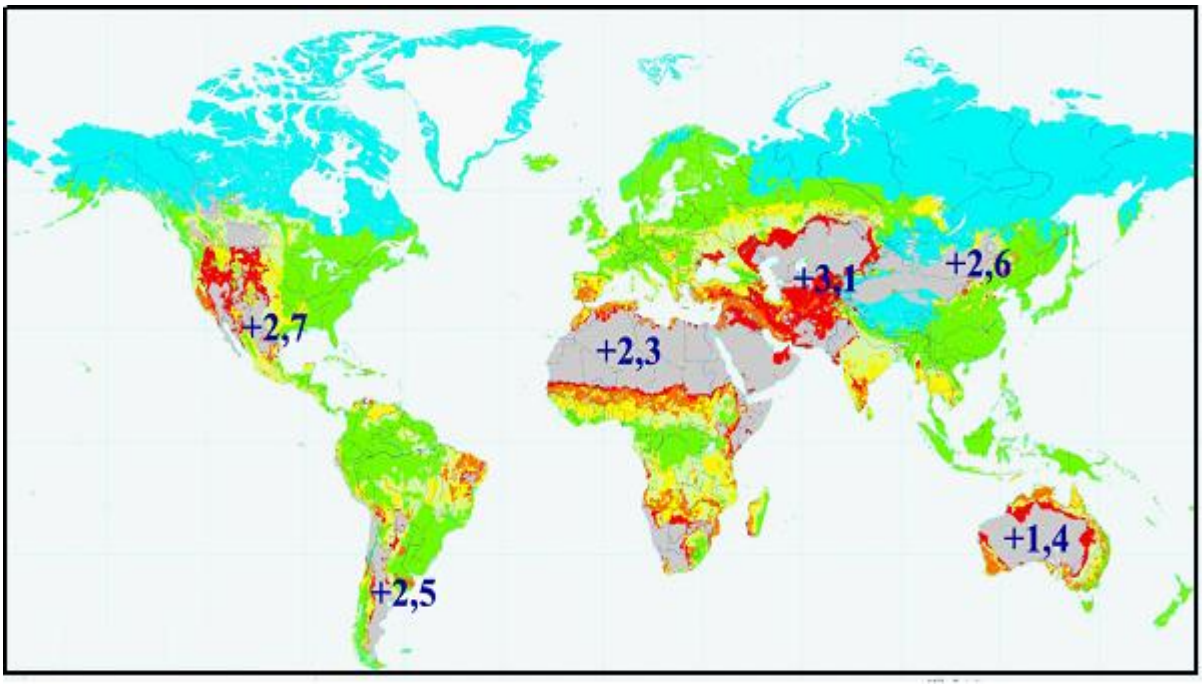


Рис. 4. Карта опустынивания Земли. *Условные обозначения:* светло-жёлтый цвет – низкая угроза опустынивания, жёлтый – умеренная угроза, красный – очень высокая угроза (Desertification, 2021).

Заключение

Существенность конвективного выноса субмикронного аэрозоля с пустынных поверхностей, установленная натурными наблюдениями в различных регионах (Калмыкия, Таджикистан, Казахстан), обусловливает его значимость как климатического фактора. Количественная оценка воздействия этого процесса на летнюю температуру воздуха в Южном Приаралье, полученная в данной работе, позволила выявить следующие его свойства.

1. Климатически значимый конвективный вынос аэрозоля с пустынных поверхностей происходит в летние месяцы в условиях, близких к штилевым, при температуре воздуха больше 37К и относительной влажности менее 30%.

2. Отепляющий эффект конвективного выноса аэрозоля линейно зависит от массовой концентрации и нелинейно – от размеров эмитирующих частиц. Для частиц радиусом более 1 мкм тепловой эффект не превышает 0.5К. При уменьшении радиуса частиц до 0.5 мкм ΔT возрастает до 2К, при дальнейшем уменьшении радиуса до 0.2 мкм тепловой эффект возрастает до 8К.

3. Растительный покров значительно снижает отепляющий эффект конвективного выноса аэрозоля в нелинейной зависимости от проективного покрытия и коэффициента транспирации.

Поскольку в модельной постановке задачи отсутствуют локальные физико-географические особенности Южного Приаралья, результаты исследования приложимы к другим пустынным регионам при наличии периодов с указанными выше метеорологическими ситуациями.

Ввиду актуальности синергетически связанных процессов опустынивания и потепления климата необходимы дальнейшие исследования отепляющего эффекта конвективного выноса аэрозоля с пустынных поверхностей с учетом скорости конвекции, турбулентной диффузии, нелинейных эффектов, вертикальных градиентов и теплообмена пустынных участков с соседними качественно отличающимися ландшафтами и особенно с учетом влияния растительного покрова. Исследование влияния растений на метеорологические характеристики окружающей среды, как мы думаем, обязательны при разработке мер по ослаблению последствий климатических изменений, наблюдаемых в настоящее время повсеместно на нашей планете.

Благодарности. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н. Б.Ф. Абдурахимову, профессору кафедры прикладной математики и компьютерного анализа Национального университета Узбекистана за гипотезу, высказанную в приватной беседе о возможности климатического форсинга температуры воздуха конвективной эмиссией частиц нагретой подстилающей поверхности.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы госзадания «Исследование методами математического моделирования динамики экологических и климатологических процессов в Южном Приаралье».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Alfaro S.C., Gomes L. 2001. Modeling mineral aerosol production by wind erosion: emission intensities and aerosol size distributions in source areas // Journal of Geophysical Research. Vol. 106. No. 16. P. 18075-18089.

Cox P.M., Harris P.P., Huntingford C., Betts R.A., Collins M., Jones C.D., Jupp T.E., Marengo J.A., Nobrel C.A. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution // Nature. No. 453. P. 212-215.

Fairhead J., Leach M. 1998. Reconsidering the extent of deforestation in twentieth century West Africa. // Unasylva. Vol. 49. No. 192. P. 38-46.

Fearnside P.M., Laurance W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions // Ecological Applications. Vol. 14. No. 4. P. 982-986.

Geist H.J., Lambin E.F. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation // BioScience. Vol. 52. No. 2. P. 143-150.

Loyalka S.K., Sielvert C.E., Thomas I.R. 1978. Temperature – jump problem with arbitrary accommodation // Physical Fluids. P. 854-855.

Shao Y., Raupach M.R., Findlater P.A. 1993. The effect of saltation and bombardment on the entrainment of dust by wind // Journal of Geophysical Research. Vol. 98. P. 12719-12726.

Варгафтик Н.Б. 1972. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука. 720 с.

Гледзер Е.Б., Гранберг И.Г., Чхетиани О.Г. 2009. Конвективные потоки аэрозоля вблизи поверхности почвы // Доклады РАН. Т. 426. № 3. С. 380-385.

Гранберг И.Г. 2009. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения атмосферного

пограничного слоя над неоднородными поверхностями. Автореф. док. физ.-мат. наук. М. 54 с.
Кондратьев К.Я. 1991. Аэрозоль и климат. Ленинград: Гидрометиоиздат. 545 с.
Кондратьев К.Я. 1992. Глобальный климат. СПб.: Наука. 356 с.
Латышев А.В., Юшканов А.А. 1992. Аналитическое решение модельного БГК-уравнения Больцмана в задаче о температурном скачке с учетом аккомодации энергии // Математическое моделирование. С. 61-66.
Семенов О.Е., Шапов А.П., Галаева О.С., Идрисова В.П. 2006. Ветровой вынос и песчано-солевые выпадения с осушенной части дна Аральского моря // Аридные экосистемы. Т. 12. № 29. С. 47-57.
Спекторман Т.Ю., Петрова Е.В. 2007. Использование климатических индексов для оценки воздействий изменения климата на здоровье населения в Узбекистане // Последствия изменения климата в Узбекистане, вопросы адаптации, бюллетень. № 7. С. 37-46.
Субботина О.И., Чанышева С.Г. 2006. Климат Приаралья. Ташкент. 171 с.
Тлеумуратова Б.С. 2018. Математическое моделирование влияния трансформаций экосистемы Южного Приаралья на почвенно-климатические условия. Дисс. … док. физ.-мат. наук. Ташкент. 224 с.
Харлоу Ф.Х. 1967. Численный метод частиц в ячейках для задач гидродинамики // Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир. С. 460.
Шукуров К.А. 2003. Флуктуации концентрации и потоки аэрозоля в конвективных условиях. Автореф. … канд. физ.-мат. наук. М. 19 с.
Щукин Е.Р., Малай Н.В., Шулиманова З.Л. 2012. Молекулярный теплообмен с газообразной средой сильно нагретой неподвижной твердой умеренно крупной сферической частицы // Научные ведомости БелГУ. Т. 23 (142). Вып. 29. С. 86-92.
Яламов Ю.И., Поддоскин А.Б., Юшканов А.А. 1980. О граничных условиях при обтекании неоднородно нагретым газом сферической поверхности малой кривизны // ДАН СССР. № 254. С. 343-346.
Метеофорум: форум о погоде и климате. 2020 [Электронный ресурс http://www.pogodaiklimat.ru/mf/index.php?topic=1163.220 (дата обращения 07.07.2021)].
Desertification. 2021 [Электронный ресурс https://everipedia.org/wiki/lang_en/Desertification (дата обращения 07.07.2021)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 20-27

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.434.52:504.123(470.4)

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ДЕГРАДАЦИЮ ПОЧВ В АРИДНЫХ ЗОНАХ ПОВОЛЖЬЯ

© 2022 г. Д.И. Губарев, Н.Г. Левицкая, С.С. Деревягин

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока
Россия, 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7. E-mail: deneg2@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.07.2021. После доработки 14.10.2021. Принята к публикации 15.10.2021

Целью исследований было установить влияние изменения климата на процессы деградации почв и опустынивания земель в аридных регионах Поволжья. Материалом для исследований послужили данные наблюдений за 1971-2020 гг. по 20 метеорологическим станциям, а также результаты почвенно-экологического и гидрогеологического мониторинга на исследовательских стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в преобладающих почвенно-климатических зонах на территории Саратовской области (лесостепь, степь, сухая степь и полупустыня). Выявлены признаки, сопутствующие аридизации, опустыниванию и деградации земель, дифференцировано по природным зонам. В частности, средняя годовая температура воздуха увеличилась по сравнению с климатической нормой на 1.0-1.2°С, наибольший рост наблюдался в августе – на 2.0-2.2°С. Средняя за теплый период температура поверхности почвы увеличилась на 1.1-1.5°С. Риски сильных атмосферных засух в течение всего вегетационного периода увеличились на всей территории, наиболее заметно – в полупустынной зоне (с 55% до 82%). Количество осадков в весенний период увеличилось на 10-25%, а в летний период сократилось на 23-30%. Границы полупустынной зоны сместились в северном и северо-западном направлении. Намечена тенденция изменения гидрологического режима зональных почв с непромывного на периодически промывной в 20-40% лет. Значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%. Это является показателем нарастания аридности климата при его современном потеплении. В результате в слое почвы 0-0.3 м выявлены высокие темпы дегумификации (снижение относительного содержания гумуса на 21-35%) и изменения структурного состояния пахотного слоя и гранулометрического состава (снижение водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8% и абсолютного содержания физической глины на 7.5%). При этом отмечается увеличение минерализации грунтовых вод с 2500 до 7000 мг/л, а также увеличение содержания в почвенном растворе токсичных солей. Так, содержание ионов Cl^-, SO_4^{2-} в местах подпитки грунтовыми водами увеличилось с 0.27 до 0.56 мг/экв. и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca^{2+} – с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg^{2+} – с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K^+ и Na^+ – с 0.09 до 0.28 мг/экв. В пониженных элементах рельефа отмечено развитие процессов локального засоления и заболачивания.

Ключевые слова: изменение климата, аридизация, засуха, деградация, засоление.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27

Климат всегда оказывал существенное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвержены воздействию климата такие погодозависимые отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство (Мельник и др., 2017; Zambon et al., 2018). Проблема адаптации человеческой деятельности к климатическим изменениям особенно актуальна для аридных регионов мира (Ковда, 2008; Мельник и др., 2017; Ташнинова, Ташнинов, 2016; Marthews et al., 2019). Изменения могут иметь отрицательные и положительные последствия с точки зрения результатов производства, и адаптироваться необходимо к обоим видам последствий (Мельник и др., 2017). Применительно к таким сельскохозяйственным регионам, как Поволжье, вышеописанные изменения связывают в большей степени с процессами деградации и опустынивания земель, приводящими к снижению их биологической продуктивности (Яшин и др., 2012; Rafferty, Pimm, 2020; Zolotokrylin et al., 2018).

При этом в большинстве исследований индикатором опустынивания является исключительно смена растительных сообществ на более ксерофитные и галофитные виды (Яшин и др., 2012; Пугачева, 2020), в т.ч. в связи с изменением гидрохимического состава грунтовых вод (Яшин и др., 2019). При этом вопросы изменения почвенных процессов остаются малоизученными. Выявление связи климатических факторов с процессами глубинного преобразования почвенного профиля с учетом региональных особенностей необходимо для прогнозирования дальнейшего вектора данных процессов и научно обоснованного управления развитием аридных территорий (Мельник и др., 2017; Zambon et al., 2018).

Таким образом, целью исследований было установить влияние изменения климата на процессы деградации почв и опустынивания земель в аридных зонах Поволжья.

Материалы и методы

В ходе исследований проанализированы данные наблюдений метеорологической службы (ФГБУ «Приволжское УГМС») за 1971-2020 гг. по метеорологическим станциям, расположенным в различных почвенно-климатических зонах в пределах Саратовской области: 1) лесостепная зона, чернозем обыкновенный (метеостанция Росташи, Аркадакский район, п. Росташи); 2) засушливая черноземная степь, чернозем южный (метеостанция Саратов ЮВ, г. Саратов); 3) сухая степь, тёмно-каштановые почвы (метеостанция Ершов, г. Ершов); 4) полупустыня, каштановые почвы (метеостанция Новоузенск, г. Новоузенск; рис. 1).

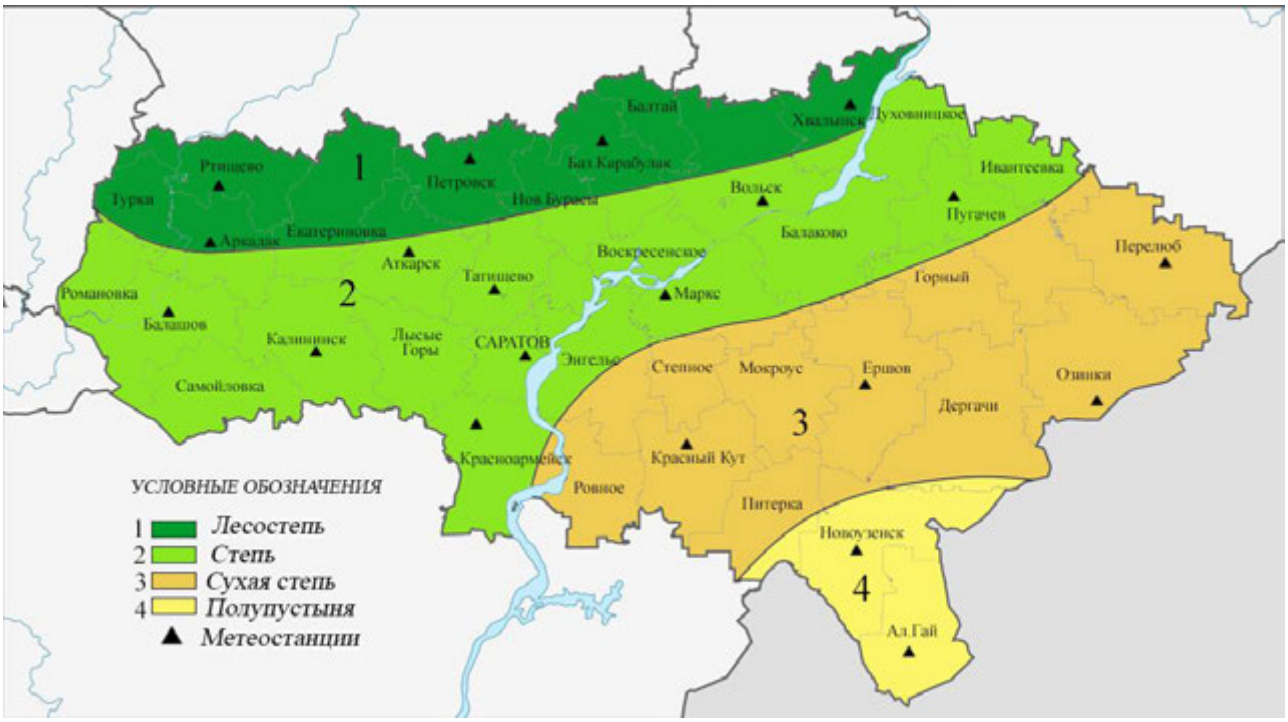


Рис. 1. Карта природных зон Саратовской области.

На основе средних многолетних данных за этот период были рассчитаны индексы аридности по 20 метеостанциям Саратовской области и уточнены границы аридных зон. Расчет индексов аридности (I_A) проводился по формуле В.С. Мезенцева, выражающей соотношение годовых сумм осадков и испаряемости, определяемой по сумме среднемесячных положительных температур воздуха за теплый период. Формула имеет следующий вид: $I_A = \sum P / (5.88\sum t_{IV\text{-}X} + 260)$, где $\sum P$ – годовая сумма осадков, $\sum t_{IV\text{-}X}$ – сумма среднемесячных температур воздуха за апрель-октябрь. Далее по работе Б.В. Виноградова с соавторами (1995) вычислялся нормализованный индекс аридности ($NIA = 1 - I_A$), и на основе разработанных авторами критериев NIA на территории Саратовской области были выделены следующие зоны климатической аридности: слабо аридная зона с NIA от 0.36 до 0.47 (лесостепные и черноземностепные районы Правобережья), умеренно аридная

зона с NIA=0.55-0.58 (северные и центральные районы Левобережья), средне аридная зона с NIA=0.60-0.66 (южные и юго-восточные районы Левобережья).

Параллельно проанализированы данные мониторинга почвенных условий, полученные авторами на стационарных тестовых полигонах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», расположенных в тех же зонах. Отбор проб для определения агрофизических параметров и содержания гумуса в почве проводили каждые 5 лет на 4 ключевых участках с сопоставимыми условиями по каждому полигону на зернопаровом севообороте в трехкратной повторности. Контролем для изучения почвенных условий являлись данные НИИ ЮжГИПРОЗем (Материалы …, 1955-1994).

На следующем этапе исследований были выявлены тенденции изменения климата в период с 2001 по 2020 гг. В качестве контроля для характеристики современного климата по рекомендациям Всемирной метеорологической организации в качестве стандартного 30-летия использовали период с 1971 по 2000 гг. (Руководящие указания …, 2017).

Гранулометрический состав почвы определялся пирофосфатным методом по Н.А Качинскому. Наблюдения за процессами промерзания почвы и уровнем грунтовых вод проводились по стандартным методикам на стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Стационары включают сеть глубинных скважин, сельскохозяйственные угодья и участки с нетронутой растительностью. Химический анализ проб почвогрунтов и грунтовых вод проводился в химико-аналитической лаборатории ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Вычисления и визуализация данных произведены с помощью программы Microsoft Excel. Визуализация процесса заболачивания выполнена на базе космоснимков Google.Maps.

Результаты и обсуждение

Исследованиями установлено, что в Саратовской области за последние 20 лет средняя годовая температура воздуха увеличилась по сравнению с климатической нормой на 1.0-1.2°С. В начале периода интенсивного потепления (1981-2000 гг.) основной вклад в рост средней годовой температуры воздуха вносили зимние месяцы, а на современной волне потепления (2001-2020 гг.) наибольший рост средней месячной температуры воздуха наблюдается в августе – на 2.0-2.2°С. В остальные месяцы теплого периода рост средних месячных температур воздуха составил 0.9-1.3°С, в то время как прежде он не превышал 0.4-0.6°С, т.е. он увеличился в два раза. Средняя за теплый период температура поверхности почвы увеличилась на 1.1-1.5°С.

Наибольший рост температуры поверхности почвы отмечен в августе и составил 2.8-3.3°С. На фоне роста температуры воздуха и почвы в теплый период за 2001-2020 гг. испаряемость также увеличилась на 30-50 мм.

При неизменности годовой суммы осадков с 2001 по 2020 гг. относительно нормы стандартного 30-летия произошло их перераспределение по сезонам года с ростом их количества весной (на 10-25%) и повсеместным уменьшении количества летних осадков. Наибольшее снижение летних (на 30%) и зимних (на 10%) осадков отмечается в полупустынной зоне (табл. 1).

Таблица 1. Изменение сезонных и годовых сумм осадков по природным зонам за 2001-2020 гг. по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг., в %.

Природная зона	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Лесостепь	104	110	87	101	99
Засушливая черноземная степь	108	120	87	99	103
Сухая степь	107	125	88	98	101
Полупустыня	90	125	70	100	96

При сложившихся в регионе режимах выпадения осадков вероятность возникновения сильных атмосферных засух в течение всего периода с температурой воздуха выше 10°С наиболее существенно (с 55 до 82%) увеличилась в полупустынных районах.

В сухостепных районах повторяемость таких засух увеличилась с 41% до 50%, в черноземностепных – с 18% до 21%, а в лесостепных – с 11% до 14%. Наибольшие риски сильных атмосферных засух отмечаются в августе. При этом за 2001-2020 гг. их повторяемость в лесостепных районах увеличилась в 2.1 раза (с 27% до 56%), в черноземностепных – в 1.8 (с 33% до 61%),

в сухостепных – в 1.3 (с 60% до 78%), а в полупустынных – всего в 1.1 (с 83% до 94%). Рост повторяемости сильных засух с гидротермическим коэффициентом (ГТК) ≤0.5 свидетельствует о миграции границ полупустынной зоны в северном и северо-западном направлении более чем на 100 км на территорию сухостепной и степной природных зон (рис. 2).

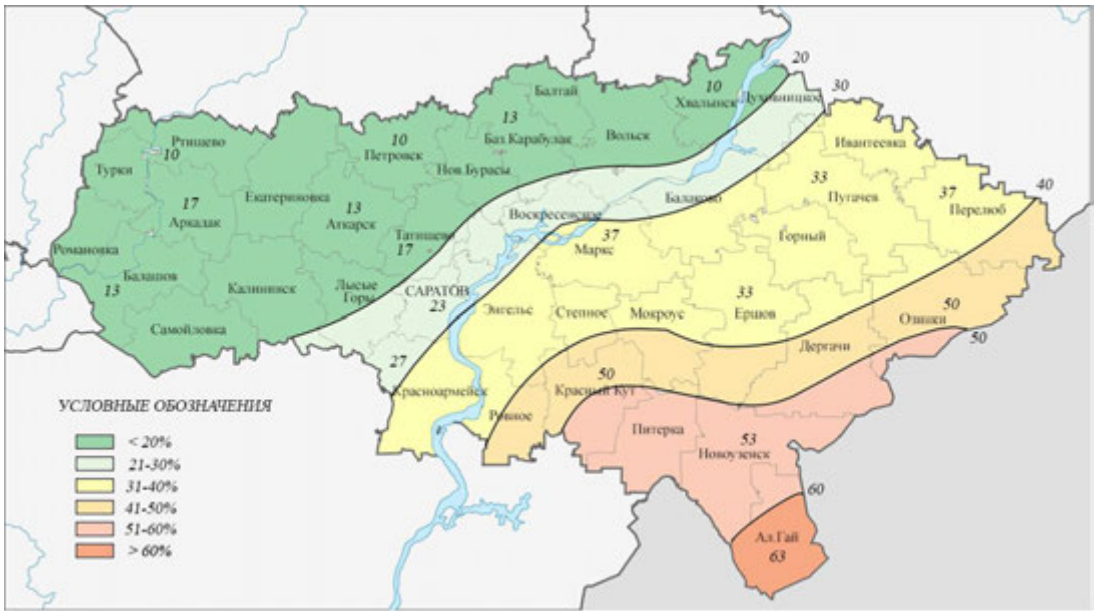


Рис. 2а. Карта повторяемости сильных засух с ГТК≤0.5 за период с 1971 по 2000 гг.

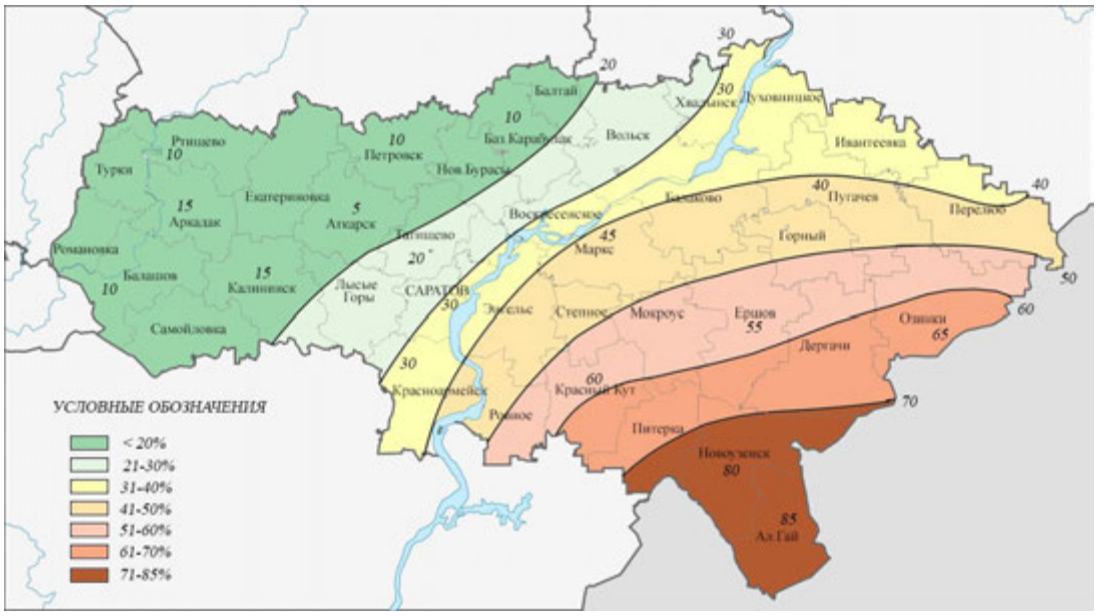


Рис. 2б. Карта повторяемости сильных засух с ГТК≤0.5 за период с 2001 по 2020 гг.

Расчеты индексов аридности показали, что в годы сильных засух полупустынные и южные сухостепные районы Левобережья с NIA=0.71-0.78 попадают в зону сильной климатической аридности. Зона умеренной климатической аридности (с NIA=0.50-0.59) занимает всю территорию Правобережья, а центральные и северные районы Левобережья (с NIA=0.60-0.68) оказываются в зоне средней климатической аридности. В целом значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%, что является показателем нарастания аридности климата при его современном потеплении.

Потепление климата сопровождается увеличением экстремальности выпадающих осадков. За летний период доля ливневых дождей со слоем осадков ≥10 мм увеличилось по сравнению с климатической нормой в 1.5 раза и составляет в среднем 35-40%. Активность ливневой эрозии на черноземах Поволжья в последний 30-летний период увеличилась в среднем в 4.5 раза. Особенно заметные потери мелкозема отмечаются на паровых полях. Средние потери почвы от ливневых осадков за период с 1972 по 2002 гг. на паровых полях составляли от 12 до 15 т/га, тогда как после 2003 года этот показатель превысил 24 т/га (Медведев и др., 2016).

Деградация почв связана не только с эрозионными процессами, но и с дегумификацией, и отмечается во всех агроландшафтах Поволжья, а также в большинстве районов Ростовской области (Пронько и др., 2018; Чернова и др., 2020). Более высокие темпы дегумификации наблюдаются в степной, сухостепной и полупустынной зонах. Анализ усредненных данных с тестовых полигонов показывает, что в пахотном слое в среднем за 60 лет содержание гумуса в зональных почвах сельскохозяйственного использования уменьшилось на 29.2% относительно показателей 1960 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Динамика содержания гумуса в основных типах и подтипах почв Саратовской области по данным НИИ Южгипрозем и проводимым мониторинговым исследованиям.

Природная зона (типы и подтипы почв)	Изменение содержания гумуса, %							Потери гумуса за 60 лет, %
	1960 гг.	1970 гг.	1980 гг.	1990 гг.	2000 гг.	2010 гг.	2020 гг.	
Лесостепь (чернозем обыкновенный)	6.43	-0.3	-0.43	-0.43	-0.12	-0.04	-0.05	1.37
Засушливая черноземная степь (чернозем южный)	5.34	-0.44	-0.73	-0.21	-0.16	-0.13	-0.22	1.89
Сухая степь (тёмно-каштановые)	3.83	-0.37	-0.31	-0.08	-0.13	-0.21	-0.18	1.28
Полупустыня (каштановые)	2.6	-0.04	-0.05	-0.36	-0.13	-0.12	-0.09	0.79

Интенсивное использование пашни на стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» привело к переходу почв по гранулометрическому составу из легкоглинистых в тяжелосуглинистые разновидности. За 35 лет использования пашни количество физической глины (частицы ≤0.01 мм), содержащей наибольшее количество органического вещества, в слое почвы 0-30 см снизилось на 7.5% (с 54% до 46%). Также произошло снижение суммы водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8%. Уменьшение содержания гумуса, негативное изменение гранулометрического состава, структурного состояния пахотного слоя чернозема южного можно рассматривать как основные индикаторы их агрофизической деградации.

Наибольшие темпы дегумификации отмечались в период с 1970 по 2000 гг. в лесостепной и засушливой степной зонах с более выраженным рельефом, что, вероятно, связано с эрозионными процессами при снеготаянии.

За период с 1971 по 2000 гг. в регионе наблюдалось 10 экстремально теплых зим, когда аномалия средней температуры зимнего сезона превысила 3.5°С. Повторяемость явления составила 33%, а в период с 2001 по 2020 гг. повторяемость экстремально теплых зим увеличилась до 40%. Самая тёплая зима за весь период инструментальных наблюдений отмечалась в 2019-2020 гг., когда средняя за зиму температура воздуха превысила климатическую норму на 8.4°С. Последняя экстремально холодная зима наблюдалась лишь в 1969 г.

Нарастание температуры приземного слоя воздуха привело к росту количества экстремально теплых зим и снижению глубины промерзания почвы. Максимальное значение промерзания почвы за зиму так же, как и на начало снеготаяния, снизилось за последние 20 лет на 25-28 см относительно стандартного 30-летия и составило 57 и 41 см соответственно. В 2002, 2008, 2016, 2019, 2020 годах на

начало снеготаяния отмечались локальные участки не промерзшей почвы.

Данное явление привело к частичной смене водного режима. В лесостепной и черноземно-степной зонах промывной режим почвы формируется в 20-40% лет. При ослаблении промерзания в период интенсивного снеготаяния и прекращении стока талых вод большая часть талых вод, имеющих также сложный химический состав, проникает вглубь почвенного профиля, вызывая выщелачивание почв, изменение уровня грунтовых вод (УГВ) и их минерализацию (рис. 3).

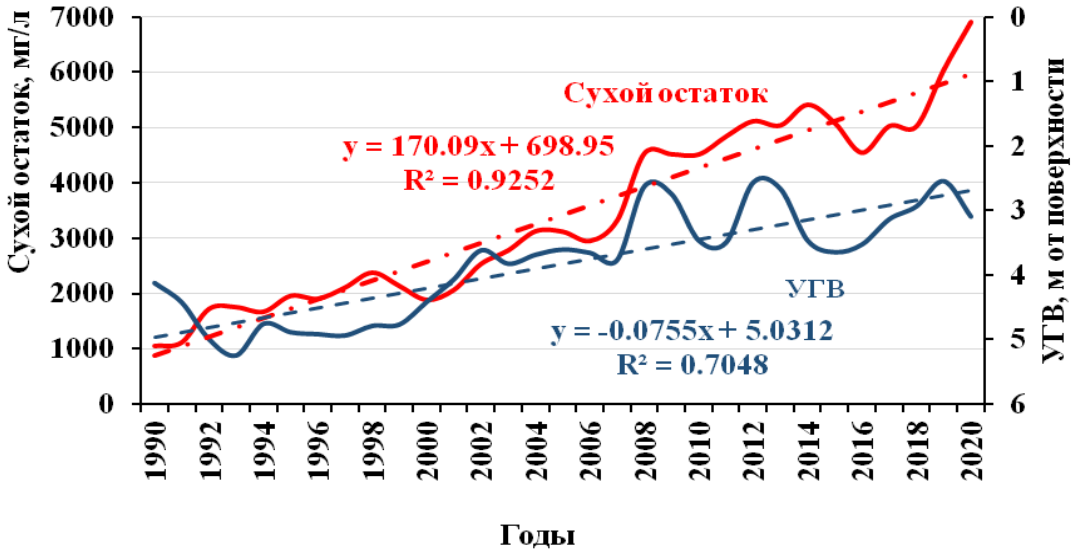


Рис. 3. Изменение УГВ и их минерализации с 1990 по 2020 гг.

Коэффициент корреляции между этими двумя показателями составляет -0.83. Снижение промерзания почвы приводит к преобладанию вертикального водообмена грунтовых вод. При значительном увлажнении почвенного покрова в весенний и осенний периоды происходит объединение поверхностных атмосферных вод с высокоминерализованными грунтовыми. В теплый период года, когда испарение преобладает над инфильтрацией, происходит переотложение легкорастворимых солей в зоне аэрации, что в последующем вызывает сезонное засоление почв. По содержанию основных катионов и анионов эти почвы превосходят почвы, не подвергающиеся сезонному переувлажнению (водораздельные участки или близкие к ним). Так, по содержанию Cl^- и SO_4^{2-} их значения в местах подпитки грунтовыми водами выросли относительно более возвышенных участков с 0.27 до 0.56 и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca^{2+} – с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg^{2+} – с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K^+ и Na^+ – с 0.09 до 0.28 мг/экв. В период с превалированием влаги выпадающих осадков над испарением происходит растворение накопленных солей и их перенос в грунтовые воды, отчего повышается их минерализация. Подобная закономерность отмечается также на юге Ростовской области (Никаноров и др., 2018).

Увеличение минерализации с 1000 до 7000 мг/л делает грунтовые воды непригодными к хозяйственному использованию, может существенно повлиять на почвообразование и биологические процессы в зоне их влияния, отрицательно сказывается на растительном покрове и его продуктивности (Ковда, 2008). Поиск вероятных причин данного явления требует дальнейшего изучения. Одной из таких причин может быть изменение гидрологического режима почв.

В отрицательных формах рельефа подъем УГВ приводит к появлению гидроморфных и полугидроморфных условий. В дальнейшем это создает большие проблемы при обработке участков, а также вызывает их зарастание галофитной и гидрофитной растительностью (рис. 4).

Выводы

1. Риски сильных атмосферных засух в течение всего вегетационного периода увеличились на всей территории, наиболее заметно – в полупустынной зоне (с 55% до 82%). Количество осадков в

весенний период увеличилось на 10-25%, а в летний период сократилось на 23-30%. Границы полупустынной зоны сместились в северном и северо-западном направлении более чем на 100 км. Гидрологический режим почв изменился с непромывного на периодически промывной в 20-40% лет.

2005 г. 2012 г. 2019 г.

Рис. 4. Деградация почвенного покрова в отрицательных формах рельефа.

2. Значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%, что является показателем нарастания аридности климата при современном его потеплении.

3. Климатические изменения привели к высоким темпам дегумификации (снижение относительного содержания гумуса на 21-35%) и изменению структурного состояния пахотного слоя и гранулометрического состава (снижение водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8% и абсолютного содержания физической глины на 7.5%) в слое почвы 0-0.3 м.

4. Отмечено увеличение минерализации грунтовых вод с 1000 до 7000 мг/л, что делает их непригодными для хозяйственного использования. Поиск вероятных причин данного явления требует дальнейшего изучения. Одной из таких причин может быть изменение гидрологического режима почв.

5. В пониженных элементах рельефа отмечено развитие процессов локального засоления и заболачивания, в т.ч. увеличение содержания в почвенном растворе ионов Cl^- и SO_4^{2-} в местах подпитки грунтовыми водами с 0.27 до 0.56 мг/экв. и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca^{2+} – с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg^{2+} – с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K^+ и Na^+ – с 0.09 до 0.28 мг/экв.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках темы Государственного задания № 0751-2019-0008 «Разработать теоретические основы структурирования агроландшафтов, адаптации их к климатическим и геоморфометрическим особенностям территории с целью сохранения и оптимизации использования земельных ресурсов для получения экономически обоснованного уровня качественной сельскохозяйственной продукции».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Виноградов Б.В., Сорокин А.Д., Федотов П.Б. 1995. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии // Биота и природная среда Калмыкии / Ред. И.С. Зонн, В.М. Неронов. М.: ТОО «Коркис». С. 253-258.

Ковда В.А. 2008. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука. 415 с.

Материалы крупномасштабного почвенного обследования Саратовского, Аркадакского, Ершовского и Новоузенского районов Саратовской области. 1955-1994. Саратов: НИИ ЮЖГИПРОЗем. 440 с.

Медведев И.Ф., Левицкая Н.Г., Макаров В.З. 2016. Результаты мониторинга эрозионных процессов на черноземах Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. Т. 16. № 3. С. 142-146.

Мельник В., Яцухно В., Денисов Н., Николаева Л., Фалолеева М. 2017. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата. Минск-Женева. 84 с. [Электронный ресурс https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf (дата обращения 18.05. 2021)].

Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н., Зубков Е.А., Барцев О.Б., Минина Л.И. 2018. Гидрохимический режим и качество грунтовых вод застроенных территорий на Юге Ростовской области // Водные ресурсы. Т. 45.

№ 2. С. 171-178.

Пронько В.В., Журавлев Д.Ю., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф. 2018. Деградация черноземных почв в агроландшафтах степного Поволжья // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография в 5 томах / Ред. В.Г. Сычев, Л. Мюллер. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. С. 298-302.

Пугачева А.М. 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутации // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22. [*Pugacheva A.M.* 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]

Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. 2017. Женева: ВМО. № 1203. 32 с.

Ташнинова Л.Н., Ташнинов А.А. 2016. Почвы аридных зон Калмыкии в новой классификации // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 67. С. 70-73.

Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., Литвинов Ю.А. 2020. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. Т. 15. № 4 (57). С. 99-113.

Яшин И.М., Васенев И.И., Ворников Д.В., Петухова А.А. 2012. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. № 1. С. 41-52.

Яшин И.М., Васенев И.И., Рамазанов С.Р. 2019. Экогеохимическая оценка водной миграции веществ в черноземах Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. № 5. С. 20-33.

Marthews T.R., Dadson S.J., Jones R.G., Otto F.E.L., Allen M.R., Mitchell D., Guillod B.P. 2019. The Impact of Human-Induced Climate Change on Regional Drought in the Horn of Africa // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Vol. 124. No. 8. P. 4549-4566.

Rafferty J.P., Pimm S.L. 2020. Desertification. Encyclopedia Britannica [Электронный ресурс https://www.britannica.com/science/desertification (дата обращения 07.06.2021)].

Zambon L., Ferrara A., Salvia R., Mosconi E.M., Fici L., Turco R., Salvati L. 2018. Rural Districts Between Urbanization and Land Abandonment: Undermining Long-Term Changes in Mediterranean Landscapes // Sustainability. No. 10. P. 1159.

Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. 2018. Bioclimatic Subhumid Zone of Russian Plains: Droughts, Desertification, and Land Degradation // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 7-12. [*Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б.* 2018. Биоклиматическая субгумидная зона на равнинах России: засухи, опустынивание и (или) деградация // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 11-17.]

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 28-41

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 633.2.033; 633.2.032; 633.2.038

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ИСТОЧНИКАХ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО ИРАНА ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ САЖЕНЦЕВ

© 2022 г. М. Динарванд, С.А. Арами, С.А.М. Сараб

Научно-образовательный центр сельскохозяйственных и природных ресурсов Хузестана
Организации по обучению и повышению квалификации в области сельскохозяйственных исследований
Иран, 6136833541, г. Ахваз
E-mail: m.dinarvand@areeo.ac.ir, arami1854@gmail.com, sajadali9@yahoo.com

Поступила в редакцию 03.09.2021. После доработки 14.10.2021. Принята к публикации 15.10.2021.

Эффективное использование осадков и запасов воды является основополагающим для восстановления и улучшения пастбищ в засушливых районах. В данном исследовании мы оценили изменения, происходящие в естественном растительном покрове 3 регионов (очагов пылеобразования) на юге и юго-востоке г. Ахваза при использовании различных систем орошения и при разных режимах выпадения осадков в районах, где выращивают саженцы. Мы проложили в этих регионах пять 100-метровых трансект на расстоянии 50 метров друг от друга. Вдоль них мы выбрали 180 ключевых участков. Во время двух вегетационных сезонов (весной и осенью) с 2018 по 2020 гг. мы наблюдали за тем, как на них развиваются местные виды растений. Мы рассчитывали индексы Симпсона и Шеннона, а также доминирующего разнообразия с помощью программного обеспечения PAST. Результаты показали, что с 2018 по 2020 гг. различные методы орошения наряду с осадками вызвали значительные положительные изменения в растительном покрове изучаемой территории, в количестве произрастающих на ней видов и их разнообразии. Результаты также показали большую разницу между средним индексом доминирования, индексами Симпсона и Шеннона и растительным покровом, а также между количеством видов в разные годы. Наше исследование позволило выяснить, что из-за нехватки воды для поверхностного орошения создание с помощью экскаватора контурных борозд и оросительных ям является лучшим и наиболее экономичным способом для восстановления местных видов. Помимо создания колодца для поливной воды этот метод обеспечивает лучшее орошение в сезон дождей, а также подходящий субстрат для роста и всхожести семян местных растений.

Ключевые слова: провинция Хузестан, бороздование, индекс Шеннона, индекс Симпсона, видовое разнообразие.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-28-41

Создание растительного покрова является важным фактором для снижения почвенной эрозии от воды и ветра (Guiterrez, Hernandez, 1996; De Baets et al., 2009; Fehmi et al., 2008), улучшения общественного мнения о территории путем снижения визуальных воздействий, которым она подвержена (Hands, Brown, 2002; Svobodova et al., 2012), а также открывает возможности для эффективного повторного использования территории с целью создания среды для обитания диких животных или для выпаса домашнего скота (Steinke, Majak, 2010). Стабильность экосистемы зависит от характеристик биоразнообразия (Yadav, Mishra, 2013). Помимо того, что биоразнообразие − самодостаточно само по себе, оно также повышает устойчивость растительных сообществ к различным факторам беспокойства (Quijas et al., 2010). Растения играют ключевую роль в стабильности природных экосистем (Zuazo, Pleguezuelo, 2008). Будучи одним из основных концептов в управлении природными ресурсами, разнообразие необходимо для обеспечения жизнеспособности и продуктивности экосистем (Mesdaghi, 2005).

Оценивая текущее состояние растительности, можно предложить соответствующие рекомендации для сохранения и улучшения естественных местообитаний путем непрерывного изучения показателей биоразнообразия за разные периоды (Dinarvand et al., 2016). Эксперименты в области биоразнообразия дали надежные результаты, которые подтвердили гипотезу о том, что экосистемы с большим количеством видов функционируют гораздо лучше (Turnbull et al., 2016). Высокое видовое богатство влияет на производительность экосистемы следующим образом: 1) улучшает видовое разнообразие (Loreau et al., 2001) и, следовательно, повышает шанс на выживание вида в результате естественного отбора (Hector et al., 2010); 2) предотвращает нежелательное воздействие изменений окружающей среды (Naeem et al., 2012); 3) содействует появлению других растительных сообществ (Bruno et al., 2003). Помимо воздействия на непосредственно функционирование экосистемы, видовое разнообразие мешает эрозии почвы, т.к. влияет на объем содержащихся в ней корней и сухую массу (Ford et al., 2016; Isbell et al., 2011). Растительный покров и разнообразие напрямую оказывают эффект на гидрологию почвы тем, что создают естественный барьер, увеличивая просачивание и улучшая испарение влаги в атмосферу (Capilleri et al., 2016). Вместе с корневой системой, корневищами и подземными побегами растительный покров физически предотвращает ветровую и водную эрозию (Gyssels et al., 2005).

Площадь равнины Хузестан в Иране составляет 737790 га и считается источником пылеобразования (Abbasi, 2021). Этот район можно условно разделить на 7 областей, лежащих на юго-западе от г. Ховейзе, к северу и востоку от г. Хорремшехра, к востоку от г. Ахваза, к югу и юго-востоку от г. Ахваза, от г. Бендар-Хомейни до г. Омидийе, от г. Бендер-Махшехра до г. Хендижана, а также Восточный Хендижан (Heidarian et al., 2018). В очагах пылеобразования в провинции Хузестан видовое богатство меньшее, чем в ее северных и восточных регионах (включая предгорья и горы). Это можно объяснить тем, что большинство очагов расположено на равнинах с мелкими и однородными отложениями, без какой-либо изрезанности (Heidarian et al., 2018). Однако эти районы включают в себя множество микросред обитания. Изменения в химических свойствах почвы, доступность источников воды, осадки и серьезное вмешательство человека привели к появлению разнообразных видов в разных частях равнины (Dinarvand et al., 2018). Пустынные растения приспосабливаются к окружающим условиям, используя разные стратегии. Микросреда обитания и разнообразие почвенных характеристик вызывают структурные различия в составе растительности на территориях с одинаковым климатом (Tao et al., 2013).

В целом, из-за недостатка влаги, из-за высоких температур, сильных ветров, почвенной эрозии и деградации земель в результате деятельности человека условия засушливых и пустынных районов сложны для развития растений, поэтому выжить в них может лишь ограниченное количество видов. Типичные для таких территорий растения ценны из-за своей способности адаптироваться к суровой окружающей среде, а потому их определение является крайне важной задачей. Чтобы выяснить, какое влияние высаженные виды и методы орошения оказывают на природную среду, и принять надлежащие меры, необходимо сначала изучить изменения, происходящие в местной растительности на протяжении года. Из-за ограниченного водоснабжения и оборудования, схемы посадок (с учетом накопления воды и проведения орошения) и их плотность могут изменяться в зависимости от обстоятельств. Плотность и расположение посевов (в бороздах, посадочных ямах и т.д.) могут влиять на конкуренцию растений за воду, питательные вещества и свет, а также на видовое богатство и присутствие эндемиков в сообществе. Использование наиболее подходящих методов для хранения воды и орошения не только приведет к стабильности развития большинства выращиваемых видов, но также обеспечит восстановление природного покрова пастбищ и поможет в борьбе с опустыниванием. Восстановление покрова и создание возможностей для восстановления эндемиков на пастбищных угодьях являются основными целями проектов, которые занимаются управлением природными ресурсами. Если по какой-либо причине в краткосрочной или долгосрочной перспективе растительный покров удаляется или деградирует, местные виды будут процветать и обогащать семенной фонд, улучшая состояние почвы. Таким образом, логично утверждать, что время и бюджет, вложенные в программы и проекты по восстановлению, не будут потрачены бесплодно даже в подобных обстоятельствах, а конечная цель, которая состоит в том, чтобы создать возможности для привнесения в сообщества местных видов и улучшить состояние региона, будет выполнена.

Наше исследование направлено на изучение того, как культивируемые виды влияют на видовое богатство и разнообразие местного растительного покрова, а также на определение и внедрение соответствующего метода орошения для восстановления естественного растительного покрова.

Материалы и методы

Территория исследований. Провинция Хузестан занимает 64236 км^2 и находится на юго-западе Ирана и границе Ирака. Она расположена между 29° 58′ и 32° 04′ с.ш. от экватора и между 47° 41′ и 50° 49′ в.д. от Гринвичского меридиана (Heidarian et al., 2018). Через Хузестан протекают крупные реки, такие как Карун, Керхе, Дез, Зохре и Джарахи; высоты колеблются от 0 до 3500 м н.у.м. на горе Сейфд-Кох (Masoudi, Elhaeesahar, 2016). Около 9% (349254 га) равнин Хузестана являются источником пыли (Heidarian et al., 2018, Azhdari et al., 2015). Основной пылевой очаг расположен в 25 км на юго-востоке от г. Ахваза, вдоль шоссе Ахваз-Махшехр, между 48° 47′ и 49° 17′ в.д., 30° 45′ и 31° 15′ с.ш. С севера эта область ограничена аэропортом, на востоке находится г. Гассаний, на юге − болота Шадегана, а на западе − ручей Мале (рис. 1). Всего в этом районе мы определили 39 растений (Dinarvand et al., 2018). На основе модифицированного метода климатической классификации де Мартона эту провинцию можно разделить на 3 климатических типа: жаркий полуаридный, жаркий аридный и жаркий сверхаридный (Dinarvand, Jamzad, 2020). Более половины площади провинции, а также все пылевые очаги (особенно № 4) подпадают под категорию жаркого сверхаридный климата. Для оценки изменений растительности мы выбрали 3 очага пылеобразования на юге и юго-востоке Ахваза, где использовались 3 различных метода посадки растений. Очаги расположены недалеко от канала Кут-Амир вдоль дороги Ахваз-Абадан (посадка в борозды с поверхностным орошением), рядом с д. Хонайте (посадка сеялкой, орошение проводится вручную из цистерн) и вдоль шоссе Ахваз-Махшехр (посадка в вырытых экскаватором ямах, орошаемых вручную из цистерн). На всех трех территориях орошение проводилось дважды в месяц.

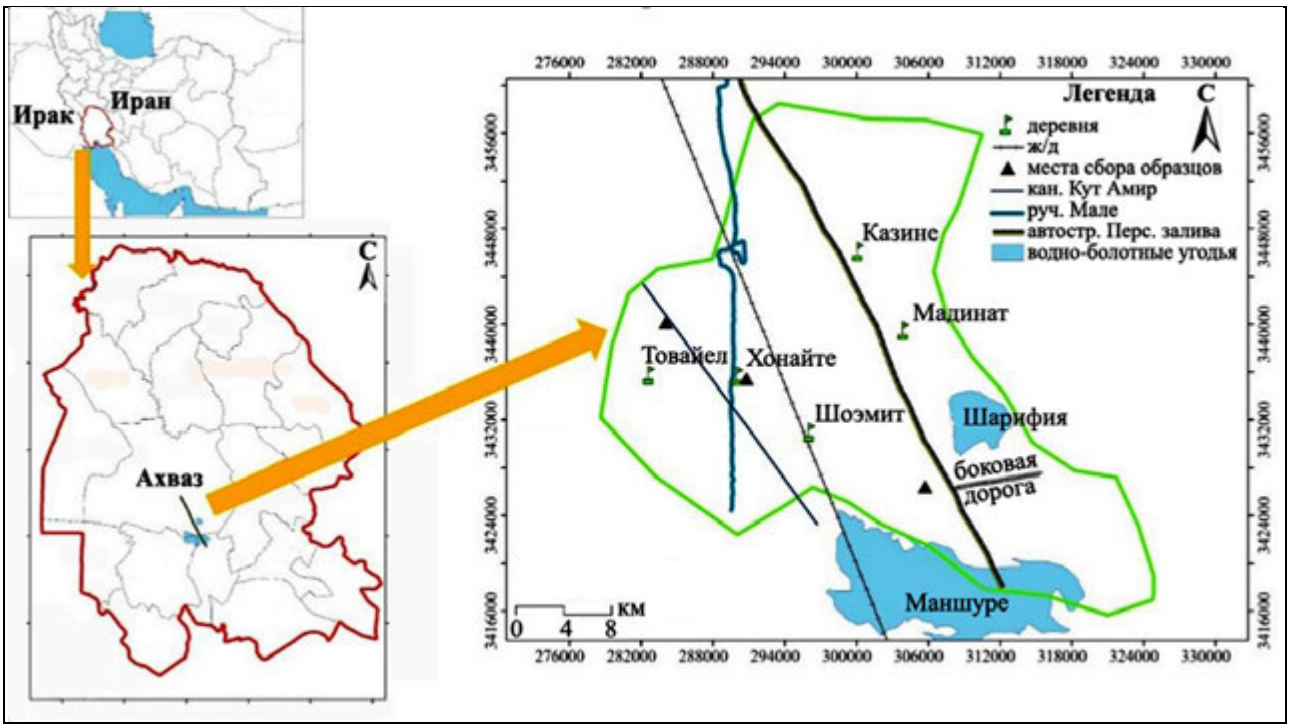


Рис. 1. Местоположение выбранных участков пылевых очагов на юге г. Ахваза.

Климат. По климатическим данным за 24 года (1996-2020 гг.), полученным со станции Ахваз, была составлена омбротермическая диаграмма (рис. 2). Средняя температура в районе исследования составила от 26.2 до 26.9°С. Средняя максимальная колебалась от 33°С на востоке до 33.4°С на западе. Средняя минимальная составила 19.2°С на западе и 19.5°С на востоке. Количество осадков

уменьшалось с максимальных 213 мм на западе до минимальных 166 мм на юге. Осенью 2018 и весной 2019 гг. обильное количество выпавших осадков привело к сезонным наводнениям (табл. 1).

Согласно Мировой системе биоклиматической классификации Р. Мартинеса (Global Bioclimatic Classification System), климат провинции является «тропическим пустынным» и «тропическим ксерическим» на юге, «средиземноморским пустынным континентальным» на севере (Djamali et al., 2012).

Сбор образцов. Во время полевых исследований на каждой выбранной площадке были случайным образом проложены 5 трансект длиной 100 м, каждая из которых находилась на расстоянии 50 м от последующей. Из-за однородности видов растений и при отсутствии заметных топографических изменений мы создали 30 ключевых участков размером 1 м^2 на линиях посадки и 30 между линиями (всего 180). Минимальный размер участка определяли на основе кривых «вид-площадь», построенных для каждого образца (Kent, 2012; Asri, 1995). Для оценки покрытия растительного покрова в процентах мы использовали метод Брауна-Бланке (Van Der Maarel, 2005). Характеристики участков были записаны для последующих сезонов с помощью GPS. Поскольку на равнинных территориях Хузестана наблюдается два периода роста: весной (с конца февраля по конец мая) и осенью (с августа по конец декабря; Mozaffarian, 1999), − в течение 2018-2020 гг. выезды на места и сбор данных проводились пять раз.

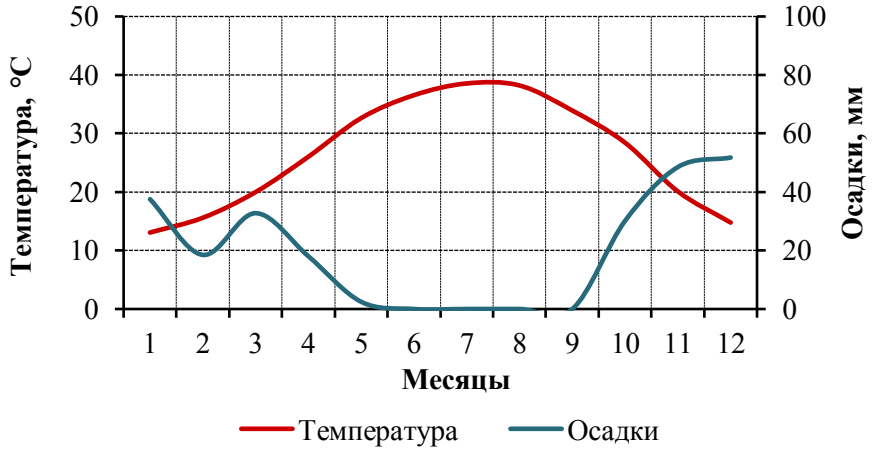


Рис. 2. Омбротермическая диаграмма за 24 года (1996-2020 гг.) для г. Ахваза.

Таблица 1. Данные по осадкам, полученные с метеостанции Ахваз в 2018 г.

Станция	Годовые осадки за сельскохозяйственный период 2018-2019 гг.	Соответствующие осадки в 2017 г.	Разница	Среднее многолетнее
Ахваз	297.2	60.1	232.6	156.7

Изучение флоры. Мы определяли растения по видам, подвидам и разновидностям, используя актуальные литературные источники, в основном такие как «Flora of Khuzestan Province» (Dinarvand, 2021), «Flora Iranica» (Rechinger, 1963-2015), «Flora of Iran» (Assadi et al., 1988-2018), «Flora of Khuzestan» (Mozaffarian, 1999), «Flora of Iraq» (Townsend, Guest, 1974-1985), «Flora of Turkey and the East Aegean Islands» (Davis, 1967-1982), «Flora Palestina» (Zohary, 1966-1986) и «Trees and Shrubs of Iran» (Mozaffarian, 2005). Список видов был составлен в алфавитном порядке в соответствии с системой APG IV (2016). Местный тип каждого таксона определяли в соответствии с данными распределения, полученными из вышеупомянутых источников. Терминология и разграничение основных фитогеографических единиц (IT, Mediterranean, ES, SS) основаны на классических работах, в частности, на работе M. Zohary (1973). Жизненные формы растений определяли по работе C. Raunkiaer (1934).

Анализ данных. Индексы доминирования и разнообразия Симпсона и Шеннона были рассчитаны с использованием программного обеспечения PAST 0.88, с учетом процентного покрытия растительного покрова. Индексы Симпсона и Шеннона-Винера, учитывая их взаимодополняющий характер, использовали, чтобы определить видовое разнообразие. Индекс Шеннона-Винера больше зависит от видового богатства, а индекс Симпсона более чувствителен к обилию доминирующих видов (Ejtehadi et al., 2008; Atashgahi et al., 2018). Анализ данных проводили с помощью программного обеспечения SPSS 16. Тест Колмогорова-Смирнова применяли, чтобы оценить нормальность данных о растительном покрове, а тест Левена − чтобы измерить равенство дисперсий. Односторонний дисперсионный анализ применяли для анализа групп, тест Дункана − для межгрупповых сравнений.

Результаты

Флористический состав. В общей сложности на территории исследования мы собрали и идентифицировали 57 видов и внутривидовых таксонов сосудистых растений, принадлежащих к 18 семействам (табл. 2). Все образцы хранятся в гербарии Научно-образовательного центра сельскохозяйственных и природных ресурсов Хузестана. Большинство видов относится к Сахарско-Синдийскому и другим флористическим регионам. В районе исследования доминируют однолетние растения.

Таблица 2. Список сосудистых растений на исследованной территории.

№	Семейства и виды/ Инфравидовые таксоны	Жизненная форма	Местные типы	Гербарный номер
	Amaranthaceae Juss. (включая Chenopodiaceae)			
1	*Atriplex leucoclada* Boiss. [s, s.d]	Ch	IT, ES, SS, M	3424, 2092, 3419, 4421
2	*Bassia eriophora* (Schrad.) Asch. [s]	Th	SS, M	1438, 2851
3	*Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze [s]	Th	IT, ES, SS, M	3515
4	*Bassia muricata* (L.) Asch. [s]	Th	SS, M	3011
5	*Beta vulgaris* L. [s]	Th	Cosm	3225, 4542
6	*Bienertia cycloptera* Bunge [s m]	Th	IT, SS, M	2318, 2069, 10828
7	*Chenopodium murale* L. [s]	Th	Cosm	2530, 3673, 10740
8	*Halocharis sulphurea* (Moq.) Moq. [s.d,s]	Th	IT, SS	3797, 3116, 10836
9	*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb. [s]	Ch	IT, SS	3831, 2332, 10839
10	*Halothamnus iranicus* Botsch. [s.d, s]	Ch	SS	2075, 2335, 10827
11	*Salsola incanescens* C.A.Mey. [s.d, s]	Th	IT, SS	3859, 3857
12	*Salsola jordanicola* Eig. [s.d, s]	Th	IT, SS, M	4468, 10833, 10843
13	*Seidlitzia rosmarinus* (Ehrenb.) Bge. ex Boiss. [s.d, s m]	Ch	IT, SS, M	2291, 4420, 4433
14	*Suaeda aegyptica* (Hasselq.) Zohary [s.d, s m]	Th	IT, SS, M	3825, 10834
15	*Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F.Gmel. [s.d, s] (=*Suaeda fruticosa* Forssk. ex J.F.Gmel.)	Ph	IT, SS, M	3845, 10832, 10841
	Apiaceae Lindl.			
16	*Ammi majus* L. [s.d, s]	Th	IT, SS	1663, 1366

Продолжение таблицы 2.

№	Семейства и виды/ Инфравидовые таксоны	Жизненная форма	Местные типы	Гербарный номер
	Asteraceae Bercht. & J.Presl			
17	*Calendula arvensis* (Vaill.) L. [s, m]	Th	IT, ES, SS	3136, 4520
18	*Carthamus oxyacantha* M.Bieb. [s.d, s, m]	Th	IT, SS	697, 1133
19	*Centaurea bruguierana* subsp. *belangeriana* (DC.) Bornm.	Th	IT, SS	429, 10339
20	*Launaea mucronata* subsp. *cassiniana* (Jaub. & Spach) N.Kilian [s.d]	Th	SS	3199
21	*Launaea procumbens* (Roxb.) Ramayya & Rajagopal [s.d]	He	IT, SS	1654
22	*Matricaria aurea* (Loefl.) Schultz-Bip.[s,m]	Th	IT, ES, SS	4501
23	*Onopordum leptolepis* DC. [s.d, s]	Th	IT, SS	3664, 3138
24	*Pentanema divaricatum* Cass. [s]	Th	IT, SS	674, 995
25	*Pulicaria vulgaris* Gaertn.[s]	Th	SS	53473
26	*Reichardia tingitana* (L.) Roth [s.d] (=*Reichardia orientalis* (L.) Hochr.)	Th	IT, SS	3164, 10332
27	*Senecio glaucus* L. [s.d]	Th	IT, ES, SS	289
28	*Urospermum picroides* (L.) Scop. ex F.W.Schmidt[s]	Th	IT, ES, SS	817
	Brassicaceae Burnett			
29	*Lepidium aucheri* Boiss. [s.d]	Th	SS	31
30	*Matthiola longipetala* (Vent.) DC. [s.d, s]	Th	IT, SS	752, 1295
	Capparaceae Juss.			
31	*Capparis spinosa* L. [s.d, s, m]	Ch	IT, ES, SS	3531, 3804
	Caryophyllaceae Juss.			
32	*Spergularia marina* (L.) Besser [s]	Th	IT, ES, SS	9052
	Convolvulaceae Juss.			
33	*Cressa cretica* L. [s.d, s]	He	IT, SS, M	3799
	Cucurbitaceae Juss.			
34	*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad. [s, m]	He	IT, SS, M	2004
	Cyperaceae Juss.			
35	*Cyperus rotundus* L. [s, m]	C.g	IT, SS	2846, 79228
	Fabaceae Lindl.			
36	*Alhagi graecorum* Boiss. [s.d, s, m]	Ch	IT, SS, M	4424, 10069
37	*Lotus halophilus* Boiss. & Sprun.[s]	Th	SS	3118, 3213, 5360
38	*Medicago polymorpha* L. [s.d]	Th	IT, ES, SS	5328, 9074, 10090
	Frankeniaceae Desv.			
39	*Frankenia pulverulenta* L. [s]	Th	IT, ES, SS	3671
	Malvaceae Juss.			
40	*Malva parviflora* L. [s.d, s, m]	Th	IT, SS	1163, 10268
	Leguminosae Juss. (=Fabaceae Lindl., подсемейство Mimosaceae)			
41	*Prosopis farcta* (Banks & Sol.) J.F.Macbr. [s.d, s, m]	Ch	IT, ES, SS	465, 758
	Plumbaginaceae Juss.			
42	*Psylliostachys spicata* (Willd.) Nevski [s]	Th	IT, ES	728, 10993

Продолжение таблицы 2.

№	Семейства и виды/ Инфравидовые таксоны	Жизненная форма	Местные типы	Гербарный номер
	Poaceae Barnhart			
43	*Aegilops triuncialis* L. [s.d]	Th	IT, SS, M	5343
44	*Aeluropus lagopoides* (L.) Thwaites [s]	C.g	IT, ES, SS	173, 11039
45	*Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl. [s]	C.g	IT, SS	11038
46	*Bromus danthoniae* Trin. [s.d]	Th	IT, ES	8009, 10547
47	*Bromus scoparius* L. [s.d]	Th	IT, ES	1756, 10446
48	*Hordeum murinum* subsp. *glaucum* (Steud.) Tzvelev [s.d] (=*Hordeum glaucum* Steud.)	Th	IT, ES, SS, M	10052
49	*Phalaris minor* Retz. [s.d]	Th	Cosm	256
50	*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. [s.d]	C.he	Cosm	1475
51	*Stipa capensis* Thunb. [s.d]	Th	IT, SS	10083
	Primulaceae Batsch ex Borkh.			
52	*Anagallis arvensis* L. subsp. *arvensis* var. *caerulea* (L.) Gouan [s.d]	Th	IT, ES, SS	229, 10259
	Solanaceae Juss.			
53	*Lycium depressum* Stocks [s.d, s]	Ph	IT, ES, SS	466, 3640
	Tamaricaceae Link			
54	*Tamarix kotschyi* Bunge [s.d, s] (=*Tamarix leptopetala* Bunge)	Ph	IT, SS	2198
55	*Tamarix meyeri* Boiss. [s.d, s] (=*Tamarix tetragyna* Ehrenb. var. *meyeri* (Boiss.) Boiss.)	Ph	IT, ES, SS	10987
56	*Tamarix passerinoide*s Del. var. *passerinoides* [s.d, s]	Ph	IT, ES, SS	10985
57	*Tamarix passerinoides* var. *macrocarpa* Ehrenb. [s.d, s]	Ph	IT, SS	10986

Примечания к таблице 2. Жизненные формы: Ch – хамефиты, C.g – геофиты криптофиты, C.h – гидрофиты криптофиты, He – гемикриптофиты, Ph – фанерофиты, Th – терофиты; типы ареалов: IT – Ирано-туранский, ES – Евро-сибирский, M – Средиземноморский, SS – Сахарско-Синдийский, Cosm – повсеместные.

Видовое разнообразие. Тест Колмогорова-Смирнова выявил нормальность данных, которые оказались однородными и без расхождений. Мы использовали тест ANOVA, чтобы выяснить, насколько различались показатели в разные годы. Результаты показали значительную разницу между средним значением доминирования, индексами Шеннона и Симпсона, процентом покрытия и количеством видов в разные годы (табл. 3).

Результаты теста Дункана выявили, что в марте 2018 года средние значения всех показателей (за исключением процента покрытия) на участках с поверхностным орошением по бороздам и с ямами попало в одну группу, при этом значительно отличаясь от группы, высаженной сеялкой (вторая группа). В июле 2018 года другие показатели, за исключением численности видов, существенно различались по всем районам, тогда как в марте 2019 года различия их средних значений были несущественными. В июле 2019 года все показатели за исключением процентного содержания видов разделились на две группы: борозды и ямы с орошением (группа А) и высадка сеялкой (группа Б). Наконец, в марте 2020 года наблюдались существенные различия между методами с сеялкой, поверхностным орошением и поверхностным орошением по бороздам (табл. 4).

На участке с ямами процент растительного покрова увеличивался. Из-за заболачивания в результате сезонных паводков (осадки в марте 2018 г. и апреле 2019 г.) на участке с орошением по бороздам процент покрытия незначительно снизился, а затем поднялся в 2018 году. Из-за дождей в 2019 году на участке с ямами наблюдалось значительное увеличение доли естественного

растительного покрова, т.к. территория не была затоплена и растительный покров развивался естественным образом. В первый год (2018 г.) на участке с посевом сеялками естественный растительный покров отсутствовал, однако в последующие годы наблюдений были обнаружены местные виды (рис. 3).

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа ANOVA за разные годы для изученных индексов.

Индекс	Категории сравнения	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F	Значимость)0.05(
Март 2018						
Количество видов	Между группами	30.02	2	15.01	54.95	0.00**
	Внутри групп	23.76	87	0.27		
	Всего	53.78	89			
Процент покрытия	Между группами	26554.76	2	13277.38	0.15	0.00**
	Внутри групп	26159.48	87	300.68		
	Всего	52714.24	89			
Доминирование	Между группами	13.01	2	6.50	97.01	0.00**
	Внутри групп	5.83	87	0.06		
	Всего	18.84	89			
Симпсона	Между группами	0.18	2	0.09	4.82	0.00**
	Внутри групп	1.63	87	0.01		
	Всего	1.81	89			
Шеннона	Между группами	0.43	2	0.02	5.15	0.00**
	Внутри групп	3.65	87	0.04		
	Всего	4.08	89			
Июль 2018						
Количество видов	Между группами	37.64	2	18.82	43.44	0.00**
	Внутри групп	37.25	86	0.43		
	Всего	74.89	89			
Процент покрытия	Между группами	84112.75	2	42056.38	76.94	0.00**
	Внутри групп	47005.99	86	546.58		
	Всего	131118.75	89			
Доминирование	Между группами	8.90	2	4.45	51.36	0.00**
	Внутри групп	7.45	86	0.08		
	Всего	16.36	89			
Симпсона	Между группами	0.66	2	0.33	12.67	0.00**
	Внутри групп	2.25	86	0.026		
	Всего	2.91	89			
Шеннона	Между группами	1.61	2	0.80	13.14	0.00**
	Внутри групп	5.28	86	0.06		
	Всего	6.89	89			
Март 2019						
Количество видов	Между группами	326.06	2	163.03	139.14	0.00**
	Внутри групп	101.93	86	1.17		
	Всего	428	89			
Процент покрытия	Между группами	41341.78	2	20670.89	48.92	0.00**
	Внутри групп	36760.83	86	422.53		
	Всего	78102.61	89			
Доминирование	Между группами	3.45	2	1.72	68.88	0.00**
	Внутри групп	2.18	86	0.02		
	Всего	5.63	89			

Продолжение таблицы 3.

Индекс	Категории сравнения	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F	Значимость (0.05)
Симпсона	Между группами	3.45	2	1.72	68.88	0.00**
	Внутри групп	2.18	86	0.02		
Симпсона	Всего	5.63	89			
Шеннона	Между группами	16.88	2	8.44	95.85	0.00**
	Внутри групп	7.66	86	0.08		
	Всего	24.54	89			
Июль 2019						
Количество видов	Между группами	32.68	2	16.34	37.61	0.00**
	Внутри групп	37.80	86	0.43		
	Всего	70.48	89			
Процент покрытия	Между группами	50457.75	2	25228.87	57.30	0.00**
	Внутри групп	38304.70	86	440.28		
	Всего	88762.45	89			
Доминирование	Между группами	0.64	2	0.32	4.63	0.00**
	Внутри групп	6.01	86	0.06		
	Всего	6.65	89			
Симпсона	Между группами	1.94	2	0.97	33.14	0.00**
	Внутри групп	2.55	86	0.02		
	Всего	4.49	89			
Шеннона	Между группами	4.91	2	2.45	34.28	0.00**
	Внутри групп	6.23	86	0.07		
	Всего	11.14	89			
Март 2020						
Количество видов	Между группами	130.06	2	65.03	35.46	0.00**
	Внутри групп	87.53	87	1.83		
	Всего	289.60	89			
Процент покрытия	Между группами	22294.68	2	11147.34	13.62	0.00**
	Внутри групп	71173.17	87	818.08		
	Всего	93467.86	89			
Доминирование	Между группами	1.38	2	0.69	36.72	0.00**
	Внутри групп	1.64	87	0.019		
	Всего	3.02	89			
Симпсона	Между группами		2	0.69	36.72	0.00**
	Внутри групп	1.64	87	0.019		
	Всего	3.02	89			
Шеннона	Между группами	8.64	2	4.32	50.17	0.00**
	Внутри групп	7.49	87	0.08		
	Всего	16.13	89			

На рисунке 4 показаны изменения доминантов среди местных видов на трех исследованных участках. На участке с посевом сеялками увеличение индекса доминирования происходило с

колебаниями. Однако на участках с ямами и бороздами он уменьшился в 2020 году.

Большинство видов (95%) на участке с ямами оказались однолетниками или имели очень короткий срок жизни, на участке с бороздами большинство (74%) также было однолетниками, но 7% оказалось многолетниками, а 19% − кустарниками. На участки с посевом сеялкой все виды оказались однолетниками (рис. 5, 6).

Обсуждение

Всего на территории исследования мы собрали и идентифицировали 57 видов и внутривидовых таксонов сосудистых растений, принадлежащих к 18 семействам. Самым обширным семейством оказалось Amaranthaceae (включая Chenopodiaceae) – 11 родов/15 видов (табл. 2). Местные виды региона играют для него огромную роль, потому что растительность способна удерживать подвижный песок с пылью и уменьшать выветривание почвы, снижая эрозию и скорость ветра (Al-Dousari et al., 2020; Meng et al., 2018). Для улучшения пастбищных угодий в аридных районах рекомендуется использовать сооружения для сбора осадков и хранения воды, а также выращивать подходящие виды растений (Zare et al., 2020; Dinarvand et al., 2021). Контурные борозды и ямы хорошо подходят для сбора поверхностного стока, повышения содержания почвенной влаги, развития растительности, а также восстановления земель в пустынных районах (Jahantigh, Pessarakli, 2009). Полукруглые насыпи на пастбищах Горик в г. Захедан положительно повлияли на их урожайность, растительный покров, состав растительных сообществ и влажность почвы (Delkhosh, Bagheri, 2012). Результаты этого исследования в трех пылеобразующих очагах на юго-востоке Ахваза показали, что различные методы орошения наряду с осадками улучшили растительный покров (его проективное покрытие), а также количество и разнообразие видов в период с 2018 по 2020 гг.

Мы обнаружили достоверные различия для индекса доминирования, индексов Шеннона и Симпсона, процентного покрытия и количества видов в разные годы (табл. 3). В марте 2018 года на участке с посевом сеялкой растительности не было, однако в июле 2018 года *Bienertia cycloptera* Bunge (однолетнее растение из семейства Chenopodiaceae) и *Aeluropus lagopoides* (L.) Thwaites (семейство Poaceae) были в небольшом количестве обнаружены растущими в ямах, а в последующие годы здесь были зарегистрированы и местные виды (рис. 3). Благодаря лучшей влагообеспеченности участок с поверхностным орошением по бороздам был в лучшем состоянии по количеству видов и растительному покрову. Здесь были найдены и такие виды, как *Tamarix passerinoide*s Del., *Cyperus rotundus* L. и *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., требующие более высокого содержания влаги в почве. Однако на участке с ямами доминировали однолетники, а также *Atriplex leucoclada* Boiss. и *Salsola jordanicola* Eig., принадлежащие к семейству Chenopodiaceae.

Таблица 4. Результаты теста Дункана для изученных индексов при разных видах полива и значимости группы равной 0.05.

Индексы	Тип посадки	Март 2018	Июль 2018	Март 2019	Июль 2019	Март 2020
Количество видов	сеялка	0.00^{a}	0.1^{a}	4.63^{b}	0.86^{a}	4.20^{a}
	ямы	1.1^{b}	1.5^{b}	6.50^{c}	2.03^{b}	6.76^{b}
	борозды	1.3^{b}	1.4^{b}	1.86^{a}	2.23^{b}	4.23^{a}
Процент покрытия	сеялка	0.00^{a}	0.34^{a}	9.78^{a}	9.33^{a}	57.22^{a}
	ямы	4.9^{a}	15^{b}	62.27^{c}	22.16^{b}	42.71^{a}
	борозды	38.6^{b}	71^{c}	35.62^{b}	64.73^{c}	80.90^{b}
Доминирование	сеялка	0.00^{a}	0.10^{a}	0.41^{b}	0.86^{b}	0.45^{b}
	ямы	0.77^{b}	0.65^{b}	0.33^{a}	0.70^{a}	0.26^{a}
	борозды	0.83^{b}	0.85^{c}	0.78^{c}	0.67^{a}	0.56^{c}
Симпсона	сеялка	0.00^{a}	0.00^{a}	0.58^{b}	0.00^{a}	0.54^{b}
	ямы	0.93^{b}	0.21^{c}	0.66^{c}	0.29^{b}	0.73^{c}
	борозды	0.97^{b}	0.11^{b}	0.21^{a}	0.32^{b}	0.43^{a}
Шеннона	сеялка	0.00^{a}	0.00^{a}	1.10^{b}	0.00^{a}	0.97^{a}
	ямы	0.14^{b}	0.33^{c}	1.35^{c}	0.48^{b}	1.54^{b}
	борозды	0.15^{b}	0.17^{b}	0.33^{a}	0.51^{b}	0.82^{a}

Результаты теста Дункана показали (табл. 4), что видовое разнообразие в марте 2018 года (в первый год посадки растений) на участках с поверхностным орошением по бороздам и ямам отличалось незначительно, однако они сильно отличались от участка с посевом сеялкой, где на тот момент растительности не было. В июле 2018 года после нескольких поливов и прошедших дождей под влиянием местных видов процент проективного покрытия растительного покрова особенно изменился, поэтому показатели оказались значительными по всем участкам. Увеличение индекса доминирования на участке с посевом сеялкой происходило с колебаниями из-за смены доминантов среди местных видов, однако в 2018 году на участках с ямами и бороздами индекс снизился. В марте 2019 года неожиданно выпавшие в регионе осадки (табл. 1) вызвали значительные изменения в растительности: на участке с поверхностным орошением по бороздам из-за заболачивания от сезонных паводков процент проективного покрытия растительности незначительно снизился. С другой стороны, из-за этого на участках с ямами и с посевом сеялкой, находившихся вдали от затопленных территорий, наблюдалось значительное увеличение процента проективного покрытия естественного растительного покрова.

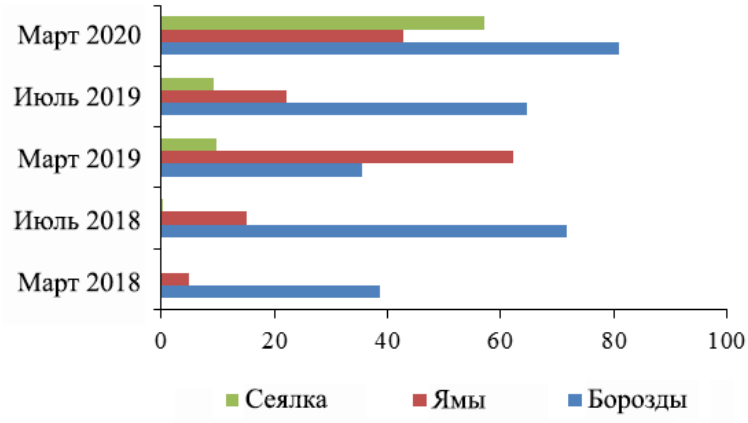


Рис. 3. Изменения процентного покрытия местными видами за 2018-2020 гг. с учетом использования трех разных методов посадки.

Рис. 4. Сравнение доминирования растительного покрытия из местных видов при различных режимах полива и с учетом использования трех разных методов посадки.

Таким образом, среднее значение всех индексов показало значимые различия для всех участков. В июле 2019 года на участке, где проводился посев сеялкой, были зарегистрированы низкое

проективное покрытие растительности и высокое доминирование. Индексы видового разнообразия показали значительные различия между участками с орошением по бороздам и ямами (группа А) и участком с посевом сеялкой (группа Б). Кроме того, наибольшее увеличение индекса доминирования наблюдалось в июле 2019 года на участке с ямами и с посевом сеялкой, что связано с большим количеством дождей в марте. В марте 2020 года при обычном количестве осадков и после трехлетнего полива наблюдались существенные различия между значениями видового разнообразия на участках с посевом сеялкой, с ямами и с бороздами. В целом, участок с ямами и низким доминированием (рис. 4) показал лучшее видовое разнообразие по индексам Шеннона и Симпсона, а участок с посевом сеялкой − худшее. Но 95% видов на участке с ямами оказались однолетними, а значит, в другое время года их здесь уже не будет (рис. 5), что делает показатели его видового разнообразия временными. Другими словами, 26% видов на участке с бороздами были представлены многолетниками и кустарниками (рис. 6). Многолетние виды крайне полезны для закрепления почв, хотя и однолетние играют ключевую роль в почвообразовании.

Рис. 5. Процентное соотношение жизненных форм растений на участке с посадкой в ямы.

Рис. 6. Процентное соотношение жизненных форм растений на участке с посадкой в борозды.

Похожее исследование, проведенное S. Zarekia с соавторами (2015), показало, что высадка в борозды повлияла на *Astragalus squarrosus* лучше, чем методы с использованием ям и полукруглых насыпей. Исследование A. Chamani с соавторами (2011), посвященное пастбищам провинции Голестан, показало, что борозды лучше подходят для восстановления местных видов. Изучая восстановление пастбищ Болбол в г. Йезде, Z. Jaffarian и A. Mirjalili (2017) пришли к выводу, что улучшить состояние растительности возможно при использовании методик, защищающих от осадков, таких как рытье ям и контурных борозд.

Таким образом, результаты показали, что методы орошения посевных площадей и защиты от осадков эффективны для улучшения видового разнообразия местной растительности в пустынях или для восстановлении уязвимых пастбищ.

Выводы

Одним из важнейших мероприятий, которые оптимизируют использование почвы и воды в аридных и полуаридных регионах, является постройка сооружений для сохранения почвы и воды, в частности, сооружений для накопления осадков. Метод высадки в ямы, разрытые экскаватором, потребовал меньше воды для полива по сравнению с бороздами. Кроме того, ямы, имея сравнительно большую площадь и глубину, могут вмещать больше воды, чем поля, обработанные сеялкой, и обеспечивать возможность для посадки семян кормовых или лекарственных растений, таких как *Capparis spinosa* L. и *Seidlitzia rosmarinus* (Ehrenb.) Bge. ex Boiss., *Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F. Gmel., а также саженцев. С другой стороны, борозды обеспечивают лучшее орошение территории во время сезона дождей и подходящий субстрат для роста и всхожести семян.

Таким образом, комбинирование двух вышеупомянутых методов − посадку в борозды (без поверхностного орошения) и использование глубоких ям − является лучшим и экономичным

способом восстановления естественного растительного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Abbasi H.R. 2021. Physicochemical Properties of Soils in Khuzestan Dust Sources // Research Institute Forests and Ranglands. Iran. P. 85.

Al-Dousari A., Ramadan A., Al-Qattan A., Al-Ateeqi S., Dashti H., Ahmed M., Al-Dousari N., Al-Hashash N., Othman A. 2020. Cost and Effect of Native Vegetation Change on Aeolian Sand, Dust, Microclimate and Sustainable Energy in Kuwait // Journal of Taibah University for Science. No. 14 (1). P. 628-639.

APG IV. 2016. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants // Botanical Journal of the Linnean Society. Vol. 181. P. 1-20.

Asri Y. 1995. Phytosociology. Tehran: Publishing Research's Institute of Forests and Rangelands. Vol. 134. P. 285.

Assadi M., Maassoumi A.A., Khatamsaz M., Mozaffarian V. 1988-2018. Flora of Iran. Vol. 1-147. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands Publications.

Atashgahi Z., Ejtehadi H., Mesdaghi M., F. Ghassemzadeh. 2018. The Existence of a Unimodal or Monotonic Pattern in Species Richness and Diversity Along an Elevation Gradient: A Case Study in Heydari Wildlife Refuge, NE Iran // Nova Biologica Reperta. No. 5 (3). P. 289-296.

Azhdari A., Heydarian P., Judaki M., Darvishi Khatony J., Shahbazi R. 2015. Identification of Dust Resources in Khuzestan proviNce. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Southwest Region, Ahvaz. 55 p.

Capilleri P.P., Motta E., Raciti E. 2016. Experimental Study on Native Plant Root Tensile Strength for Slope Stabilization // Procedia Engineering. No. 158. P. 116-121.

Chamani A., Tavan M., Hoseini S.A. 2011. Effect of Three Operation Systems of Contour Furrow, Pitting and Enclosure on Rangeland Improvement (Case Study: Golestan Province, Iran) // Journal of Rangeland Science. No. 2 (1). P. 379-387.

Davis P.H. 1967-1982. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 1-8. Edinburgh.

De Baets S., Poesen J., Reubens B., Muys B., De Baerdemaeker J., Meersmans J. 2009. Methodological Framework to Select Plant Species for Controlling Rill and Gully Erosion: Application to a Mediterranean Ecosystem // Earth Surface Processes and Landforms. No. 34. P. 1374-1392.

Delkhosh M., Bagheri R. 2012. Investigating the Effect of Mechanical Project Crescent on Production, Canopy Cover Percentage, Plant Composition and Soil Moisture in Gurik Range Management Project. The First National Conference on Rainwater Levels Systems.

Dinarvand M. 2021. Flora of Khuzestan. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands Publications. 808 p.

Dinarvand M., Ejtehadi H., Farzam M., Andarzian S.B. 2016. A Survey on the Impacts of Environmental Factors on Biodiversity, and Modeling the Effects of Climate Change on Certain Species Distribution in Shimbar Protected Area, Khuzestan Province, SW Iran. Department of Biology. Ph.D. Degree Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

Dinarvand M., Keneshloo H., Fayaz M. 2018. Vegetation of Dusty Place in Khuzestan Province // Iran Nature. No. 3 (3). P. 32-42.

Dinarvand M., Fayaz M., Behnamfar K., Khaksarian F., Yasreby B., Arami S.A. 2021. An Assessment of Species Diversity and Vegetation Richness Indices in Two Dust Centers of Khuzestan Province // The Iranian Journal of Biology. No. 9 (4). P. 73-87.

Dinarvand M., Jamzad Z. 2020. Plant Diversity of Khuzestan and Dust Sources in the Southwest of Iran, with a Checklist of Vascular Plants // Phytotaxa. No. 434 (3). P. 219-254.

Djamali M., Brewer S., Breckle S.W., Jackson S.T. 2012. Climatic Determinism in Phytogeographic Regionalization: A Test from the Irano-Turanian Region, SW and Central Asia // Flora. Vol. 207. P. 237-249.

Zuazo D.V.H., Pleguezuelo R.C.R. 2008. Soil Erosion and Runoff Prevention by Plant Cover: A Review // Agronomy for Sustainable Development. No. 28. P. 65-86.

Ejtehadi H., Sepehry A., Akafi H.R. 2008. Methods of Measuring Biodiversity. Ferdowsi University of Mashhad. Publication No. 530. 228 p.

Fehmi J.S., Hammond M., Bartolome J.W. 2008. Alignment of Elongated *Nassella pulchra* Plants with Hill-Slope Contours // Arid Land Research and Management. No. 22. P. 212-215.

Ford H., Garbutt A., Ladd C., Malarkey J., Skov M.W. 2016. Soil Stabilization Linked to Plant Diversity and Environmental Context in Coastal Wetlands // Journal of Vegetation Science. No. 27. P. 259-268.

Guiterrez J., Hernandez I.I. 1996. Runoff and Inter-Rill Erosion as Affected by Grass Cover in a Semi-Arid Rangeland of Northern Mexico // Journal of Arid Environments. No. 34. P. 287-295.

Gyssels G., Poesen J., Bochet E., Li Y. 2005. Impact of Plant Roots on the Resistance of Soils to Erosion by Water: A Review // Progress in Physical Geography. No. 29. P. 189-217.

Hands D.E., Brown R.D. 2002. Enhancing Visual Preference of Ecological Rehabilitation Sites // Landscape and Urban Planning. No. 58. P. 57-70.

Hector A., Hautier Y., Saner P., Wacker L., Bagchi R., Joshi J., Scherer-Lorenzen M., Spehn M., Bazeley-White E., Loreau M. 2010. General Stabilizing Effects of Plant Diversity on Grassland Productivity through Population Asynchrony and Overyielding // Ecology. No. 91. P. 2213-2220.

Heidarian P., Azhdari A., Joudaki M., Khatooni J.D., Firoozjaei S.F. 2018. Integrating Remote Sensing, GIS, and Sedimentology Techniques for Identifying Dust Storm Sources: A Case Study in Khuzestan, Iran // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. No. 46 (7). P. 1113-1124.

Isbell F., Calcagno V., Hector A., Connolly J., Harpole W.S., Reich P.B., Scherer-Lorenzen M., Schmid B., Tilman D., Loreau M. 2011. High Plant Diversity is Needed to Maintain Ecosystem Services // Nature. No. 477. P. 199-203.

Jaffarian Z., Mirjalili A. 2017. The Effect of Contour Furrow and Pitting on Increase of Vegetation Cover in Rangelands (Case Study: Bolbol Region in Yazd Province) // Iranian Journal of Ecohydrology. No. 4 (2). P. 369-377.

Jahantigh M., Pessarakli M. 2009. Utilization of Contour Furrow and Pitting Techniques on Desert Rangelands: Evaluation of Runoff, Sediment, Soil Water Content and Vegetation Cover // Journal of Food, Agriculture and Environment. No. 7 (2). P. 736-739.

Kent M. 2012. Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach. Oxford: Wiley-Blackwell.

Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime J.P., Hector A., Hooper D.U., Huston M.A., Raffaelli D., Wardle D.A. 2001. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges // Science. No. 294. P. 804-808.

Masoudi M., Elhaeesahar M. 2016. Trend Assessment of Climate Changes in Khuzestan Province, Iran // Natural Environment Change. No. 2 (2). P. 143-152.

Meng Zh., Dang X., Gao Y., Ren X., Ding Y., Wang M. 2018. Interactive Effects of Wind Speed, Vegetation Coverage and Soil Moisture in Controlling Wind Erosion in a Temperate Desert Steppe, Inner Mongolia of China // Journal of Arid Land. 10. P. 534-547.

Mesdaghi M. 2005. Plant Ecology. Publication of Jahade Daneshgahi. 187 p.

Mozaffarian V. 1999. Flora of Khuzestan. Vol. 1 Ahvaz: Ministry of Jahade Sazandegy, Research Center of Natural Resources and Husbandary of Khuzestan. 276 p.

Mozaffarian V. 2005. Trees and Shrubs of Iran. Farhang Moaser Publishers. 1003 p.

Naeem S., Duffy J.E., Zavaleta E. 2012. The Functions of Biological Diversity in an Age of Extinction // Science. No. 336. P. 1401-1406.

Quijas S., Schmid B., Balvanera P. 2010. Plant Diversity Enhances Provision of Ecosystem Services: A New Synthesis // Basic and Applied Ecology. No. 11. P. 582-593.

Raunkiaer C. 1934. The Life Form of Plants and Statistical Plant Geography. Oxford: Clarendon Press. 632 p.

Rechinger K.H. 1963-2015. Flora Iranica. Vol. 1-181.

Steinke D.R., Majak W. 2010. Cattle Can Tolerate High Molybdenum Forage Grown on Reclaimed Mine Tailings: A Review // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. No. 24. P. 255-266.

Svobodova K., Sklenickab P., Molnarovab K., Salekc M. 2012. Visual Preferences for Physical Attributes of Mining and Postmining Landscapes with Respect to the Sociodemographic Characteristics of Respondents // Ecological Engineering. No. 43. P. 34-44.

Tao Y., Zhang Y.M., Downing A. 2013. Similarity and Difference in Vegetation Structure of Three Desert Shrub Communities under the Same Temperate Climate but with Different Microhabitats // Botanical Studies. No. 54. P. 1-14.

Townsend C.C., Guest E. 1974-1985. Flora of Iraq. Vol. 3, 4, 8. Baghdad.

Turnbull L.A., Isbell F., Purves D.W., Loreau M., Hector A. 2016. Understanding the Value of Plant Diversity for Ecosystem Functioning Through Niche Theory // Proceedings of The Royal Society. Vol. 283. P. 1-9.

Van der Maarel E. 2005. Vegetation Ecology. Oxford: Blackwell Publishing.

Yadav S.K., Mishra G.Ch. 2013. Biodiversity Measurement Determines Stability of Ecosystems // International Journal of Environmental Science: Development and Monitoring (IJESDM). No. 4 (3). P. 68-72.

Zare M.T., Fayaz M., Zarekia S., Baghestani M.N., Abolghasemi M. 2020. Effects of Different Methods of Rainfall Storage and Cultivation Season in the Establishment of Ferula Tabasensis Species in Yazd Province (Case Study: Kalmand Bahadoran Rangeland) // Iranian Journal of Range and Desert research. No. 27 (1). P. 24-35.

Zarekia S., Fayaz M., Zare T., Abolghasemi M. 2018. Study of Methods of Rain Harvesting and Season Planting in Initial Establishment of Astragalus Squarrosus in Yazd Province (Case Study: Kalmand Bahadoran Rangelands) // Desert Management. No. 11. P. 39-50.

Zohary M. 1966-1986. Flora Palaestina. Vol. 1-4. Jerusalem: The Israel Academy of Science and Humanities.

Zohary M. 1973. Geobotanical Foundations of the Middle East. 2 vols. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 765 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 42-52

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.48

ПОЧВЫ АРИДНЫХ РЕГИОНОВ ЮГА РОССИИ В БАЗОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВ МИРА

© 2022 г. З.Г. Залибеков*, С.А. Мамаев*, А.Б. Биарсланов, А.С. Курбанисмаилова***

**Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН*
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75. E-mail: dangeo@mail.ru
***Прикаспийский институт биоресурсов*
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367032, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

Поступила в редакцию 24.04.2020. После доработки 14.10.2020. Принята к публикации 16.08.2021.

Почвенно-картографические исследования и составление почвенных карт осуществляются с применением классификации и диагностики почв, а также разных методических подходов. Наиболее приемлемыми в современных условиях являются «Классификация и диагностика почв России» (2004), основным отличием которой является использование принципов субстантивно-генетической классификации, разработанной В.М. Фридландом. Для дальнейшего развития этой классификации предпринята попытка определения классификационного положения и свойств аридных почв, подверженных опустыниванию, аридизации. Важным критерием, определяющим приемлемость нового подхода, является выделение надтиповых подразделений (стволы – синлитогенные, постлитогенные органоминеральные почвы), характерных для сильно деградированных почв в очагах опустынивания. Опустынивание, как естественно-антропогенный процесс приводит к утрате гумусовых горизонтов и выходу на поверхность почвообразующей геологической породы. При этом изменяются свойства почв на высшем надтиповом уровне с переходом постлитогенных в синлитогенные органоминеральные почвы.

Учитывая глобальный характер проявления опустынивания, контроль происходящих изменений является обязательным условием для определения места аридных почв южных регионов России в базовой классификации почв мира. В предлагаемой статье дается теоретическое обоснование выделяемых для дополнения классификационных разностей с диагностикой, номенклатурой свойств с соответствующей последовательностью.

Ключевые слова: базовая классификация, субстантивно-генетическая классификация, аридные почвы, синлитогенная разновидность, постлитогенная разновидность, галоморфное опустынивание, ферраллитные образования, эрозия, засоление, дегумификация.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-42-52

В развитии почвоведения как фундаментальной науки о земле проблема классификации почв занимает особое место. Это связано с тем, что почвенный покров является одним из незаменимых компонентов биосферы независимо от природных зон и регионов (Добровольский, 2004). Систематизация результатов почвенных, картографических исследований, их обработка и интерпретация осуществляется в настоящее время с учетом местных, региональных и глобальных особенностей. В разработке классификации, систематики и диагностики почв предложены разные подходы, концепции, которые приведены в публикациях, посвященных классификационной проблеме (Докучаев, 1949а; Классификация почв СССР, 1977; Фридланд, 1986; Безуглова, 2009). Особое внимание уделено учету динамических изменений, происходящих в почвенных процессах отдельных регионов во времени и пространстве.

В последние годы развиваются оригинальные направления классификации, среди которых ведущим является субстантивно-генетическое, разработанное В.М. Фридандом. Основные позиции и содержание этого направления изложены в «Базовой классификации почв мира» (Фридланд, 1986), главным отличием которой является обоснование и выделения высших надтиповых классификационных единиц, позволяющих оценить типы почв, распространенных в отдельных

странах, регионах мира (Зонн, 1982; Dregne, 1991). Разрабатываемые до настоящего времени классификации дают представление о систематике, диагностике, номенклатуре отдельных территорий без соблюдения единого генетического подхода.

В субстантивно-генетической классификации выделяемые почвы выше надтиповых единиц таксономического уровня – стволы, отделы обоснованы и являются необходимыми для характеристики почв, подвергнутых глобальным изменениям, на основе единой системы классификации (Докучаев, 1949б).

К факторам глобального значения, обуславливающим необходимость применения единого подхода классификации почв, относится опустынивание (аридизация) земель (Залибеков и др., 2020) в условиях современного климатического потепления. Кроме того, в недостаточной степени охарактеризована роль антропогенного фактора в изменении гидрологического режима засушливых земель. Таким образом, предлагаемые единицы построены по общности общепринятых типовых признаков почв, используемых при проведении границ почвенных контуров (Идрисов, 2013). На основе показателей разнообразия почв и диапазона различий в условиях их образования предпринята попытка составить общую схему построения таксономических единиц и их признаков в рамках базовой классификации почв мира.

Материалы и методы

Основу формирования классификационных единиц рассматриваемой системы составляют различия, формирующиеся в процессе опустынивания в диапазоне от слабой до самой сильной степени, с выделением их ареалов и картографической характеристикой. Картографические данные, отражающие снос и разрушение биологически активного слоя почв и растительности, использованы для характеристики поверхностных слоев разной стадии развития почв в условиях закономерного уменьшения функциональной роли литогенеза при почвообразовании. Появление признаков первичного почвообразования на фоне литогенеза наблюдается в режиме функционирования очагов опустынивания. Накопленный материал по проявлению очагов опустынивания в Калмыкии (Сарпинская низменность), в северной части равнинного Дагестана (Бажиганские пески) иллюстрируют эволюцию первичного почвообразования вслед за процессами литогенеза, сформированного после утраты почвенного покрова.

Мелкоконтурные, контрастные, хорошо выраженные комбинации бесплодных земель с ясновыраженной регулярностью смен процессов почвообразования и литогенеза использованы в качестве одной из главных характеристик определения классификационного уровня аридных почв с позиций субстантивно-генетической классификации. Важное значение имеет также выявленное разнообразие почвенных признаков и заселившихся растений на бесплодной минеральной массе. Появление признаков почвообразования определялось применением методической основы изучения начального этапа вторичного постлитогенного почвообразования: накопление органического вещества, увеличение плотности поверхностного горизонта и разрыхление корнеобитаемого слоя. В начальный период поселения растений бесплодная минеральная масса обнаженной почвообразующей породы отнесена к категории нарушенных слаборазвитых почв в составе синлитогенных органоминеральных разностей. В то же время свойства характеризуемых слаборазвитых вариантов принципиально отличаются от показателей, формирующихся в рамке надтипового подразделения – отдела слаборазвитых почв, выделенных в «Схеме профильно-генетического компонента базовой классификации почв мира» (Фридланд, 1986). Принципиальная основа выявления различий сводится к тому, что при антропогенном опустынивании происходит регрессивная эволюция почв, тогда как в естественных условиях природных зон почвообразование, включая горные территории, протекает по прогрессивной эволюции (Paltsyn et al., 2019). Циклический характер развития приводит к смене в зональных условиях литогенеза почвообразованием. Такая динамика обеспечивает правомерность применения субстантивно-генетической классификации для аридных почв Восточной Европы, включая Южные регионы Европейской части России (табл. 1).

Для корректировки материалов картографических исследований и показателей физико-химических свойств проведен расчет площадей почв, испытывающих агрессивную эволюцию по стадиям опустынивания: комплексу показателей, включая стадийные изменения в реакции почв и образования щелочной среды (Якутин, Анопченко, 2015).

Результаты и их обсуждение

Накопленный почвенно-картографический материал и опыт классификации почв аридных регионов юга России иллюстрируют формирование различий в свойствах почв на высшем надтиповом уровне. Учет надтиповых признаков указывает на целесообразность сравнительной оценки процессов литогенеза и почвообразования. Исследуемое явление, как определяющий фактор деградации выявляет неизученные раннее классификационные признаки. При этом дополняется таксономический список почв южных регионов России, подверженных опустыниванию, деградации (Симакова, 2012). К настоящему времени установлены классификационные единицы в следующем соотношении: 2 ствола, 3 отдела и 22 типа почв, включая 8 типов из Классификации почв СССР 1977 года.

Таблица 1. Показатели литогенеза аридных почв юга России.

Процессы показатели	Степень проявления	Переход почв к стадии развития литогенеза	Естественная смена литогенеза почвообразованием
Ветровая эрозия	Очень сильная	Разрушение горизонта А+В	Нейтральная
Засоление	Очень сильная	Выход солевых отложений на поверхность	Слабое, среднее
Щелочность	Сильная Ph > 8.0	Усыхание растительности	Отсутствует
Среднесуточная температура воздуха теплого сезона	Высокая > 25°С	20-30°С	10-24°С
Коэффициент увлажнения	Гипераридные почвы	< 0.3	0.5-0.8

Ствол синлитогенных органоминеральных почв – это такая классификационная единица, в которой результаты и степень выраженности морфологических и физико-химических преобразований породы, преобладает над показателями почвообразовательного процесса. Аридные условия, разрушая верхние горизонты почв при опустынивании, способствуют их переходу к категории процессов, происходящих в литогенезе. Процессы, протекающие под влиянием высоких температур и длительного воздействия суховеев, вносят существенные изменения в строение морфологического профиля. Сюда вошли три отдела, являющиеся надтиповыми подразделениями.

1) Отдел слаборазвитых почв включает разновидности, подверженные природному и антропогенному опустыниванию. В результате опустынивания снижается плодородие, уменьшается содержание гумуса, биомассы растений с потерей поверхностных горизонтов почв. Изменяется соотношение и мощность горизонтов, содержание органического вещества и запасов почвенного гумуса. В засушливых регионах эти процессы протекают интенсивно, особенно на юге Европейской части страны, указывая на формирование антропогенной и природной цикличности во взаимодействиях литогенеза и почвообразования. Выявление классификационного положения этих почв имеет важное значение, так как их дифференциация осуществляется при использовании подтиповых классификационных единиц. Для применения базовой классификации целесообразно использовать «Схему профильно-генетического компонента базовой классификации почв мира», предложенной В.М. Фридландом. Такой подход дополняет общепринятую классификацию почв на основе субстантивно-генетического подхода (Фридланд, 1979).

Преобладающими в составе отдела слаборазвитых почв являются разновидности, дифференцированные по гранулометрическому составу. Выделенные почвы по своим признакам входят в общепринятый перечень генетических типов почв, создавая основу для использования в почвенно-картографических работах, проводимых на разных континентах. Глинистые засоленные и глинисто-карбонатные почвы этого отдела рекомендуется выделить в составе ареалов основных типов почв, используемых в общепринятой классификации.

2) Отдел аллювиальных почв объединяет 2 типа и занимает сравнительно небольшую площадь. Включение выделенных типов почв в этот отдел согласуется с общепринятой классификацией почв России.

3) По отделу антропогенных аккумулятивных почв мира внесены дополнения к представленному списку, включая искусственно созданные почвы по террасам рек и на побережьях внутренних водоемов.

Для дифференциации признаков классифицируемых почв использован коэффициент увлажнения ($К_{ув}$), в качестве фактора, определяющего интенсивность миграции и накопления органоминеральных соединений (Ковда, 1946; Ковда и др., 1960). Степень увлажнения почв отделов, типов не превышает единицы ($К_{ув}$<1.0), указывая на формирование рассматриваемых почв в засушливых климатических условиях (Золотокрылин и др., 2020). По отделу антропогенных аккумулятивных почв следует внести дополнение и представленному перечню, включая искусственно созданные почвы по долинам рек и на побережьях внутренних водоемов. Ирригационно-аккумулятивные типы почв, включенные в этот отдел, рекомендуется объединить с луговыми и лугово-каштановыми почвами, выделенными общепринятой классификацией.

Ствол постлитогенных органоминеральных почв включает типы зональных, сформированных почв с динамическим развитием почвообразования вслед за процессами литогенеза. Аридные условия, разрушая верхние горизонты почв при опустынивании, способствуют их переходу к категории процессов литогенеза с их дальнейшим продолжением. Процессы, протекающие под влиянием высоких температур и длительном воздействии суховеев, вносят качественные изменения в строение генетических горизонтов всего профиля. Сменяется развитие почвообразования на сформировавшейся почвообразующей породе процессами литогенеза.

Разнообразие постлитогенных почв обусловлено в регионах юга России воздействием аридного, полуаридного, субгумидного режимов в условиях климатического потепления и интенсификации антропогенных воздействий. В стволе постлитогенных почв рассматриваемого региона объединены 5 отделов и 21 тип, включая 7 типов из классификации почв 1977 года (табл. 2). В приведенную схему включены аридные почвы автоморфного, гидроморфного, полугидроморфного режимов. Территория их распространения занимает основные земельные фонды сельскохозяйственных угодий (Зонн, 1946, 1994).

Отдел галоморфных почв объединяет разности отличающихся главным признаком – формированием поверхностного соленосного горизонта, где содержание токсичных солей составляет более 1.0% по сухому остатку. Морфологически засоление характеризуется образованием уплотненного поверхностного солевого горизонта (0-20 см) с выцветами, прожилками и отдельными пятнами. Их особенности определяются содержанием легкорастворимых солей, динамикой и интенсивной миграционной способностью в вертикальном направлении. Состав солевых скоплений определяет морфологические признаки всего профиля: сульфатное засоление – белые выцветы продолговатой формы, слабой степени уплотнения; хлоридное засоление имеет признаки с особой морфологией мицелярного типа, при высокой плотности сложения. Выделение солончакового горизонта, солевых аккумуляций, изменений в морфологии послужили основой объединения их в отдел галоморфных почв. Обязательным условием формирования солончаков является превышение количества поступления солей в полуметровую толщу по сравнению с величиной выносимого объема за пределы их ареала. Солевые образования накапливаются при выпотном водном режиме в условиях острозасушливого климата. Особое значение имеет влияние минерализованных грунтовых и подпочвенных вод, способствующих прогрессирующему развитию процессов соленакопления (Dobson, Ulaby, 1985). Широкое распространение в южных регионах России (Прикаспийская низменность, дельта Волги, Сарпинская низменность) засоленных пород способствует развитию солончакового процесса (Панкова, Ямнова, 1993). Следует отметить, что галоморфные почвы не включены в схему базовой классификации почв мира: солончаки корковые, солончаки пухлые. Ареалы их широко распространены в дельте Терека, Присулакской низменности и в других регионах. Дополнение базовой классификации почв рекомендуемыми классификационными единицами является важным вкладом в определении места аридных почв юга России в базовой классификации почв мира.

В отдел малогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв включены каштановые карбонатные, бурые пустынно-степные, бурые пустынные и серо-коричневые полупустынные. В дополнение

включен подтип светло-каштановых солонцеватых и тип лугово-каштановых карбонатных почв.

Таблица 2. Схема классификации аридных почв юга России, выделяемые в базовой классификации почв мира.

№	Отделы	Основные типы почв	Почвы, включенные из классификации 1977 г.	$К_{ув}$ (коэффициент увлажнения)
Ствол синлитогенных органоминеральных почв				
1	Слаборазвитые	Каменистые карбонатные Песчаные карбонатные Песчаные засоленные Песчаные нейтральные Субпесчано-суглинистые карбонатные Субпесчано-суглинистые нейтральные Глинистые засоленные Глинистые карбонатные	Маломощные	< 1.0
2	Аллювиальные	Остаточно-аллювиальные карбонатные Остаточно-аллювиальные засоленные	Подводные иссушенные	0.3-1.0
3	Антропогенные аккумулятивные	Ирригационно-аккумулятивные засоленные Ирригационно-аккумулятивные карбонатные Ирригационно-аккумулятивные засоленные, оглеенные Культурно-аккумулятивные	Светло-каштановые карбонатные Каштановые Луговые засоленные Коричневые карбонатные Бурые лесные остепненные	0.3-0.8
Ствол постлитогенных органоминеральных почв				
4	Галоморфные почвы	Солончаки луговые Солончаки типичные Солончаки вторичные	Солончаки корковые Солончаки пухлые	< 0.5
5	Малогумусовые аккумулятивно-карбонатные	Бурые пустынно-степные Бурые степные Серо-коричневые Каштановые карбонатные	Светло-каштановые солонцеватые Карбонатные лугово-каштановые	< 0.3
6	Щелочно-глинистые дифференцированные почвы	Солонцы автоморфные Солонцы полугидроморфные Солонцы гидроморфные Такыровидные	–	< 0.5
7	Фераллитизированные метаморфические почвы	Коричневые карбонатные Коричневые типичные Бурые лесные карбонатные	Коричневые остепненные Бурые лесные остепненные	0.3-0.6
8	Глеево-элювиальные	Бруниземы луговые Остаточно солончаковые нейтральные	Бурые лесные Коричневые выщелоченные	0.6-1.2

Общими объединяющими свойствами перечисленных типов почв являются формирование светло-

серого, серого гумусового поверхностного горизонта и скопление карбонатов Ca, Mg, в средней части профиля. Изменение свойств с глубиною связано не только с уменьшением гумуса, но и с литоморфизацией всего почвенного профиля (Классификация ..., 2004). Ксеротермический светлый горизонт сменяется светлым, с ореховато-комковатой структурой, горизонтом с серыми тонами окраски.

Профиль каштановых карбонатных почв дифференцируется на горизонты по окраске, сложению, накоплению легкорастворимых солей и гипса. Ксерометаморфический горизонт обогащен карбонатными новообразованиями в виде пятен, прожилок. У бурых полупустынных почв ксерометаморфический горизонт с темно-бурой окраской и значительной мощностью. При переходе ко второй метровой толще у представителей этого отдела отмечается относительно светлый аккумулятивно-карбонатный горизонт с большим количеством прожилок и расплывчатых пятен. Гранулометрический состав, показатели поглотительной способности соответствуют приведенной в «Классификации и диагностике почв СССР» (1977). Основные подтипы выделяются по окраске горизонтов, солонцеватости, засоления и степени метаморфизации вертикального почвенного профиля. В составе типов почв максимальной степени подвержены опустыниванию, аридизации серо-коричневые и светло-каштановые карбонатные почвы. Отличительной чертой почв рассматриваемого отдела является слабовыраженная тенденция внутрипочвенного глинообразования, проявляющегося в средней части профиля. Проявление глинообразования иллюстрируется увеличением илистой фракции и равномерным распределением по профилю физической глины. Предлагаемый вариант базовой классификации аридных почв и таксономические единицы в дальнейшем могут быть дополнены на основании исследований влияния современного климатического потепления (Залибеков, 1974).

Отдел щелочно-глинистых дифференцированных почв объединяет аридные почвы, в которых процессы почвообразования протекают в условиях щелочной и нейтральной реакции. В их профиле присутствует твердый со столбчатой, столбчато-комковатой структурой, солонцовый горизонт: сильно уплотнен с низкой водопроницаемостью и высокой дисперсностью. Типичным представителем является подтип солонцов степных. Они характеризуются содержанием поглощенного натрия 15% и более, распространены в зоне каштановых и бурых полупустынных почв (Терско-Кумская низменность, Приволжская возвышенность, Сальские степи). Для аридных условий свойственны солонцы степные, формирующиеся при отсутствии влияния грунтовых вод. Их влияние проявляется в двух направлениях:

а) минерализованные грунтовые воды оказывают отрицательное влияние на растительный покров, способствуя проявлению опустынивания;

б) пресные грунтовые воды способствуют развитию лугово-солянковых сообществ, переходя к категории солонцов гидроморфного режима.

Солонцы автоморфного режима формируются в пределах дренированных элементов при последовательной смене: солонцовых процессов, выщелачивания, аллювиально-элювиальной дифференциации. Характерной особенностью гранулометрического состава солонцов является дифференциация профиля по содержанию илистой фракции и относительно легкий состав гумусово-элювиального горизонта. Из химических свойств отмечается обеднение верхних горизонтов полуторными окислами при значительном увеличении кремнезема. Иллювиальные горизонты отличаются высоким содержанием Al_2O_3, Fe_2O_3 при стабильной величине щелочных металлов K_2O, Na_2O. Содержание гумуса на уровне величин, характерных каштановым и бурым полупустынным почвам. В составе гумуса солонцового горизонта фульвокислоты преобладают над гуминовыми кислотами (Борисов, Алексеев, 2020).

Подтипы солонцов выделяются по признакам метоморфизма и изменением системы чередования поверхностных горизонтов. Выделяются следующие подтипы: типичные солонцы, степные солонцы, лугово-степные солонцы. Выделенные единицы согласуются со схемой базовой классификации почв мира и классификацией и диагностикой почв России 2004 года (Хитров, 2005). В составе этого отдела объединены такыровидные почвы, характеризующиеся уплотненной коркой на поверхности, промытой от легкорастворимых солей. Из такыровидных почв значительное распространение получили в Прикаспийской низменности такыры опустыненные (Zalibekov, 2004).

Отдел феррсиаллитные глинисто-дифференцированные почвы включает в себя тип коричневых карбонатных почв формирующихся в засушливых условиях. Коричневые почвы широко

распространены на северном Кавказе, в Крыму и в центральной Азии. Главная их особенность – формирование в условиях сухого и жаркого климата (летнего) и умеренно-холодного (зимнего) периодов. Летние температуры составляют +25-28°С, что определяет щелочную реакцию (слабой, средней степени) и по своей сущности процесса литогенеза и почвообразования. Классификационные признаки коричневых карбонатных почв формируются в результате влияния засушливых условий по трем этапам.

1) Образование гумусового профиля с накоплением значительного количества насыщенного кальцием гумуса протекает в нейтрально-слабощелочной среде. Почвенный профиль в летний период иссушается, идет частичное подтягивание карбонатов в условиях отсутствия свободных форм Al_2O_3, Fe_2O_3. Подтягивание карбонатов в верхние горизонты способствует их накоплению.

2) Внутрипочвенное оглинивание протекает в слабощелочной среде с распадом первичных минералов и образованием глинистых алюмосиликатов. В гумусированных горизонтах значительно увеличивается содержание глинистых частиц, где почвенные растворы содержат элементы питания растений. Оглинивание охватывает весь гумусовый профиль, способствуя образованию метаморфического горизонта. Сочетание гумусового и метаморфического горизонтов означает интенсификацию процессов литогенеза и почвообразования (табл. 3).

3) Формирование карбонатных новообразований, которые распространяются в переходном горизонте. В результате взаимодействия процессов литогенеза на оглиненные слои в щелочной среде происходит накопление до 3-4% гумуса с фульватно-гуматным составом. В этот отдел включен подтип коричневых типичных почв, отличающихся уменьшением признаков естественной аридизации (Классификация и диагностика почв Дагестана, 1982).

Таблица 3. Показатели аридных почв, используемых в субстантивно-генетической классификации почв.

№	Показатели	Факторы аридизации почв
1	Щелочная и нейтральная реакция почв	Острозасушливый, засушливый климат
2	Солонцовый процесс	Естественный дренаж, гранулометрический состав почв и породы
3	Метаморфизм гранулометрического состава, оглинивание	Переменно-влажный климат, физическая глина
4	Солевые аккумуляции, солевые потоки	Минерализация органического вещества, засоленность почвообразующей породы
5	Карбонатные и гипсовые отложения	Химический состав пород, умеренное увлажнение
6	Соотношение минеральной части почв к органической	Степень минерализации органического вещества, ветровая эрозия гумусовых горизонтов
7	Баланс круговорота органического вещества почвы	Стабильное увлажнение отчуждаемой биомассы, ее превышение над синтезируемой биомассой организмами
8	Выход на поверхность мелкоземлистых отложений	Деградация почв, потеря плодородия и продуктивности
9	Опустынивание, аридизация почв	Физическое разрушение почв, эрозия, засоление, загрязнение, иссушение ландшафтов
10	Естественная дегумификация	Отрицательный баланс органического вещества

Представленная схема, исходящая из базовой классификации почв мира (Фридланд, 1986), позволяет отметить, что главным достоинством субстантивно-генетического подхода, особенно для

аридных почв, является дифференциация таксономических единиц на высшем надтиповом уровне. Это объясняется тем, что в процессе опустынивания аридные почвы теряют органическое вещество и другие компоненты, обуславливающие сохранение разнообразия почв и биологического их потенциала. Вследствие этого почвенная масса превращается в минеральную с качественными свойствами, характерными для геологических отложений (Петров, 1973).

Для составления классификационной основы и систематического списка почв важное значение имеет определение надтипового уровня современных почв разных континентов, подверженных природному и антропогенному опустыниванию. Основными условиями их образования являются острозасушливый климат, развитие ветровой и водной эрозии, увеличение различного рода нагрузок и антропогенных воздействий (Кулик, 2005).

Влияние климатического фактора, как общепланетарного явления, отражается в создании щелочной среды, без учета процессов накопления вторичных минералов. Важное значение в аридных климатических условиях при разработке субстантивно-генетической классификации имеет учет солонцового процесса и основных направлений развития солонцовых почв. В засушливом климате для накопления натриевых солей создаются условия насыщения поглощающего комплекса ионами натрия, вытеснением катионов кальция и магния. При насыщении поглощающего комплекса натрием почвенные частицы теряют агрегатное состояние вследствие высокой гидратации натрия. Коллоидное состояние, обогащенное натрием, обладает высокой способностью удерживать на своей поверхности воду, увеличивая объем набуханием. Коллоиды становятся устойчивыми, подвижными, активными. При высоком содержании иона натрия в поглощающем комплексе возрастает растворимость органических и минеральных соединений и устанавливается щелочная реакция. Необходимым условием формирования щелочной реакции является наличие естественного дренажа (Zheng, Wahg, 2014).

Аридные условия почвообразования и динамическое развитие процессов оглинения сопровождаются метаморфическими изменениями, происходящими в гранулометрическом составе. Метаморфизм обусловлен оглиниванием профиля, связанного с сезонным увлажнением в условиях продолжительного периода с положительными температурами. Оглинивание характерно средней части профиля, где отмечаются благоприятные условия для внутрипочвенного выветривания с периодически увлажняемыми процессами теплового режима. Отличительными показателями почв аридных, субаридных регионов юга России является развитие процессов засоления и их сезонная изменчивость. Развитие засоления связано с воздействием устойчивого жаркого летнего климата и содержанием солей в породе. Засоленные почвы широко распространены, приурочиваясь к аридным, засушливым условиям всех континентов мира. Общая площадь засоленных почв по оценкам разных экспертов составляет более 221.4 млн. га, где аридные представители занимают 60% этой территории (Панкова, Ямнова, 1993).

Актуальность изучения вопросов классификации и диагностики засоленных почв объясняется тем, что процессы соленакопления распространены в разных природных зонах, для изучения которых необходима классификация, базирующаяся на научно-обоснованной систематике, номенклатуре почв. Классификация почв по степени засоления разработана В.А. Ковдой (1946), В.А. Егоровым (1959), где в основу приняты степень и типы засоления почв. Принятые критерии оценки засоленности основаны по сумме токсичных солей горизонтов солевого профиля. Солевые профили и аккумуляции связаны с факторами их накопления и временно-пространственной динамикой. Их показатели определят направления субстантивно-генетической классификации почв. В настоящее время солевые профили составлены по химизму типов засоления (хлоридный, сульфатный, содовый, сульфатно-хлоридный, карбонатно-сульфатный), где выделенные типы обоснованы, и их характеристики широко используются в почвенно-картографических исследованиях в качестве единиц ниже подтипового подразделения (Просалов, 1930). При дифференциации почв по отдельным таксономическим единицам формирование карбонатных, гипсовых аккумуляций указывает на метаморфизм, связанный с различиями в степени выщелачивания легкорастворимых солей, гипса и карбонатов кальция, магния. Растворимая часть химических соединений имеет аллювиально-иллювиальную динамику, где максимальная степень выщелачивания свойственна сульфатам, хлоридам, бикарбонатам. Из-за слабой растворимости карбонатов кальция, магния и низкой концентрации углекислоты в почвенном растворе они скапливаются в профиле почвы, причем в максимальном количестве в почвообразующей породе.

Различия в степени выщелачивания химических соединений вносят существенные изменения в классификационный уровень таксономических единиц, их эволюцию и биологическое разнообразие (Majurran, 2004).

Соотношение минеральной части почв к органической определяется содержанием запасов гумуса и остатков растительного и животного мира. Минеральная часть почвы при опустынивании становится средой, лишенной биологической продуктивности и функциональной роли почв. Потеря гумусовых веществ и запасов гумуса сопровождается разложением органического вещества под влиянием прогрессирующего действия сухого полупустынного климата в условиях интенсификации антропогенных воздействий (Oldeman et al., 1992).

Динамический характер увеличения соотношения минеральной части является глобальным явлением, современные тенденции которого отражаются деградацией почв и минерализацией растительных остатков. Выделение в базовой классификации почв мира разновидностей, подверженных трансформации с превращением в категорию грунтов бесплодной массы имеет положительное значение. Влияние этих процессов отражается в разрушении природного баланса органического вещества и превращении аридных почв в обнаженную поверхность очагов опустынивания. Стадии изменения соотношения взаимодействия минеральной части и органической формируются в пределах верхнего полуметрового слоя (0-50 см), где сохраняются реликты метаморфизированных признаков (пятна разных цветов, отложения карбонатов, гипса) почв аридного климатического пояса.

Процесс деградации в засушливых регионах приводит к сносу гумусовых горизонтов и обнажению профиля, в результате которого на поверхность выходят мелкоземлистые отложения в виде грунтов, аналогичных элементам литосферы. По степени проявления ветровой и водной эрозии аридные почвы подразделяются на группы: слабо-, средне-, сильноэродированные. В сильноэродированных вариантах полностью разрушается почвенный профиль, минерализуется органическое вещество, и почвы превращаются в категорию элементов литосферы. Таксономический уровень их укладывается в рамках надтиповых и нижеследующих единиц (Almaganbetov, Jrigorik, 2008).

Главным фактором агрессивной формы постпочвенного литогенеза в аридных регионах юга России является дегумификация. Развитие этого процесса означает нарушение установившегося природного равновесия между процессами гумификации и минерализации гумуса. Процесс гумификации оказывает влияние на формирование классификационных признаков, позволяющих включить их в отдел слаборазвитых почв, выделенных по степени проявления опустынивания.

Изменения, происходящие в свойствах почв при опустынивании, вносят различия в формирование отдельных таксономических единиц и оказывают влияние на иссушение автоморфных ландшафтов, приводят к потере биологической продуктивности почв. Роль этого фактора классификации опустыненных почв сводится к дифференциации по степени сохранения горизонтов и в определении функциональной роли почвообразующей породы. На начальном этапе их целесообразно дифференцировать на надтиповом уровне в очагах опустынивания, как опустыненные литогенные. Разновидность почв с сохранившимися горизонтами следует относить в ствол синлитогенных органоминеральных почв. Название нижеследующих единиц целесообразно принять, исходя из предложенной В.М. Фридландом схемы – отдел слаборазвитых почв. Для дальнейшей дифференциации считаем целесообразным использовать общепринятую классификацию – с дополнением названия надтиповой постпочвенной единицы с учетом процесса литогенеза.

Выводы

В рассматриваемой концепции и других источниках, посвященных классификации почв мира, охарактеризованы типы почв, распространенные на различных континентах. В них приведены классификационные признаки, систематический список почв и их иерархическая последовательность. Однако в опубликованных материалах аридные почвы и их классификационные особенности раскрыты в недостаточной степени. Аридные почвы занимают значительную площадь в мире (до 30%) и подвержены воздействию глобальных процессов – опустыниванию, аридизации. Для изучения испытывающих опустынивание в различных стадиях необходимо вывить классификационные единицы с позиции базовой классификации почв мира. Единый подход к классификации почв различных континентов с охватом аридных почв представляет основу

совершенствования почвенной карты мира, международных проектов с учетом современного климатического потепления. В этом направлении мы провели исследования и обобщили накопленный материал по основным направлениям развития концепции о классификации почв мира.

1) Установлено, что из применяемых методов классификации наиболее соответствующим условиям аридных регионов юга России является субстантивно-генетическая классификация, разработанная В.М. Фридландом. Главным ее достоинством являются надтиповые единицы, охватывающие опустыненные почвы, находящиеся в ареалах очагов опустынивания. Составлен систематический список почв на основе выделения высших надтиповых единиц – ствол отделов, в рамках которого приводятся систематические единицы классификации аридных почв.

2) Совершенствование классификации почв на основе субстантивно-генетического подхода осуществлено обобщением накопленного почвенно-картографического материала. При этом дополнен классификационный список почв, принятый в 1977 г., не учтенными единицами, отражающими специфику влияния процессов опустынивания, аридизации в условиях современного климатического потепления.

3) Выделенная надтиповая единица (ствол) характеризует соотношение литогенеза и почвенных процессов:

а) синлитогенные органоминеральные почвы, в которых процессы почвообразования и физико-химические превращения, происходящие в почвообразующей породе, следуют за процессами литогенеза;

б) постлитогенные органоминеральные почвы, в которых процессы литогенеза следуют за разрушением почвенного профиля и минерализацией органического вещества.

1. Особенности предлагаемой схемы классификации аридных почв юга России и их место в «Базовой классификации почв мира» определяется степенью влияния глобального фактора – опустынивания. Выявленные разновидности почв юга России, формирующиеся под влиянием различий в соотношениях литогенеза и почвообразования, характерны и для других областей засушливого климатического пояса, где усиливается опустынивание, аридизация.

2. Выявлены основные факторы, способствующие формированию классификационных признаков аридных почв – острозасушливый климат, засоление, дефляция и щелочная среда. Учет динамического характера этих факторов и использование дополненного систематического списка почв обеспечивают применение единого субстантивно-генетического подхода к классификации почв аридных регионов юга России.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Ландшафтно-геохимическое районирование Прикаспийской низменности», раздел 1, № АААА-А117-117021310199-9 «Разработка методологических основ изучения гумусового состояния и засоления почв в целях ландшафтно-геохимического районирования аридных территорий», тема 3, № АААА-А17-117021310203-3 «Эколого-геохимические особенности подземных вод Северо-Восточного Кавказа (Дагестана). Природные и антропогенные факторы загрязнения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Безуглова О.С. 2009. Классификация почв. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 128 с.

Борисов А.В., Алексеев А.О. 2020. К вопросу о времени и причинах возникновения солонцового процесса в почвах пустынных степей юго-востока Русской равнины // Аридные экосистемы. Т. 26. № 1. С. 33-42. [*Borisov A.V., Alekseev A.O.* 2020. Timing and Causes of the Origin of the Solonetz Process in the Desert-Steppe Soils of the Southeastern Russian Plain // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 27-35.]

Добровольский Г.В. 2011. Роль и значение почв в становлении и эволюции жизни на земле // Сборник «Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия». М. С. 7-16.

Докучаев В.В. 1949а. Естественноисторическая классификация русских почв // Избранные сочинения. Т. 3. М. С. 241-272.

Докучаев В.В. 1949б. Разбор главнейших почвенных классификаций // Избранные сочинения. Т. 4. М. С . 161-240.

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

Залибеков З.Г. 1974. О классификации и номенклатуре плантажированных почв предгорного Дагестана //

Почвоведение. № 2. С. 58-69.

Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Котенко М.Е., Магомедов Р.А. 2020. О приоритетах развития стратегии исследований засушливых земель мира // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3. С. 3-13. [*Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Kotenko M.E., Magomedov R.A.* 2020. Priorities in the Development of the Research Strategy for Arid Lands of the World // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 171-180.]

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.И. 2020. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге Европейской России // Аридные экосистемы. Т. 20. № 4. С. 76-83. [*Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A.* 2020. Characteristics of Spring-Summer Drought in Dry and Wet Periods in the South of European Russia // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 322-328.]

Зонн С.В. 1946. Опыт естественноисторического районирования Дагестана // Сельское хозяйство Дагестана. М.: Изд-во АН СССР. С. 89-99.

Зонн С.В. 1982. Развитие генетической классификации почв на основе элементарных почвенных процессов // Почвоведение. № 4. С. 12-20.

Идрисов И.А. 2013. О структуре рельефа юго-запада Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. Т. 19. № 1. С. 36-43. [*Idrisov I.A.* 2013. Relief structure in southwestern Caspian Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 3. No. 1. P. 22-27.]

Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 224 с.

Классификация и диагностика почв России. 2004. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, РАСХН. 342 с.

Классификация и диагностика почв Дагестана. 1982. Махачкала: Изд-во Дагестанского филиала АН СССР. 84 с.

Ковда В.А., Егоров В.В., Муратова Е.С., Строганова Б.П. 1960. Классификация почв по степени и качеству засоления в связи с солеустойчивостью растений // Ботанический журнал. № 8. С. 189-201.

Ковда В.А. 1946. Происхождение и режим засоленных почв. М-Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 556 с.

Кулик К.Н. 2005. Разработка субрегиональной национальной программы действий по борьбе с опустыниванием для юго-востока Европейской части РФ // Биологическое и почвенное разнообразие аридных экосистем юга России. Махачкала. С. 12-20.

Панкова Е.И., Ямнова И.А. 1993. Диагностика и классификация солончаков // Почвоведение. № 10. С. 28-38.

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

Просалов Л.И. 1930. Картография почв // Успехи почвоведения. Доклады советских почвоведов на I Международном конгрессе почвоведов. М. 282 с.

Симакова М.С. 2012. Субстантивно-генетическая классификация почв. Материалы докладов VI съезда почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск: Кн. 3. С. 98-100.

Фридланд В.М. 1986. Основные принципы и элементы базовой классификации почв мира и программа работ по ее созданию // Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука. 244 с.

Фридланд В.М. 1979. Некоторые проблемы классификации почв // Почвоведение. № 7. С. 112-123.

Хитров Н.Б. 2005. Связь почв солонцового комплекса северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. № 3. С. 271-282.

Якутин М.В., Анопченко Л.Ю. 2015. Картографический метод в изучении динамики обсыхания Юдинского плеса оз. Чаны // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. № 6. С. 62-65.

Almaganbetov N., Jrigorik V. 2008. Degradation of soil in Kakhstan: Problems and Challenges // Soil Chemical pollution. Risk Assessment. Remediation and Security. P. 309-320.

Dobson M.C., Ulaby F.Y. 1985. Active Microwave Soil Moisture Research // IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing. Vol. GE-24. No. 1. P. 23-36.

Dregne H.E. 1991. Desertification Costs: Land Damage and Rehabilitation Report to the United Nations. Nairobi, Kenya: Environment Programmed. P. 240-258.

Majurran F.E. 2004. Measuring Biological Diversity. Oxford, UK: Biakweil Publishing. 256 p.

Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A, Sombrek W.G. 1991. World Map of the Status Human-Induced Soil Degradation. Nairobi, Kenya: UNEP, International Soil Reference and Information Center (ISRIC). P. 24-39.

Paltsyn M.Yu., Gibbs J.P., Mountrakis G. 2019. Integrating Traditional Ecological Knowledge and Remote Sensing for Monitoring Rangeland Dynamics in the Altai Mountain Region // Environmental Management. Vol. 64. P. 40-51.

Zalibekov Z.G. 2004. Anthropogenic Changes in the Caspian Soil Conditions of Desertification. Michigan, USA: Grand Rapids. P. 77-80.

Zheng Ch., Wahg Q. 2014. Seasonal and Annual Variation in Transpiration of Dominant Desert Species, *Haloxylon ammodendron* in Central Asia Up-Scaled from Sap Flow Measurement // Ecohydrology. Vol. 8. P. 948-960.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 53-64

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.4

СЕРИЯ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ПРИРОДНЫХ КАРТ ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПИ В 70-е ГОДЫ XX ВЕКА (ДО НАЧАЛА МЕЛИОРАТИВНОГО ОСВОЕНИЯ)

© 2022 г. Е.И. Панкова*, Д.Л. Голованов, И.А. Ямнова***

**Почвенный институт им. В.В. Докучаева*
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: irinayamnova@mail.ru
***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: dm_golovanov@mail.ru

Поступила в редакцию 12.08.2021. После доработки 01.09.2021. Принята к публикации 01.10.2021

В статье рассмотрены природные условия Джизакской степи на 70-80-е годы XX века. В этот период мы создали серию карт, отразивших природное разнообразие степи до начала ее мелиоративного освоения. В серию карт входят: 1) карта литолого-геоморфологического районирования, 2) почвенная карта, 3) карты засоленности, 4) карта гипсоносности почв. Все перечисленные карты были созданы на топографической основе М 1:100000 с применением материалов аэрофотосъемки. На территории Джизакской степи были выделены 22 литолого-геоморфологических района, объединенных в 5 литолого-геоморфологических областей. В их пределах были дополнительно составлены детальные почвенно-солевые карты М 1: 2000 на ключевые участки. Серия карт является своего рода геоинформационной системой, характеризующей состояние почвенного покрова Джизакской степи до начала ее освоения.

В статье приведена информация об особенностях почв выделенных областей. Показано, что в пределах литолого-геоморфологических районов выделенные области существенно различались до орошения по истории развития, литологическому строению, структуре почвенного покрова, степени засоления и гипсоносности почв, а, значит, и по своим мелиоративным свойствам.

Анализ различий исходного почвенно-мелиоративного состояния выделенных областей и районов позволит в настоящее время более достоверно оценить достоинства и недостатки проведенных мелиоративных мероприятий в разных районах Джизакской степи с учетом их природных особенностей.

Ключевые слова: засоление, гипсоносность, география, картография, генезис и классификация аридных почв.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-53-64

До начала мелиоративного освоения на территории Джизакской степи Республики Узбекистан в течение многих лет работала экспедиция Почвенного института им. В.В. Докучаева (Москва) наряду с другими учреждениями Узбекистана и России. Сотрудники института проводили детальные исследования почвенно-литолого-геоморфологических условий региона. По итогам работ был опубликован сборник «Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи» (1990) и ряд других работ (Панкова, 1982; Панкова, Молодцов, 1979). В тот же период была создана серия среднемасштабных карт (М 1:100000), отразивших особенности природы Джизакской степи до начала ее мелиоративного освоения. Были составлены: 1) карта литолого-геоморфологического районирования, 2) почвенная карта, 3) карта засоленности и 4) карта гипсоносности почв степи. Ранее они опубликованы не были, но сохранились в архиве Почвенного института. Прошло почти 50 лет с момента их создания и начала мелиоративного освоения Джизакской степи. Мы считаем, что эти материалы в виде геоинформационной системы и привязанной к ней базе данных могут стать хорошей основой для анализа и оценки влияния мелиоративных мероприятий на природу и свойства почв Джизакской степи после полувекового этапа ее мелиоративного освоения.

Целью данной статьи является анализ информации о природе и почвах Джизакской степи, отраженной на указанных четырех картах, характеризующих природу степи до начала ее

мелиоративного освоения. Эти материалы, к сожалению, не были использованы при анализе изменений природы степи после ее 50-летнего освоения (Холбоев, Намозов, 2017; Шеримбетов, 2019; Bucknall et al., 2020), а также для прогноза засоления почв на глобальном уровне (Amirhossein, 2020).

Материалы и методы исследования

Карты М 1:100000 составлялись на основе большого объема полевых работ, выполненных сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева в 70-х годах XX века. В работе по их созданию участвовали Е.И. Панкова, В.М. Мазиков, З.М. Мурадова, И.А. Ямнова, Г.А. Шершукова, Д.А. Соловьев, В.А. Исаев и другие сотрудники Голодностепской экспедиции Почвенного института. Руководителем работ по созданию карт являлась Е.И. Панкова. При картировании использовались топографические карты М 1:50000, а также аэрофотоснимки того же масштаба. Кроме того, в масштабе 1:2000 были детально закартированы почвы 8 ключевых участков площадью около 50 га каждый. Они располагались на территории основных литолого-геоморфологических районов Джизакской степи. Для картирования участков была подготовлена специальная топографическая основа в масштабе 1:2000 и задействованы аэрофотоснимки того же масштаба. Детальные карты ключевых участков позволили изучить структуру почвенного покрова почвенно-литолого-геоморфологических районов степи, оценить величину и неоднородность существенных в мелиоративном отношении показателей: засоления, гипсоносности, литологического строения, степени дренированности и прочих.

Таким образом, для территории Джизакской степи были получены материалы, позволившие создать серию карт, отразивших состояние ее природных условий до начала мелиоративного освоения.

При работе над данной статьей мы опирались на информацию, отраженную на картах, а также на публикации сотрудников экспедиции Почвенного института, работавших в Джизакской степи в конце XX века, и на публикации других авторов, внесших свой вклад в изучение природы данного региона в разные периоды его освоения (Ахмедов, 1984, 1994; Ахмедов и др., 2002; Васильев и др., 1975; Гафурова и др., 2007; Духовный, 1973; Камилов, 1985; Ковда, 1948; Кузиев и др., 2006; Панков, 1962; Панкова, 1981а, б, 1982, 1984, 1990; Панкова, Молодцов, 1979; Панкова, Мурадова, 1990; Панкова и др., 1973; Розанов, 1948; Туляганов, 1976; Хамраев, Антонов, 1981; Ямнова, 1990; Ямнова и др., 2007; Ямрова, Голованов, 2010; Bucknall et al., 2003; Атлас почвенного покрова республики Узбекистан, 2010; Холбоев, Намозов, 2017; Шеримбетов, 2019).

Ниже мы рассмотрим информацию об особенностях строения почвенного покрова и свойствах почв, исходно лимитирующих плодородие Джизакской степи. Надеемся, что эти материалы помогут объективно оценить изменения в природе степи, произошедшие в результате ее мелиоративного освоения за последние 50 лет.

Результаты и обсуждение

Как было отмечено выше, в ходе работ, проведенных сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева в 70-х годах XX века, для территории Джизакской степи была создана серия природных карт: 1) литолого-геоморфологического районирования, 2) почвенная, 3) засоленности, 4) гипсоносности почв степи. Все они созданы на единой топографической основе в масштабе 1:100000. Общая легенда дана на каждой карте, но при этом раскраской на карте отражена только специальная информация, соответствующая названию указанной карты. Так, на исходной карте литолого-геомофологического районирования (рис. 1) выделено 22 литолого-геоморфологических района, объединенных в литолого-геоморфологические области. При этом каждый район содержит дополнительно информацию о гранулометрическом составе почв, структуре почвенного покрова, засоленности и гипсоносности почв. Кроме того, на картах показано расположение основных разрезов и ключевых участков, заложенных при картировании территории Джизакской степи. Ниже более подробно рассмотрим информацию, отраженную на указанных картах.

В настоящей статье приведена уменьшенная копия карты литолого-геоморфологического районирования территории Джизакской степи (рис. 1). Легенда к ней приведена в табличной форме (табл. 1). В легенде дается информация о литолого-геоморфологическом строении Джизакской степи, а также о почвах каждого литолого-геоморфологического района, включая данные о почвенном покрове и таких свойствах, как гипсоносность и засоленность почв верхнего двухметрового слоя.

Эти характеристики даны в легенде исходной карты (табл. 1) в виде цифровых индексов,

расшифрованных в тексте статьи в отдельных таблицах 2-7.

Ниже мы более подробно рассмотрим информацию о литолого-геоморфологическом районировании, почвенном покрове, а также о засоленности и гипсоносности почв каждого литолого-геоморфологического района Джизакской степи (рис. 1, табл. 1).

Карта литолого-геоморфологического районирования (рис. 1). На ней выделены 22 литолого-геоморфологических района, которые обозначены римскими цифрами (табл. 1). Районы объединены в геоморфологические области, различающиеся по генезису и особенностям строения почвенно-литологического профиля (рис. 1, табл. 1).

Первая ступень (область) – это наиболее высокий уровень подгорной равнины, делювиально-пролювиальный шлейф малых конусов выноса горных рек (Рават-сай, Пшагар-сай и др.) и останцовых поверхностей предгорий (на карте они обозначены индексом I).

Рис. 1. Карта почвенно-литолого-геоморфологических районов Джизакской степи на период 1972-1977 гг. до начала мелиоративного освоения. Уменьшено с масштаба 1:100000. *Условные обозначения:* I-XXII – номера почвенно-литолого-геоморфологических районов (см. табл. 1), 1-8 – места расположения ключевых участков с детальной почвенно-солевой съемкой.

Вторая ступень охватывает верхние и средние части Зааминского (II) и Санзарского (III) конусов выноса, а также высокую Заамино-Санзарскую равнину (IV), расположенную к югу от Ломакинского плато, кроме того, Хавастско-Зааминскую равнину (V) и высокую подгорную Хавастскую равнину (VI).

Третья область охватывает территорию собственно Ломакинского плато, которая включает несколько почвенно-литологических районов: восточную (VIII), центральную (X), западную (XI) и северную части Ломакинского плато (IX), а также долины саев Ломакинского плато (район XII).

Четвертая область – шлейфовая зона конусов выноса и межконусных депрессий Джизакской степи, в пределах которой выделяются шлейфы Хавастского (районы XIV-XV), Санзарского (XVII-XVIII) и Зааминского (XXI-XXII) конусов выноса и межконусных понижения: Обручевское (XIII), Приджаильминский район (XVI), а также шлейф Ломакинского плато (XIX район на карте).

Пятая область – межгорная равнина к западу от Санзарского конуса и долины реки Клы и зона переходная к песчаной пустыне Кызыл-Кум. В статье она рассмотрена не будет.

Каждый литолого-геоморфологический район, входящий в соответствующую область, характеризуется своеобразием природных условий: литологическим строением, особой структурой почвенного покрова, специфическим засолением и гипсоносностью почв (табл. 2).

Ниже приведем расшифровку информации, отраженной в легенде к карте и характеризующей гранулометрический состав и литологию отложений каждого выделенного на карте района. Первая цифра в легенде (табл. 2, столбец 2) характеризует отложения первого метра, вторая цифра – отложения второго метра и так до 6 м в зависимости от глубины бурения.

Анализ информации о гранулометрическом составе отложений, отраженной на карте для каждого из 22 выделенных районов, позволяет констатировать, что в целом на территории Джизакской степи господствуют почвы, сформированные на отложениях суглинистого состава (табл. 3).

Территория Ломакинского плато, высокая Заамино-Санзарская равнина, а также верхняя и средняя части Санзарского конуса выноса характеризуются господством лессовидных суглинков. Территория шлейфовой зоны отличается слоистостью отложений.

В легенде карты в виде отдельной графы (табл. 2, столбец 3) приведен перечень почв, выделенных на территории Джизакской степи. Всего выделено 14 вариантов (табл. 4), в том числе зональные почвы: сероземы обыкновенные (типичные) и сероземы светлые, а также полугидроморфные и гидроморфные варианты.

Таблица 1. Почвенно-литолого-геоморфологические районы, выделенные на карте почвенно-литолого-геоморфологических районов Джизакской степи (рис. 1).

Высотные ступени (области)	**№ на карте**	**Название района**
Первый уровень предгорий	**I**	Делювиально-пролювиальный шлейф конусов выноса мелких водотоков и останцовых поверхностей первого уровня предгорий
Верхняя часть подгорной равнины	**II**	Верхняя часть Санзарского конуса выноса
	III	Верхняя часть Зааминского конуса выноса
	IV	Высокая межконусная Зааминско-Санзарская равнина, останцовые возвышенности эродированных повышений и понижений
	V	Высокая межконусная Хавастско-Зааминская равнина, долина р. Туркман-Сая
	VI	Высокая подгорная Хавастская наклонная равнина
	VII	Межконусная Заамино-Хавастская равнина, примыкающая с северо-востока к Обручевскому понижению
Ломакинское плато	**VIII**	Восточная часть Ломакинского плато, примыкающая с севера к Зааминскому конусу (и Обручевскому понижению)
	IX	Северная часть Ломакинского плато, примыкающая к бровке уступа над шлейфовой зоной подгорной равнины
	X	Центральная полого-холмистая часть Ломакинского плато
	XI	Западная часть Ломакинского плато, наиболее сильно пересеченная поверхность
	XII	Долины саев Ломакинского плато, включая Акбулак-сай и Джильма-сай
Шлейфовая зона	**XIII**	Обручевская межконусная Заамино-Хавастская депрессия
	XIV	Шлейф Хавастского конуса выноса (верхняя часть)
	XV	Шлейф Хавастского конуса выноса (средняя часть)
	XVI	Приджаильминскинский район
	XVII	Средняя и нижняя части Санзарского конуса выноса (по Х.Т. Туляганову – древний конус выноса р. Санзар).
	XVIII	Долины рек Клы, Токурсая и др. в пределах Санзарского конуса выноса
	XIX	Шлейф Ломакинского плато. Сочетание делювиального шлейфа и конусов выноса логов Ломакинского плато
	XX	Межгорная равнина к западу от Санзарского конуса
	XXI	Шлейф Зааминского конуса выноса (восточная часть)
	XXII	Шлейф Зааминского конуса выноса (западная часть)

Кроме того, выделено четыре варианта солончаков, отличающихся по составу солей и гипсоносности, а также серозёмы каменистые и эродированные. Дополнительно выделены пески и отложения русловых потоков. Индексы перечисленных почв указаны в почвенных контурах исходной карты в пределах 22 литолого-геоморфологических районов. Следует отметить, что большинство почвенных контуров характеризуется неоднородным почвенным покровом, представленным почвенными сочетаниями, комплексами и пятнистостями (табл. 5). Информация о почвенном покрове дается в каждом почвенном контуре, входящем в почвенно-литолого-геоморфологический район. Индексы, обозначающие почвы в контуре, соответствуют индексам, приведенным в легенде к картам (табл. 4).

Таблица 2. Характеристика почвенно-литолого-геоморфологических районов Джизакской степи.

№ на карте	Литологическое строение (табл. 3)	Почвы, СПП (табл. 4, 5)	Гипсоносность (табл. 6)	Засоление (табл. 7)
I	5.4	С + $С_{\Delta}$+Р	1.1	1.1
II	2.2.2.7.6	$С^{ОР}$	1.1	1.1
III	2.2.4	С + Р	1.1	1.1
IV	2.2.2.2.	С + $С^{Э}$	1.1	1.1
V	5.4	С+$С^{Э}$+Р	1.1	2.1
VI	2.2.4	$С^{С\ ОР}$	1.1	1.1
VII	2.2.2.2.	$С^{С}$	1.2-2.2	2.1-3.1
VIII	6.1 6.6	С Лг	2.2 4.2	2.3 4.3
IX	2.2.2.2.2 7.7	С Лг	2.2 4.3	2.3 4.4
X	2.2.2.2.2.	С	1.2-2.2	2.1-2.3
XI	2.2.2.2.2 7.7	С Лг	1.1-1.2 4.2-4.3	1.1-1.2 4.4
XII	7.7	Лг+$Ск^{Г}$+$Лг^{О}$	4.4	4.4
XIII	1.7.7 7.7	Лс+Сл+Ск Ск	2.2 2.2	4.2-4.4 3.4
XIV	3.7.6. 1.7.7.6	Сл + Лс + Ск Ск + Лс + Сл	4.2-4.3 4.2	2.1 4.4
XV	1.7.7 и 3.1.2.6.2.3.	Лс + Ск + Сл $Лг^{СК}$	4.2-4.3	4.3-4.4
XVI	2.2.	$Лс^{ОР}$+$Лг^{СК}$+Ск	3.3	4.4
XVII	2.2.2.	$С^{С\ ОР}$+$Сл^{\ ОР}$	3.2	2.1
XVIII	2.6.2.	Сл+$Лг^{О}$+$Ск^{МГ}$	3.2-4.3	2.1-4.1
XIX	2.7.3.6.6 и 2.2.6	$С^{С}$+Сл	2.2-3.2	2.2-4.3
XX	5.5.2	Лс+Сл+$Лг^{О}$+Ск Ск	3.2 3.2	3.1 4.3-4.4
XXI	3.6.6. и 3.3.6. и 2.2.2.2.1.7	Ск+Сл Сл+Ск $Лг^{СК}$	3.2-4.3	4.3-4.4
XXII	2.2.2.2.1.6.	Лс+Ск $Лг^{СК}$+$Ск^{ЛГ}$	4.3	3.2-4.4

Примечания к таблице 2: расшифровка обозначений дана в таблицах 3-7.

Всего на исходной почвенной карте выделено 14 типов почв (табл. 4) и 25 вариантов неоднородных по почвенному покрову контуров (табл. 5). При этом около 50% площади Джизакской степи на территории верхних и средних частей конусов выноса до орошения было занято автоморфными серозёмными почвами, исходно незасоленными и незагипсованными (или слабогипсоносными) в верхнем метре (табл. 6, 7).

Иная картина наблюдалась на территории шлейфовой зоны Джизакской степи, где до орошения господствовали засоленные и гипсоносные полугидроморфные и гидроморфные почвы, включая

солончаки. Неоднородные контуры с солончаками примыкали к Южному Голодностепскому каналу в пределах практически всей шлейфовой зоны.

Характеристика гипсоносности и засоленности почв в пределах каждого почвенного контура на исходной карте передавалась значками. В легенде к карте, приведенной в статье, обозначения гипсоносности и засоления даны цифрами (табл. 6-7).

Таблица 3. Гранулометрический состав отложений, преобладающих в природном почвенно-литолого-геоморфологическом районе.

Номер в легенде	Гранулометрический состав каждого метра отложений до 2-6 м
1	Глина
2	Суглинок
3	Супесь
4	Щебнистые и гравийно-галечниковые отложения
5	Единичные включения гальки в мелкоземе
6	Слоистые отложения с преобладанием легкого гранулометрического состава
7	Слоистые отложения с преобладанием тяжелого гранулометрического состава

Таблица 4. Почвы Джизакской степи в составе СПП.

Индекс на карте	Расшифровка	WRB 2014 (IUSS, 2015)
С	Сероземы обыкновенные	Calcisols
$С^{С}$	Сероземы светлые	Calcisols
Сл	Лугово-сероземные	Gypsisols calcic
Лс	Сероземно-луговые	Gypsisols humic calcic
$Лг^{О}$	Луговые остепняющиеся (остаточно-луговые)	Gypsisols humic calcic
Лг	Луговые влажные (Лугово-болотные)	Gypsic Fluvisols Calcic /Salic/
$СК^{Г}$	Солончаки гипсоносные (хлоридно-сульфатные и сульфатные)	Gypsic Solonchaks (Salic Gypsisols)
$СК^{ГМ}$	Солончаки логообразных понижений сильногипсносные (омергелеванные)	Hypergypsic solonchaks
$СК^{Х}$	Солончаки хлоридные корковые со стекловидным гипсом	Gypsic solonchaks
$СК_{НГ}$	Солончаки сульфатные (негипсоносные)	Haplic solonchaks
$С^{Э}$	Сероземы эродированные	
$С_{\Delta}$	Сероземы щебнисто-галечниковые	Regosols
П	Пески	Arenosols
Р	Отложения русловых потоков	Calcic Fluvisols

Гипсоносность – это важное свойство, широко развитое в почвах Джизакской степи, лимитирующее плодородие почв. Гипсоносность почв характеризуется в пределах каждого почвенного контура глубиной расположения и процентным содержанием гипса в горизонте его максимального скопления. По глубине расположения горизонта максимального скопления гипса выделяются 4 варианта почв: <50 см, 50-100 см, 100-200 см, >200 см (табл. 6). По степени гипсоносности использованы 5 градаций %: 2-10, 10-20, 20-40, 40-60 и >60 %.

На ключевых участках, например, на стационаре Бустон, характеристика гипсоносности дополнялась и по формам выделения гипса – его макро- и микроморфотипами, определяющими генезис, функционирование и перспективы хозяйственного использования гипсоносных почв (Панкова, Ямнова, 1987; Ямнова, 1990; Ямнова и др., 2007; Ямнова, Голованов, 2010).

Также каждый почвенный контур на карте характеризуется по засоленности почв: при этом учитывается глубина расположение верхнего солевого горизонта (табл. 7).

Засоленность почв оценивалась по содержанию Na смоль(экв.)/кг почвы в водной вытяжке в слоях 0-30 см или 30-100 см, а при отсутствии солей в первом метре засоленность оценивалась по содержанию солей в горизонтах, расположенных в слое 100-200 см. Наиболее высокой засоленностью и гипсоносностью характеризуются почвы шлейфа Хавастского и Зааминского конусов выноса.

В связи с тем что во многих странах мира засоленность оценивается по электропроводности вытяжки из водонасыщенных паст (US Salinity …, 1954), были проведены специальные работы по сопоставлению результатов оценки засоленности почв Джизакской степи различными методами: методом водной вытяжки 1:5 и по электропроводности. Результаты этой работы были опубликованы в сборнике «Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи» (1990).

Таблица 5. Неоднородные почвенные контуры – сочетания почв.

№	Индекс на карте	№	Индекс на карте	№	Индекс на карте
1	$С + С_{\Delta}$	10	Лс + Сл	19	$СК^{Г} + Сл$
2	$С + С^{Э}$	11	Лг + Лс	20	$СК^{Г} + Сл^{СН}$
3	$С + С^{Э} + Р$	12	Лс + Ск	21	$СК^{ГМ} + Лг$
4	$Сс^{ОР}* + Сл$	13	$Сл^{СН}** + СК_{НГ}$	22	$СК^{ГМ} + Лг^{О}$
5	$Сс^{ОР} + Сл^{ОР}$	14	Лс + СК + $СК^{Х}$	23	$СК^{Г} + Лг$
6	$Сл^{ОР} + С^{ОР}$	15	Лс + $СК^{Х}$	24	$СК^{Г} + Лс$
7	$Сл + Лг^{О} + СК^{ГМ}$	16	$Лг^{О} + СК$	25	$СК^{Г} + Лс$
8	Сл + СК	17	$Лг^{О} + СК^{ГМ} + Лс$		
9	$Сл + Лс + СК^{Х}$	18	$Лг + СК^{ГМ} + Лг^{О}$		

Примечания к таблице 5: $*^{ОР}$ – орошаемые, $**^{СН}$ – солонцеватые.

Проведенная Л.П. Копиковой и В.С. Скулкиным (1990) работа показала, что характеристика засоленности почв под данным водной вытяжки и вытяжке из водонасыщенных паст для почв Джизакской степи вполне сопоставима (табл. 8).

В последние годы проблема сопоставления показателей засоленности почв, полученных разными методами, широко обсуждается в зарубежной и отечественной литературе (Руководство …, 2017; Pankova et al., 2018; Handbook …, 2018; Ivushkin et al., 2019; Omuto et al., 2020; Szatmári et al., 2020; Konyushkova et al., 2021). В большинстве случаев работы подтверждают вывод, полученный Л.П. Копиковой и В.С. Скулкиным в 1990 году, о сопоставимости результатов оценки засоленности почв, полученных разными методами. Однако на каждом конкретном объекте требуется подтверждение этих показателей.

Таблица 6. Гипсоносность почв Джизакской степи по глубине и степени гипсоносности.

Глубина расположения верхней кровли гипсового горизонта, см	Степень гипсоносности почв в горизонте максимального скопления гипса, %				
	2-10	10-20	20-40	40-60	>60
<50	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
50-100	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
100-200	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
>200	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5

Глубина проявления засоления, степень засоления и гипсоносности для почв Джизакской степи показаны на исходной картографической основе специальными значками. Раскраской гипсоносность

и засоленность почв показаны только на специальных картах «Засоленности и гипсоносности почв Джизакской степи». В данной статье на рисунке 1 засоленность и гипсоносность почв отражены в легенде карты (табл. 2) в пределах каждого почвенного контура. Анализ информации о засолении и гипсоносности почв, отраженной на картах, свидетельствует о том, что почвы шлейфовой зоны, особенно в пределах Хавастского и Зааминского конусов выноса до начала интенсивного орошения, характеризовались как высоко и сильногипсонососные и сильнозасоленые уже в первом метре и даже в первом полуметре почвенного профиля.

Заканчивая анализ информации, отраженной на серии карт Джизакской степи, подчеркнем еще раз, что все четыре карты созданы на единой картографической основе, на которой показан литолого-геоморфологический район, почвы, их засоленность и гипсоносность.

На основе обобщения информации, отраженной на составленных нами картах, подведем итог сведений, характеризующих особенности почв основных районов Джизакской Степи (рис. 1).

Таблица 7. Засоленность почв Джизакской степи (по глубинам и степени засоления) верхнего солевого горизонта.

Глубина расположения верхней кровли солевого горизонта, см	**Степень засоленности почв Na смоль(экв.)/кг**			
	В слое 0-30, 30-100, 100-200 и глубже			
	Слабая 1-3	**Средняя 3-6**	**Высокая 6-12**	**Очень высокая >12**
0-30	4.1	4.2	4.3	4.4
30-100	3.1	3.2	3.3	3.4
100-200	2.1	2.2	2.3	2.4
>200	1.1	1.2	1.3	1.4

Таблица 8. Сопоставление критериев оценки степени засоленности почв по данным водной вытяжки из почв и вытяжки из водонасыщенных паст (Копикова, Скулкин, 1990).

Степень засоления	**Водная вытяжка 1:5**		**Вытяжка из водонасыщенных паст**
	S токс. солей, %*	**Na^+смоль(экв.)/кг**	**мСм/см**
Незасоленные	≤ 0.15	≤ 1.0	≤ 3
Слабозасоленные	0.15-0.30	1.0-3.0	3-5
Среднезасоленные	0.30-0.50	3.0-6.0	5-10
Сильнозасоленные	0.50-0.70	6.0-11.0	10-16
Очень сильнозасоленные	> 0.70	> 11.0	> 16

Примечания к таблице 5: *S токс. солей, % – сумма токсичных солей в %.

Первая почвенно-литолого-геоморфологическая область соответствует верхней ступени Джизакской подгорной равнины – это узкая полоса конусов выноса мелких рек и останцовых поверхностей, разделяющая предгорья и территорию собственно подгорной равнины. Здесь господствовали маломощные эродированные сероземы, часто щебнисто-каменистые с сочетаниями отложений русловых временных водотоков. Засоленность и гипсоносность в этих почвах, как правило, не проявляется.

Вторая почвенно-литолого-геоморфологическая область примыкает с севера к верхней ступени подгорной равнины. Во второй почвенно-литолого-геоморфологической области господствуют сероземы типичные, преимущественно незасоленные. Этот уровень охватывает широкую полосу, вытянутую вдоль предгорий Туркестанского хребта. На западе она представлена верхней и средней частями Санзарского конуса выноса, переходящего на юго-востоке в высокую Заамино-Санзарскую межконусную равнину, смыкающуюся с верхней и средней частями Зааминского конуса выноса и

верхней частью Хавастского конуса выноса. Некоторыми особенностями характеризуется верхняя и средняя части Зааминского конуса выноса (входящие во II область), которые имеют относительно небольшую мощность лессовых отложений (около 2 м), прорезанных руслами современных водотоков, днище которых сложено галечником.

В третью почвенно-литолого-геоморфологическую область входит территория Ломакинского плато. Территория второй и третьей почвенно-литолого-геоморфологических областей заняты, главным образом, сероземами типичными (обыкновенными) и светлыми (Атлас …, 2010). Основная часть сероземов типичных до орошения была не засолена и не гипсоносна. Почвы западной части Ломакинского плато и межконусной Заамино-Санзарской равнины сложены мощной толщей однородных лессовидных суглинков, на которых формируются сероземы обыкновенные, преимущественно незасоленные и негипсоносные в пределах всего почвенного профиля.

Восточная часть Ломакинского плато, входящая в III область, характеризуется появлением в нижней части почвенного профиля гипсовых (а иногда и солевых) новообразований, что, как правило, отсутствует в отложениях западной части Ломакинского плато.

Своеобразием Ломакинского плато является наличие логообразных понижений – саев. Почвы днищ логов – гидроморфные сильнозасоленные и гипсоносные. Они являются сложным объектом мелиорации. Строение логообразных понижений в пределах Ломакинского плато меняется с запада на восток. На востоке лога становятся более узкими и мелкими. Но на всей территории Ломакинского плато и в пределах верхних частей Санзарского и Зааминского конусов русла логов являются своеобразными природными дренами.

В целом территория второй и третьей почвенно-литолого-геоморфологических областей характеризуется наиболее плодородными почвами Джизакской степи. Исключением являются лишь почвы днищ логообразных понижений. Своеобразие этих почв подробно рассмотрено при характеристике почв опорного пункта Почвенного института им. В.В. Докучаева, находящегося в западной части Ломакинского плато в пределах Джаильмы-сая (Условия формирования …, 1990). Отметим, что почвы саев в отличие от плакоров являются гидроморфными, сильно засоленными и очень сильно гипсоносными.

Следующая ступень подгорной Голодностепской равнины в пределах Джизакской степи охватывает четвертую почвенно-литолого-геоморфологическую область – шлейфовую зону Санзарского, Зааминского и Хавастского конусов выноса, на севере она ограничена южным Голодностепским каналом, а на юге – Ломакинским плато. Эта область занимает более трети территории Джизакской степи. Именно здесь сосредоточена основная часть орошаемых земель Джизакской степи. Именно эта часть несомненно претерпела наибольшие изменения в результате орошения за последние 50 лет. Эта область в пределах Джизакской степи охватывает наиболее низкий уровень – шлейфовую зону подгорной Голодностепской подгорной равнины. Южный Голодностепской канал делит ее как бы на две части – южная (верхняя) часть шлейфовой зоны относится к Джизакской степи, более северная часть лежит в пределах Новой зоны орошения – на территории Голодной степи. Но генетически они едины и разделены лишь южным Голодностепским каналом и длительностью освоения, так как освоение Новой зоны орошения началось в 50-60-х годах XX века, а освоение территории Джизакской степи – в 70-80-е гг.

Наше внимание было уделено изучению почв шлейфовой зоны Джизакской степи, которая в период начала наших работ в 60-70 годы XX века представляла собой целинную или локально освоенную степь. Основная часть шлейфовой зоны включает в себя большинство районов, которые были изучены нами наиболее подробно за исключением районов, расположенных к западу от Санзарского шлейфа, нами не изучавшихся.

Шлейфовая зона собственно Санзарского конуса выноса (районы XVII, XVIII, рис. 1) располагается в пределах двух почвенно-литолого-геоморфологических районов – на территории нижней части Санзарского конуса выноса, прорезанной долинами рек Клы, Токурсая, а на востоке выделяется Приджаильминский район, примыкающий с запада к долине Джаильмы-сая. Шлейфовая зона Санзарского конуса выноса сложена мощной толщей лессовидных суглинков (>3-5 м). Здесь до орошения были распространены сероземы светлые и лугово-сероземные почвы, незасоленные или глубокослабозасоленные и практически негипсоносные в верхней двухметровой толще. Ухудшение свойств почв отмечалось в нижней части шлейфовой зоны, примыкающей к южному

Голодностепскому каналу. Здесь сформировались лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы, и отмечалось появление в их профиле на глубине 50-100 м, а иногда и выше, гипса и легкорастворимых солей. Наиболее сложная мелиоративная обстановка отмечалась в почвах понижений, примыкающих к долине Токурсая и Джаильмы-сая, где появились солончаки и поверхностно сильногипсоносные сероземно-луговые почвы. В почвах логов шлейфовой зоны иногда отмечалась повышенная щелочность. Наиболее сложными почвенно-мелиоративными условиями (повышенная щелочность) характеризовались земли, примыкающие к долине Джаильмы-сая (Масленников, 1968), хотя нами она зафиксирована не была.

К востоку от шлейфа Санзарского конуса выноса выделяется обширная шлейфовая зона Зааминского конуса выноса (районы XXI-XXII, рис. 1). Эта территория крайне неоднородная по своим мелиоративным свойствам – у подножья Ломакинского плато выделяется шлейфовая зона плато (район XIX), состоящая из материала, сносимого с плато и выносимого по логам. Ниже шлейфа Ломакинского плато и к востоку от него выделяется шлейфовая зона собственно Зааминского конуса выноса с преобладанием сероземно-луговых сильно засоленных и гипсоносных почв и солончаков.

Своеобразный литолого-геоморфологический район расположен между шлейфом Хавастского конуса выноса и собственно шлейфовой зоной Зааминского конуса. Это район Обручевского понижения. Здесь формируются своеобразные солонцеватые почвы на тяжелых суглинках и слабоминерализованных выклинивающихся щелочных, преимущественно магниевых водах. Почвы сильно засолены с поверхности. При этом отмечается повышенное содержание общей щелочности. В водных вытяжках содержание иона $HCO_{3\,общ.}$ может достигать 2-2.5 смоль(экв.)/кг почвы. Территория Обручевского понижения – сложный и своеобразный объект мелиорации, характеризуемый тяжелым гранулометрическим составом, повышенной щелочностью и отсутствием гипса (Панкова и др., 1973). Здесь были выделены солонцовые почвы.

К востоку от шлейфовой зоны Зааминского конуса выделяется территория шлейфа Хавастского конуса выноса (районы XIV-XV, рис. 1), которая резко отличается по своим свойствам от почв шлейфа Зааминского и Санзарского конусов. Главным отличием является неоднородность литологического состава отложений. Здесь выделяются супесчаные легкие почвы, а на повышениях обнажаются глины (Панкова, 1981а). Такая неоднородность отложений и очень сильная загипсованность и засоленность почв в нижней и средней частях шлейфовой зоны является характерной особенностью этой территории, в отличие от почв шлейфовой зоны Зааминского конуса.

Шлейфовая зона Зааминского конуса в нижней своей части заканчивается не только полосой, представленной сероземно-луговыми засоленными и гипсоносными почвами, но и серией днищ озерных солончаков, характеризуемых очень сильным засолением и гипсоносностью. Они располагаются главным образом за пределами собственно Джизакской степи – к северу от Южного Голодностепского канала, но генетически они связаны с зоной выклинивания грунтового потока, идущего со стороны Туркестанского хребта.

Заключение

Приведенный выше материал, характеризующий геоморфологическое строение и почвы подгорной Голодностепской равнины на территории Джизакской степи до начала орошения свидетельствует о том, что природные районы Джизакской степи исходно сильно различались по своим природным условиям: по литолого-геоморфологическому строению, по особенностям почвенного покрова и свойствам почв, лимитирующих их плодородие. Разная литология, различная засоленность и гипсоносность почв разных природных районов Джизакской степи требует разного подхода к их мелиоративному освоению.

Прошло почти 50 лет с начала освоения Джизакской степи. При анализе современной обстановки и оценки эффективности мелиоративных мероприятий важно учесть исходную природную неоднородность территории. Надеемся, что наши материалы позволят решить эту проблему.

Анализ космоснимков 2020 года свидетельствуют о том, что к настоящему времени значительная часть территория Джизакской степи освоена. Мы попытались проанализировать современную литературу (Холбоев, Намозов, 2017; Шеримбетов, 2019), чтобы оценить изменения, связанные с орошением. Этот анализ показал, что освоение почв Джизакской степи привело к изменению агрохимических показателей, однако указанные публикации не дают четкого представления об

изменении таких почвенных свойств региона, как засоленность и гипсоносность. Надеемся, что приведенные в нашей статье материалы и их сопоставление с современным состоянием почв позволит более четко ответить на эти вопросы.

Финансирование. Работа выполнена по теме Госзадания НИР № 0591-2019-0023 «Выявить особенности засоления почв разных регионов Восточной Сибири и сопредельных территорий».

Благодарности. Мы благодарим Л.А. Гафурову, которая по нашей просьбе предоставила нам список последних работ, содержащих сведения о современном состоянии почв Джизакской степи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас почвенного покрова республики Узбекистан. 2010. Ташкент. 44 с.

Ахмедов А.У. 1984. Происхождение, накопление и перераспределение солей в почвах Джизакской степи. Проблемы почвоведения на службе решения продовольственной программы в Узбекистане // Труды ИПА АН РУз. Вып. 25. С. 7-30.

Ахмедов А.У., Намозов Х.К. 1994. Засоление, гипсоносность почв Джизакской степи // Сборник материалов «Проблемы экологии Узбекистана». Карши. С. 10-15.

Ахмедов А.У., Камилов О.К., Рузметов М.И. 2002. Актуальные проблемы мелиорации засоленных почв аридной зоны // Проблемы генезиса, плодородия, мелиорации, экологии почв оценки земельных ресурсов. Алма-Ата Казахстан. С. 94-102.

Васильев И.К., Решетов Г.Г., Шредер В.Р. 1975. Мелиоративное состояние земель в новой зоне освоения // Хлопководство. № 7. С. 10-13.

Гафурова Л., Ахмедов А., Ямнова И., Рамазанов А. 2007. Особенности засоления гипсированных почв подгорной равнины Голодной степи // Вестник аграрной науки Узбекистана. № 1-2. С. 4-12.

Духовный В.А. 1973. Орошение и освоение Голодной степи. М.: Колос. 240 с.

Егоров В.В. 1977. Происхождение и мелиоративные особенности предгорных аллювиальных равнин аридной зоны // Орошение и мелиорация почв. М.: Наука. С. 84-97.

Камилов О.К. 1985. Мелиорация засоленных почв Узбекистана. Ташкент: Фан. 230 с.

Ковда В.А. 1948. Краткий очерк геологии и рельефа Голодной степи // Сборник «Почвы Голодной степи как объект орошения и мелиорации». М.: Изд-во АН СССР. С. 43-74.

Копикова Л.П., Скулкин В.С. 1990. Оценка засоления почв по сопряженным данным водной вытяжки и экстрактов из водонасыщенных паст // Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи. С. 49-47.

Кузиев А., Ахмедов А., Гафурова Л., Ямнова И., Турапов И., Баиров А. 2006. Современное состояние орошаемых почв Голодной степи и их мелиоративная оценка // Вестник аграрной науки Узбекистана. № 4. С. 35-44.

Кузиев Р.К., Сектименко В.Е. 2009. Почвы Узбекистана. Ташкент: Extremum Press. 352 с.

Масленников В.В. 1968. Некоторые особенности засоленных почв зоны выклинивания грунтовых вод юго-западной части Голодной степи // Почвоведение. № 7. С. 69-76.

Молодцов В.А. 1983. Причины низкого плодородия сероземно-луговых почв Джизакской степи // Почвоведение. № 9. С. 56-63.

Мурадова З.М. 1984. Карбонаты и гипс в трудномелиорируемых почвах сазовой зоны южной части Голодной степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 34. С. 13-16.

Панков М.А. 1962. Процессы засоления и рассоления почв Голодной степи. Ташкент: Изд-во МСХ Уз ССР. 344 с.

Панкова Е.И., Мурадова З.М. 1990. Почвенно-литолого-геоморфологическое районирование Голодностепской подгорной равнины // Сборник научных трудов Почвенного института им. В.В. Докучаева «Условия формирования и свойства трудномелиорированных почв Джизакской степи». М. С. 4-12.

Панкова Е.И. 1990. Трудномелиорируемые почвы Джизакской степи // Сборник научных трудов Почвенного института им. В.В. Докучаева «Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи». М. С. 13-20.

Панкова Е.И., Игнатова В.П., Абатурова Т.И. 1973. Солонцеватые почвы Джизакской степи (вопросы генезиса и мелиорации) // Почвоведение. № 5. С. 15-25.

Панкова Е.И. 1981а. Почвы Хавастского конуса выноса // Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ «Распределение и движение солей в орошаемых почвах и методы регулирования солевых процессов». М. С. 84-90.

Панкова Е.И. 1981б. Засоление почв Джизакской степи // Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ «Распределение и движение солей в орошамых почвах и методы регулирования солевых процессов». М. С. 84-90.

Панкова Е.И. 1982. Засоление почв Джизакской степи, закономерности его распространения и критерии оценки // Почвоведение. № 4. С. 90-100.

Панкова Е.И., Молодцов В.А. 1979. Солончаки сазовой зоны Голодностепской подгорной равнины и их мелиоративные особенности // Почвоведение. № 2. С. 116-129.

Панкова Е.И. 1984. Почвы шлейфа Хавастской наклонной равнины как объект мелиорации // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 34. С. 9-12.

Панкова Е.И., Ямнова И.А. 1987. Форма гипсовых новообразований как фактор, определяющий мелиоративные свойства гипсоносных почв // Почвоведение. № 7. С. 101-109.

Розанов А.Н. 1948. Почвы Голодной степи как объект орошения и мелиорации // Труды Института почвоведения им. В.В. Докучаева. Т. 29. М.-Л. С. 77-159.

Руководство по управлению засоленными почвами. 2017 / Ред. Р. Варгас, Е.И. Панкова, С.А. Балюк, П.В. Красильников, Г.М. Хасанханова. М.-Рим: ФАО, МГУ. 144 с.

Туляганов Х.Т. 1981. Гидрогеологические условия мелиорации Джизакской степи // Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. С. 99-107.

Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи. 1990 // Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ / Ред. Л.Л. Шишов, Б.А. Зимовец. М. 98 с.

Хамраев Н.Р., Антонов В.У. 1981. Развитие орошения в Джизакской степи и проблемы мелиорации земель // Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М. С. 120-121.

Холбоев Б., Намозов Х. 2017. Современное мелиоративное состояние почв Голодной степи Узбекистана. Moldova: Laplambert Academic Publishing. 56 с.

Шеримбетов В.Х. 2019. Выявление и оценка опустынивания почв Джизакской Степи с применением ГИС-технологий и обработки данных дистанционного зондирования. Автореф. дисс. док. филос. (PhD) по биол. наук. Ташкент. 45 с.

Ямнова И.А. 1990. Гипсоносные почвы Джизакской степи // Сборник научных трудов Почвенного института им. В.В. Докучаева «Условия формирования и свойства почв Джизакской степи». М. С.37-39.

Ямнова И.А., Голованов Д.Л., Лебедева-Верба М.П. 2007. Локализация гипсовых новообразований как результат генезиса и функционирования почвенного покрова аридных территорий (на примере почв Джизакского стационара, Узбекистан) // Материалы Международной научной конференции «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты». С.-Пб. С. 386-389.

Ямнова И.А., Голованов Д.Л. 2010. Формы и генезис гипсовых новообразований и их отражение на детальных почвенных картах аридных территорий // Почвоведение. № 8. С. 909-919.

Amirhossein H., Adisa A., Nima Sh. 2020. Predicting Long-Term Dynamics of Soil Salinity and Sodicity on a Global Scale // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 117. No. 52.

Bucknall J., Klytchnikova I., Lampietti J., Lundell M., Scatasta M., Thurman M. 2003. Irrigation in Central Asia: Social, Economic and Environmental Considerations. Washington, DC: World Bank. 40 p.

Handbook for Saline Soil Management. 2018 / eds. R. Vargas, E. Pankova, S. Balyuk, P. Krasilnikov, G. Khasankhanova. Rome: FAO [Электронный ресурс http://www.fao.org/3/i7318enI7318EN.pdf (дата обращения 28.10.2020)].

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps // World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO. 192 p.

Omuto C.T., Vargas R.R., El Mobarak A.M., Mohamed N., Viatkin K., Yigini Y. 2020. Mapping of Salt-Affected Soils: Technical Manual. Rome: FAO. 112 p.

Szatmári G., Bakacsi Z., Laborczi A., Petrik O., Pataki R., Tóth T., Pásztor L. 2020. Elaborating Hungarian Segment of the Global Map of Salt-Affected Soils (GSSmap): National Contribution to an International Initiative // Remote Sensing. No. 12. P. 4073.

Ivushkin K., Bartholomeus H., Bregt A.K., Pulatov A., Kempen B., de Sousa L. 2019. Global Mapping of Soil Salinity Change // Remote Sensing of Environment. No. 231. P. 111260.

Konyushkova M., Krenke A., Khasankhanova G., Mamutov N., Statov V., Kontoboytseva A., Pankova Ye. 2021. Monitoring of Salt-Affected Croplands Using Remote Sensing Data. The Case Study in the Nukus District (Uzbekistan) // Future of Sustainable Agriculture in Saline Environments. P. 171-180.

Pankova E.I., Soloviev D.A., Rukhovich D.I., Savin I.Yu. 2018. Soil Salinity Monitoring by the Use of Remote Sensing (Following the Example of Irrigated Territories of Central Asia) // Handbook for Saline Soil Management / Eds. R. Vargas, E. Pankova, S. Balyuk, P. Krasilnikov, G. Khasankhanova. Rome: FAO. P. 21-24.

US Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. 1954. USDA Agriculture Handbook No. 60 / Ed. L.A. Richards. Washington: U.S. Dept. of Agriculture. 160 p.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 65-72

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.1: 631.4:631.6:581.5: 528.7:528.8:574.46

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПУСТЫНЕННЫХ ПАСТБИЩ ЧЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ

© 2022 г. В.Г. Юферев, Н.А. Ткаченко, К.П. Синельникова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
Россия, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97.
E-mail: vyuferev1@rambler.ru, sinelnikova-k@vfanc.ru

Поступила в редакцию 04.09.2021. После доработки 13.10.2021. Принята к публикации 14.10.2021

Современные геосистемы опустыненных территорий Калмыкии функционируют в условиях увеличения антропогенной нагрузки и интенсивности негативных погодных явлений, в том числе под воздействием пыльных бурь, что часто приводит к значительному снижению продуктивности пастбищ, уменьшению кормовой базы и значительному сокращению численности скота. В связи с этим является актуальным определение спектральных характеристик опустыненных пастбищ наземными методами, обеспечивающее не только выявление распределения отраженной энергии по частотам спектра, что само по себе важно для последующей верификации данных дистанционного зондирования пастбищ, но и возможности получения значений нормализованных индексов как для растительных сообществ, так и для конкретных растений и типов почв с формированием базы пространственных данных. Объекты исследований – естественные фитоценозы опустыненных пастбищ Черных Земель на полигонах «Смушковое», «Молодежный», «Привольный», «Длинные Саги» и «Тавн-Гашун». На полигонах были проведены геоботанические, спектрометрические исследования и получены пространственно-определенные данные по спектральным характеристикам их растительных сообществ. Спектрометрические исследования фитоценозов проводят для оценки их состояния на основе спектрозональной съемки, как наземной, так и дистанционной. Для представления результатов оценки спектрометрических характеристик растительного покрова сбитых пастбищ были выбраны преобладающие сообщества на полигоне «Тавн-Гашун»: мятликовое с участием дескурении Софии (*Poa bulbosa+Descurainia sophia*), с проективным покрытием 45%, мятликово-ковыльное (*Poa bulbosa–Stipa capillata*) с проективным покрытием 40% и открытая почва (слабогумусированный песок). Исследования проведены с использованием полевого спектрорадиометра PSR-1100. Результаты исследований спектра отраженного излучения растительных сообществ и подстилающих почв позволили установить характерные особенности распределения отраженной и поглощённой энергии, составить для них каталог индивидуальных спектров и нормализованных индексов. Установлены индивидуальные спектральные характеристики для фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia*: среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра составило 20.2 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.90, вегетационный индекс NDVI=0.208. Для *Stipa capillata* среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 20.5 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 12.36, вегетационный индекс NDVI=0.316. Для *Calligonum aphyllum* среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 47.2 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.81, вегетационный индекс NDVI=0.354. Для верхнего слоя почвы среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 30.3 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.28, вегетационный индекс NDVI=0.106. Наибольшее среднее значение NDVI отмечено для *Calligonum aphyllum*.

Ключевые слова: геосистема, опустынивание, деградация земель, спектрометрия, космические снимки, фитоценозы, вегетационные индексы.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-65-72

Республика Калмыкия – уникальная аридная территория России. Ее почвенный покров разнообразен, включает черноземы, каштановые почвы, бурые полупустынные почвы и пески. Это связано с ландшафтной структурой территории, где присутствуют как Ергенинская возвышенность с отметками максимальных высот более 200 м н.у.м. БС, на которой представлены черноземы и каштановые почвы, Сарпинско-Даванская впадина со светло-каштановыми, бурыми полупустынными почвами, солонцами и песками с отметками минимальных высот до 28 м н.у.м. БС, так и долины рек Волга, Маныч и Кума с аллювиальными почвами.

Территория Республики Калмыкия по своим почвенно-климатическим условиям типична для всей аридной зоны юга Европейской части России. Анализ природных и социально-экономических условий позволяет выявить ведущие факторы опустынивания, определить интенсивность их воздействия на окружающую среду и наметить эффективные пути по их ослаблению и предотвращению. Основными факторами опустынивания на территории Калмыкии являются биоклиматические условия (в качестве природного фактора) и нерациональное природопользование (в качестве антропогенного), которые привели к нарушению природного равновесия в пастбищных ландшафтах, к изменению почвенного и растительного покрова. Результатом стало увеличение площади опустыненных земель, что привело к катастрофическим пыльным бурям в 2020 и 2021 гг. (Шинкаренко и др., 2020).

Актуальность исследований обусловлена ухудшением условий функционирования природных экосистем, определенное резкими колебаниями температуры, увеличением частоты пыльных бурь (Золотокрылин, Титкова 2004; Куст и др., 2020), наличием очагов опустынивания (Кулик и др., 2015; Kulik et al., 2018; Yuferev et al., 2019) и фитомелиорации (Kulik et al., 2010). Значение картографирования состояния растительных сообществ по данным дистанционного зондирования приведено в работе I. Klein с соавторами (2012).

Спектрометрические исследования фитоценозов в настоящее время получили широкое применение (Cavender-Bares et al., 2017) как для оценки их состояния по различным индексам, получаемых по результатам спектрозональной съемки, в том числе с использованием дистанционного спектрорадиометра MODIS (Drolet et al., 2008; Huete et al., 2002; Lu et al., 2014), так и для разработки эталонов (Grigor'ev, Shilin, 2013), анализа и дешифрирования изображения космоснимков (Крутских, Кравченко, 2018; Drusch et al., 2012). В связи с развитием спектрометрии и возможностей аппаратуры расширились возможности дистанционной оценки состояния и уровня деградации природных растительных сообществ (Ерошенко и др., 2018; Трофимов и др., 2015).

Особо необходимо подчеркнуть влияние ландшафтных пожаров растительные сообщества, что приводит к изменению спектрально-отражательных свойств как растительных сообществ, так и почв (Шинкаренко, 2021). Так как пожары на рассматриваемых территориях – явление довольно распространенное, то при проведении исследований необходимо учитывать фактор пирогенного воздействия и выделять пирогенные сукцессии в отдельные группы.

Материалы и методы

Исследования спектральных характеристик растительных сообществ были проведены на сбитых пастбищах Республики Калмыкия на территории Черных Земель на полигонах «Смушковое», «Молодежный», «Привольный», «Длинные Саги» и «Тавн-Гашун», где было обследовано более 150 тестовых участков, включающих как растительные сообщества, так и почвы под ними. Всего проведено более 400 замеров. Полигон «Тавн-Гашун», выбранный для представления полученных результатов, расположен на территории Яшкульского района республики, с географическими координатами 46.09705° с.ш. и 46.01976° в.д. Абсолютная высота над уровнем мирового океана – 12 м.

На песчаных почвах преобладают фитоценозы (с доминированием *Agropyron fragile*[1], *A. desertorum, Festuca valesiaca, Stipa capillata, S. sareptana*, на суглинках – *Artemisia lercheana, Poa bulbosa, Tanacetum achilleifolium*. Велики площади солонцов и солончаков с галофитной растительностью (*Artemisia pauciflora, Camphorosma monspeliaca, Kochia prostrata* и др.; Горяев, 2019). При усилении пастбищных нагрузок, когда бобовые и злаки стравливаются в первую

[1] Названия видов сосудистых растений приводятся по работе С.К. Черепанова (Cherepanov, 2007).

очередь, растет роль полыней, эфемеров (например, *Eremopyrum triticeum, E. orientalis, Anisanta tectorum, Ceratocarpus arenarius*) и эфемероидов (*Poa bulbosa*; Бананова, Лазарева, 2014; Власенко и др., 2019), что приводит к изменению видового состава растительных сообществ. На значительной части песчаных земель территории исследований было произведено закрепление подвижных песков кустарником *Calligonum aphyllum*.

В результате перевыпаса скота в ходе регрессионных сукцессий в районе исследований в настоящее время доминируют сообщества из мятлика (*Poa bulbosa*) и однолетников (например, *Ceratocarpus arenarius, Alyssum turkestanicum*), пришедшие на смену мятликово-лерхополынным (*Artemisia lerchiana+Poa bulbosa*) и лерхополынно-мятликовым (*Poa bulbosa+Artemisia lerchiana*) сообществам (Лазарева и др., 2020).

Кроме выпаса скота в исследуемом регионе существенным фактором динамики состояния растительного покрова являются ландшафтные пожары. Только на территории заповедника «Черные земли» в 2001-2019 гг. в среднем каждый год выгорало более 130 км^2 в ядре и более 230 км^2 в охранной зоне. В результате на данной особо охраняемой природной территории не осталось площадей, не затронутых огнем (Шинкаренко и др., 2020). Регулярные пожары приводят к резкому снижению обилия полыней и других полукустарничков (Тереножкин, 1936) и замещению злаковыми ассоциациями сообществ с доминированием полыней (Родин, 1981).

В исследуемом регионе разновременные гари представлены мятликовыми (*Poa bulbosa*), житняково-мятликовыми (*Poa bulbosa–Agropyron* spp.), мятликово-житняковыми (*Agropyron* spp.–*Poa bulbosa*), мятликово-ковыльными (*Stipa capillata–Poa bulbosa*) и ковыльно-мятликовыми сообществами (*Poa bulbosa–Stipa capillata*).

В соответствии с тенденциями динамики растительного покрова сбитых пастбищ на полигоне «Тавн-Гашун» для проведения полевого спектрометрирования были выделены участки, не пройденные пожаром, со следующими доминирующими сообществами: мятликовое с участием декурании Софии (*Poa bulbosa+Descurainia sophia*) с проективным покрытием 45%, мятликово-ковыльное (*Stipa capillata–Poa bulbosa*) с проективным покрытием 40%, а также подстилающая их открытая почва (слабогумусированный песок). *Poa bulbosa* на момент исследований находился в фазе отмирания надземных частей, *Descurainia sophia* – в фазе плодоношения, *Stipa capillata* – в фазе цветения.

Исследования проведены с использованием полевого спектрорадиометра PSR-1100. Спектрорадиометр применяется для верификации данных дистанционного зондирования и при наземных исследованиях структуры отраженного спектра ландшафтных объектов (Ollinger, 2011). По спектрограмме просматривается неравномерное распределение спектральной энергетической яркости (СЭЯ) в видимом спектре излучения с включением ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазона длины волны. Для определения распределения величины СЭЯ по спектральным диапазонам были выделены следующие участки спектра: ультрафиолетовый и фиолетовый – 320-440 нм, синий – 441-485 нм, голубой – 486-500 нм, зеленый – 501-565 нм, желтый – 566-590 нм, оранжевый – 591-625 нм, красный – 626-780 нм, инфракрасный – 780-1100 нм, с суммированием энергетической яркости в каждом диапазоне. Такой прием дает возможность сравнивать наземные результаты спектрометрических исследований со спектрозональными космическими и авиационными снимками, расширяя возможности идентификации объектов на этих снимках, включая как фитоценозы, так и фенологические фазы их развития. Верификация данных дистанционного зондирования проводится путем сравнения нормированных значений отраженной энергии в значимых диапазонах съемки спектрозональных снимков (для растений это красный 626-780 нм и инфракрасный 780-1100 нм диапазоны). При совпадении индивидуальных характеристик отраженной энергии можно с определённой вероятностью отнести выделенную область снимка к тому или иному растительному сообществу.

Оценка распределения приходящей, отраженной и поглощенной энергии проводилась с оценкой спектральной энергетической яркости, измеряемой в мВт/(м^2·ср·нм) в диапазоне от 320 до 1100 нм, включающем видимый, ультрафиолетовый (320-380 нм) и инфракрасный (781-1100 нм) диапазоны.

Для анализа результатов исследований было использовано программное обеспечение DARWin SP Data Acquisition, которое позволяет определять спектральные характеристики излучения, а также 19 индексов растительности, включая нормализованный относительный вегетационный индекс

NDVI. DARWin SP позволяет сопоставлять несколько спектров на одном и том же графике для удобства анализа с использованием встроенных программ. Перед съемкой проводится калибровка прибора на эталонном белом диске с 95% альбедо, при этом прибор по величине практически полной отраженной энергии устанавливает величину приходящей. Прибор оборудован встроенным приемником геопозиционирования на местности по четырем глобальным системам – GPS, ГЛОНАС, Байду и Galileeo, что дает возможность определения координат с точностью до 1 м.

При проведении спектральных исследований энергетических характеристик компонентов ландшафтов были получены статистические характеристики, позволяющие определить индивидуальные особенности отражения по диапазонам спектра, спектральные индексы, а также средние значения и стандартное отклонение. Сравнимость полученных результатов зависит как от количества приходящей энергии солнца, так и от условий съемки. Для выполнения требования сравнимости необходимо отсутствие облачности, затенения объекта съемки и периодическая калибровка прибора. Для достоверности статистической обработки результатов малых выборок необходимо обеспечить минимум пятикратную повторность съемки.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов исследований спектрального излучения верхнего слоя почв, в нашем случае слабогумусированных песков, а также фитоценозов на выбранных объектах исследований, позволяет определить характерные особенности компонентов, составить каталог индивидуальных спектров и индексов для выбранных условий съемки. На рисунке 1 приведена спектрограмма средних значений спектральной энергетической яркости по результатам 10 измерений СЭЯ растительного фитоценоза (*Poa bulbosa+Descurainia sophia*). Средние значения СЭЯ определялись для каждой длины волны в диапазоне от 0.2 до 29.9 мВт/(м^2·ср·нм), соответственно, стандартные отклонения от среднего тоже. Получены фактические значения стандартных отклонений для каждой длины волны, которые находятся в диапазоне от 0.014 до 2.07 и в относительных величинах составляют около 7% от средних значений СЭЯ.

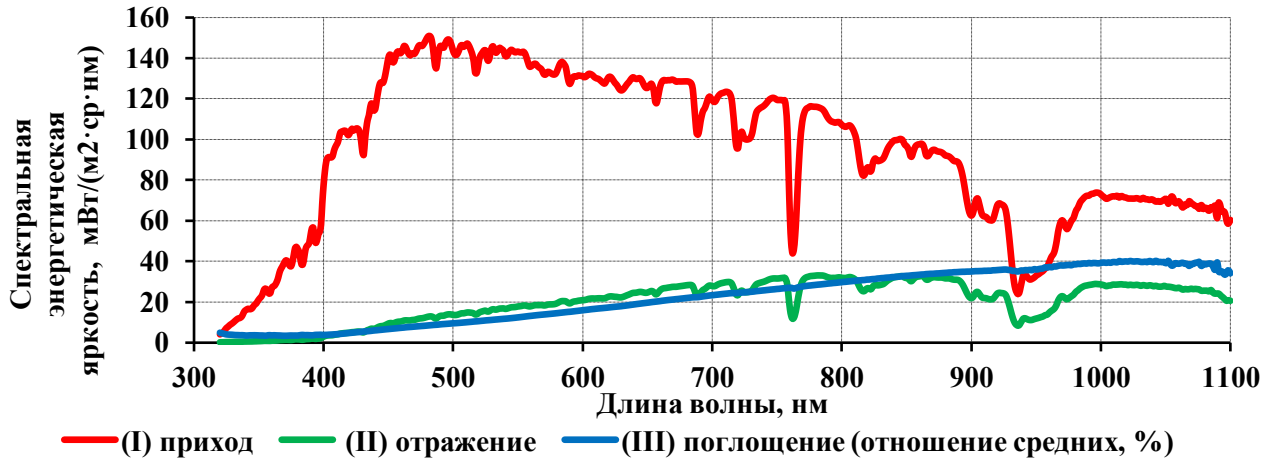


Рис. 1. Спектрограмма распределения энергетической яркости приходящей (I), отраженной (II) и поглощенной (III) энергии для растительного фитоценоза *Poa bulbosa, Descurainia sophia* по длине волны.

На дату проведения исследований *Poa bulbosa* находился на фазе отмирания побегов, а *Descurainia sophia* закончила вегетацию и плодоносила. У *Stipa capillata* только начиналась фаза колошения. Соответственно этому, должны отличаться и спектрально-отражательные характеристики растительных сообществ, что необходимо учитывать при сравнении величин отраженной и поглощённой энергии. Для фотосинтезирующей растительности характерен максимум поглощения в красной области спектра и максимум отражения в ближней инфракрасной области. Особый интерес представляет сравнение спектров отраженного излучения у высохшей растительности и открытой почвы. Многолетние злаки, эфемеры и эфемероиды заканчивают вегетацию в начале-середине лета,

в это же время отмечаются минимумы вегетационного индекса (Шинкаренко, Барталев, 2020). Разделение высохшей растительности и открытой почвы представляет собой важную задачу при определении земель, лишенных растительного покрова. Спектрометрия высохшей растительности показала, что значения отражённой энергии для нее отличаются в меньшую сторону: в красном диапазоне суммарная отраженная энергия составляет 1933 мВт/(м^2·ср·нм), в инфракрасном – 3767 мВт/(м^2·ср·нм). По сравнению с открытыми почвами (6824 и 11205 мВт/(м^2·ср·нм)) эти значения практически в 3 раза меньше, что свидетельствует о том, что высохшая растительность активно использует энергию для разложения органики. Для фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia* стандартное отклонение отраженной энергии составляет 1.36, вегетационный индекс NDVI=0.208. Для *Stipa capillata* стандартное отклонение – 3.94, NDVI=0.316. Для *Calligonum aphyllum* стандартное отклонение – 9.81, NDVI=0.354. Для верхнего слоя почвы стандартное отклонение – 9.28, NDVI=0.106. Наибольшее среднее значение NDVI отмечено для *Calligonum aphyllum,* т.к. на момент проведения исследования он находился в активном вегетационном периоде.

На рисунке 2 приведены диаграммы распределения суммарной энергетической яркости в выбранных диапазонах длины волны для фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia*, для *Stipa capillata*, *Calligonum aphyllum* и для почвы (песок слабогумусированный), которые показывают различия характеристик СЭЯ растительности и почв. Так, рассматривая соотношение поглощённой и отраженной энергии в инфракрасной области спектра, можно отметить, что вегетирующая растительность (*Stipa capillata*, *Calligonum aphyllum*) поглощает меньше энергии, чем отражает, в 2 и 1.2 раза соответственно, а почва и прекративший вегетацию мятлик (*Poa bulbosa*) отражает больше, чем поглощает, в 1.2 и 1.8 раза соответственно. Таким образом, особенности отражения вегетирующих растений и прекративших вегетацию дают возможность сделать выводы о стадии их развития. Пески слабогумусированные на полигоне исследований отличаются меньшим значением поглощенной энергии в ультрафиолетовом и большим в инфракрасном диапазоне спектра по сравнению с растительным фитоценозом. Среднее значение альбедо верхнего слоя почвы по всему диапазону спектра – 0.33 со стандартным отклонением 0.097, при этом максимальное альбедо в ближней инфракрасной области спектра – 0.51, а минимальное – 0.06 в ультрафиолетовой.

На рисунке 3 приведены диаграммы распределения альбедо по длине волны для фитоценозов *Poa bulbosa+Descurainia sophia*, *Stipa capillata*, *Calligonum aphyllum* и для альбедо верхнего слоя почвы. По полученным результатам можно сделать вывод о том, что наименьшая отражательная способность для всех элементов естественных ландшафтов отмечается в коротковолновом диапазоне и наибольшая – в инфракрасном. Установлено, что у верхнего слоя почвы стандартное отклонение средних – 0.16, при максимуме 0.33 и минимуме 0.06. Для фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia Sophia* (среднее – 0.23, максимальное – 0.40, минимальное – 0.03) стандартное отклонение составляет 0.13, что ниже значений для фитоценоза *Stipa capillata,* где стандартное отклонение – 0.12 (среднее – 0.24, максимальное – 0.49, минимальное – 0.02), за исключением ультрафиолетового и фиолетового диапазонов, что показывает большее поглощение приходящей энергии в инфракрасном диапазоне. Для *Calligonum aphyllum* значения альбедо выше: среднее – 0.30, максимальное – 0.57, минимальное – 0.03, стандартное отклонение – 0.23.

Выводы

В результате исследований установлено, что пески слабогумусированные на полигоне отличаются меньшим значением поглощенной энергии в ультрафиолетовом и большим в инфракрасном диапазоне спектра по сравнению с растительным фитоценозом. Среднее значение альбедо верхнего слоя почвы по всему диапазону спектра – 0.33. Среднее альбедо фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia* – 0.23, что ниже среднего значения альбедо фитоценоза *Stipa capillata* – 0.24, кроме ультрафиолетового и фиолетового диапазонов, что показывает большее поглощение приходящей энергии. Для *Calligonum aphyllum* значение среднего альбедо – 0.30.

Установлены индивидуальные спектральные характеристики фитоценозов: для *Poa bulbosa+Descurainia sophia*, среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 20.2 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.90, вегетационный индекс NDVI=0.208; для *Stipa capillata* среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 20.5 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 12.36, вегетационный индекс NDVI=0.316; для *Calligonum aphyllum* среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам

спектра – 47.2 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.81, вегетационный индекс NDVI=0.354. Для почвы среднее значение отраженной энергии по всем диапазонам спектра – 30.3 мВт/(м^2·ср·нм), стандартное отклонение отраженной энергии – 9.28, вегетационный индекс NDVI=0.106. Наибольшее среднее значение NDVI отмечено для *Calligonum aphyllum*, т.к. он находился в вегетационном периоде.

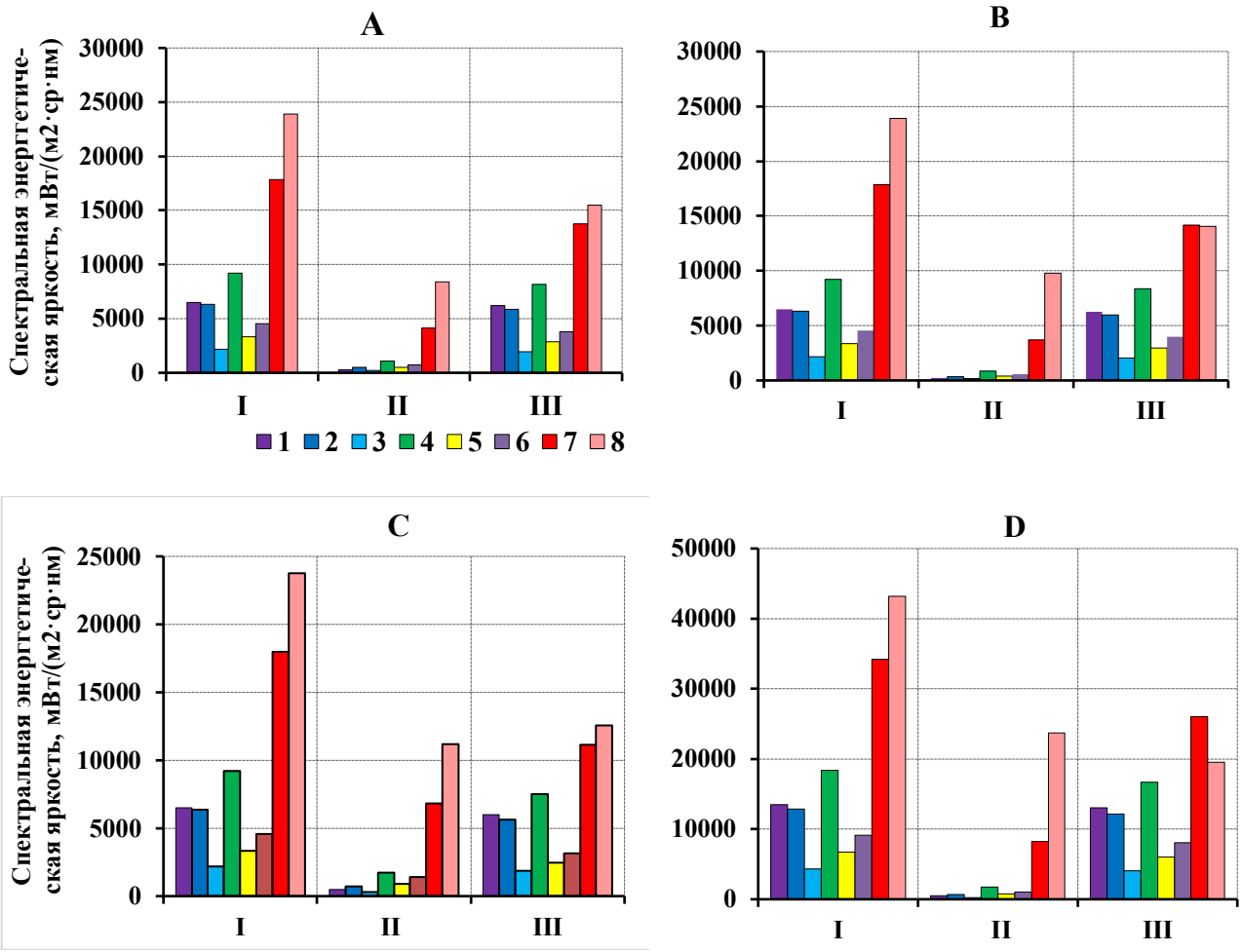


Рис. 2. Распределение суммарной энергетической яркости приходящей (I), отраженной (II) и поглощенной (III) энергии для растительного фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia* (A), *Stipa capillata* (B), почвы (C) и *Calligonum aphyllum* (D) по диапазонам длины волны. *Условные обозначения:* 1 – ультрафиолетовый и фиолетовый (320-440 нм), 2 – синий (441-485 нм), 3 – голубой (486-500 нм), 4 – зеленый (501-565 нм), 5 – желтый (566-590 нм), 6 – оранжевый (591-625 нм), 7 – красный (626-780 нм), 8 – инфракрасный А (780-1100 нм).

Можно отметить, что наименьшая отражательная способность для всех элементов естественных ландшафтов характерна для коротковолнового диапазона, а наибольшая – для инфракрасного.

Таким образом, использование статистической оценки результатов спектрорадиометрических измерений позволило установить распределение отраженной энергии основных фитоценозов и почв по длине волны и по диапазонам длин волн на тестовых участках опустыненных территорий, расположенных на территории Черных Земель. Эти данные обеспечивают возможность создания энергетических (спектральных) эталонов фактического состояния как отдельных компонентов ландшафтов (растений, их сообществ, находящихся на разных стадиях развития и почв), так и ландшафтных комплексов в целом. Исследования СЭЯ при помощи спектрорадиометра выявили ряд проблем, связанных с изменением абсолютных значений приходящей энергии при изменении

условий съемки (положение солнца, облачность и др.), что вызывает необходимость перехода на нормированные величины (отношение отраженной или поглощенной энергии к приходящей), дающие возможность получать стабильные относительные результаты. Такие эталоны повышают точность идентификации спектрозональных данных дистанционного зондирования и являются основой для проведения их автоматизированного дешифрирования и картографирования.

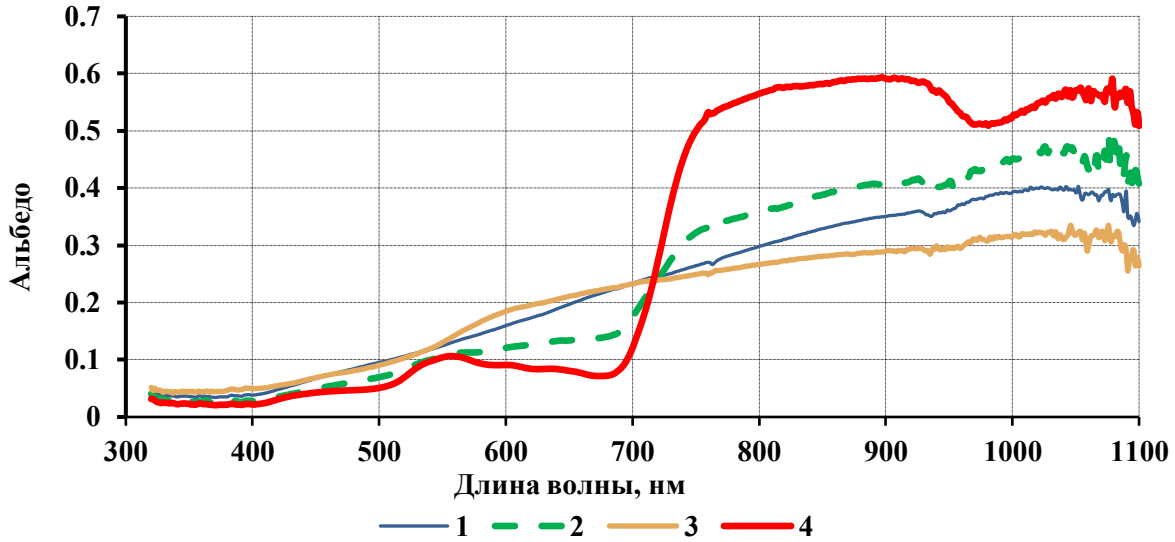


Рис. 3. Распределения альбедо для растительного фитоценоза *Poa bulbosa+Descurainia sophia* (1), *Stipa capillata* (2), верхний слой почвы (3), *Calligonum aphyllum* (4) по длине волны.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН НИР № 0713-2019-0001 по теме «Провести теоретическое и геоинформационное моделирование, мониторинг, прогноз процессов деградации компонентов агролесоландшафтов на основе аэрокосмических исследований в лесостепной, степной и пустынной зонах и разработать способы управления противодеградационными агролесомелиоративными технологиями предотвращения опустынивания земель, повышения их плодородия и формирования экологического каркаса» (№ госрегистрации – АААА-А-116122010038-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бананова В.А., Лазарева В.Г. 2014. Тенденции изменения ботанического разнообразия под влиянием опустынивания в республике Калмыкия // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2 (59). С. 87-96. [*Bananova V.A., Lazareva V.G.* 2014. Trends of Changes in the Botanical Diversity under the Influence of Desertification in the Republic of Kalmykia // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 2. P. 119-126.]

Власенко М.В., Кулик А.К., Салугин А.Н. 2019. Оценка экологического состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4 (81). С. 71-81. [*Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N.* 2019. Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 4. P. 273-281.]

Горяев И.А. 2019. Галофитные полынники на Прикаспийской низменности (в пределах Калмыкии) // Ботанический журнал. Т. 104. № 1. С. 93-106.

Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.В., Сторчак И.Г. 2018. Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 7. С. 53-66.

Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. 2004. Природная переходная зона на Прикаспийской низменности // Известия РАН. Серия Географическая. № 2. С. 92-99.

Крутских Н.В., Кравченко И.Ю. 2018. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 2. С. 159-168.

Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. 2015. Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 23-32. [*Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G.* 2015. Geoinformation Analysis of Desertification Dynamics in the Territory of Astrakhan Oblast //

Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 134-141.]

Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А. 2020. Нейтральный баланс деградации земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (53). С. 3-9. [*Kust G.S., Andreeva O.V., Lobkovskiy V.A.* 2020. Land Degradation Neutrality: the Modern Approach to Research on Arid Regions at the National Level // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 2. P. 87-92.]

Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен В.З. 2020 Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 (85). С. 26-34. [*Lazareva V.G., Banapova V.A., Nguyen Z.V.* 2020. Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 276-283.]

Родин Л.Е. 1981. Пирогенный фактор и растительность аридной зоны // Ботанический журнал Т. 66. №.12. С. 1673-1684.

Тереножкин И.И. 1936. О влиянии пожаров на растительность полупустыни // Природа. № 9. С. 45-59.

Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. 2015. Дистанционные индикаторы опустынивания земель // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21. № 1. С. 36-40. [*Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P.* 2015. Remote Indicators of Desertification // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 1. P. 24-27.]

Шинкаренко С.С. 2021. Изменение спектрально-отражательных характеристик зональных ландшафтов Северного Прикаспия при пирогенном воздействии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 18. № 3. С. 179-193.

Шинкаренко С.С., Барталев С.А. 2020 Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17. № 5. С. 179-194.

Шинкаренко С.С., Ткаченко Н.А., Барталев С.А., Юферев В.Г., Кулик К.Н. 2020. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17. № 5. С. 291-296.

Cherepanov S.K. 2007. Vascular Plants of Russia and Adjacent States (the Former USSR). Cambridge: Cambridge University Press. 517 p.

Cavender-Bares J., Gamon J.A., Hobbie S.E., Madritch M.D., Meireles J.E., Schweiger A.K., Townsend P.A. 2017. Harnessing Plant Spectra to Integrate the Biodiversity Sciences across Biological and Spatial Scales // American Journal of Botany. No. 104. P. 966-969.

Drolet G.G., Middleton E.M., Huemmrich K.F., Hall F.G., Amiro B.D., Barr A., Black T.A., McCaughey H., Margolis H.A. 2008. Regional Mapping of Gross Light-Use Efficiency Using MODIS Spectral Indices // Remote Sensing of Environment. No. 112. P. 3064-3078.

Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B., Isola C., Laberinti P., Martimort P., Meygret A., Spoto F., Sy O., Marchese F., Bargellini P. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. No. 120. P. 25-36.

Grigor'ev A.N., Shilin B.V. 2013. Analysis of Seasonal Variations of the Spectral Characteristics of Landscape Components, Using the Data of the Hyperion Space Video Spectrometer // Journal of Optical Technology. Vol. 80. Is. 6. P. 360-362.

Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices // Remote Sensing of Environment. No. 83. P. 195-213.

Klein I., Gessner U., Kuenzer C. 2012. Regional Land Cover Mapping in Central Asia Using MODIS Time Series // Applied Geography. No. 35. P. 1-16.

Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. 2018. On the 30th Anniversary of the "General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures" // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 5-20.

Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. 2010. Aerospace Monitoring of Pastures in Conditions of Dry Steppe and Semi-Desert // Science, Technique and Innovation Technologies in an Epoch of Great Revival: Abstracts of Reports, International Scientific Conference, June 12-14, 2010. Ashgabat. P. 406-407.

Lu L., Kuenzer C., Guo H., Li Q., Long T., Li X. 2014. A Novel Land Cover Classification Map Based on MODIS Time-series in Nanjing, China // Remote Sensing. No. 6. P. 3387-3408.

Ollinger S.V. 2011. Sources of Variability in Canopy Reflectance and the Convergent Properties of Plants // New Phytologist. No. 189. P. 375-394.

Yuferev V.G., Zavalin A.A., Pleskachev Y.N., Vdovenko A.V., Fomin S.D., Vorontsova E.S. 2019. Degradation of Landscapes in the South of the Privolzhsky Upland // Journal of Forest Science. No. 65. P. 195-202.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 73-79

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*УДК 630*561.24*

РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЭКСТРАЗОНАЛЬНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СУХОЙ СТЕПИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

© 2022 г. Н.В. Рыгалова*, Н.И. Быков, А.А. Шигимага****

**Алтайский государственный университет*
Россия, 656049 г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61
***Институт водных и экологических проблем СО РАН*
Россия, 656038 г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: natalia.ml@mail.ru, nikolai_bykov@mail.ru

Поступила в редакцию 03.09.2021. После доработки 04.10.2021. Принята к публикации 10.10.2021

В работе представлен дендроклиматический анализ древесно-кольцевых хронологий хвойных (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb.) и лиственных (*Betula pendula* Roth., *Populus balsamifera* L.) пород деревьев, произрастающих в естественных экстразональных ландшафтах ленточных боров и природно-антропогенных ландшафтах полезащитных лесополос в сухостепной подзоне юга Западной Сибири. Максимальный годичный прирост отмечен у тополя, минимальный – у лиственницы. Наибольшей климатической чувствительностью характеризуются ряды радиального роста деревьев лесополос (максимальные значения отмечены для березы). Отмечено сходство древесно-кольцевых рядов березы и лиственницы, которые наиболее подвержены водному стрессу в условиях сухой степи. Установлена значимость гидротермических условий августа-сентября предыдущего года, а также мая (для хвойных пород) и преимущественно июня (для лиственных) текущего года. Положительная статистически значимая связь отмечена с осадками и показателем увлажнения территории (с гидротермическим коэффициентом Селянинова), с температурой – отрицательная. Для хронологий сосны естественных ленточных боров вклад первой компоненты определяет 80.6% изменчивости ряда, что больше, чем для хронологий лесополос. Это свидетельствует о смешанном природно-антропогенном сигнале в годичных кольцах деревьев искусственных лесопосадок.

Ключевые слова: сухая степь, радиальный рост деревьев, дендроклиматический анализ, ленточные боры, полезащитные лесополосы, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза повислая, тополь бальзамический.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-73-79

В последние годы неизменно растет интерес и число публикаций по дендроклиматическим исследованиям засушливых территорий (Агафонов, Кукарских, 2008; Андреев и др., 2001; Вахнина и др., 2018; Вахнина, Малых, 2013; Малышева, Быков, 2011; Babushkina et al., 2019; Khansaritoreh et al., 2018; Ling et al., 2015; Tabakova et al., 2020; Dulamsuren et al., 2018). Это обусловлено тем, что древесные растения здесь испытывают дефицит влаги и являются индикаторами увлажнения территории, а также тенденций его многолетних изменений под влиянием глобальных трансформаций климата. Наиболее исследованными на засушливых территориях являются сосна (Агафонов, Кукарских, 2008; Андреев и др., 2001; Вахнина и др., 2018; Малышева, Быков, 2011; Рыгалова, Быков, 2015; Babushkina et al., 2019; Matveev et al., 2018; Ling et al., 2015; Tabakova et al., 2020; Dulamsuren et al., 2018), меньше береза (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018; Вахнина, Малых, 2013), лиственница (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018; Khansaritoreh et al., 2018) и тополь (Edmondson et al., 2014; Ling et al., 2015). При этом в фокусе дендроклиматических исследований находятся прежде всего естественные лесные ландшафты (в частности, ленточные боры, протягивающиеся от подзоны южной лесостепи до сухой степи (Магда, 2003; Малышева, Быков, 2011; Оленин, Мазепа, 1987; Рыгалова, Быков, 2015; Tabakova et al., 2020), антропогенные леса представлены незначительно: есть отдельные работы по дендроклиматическому изучению городских лесов (Вахнина, 2011; Матвеев и др., 2015; Vasconcellos et al., 2019) в различных физико-географических зонах, подобных исследований полезащитных лесополос практически не

представлено. Можно отметить работу Е.А. Бабушкиной с соавторами (Babushkina et al., 2019), где в качестве одного из объектов исследования выступают полезащитные лесополосы из вяза, и пионерные работы по Алтайскому краю (Быков и др., 2020).

Сухостепная зона остается малоисследованной в этом отношении, прежде всего по причине естественного отсутствия деревьев. Произрастание древесной растительности здесь возможно в условиях азонального проявления, а также в искусственно созданных экосистемах. При этом функционирование природно-антропогенных ландшафтов определяется не только природными условиями, но также зависит от воздействия человека.

Цель данной работы заключается в сравнительном анализе динамики радиального роста различных древесных пород (лиственных и хвойных), произрастающих в пределах сухой степи. Главной задачей является установление климатической чувствительности древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) деревьев различных пород, что позволит судить о специфике реакции на изменения экстремальности фактора среды и климатических условий последних десятилетий. Другой задачей является сравнение особенностей роста деревьев в естественных и антропогенных ландшафтах, что позволит выявить наличие антропогенного сигнала.

Материалы и методы

Работа основана на анализе обобщенных хронологий ширины годичных колец деревьев разных пород: 7 ДКХ сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в ленточных борах (рис. 1); 1 ДКХ лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), 2 ДКХ березы повислой (*Betula pendula* Roth.), 4 ДКХ тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), представленных в качестве основных пород в полезащитных лесополосах в сухостепной подзоне Западной Сибири в юго-западной и западной частях Алтайского края (на границе с Казахстаном). В орографическом плане модельные участки лесополос характеризуются равнинным рельефом (142-246 м н.у.м. БС), сбор образцов сосны обыкновенной проводился на выровненных участках долин древнего стока (153-220 м н.у.м. БС). При выборе деревьев в ленточных борах предпочтение отдавалось отдельно стоящим деревьям (с целью снижения внутриценотического фактора конкуренции), в лесополосах такая возможность была исключена (кроме модельной площадки Рубцовск_Б, где деревья произрастали на значительном удалении друг от друга).

Сбор, обработка, измерение, индексирование и построение обобщенных остаточных хронологий (residual) производились по общепринятым дендрохронологическим методикам (Методы дендрохронологии, 2000; Cook, Kairiukstis, 1990) с использованием специального оборудования LINTAB 6 и программного обеспечения TSAP, программы пакета DPL.

Расчет коэффициента чувствительности, который является мерой относительной изменчивости значений ширины годичных колец от года к году, был произведен по стандартной формуле (Fritts, 1976). Анализ коэффициентов чувствительности хронологий позволят оценить степень влияния лимитирующих факторов среды на рост деревьев (в сухостепной подзоне основным фактором является дефицит осадков). Хронология считается чувствительной, если значение данного коэффициента выше 0.3 (Ferguson, 1969), но может быть использована в дендроклиматическом анализе при значении 0.2 и выше (Ваганов и др., 1996).

В качестве метеорологической базы исследования использованы данные среднемесячных значений температуры воздуха и атмосферных осадков (Федеральная служба ..., 2021), расчетные значения ГТК Селянинова с 1977 по 2012 гг. по ГМС Рубцовск. За указанный период среднегодовая сумма осадков составила 322 мм, среднее значение ГТК – 0.74, что соответствует переходной зоне от засушливой к сухой (ГТК ниже 0.7) степи (Грингоф, Павлова, 2013).

Взаимосвязь между хронологиями, а также климатическими данными и приростом определялась с помощью расчета коэффициентов корреляции Пирсона (взяты метеоданные с августа прошлого года по сентябрь текущего года прироста). Кроме этого для исследования взаимосвязи ДКХ разных пород между собой использовался кластерный анализ (метод Уарда – как правило объединения и мера расстояний 1-r Пирсона (Магда и др., 2004)); для выявления наличия единого фактора, который определяет прирост деревьев, был использован метод главных компонент (Peters et al., 1981).

Результаты и их обсуждение

Было проанализировано 14 обобщенных ДКХ (табл.), представленных 4 породами деревьев, произрастающих в местообитаниях, отличных друг от друга по экологическим характеристикам.

Древесно-кольцевые ряды лесополос являются по большей части одновозрастными и короткими в отличие от ДКХ естественных боров. В связи с короткорядностью хронологий лесополос общий период анализа составил 35 лет (1978-2012 гг.).

Наибольшими средними значениями ширины годичных колец (в том числе максимальными и минимальными) характеризуется тополь. Внутри данной видовой группы рост указанных параметров происходит в юго-восточном направлении (как и для березы), совпадая с восточным вектором увеличения атмосферных осадков. По ДКХ сосны отмечается обратная тенденция: увеличение параметров годичных колец происходит при движении на северо-запад сухостепной подзоны (исключением является ДКХ Угловское). При движении на север подзоны снижается сумма активных температур (Kharlamova, 2020), вероятнее всего, ослабевает действие термического фактора на прирост деревьев, несмотря на сохраняющееся недостаточное количество осадков. Произрастание сосны в границах значительной по площади экстразональной геосистемы делает ее более устойчивой к дефициту влаги. Хронология лиственницы, произрастающей в лесополосах, демонстрирует самые низкие значения средней и минимальной ширины годичного прироста.

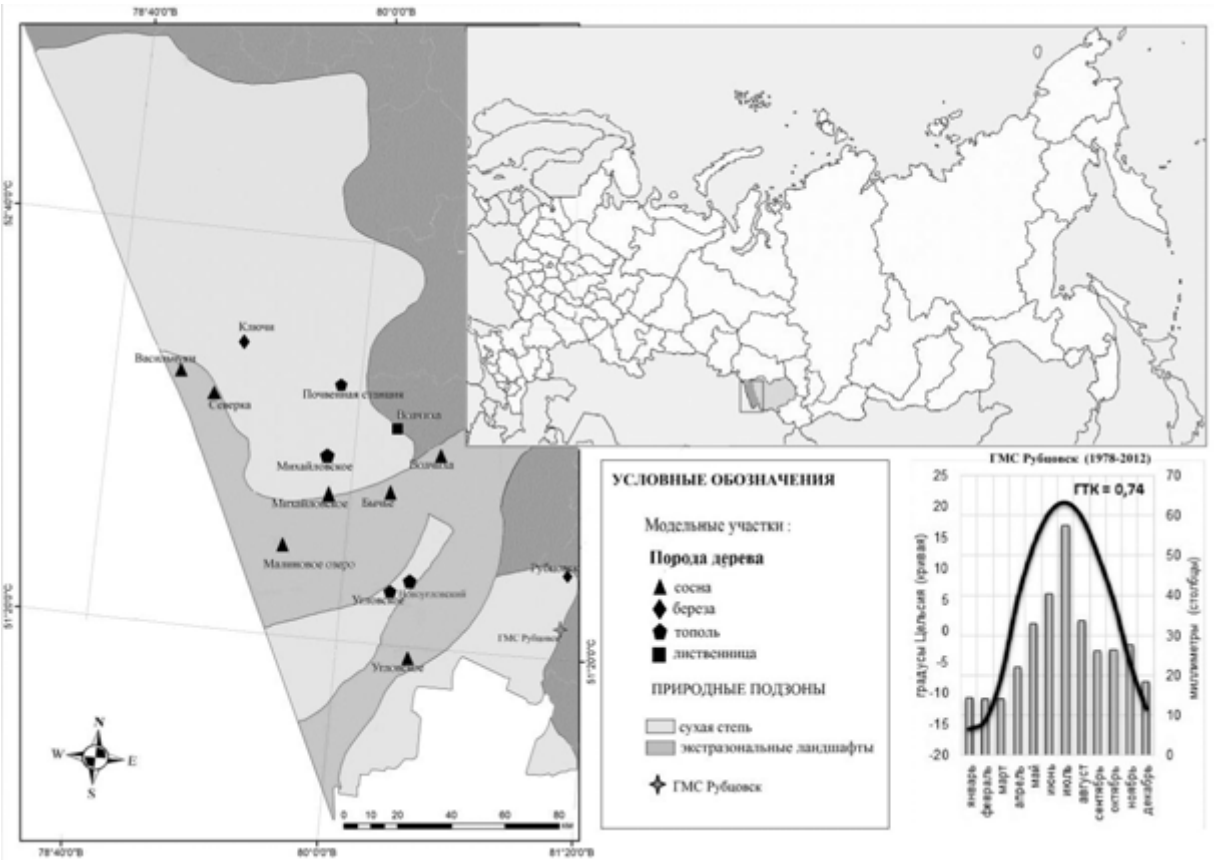


Рис. 1. Территория исследования, физико-географические границы даны по атласу «Алтайский край» (1978).

Результаты исследований показали, что ДКХ сухостепной подзоны характеризуются высокой чувствительностью, при этом пороговое значение 0.3 (Ferguson, 1969) преодолевают только хронологии березы и лиственницы, также отдельные ДКХ тополя и сосны. В целом береза демонстрирует наибольший дендроиндикационный потенциал на данной территории в связи с ее уязвимостью к воздействую засух, характерных для сухой степи, что отмечалось ранее и для других засушливых территорий (Babushkina et al., 2019; Dulamsuren et al., 2018). Лиственница, произрастая в условиях дефицита влаги на равнине, уступает по засухоустойчивости сосне обыкновенной, что также отмечалось ранее (Babushkina et al., 2019), и достаточно чувствительна к динамике увлажнения территории. Тополиные хронологии по ряду причин (Edmondson et al., 2014) редко используются в дендроклиматических исследованиях. Тем не менее, на рассматриваемой территории

они характеризуются значительным потенциалом (особенно северные ДКХ).

Проведенный кластерный анализ позволил выделить 3 группы, оформившиеся по породному составу: тополиную, сосновую и березово-лиственничную (рис. 2). Образование последнего кластера объясняется высокой чувствительностью радиального прироста обеих пород к дефициту влаги, характерной в сухой степи. При дальнейшем объединении сосновая и березово-лиственничная группы ДКХ образуют единый кластер, что говорит о большей схожести реакции данных пород на изменения условий среды по сравнению с тополем.

Таблица. Характеристика древесно-кольцевых хронологий.

Название места и порода дерева (ДКХ_порода*)	Координаты мест отбора проб	Период ДКХ, гг. (количество лет)	Среднее / максимальное / минимальное значение ШГК**, осредненное по ИДКХ*** (мм)	Стандартное отклонение	k чувстви-тельности
				для ДКХ за 1978-2012 гг.	
Ключи_Б	52°13' с.ш., 79°11' в.д.	1969-2018 (50)	2.2 / 7.2 / 0.3	0.39	0.43
Рубцовск_Б	51°40' с.ш., 81°03' в.д.	1965-2018 (54)	2.6 / 8.4 / 0.4	0.29	0.37
Почв.Станция_Т	52°03' с.ш., 79°54' в.д.	1949-2018 (70)	3.2 / 9.8 / 0.5	0.29	0.33
Михайловское_Т	51°51' с.ш., 79°42' в.д.	1978-2018 (41)	3.3 / 7.9 / 0.7	0.23	0.27
Новоугловский_Т	51°26' с.ш., 80°13' в.д.	1971-2018 (48)	3.6 / 9.1 / 1.4	0.22	0.25
Угловское_Т	51°22' с.ш., 80°03' в.д.	1973-2018 (46)	3.4 / 9.4 / 1.0	0.25	0.29
Волчиха_Л	52°02' с.ш., 80°18' в.д.	1961-2018 (58)	1.2 / 6.1 / 0.1	0.32	0.32
Васильчуки_С	52°14' с.ш., 78°55' в.д.	1781-2019 (239)	2.1 / 7.0 / 0.5	0.21	0.23
Северка_С	52°07' с.ш., 79°18' в.д.	1858-2007 (150)	2.0 / 5.7 / 0.4	0.26	0.31
Волчиха_С	51°59' с.ш., 80°25' в.д.	1768-2018 (251)	1.8 / 5.1 / 0.4	0.25	0.26
Бычье_С	51°50' с.ш., 80°08' в.д.	1803-2012 (210)	1.9 / 5.3 / 0.3	0.19	0.19
Михайловское_С	51°49' с.ш., 79°47' в.д.	1822-2007 (186)	1.7 / 5.7 / 0.3	0.28	0.34
Малинов.Озеро_С	51°32' с.ш., 79°52' в.д.	1733-2013 (281)	1.3 / 4.8 / 0.2	0.21	0.27
Угловское _С	51°18' с.ш., 80°20' в.д.	1779-2013 (235)	1.9 / 6.4 / 0.4	0.27	0.28

Примечания к таблице: ДКХ_порода* – порода деревьев: Б – береза, Т – тополь, Л – лиственница, С – сосна; ШГК** – ширина годичных колец деревьев, ИДКХ*** – индивидуальные ДКХ.

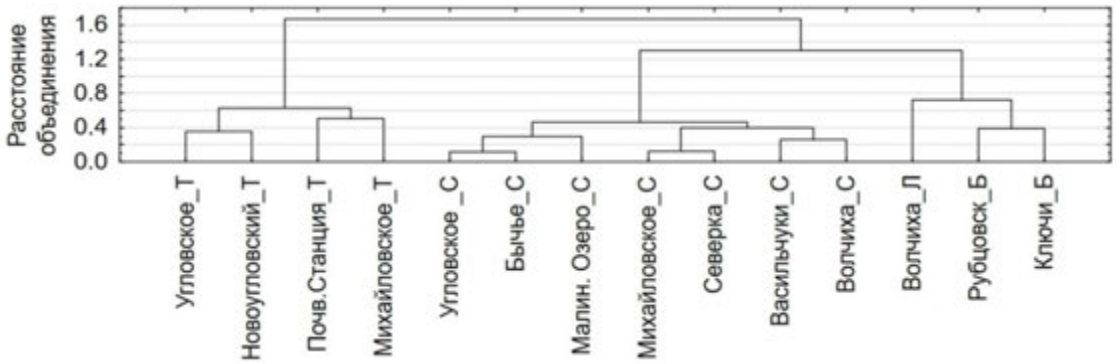


Рис. 2. Кластеризация ДКХ за период 1978-2012 гг.

Корреляционный анализ стандартизированных хронологий различных породных групп показал слабую связь между радиальным приростом сосны естественных боров и лесополос. С тополиными хронологиями среднее значение коэффициента корреляции ДКХ ленточных боров составило 0.35. Отмечаются отдельные корреляционные связи на уровне 0.50 (при этом не отмечается четкой территориальной закономерности в их проявлении). С березовой хронологией Ключи_Б средний

коэффициент корреляции составил также 0.35, при этом для хронологий ленточных боров и ДКХ Рубцовск_Б получена умеренно высокая связь: среднее значение коэффициента корреляции – 0.6. Можно предположить, что это связано с особенностью произрастания деревьев на модельной площадке Рубцовск_Б (разреженно), что позволяет получить более чистый климатический сигнал (без шума внутриценотической конкуренции). Коэффициент корреляции хронологий сосны ленточных боров и лиственницы лесополос составил 0.24, отсутствие связи подтверждается кластерным анализом. Средние корреляционные значения между хронологиями березы и тополя составили 0.34; березы и лиственницы – 0.44 (Ключи_Б/Волчиха_Л) и 0.28 (Рубцовск_Б/Волчиха_Л), связь между ДКХ тополя и лиственницы отсутствует.

Результаты корреляционного анализа обобщенных хронологий и климатических данных отражены на рисунке 3 (представлены месяцы, для которых получены значимые коэффициенты корреляции при $p < 0.05$). Лимитирующими факторами для деревьев, произрастающих в сухостепной подзоне, являются гидротермические условия предыдущего августа/сентября и первой половины вегетационного периода текущего года (с осадками – положительная связь, с температурой – отрицательная). Для прироста большинства лиственных пород деревьев значимы гидротермические условия июня (для «южных» ДКХ Угловское_Т – температура мая, ДКХ Рубцовск_Б – осадки мая и июля). Прирост сосны определяют прежде всего осадки мая, а также предыдущего августа/сентября, в меньшей степени – температуры прошлых августа/сентября и текущих мая-июня. Хронология лиственницы демонстрирует иной отклик: фиксируется отрицательная связь прироста с температурой сентября-ноября прошлого года и положительная с осадками августа текущего года. Все ДКХ коррелируют с ГТК Селянинова ($r = 0.4$-0.6 при $p < 0.05$), что указывает на значимость совокупного фактора тепла и влаги для роста деревьев в сухой степи, при этом реакция деревьев (в значительной степени сосны) на осадки имеет более выраженный характер, что также отмечалось для засушливых территорий в ряде работ (Агафонов, Кукарских, 2008; Вахнина и др., 2018; Babushkina et al., 2019; Matveev et al., 2018; Tabakova et al., 2020; Edmondson et al., 2014). Зависимость прироста лиственницы преимущественно от гидротермических условий прошлого года, также отмечалась исследователями ранее (Khansaritoreh et al., 2018).

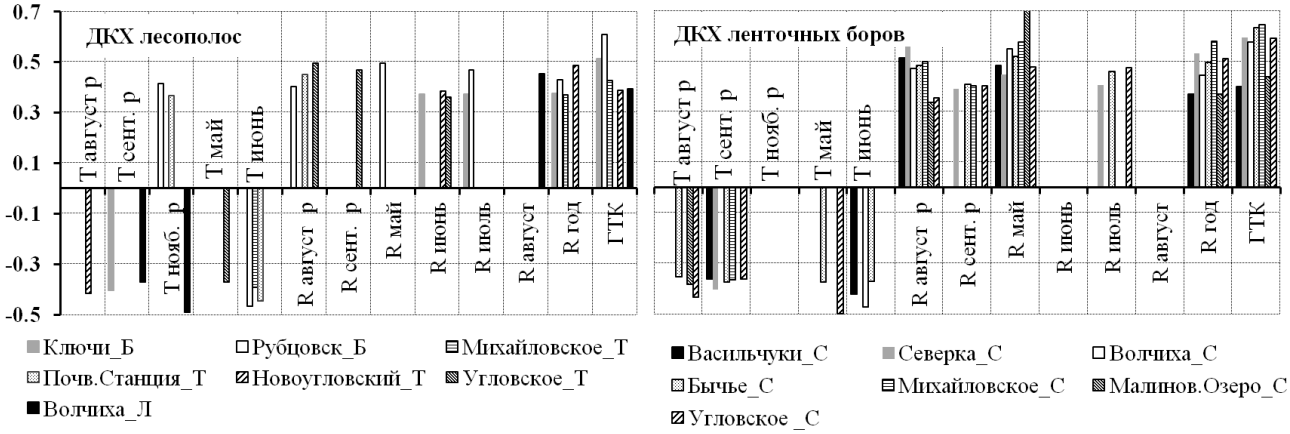


Рис. 3. Коэффициенты корреляции ДКХ лесополос/ленточных боров и данных ГМС Рубцовск за период 1978-2012 гг. (значимы при $p < 0.05$). *Условные обозначения:* Т – температура воздуха, R – осадки, ГТК – гидротермический коэффициент Селянинова, обозначение «р» – месяц предыдущего года.

Анализ главных компонент группы индексированных хронологий сосны ленточных боров показал, что первая компонента описывает 80.6% изменчивости рядов за указанный период (вторая – 7.3%), для группы ДКХ лесополос на первую компоненту приходится только 45.5%, на вторую – 19.8% изменчивости рядов. Вклад главной компоненты отдельно по ДКХ тополиной группы и березово-лиственничной, выделенных ранее при кластерном анализе, составил для обоих 63% (второй компоненты – 16.4% и 24.6% соответственно). Для роста деревьев в сухой степи климатическая компонента безусловно будет основной (что доказано выше установленными статистическими

зависимостями). Снижение вклада главной компоненты для деревьев полезащитных полос доказывает влияние дополнительных (возможно, антропогенных) факторов на их радиальный рост.

Выводы

В ходе исследования впервые для России был проведен сравнительный дендроклиматический анализ хвойных и лиственных пород деревьев, произрастающих в условиях выраженного дефицита осадков в искусственно созданных и естественных (экстразональных) лесных экосистемах. Изучаемые полезащитные лесополосы были высажены в советское время (во второй половине XX века), что обусловило небольшую продолжительность периода (1978-2012 гг.), использованного для анализа при условии, что он обеспечен всеми древесно-кольцевыми хронологиями.

Снижение радиального прироста деревьев в лесополосах сухостепной подзоны и увеличение чувствительности обобщенных хронологий лиственных пород (представленных в лесополосах) происходит по направлению юго-восток – северо-запад. При этом у хвойных пород (сосна ленточных боров) увеличение параметров годичных колец происходит в прямо противоположную сторону, а при оценке чувствительности ДКХ сосны не обнаружено пространственных закономерностей.

Хронологии ленточных боров не обнаружили значимых связей с ДКХ лесополос (за исключением хронологии Рубцовск_Б, предположительно, по причине слабого влияния фактора конкуренции на прирост березы на данном модельном участке и более выраженного климатического сигнала). В целом группы хронологий разных пород (хвойных и лиственных) в условиях засушливого климата слабо коррелируют друг с другом.

Хронологии лесополос (представленные преимущественно лиственными породами) более чувствительны к изменению условий окружающей среды по причине антропогенного генезиса (и, как следствие, усиленной акклиматизации), высокой ценотической конкуренции, а также своего фрагментированного размещения в пространстве. При этом корреляционный анализ показал более выраженный и согласованный отклик сосны ленточных боров на погодно-климатические изменения. Это связано с наличием иных (не метеорологических) факторов, которые определяют размер ежегодного радиального роста деревьев в антропогенных лесных ландшафтах в сухой степи, что подтверждает анализ главных компонент. Таким образом, можем говорить о смешанном природно-антропогенном сигнале в годичных кольцах деревьев лесополос. В этой связи рекомендуется проведение дополнительных манипуляций с ДКХ полезащитных лесополос с целью уменьшения влияния антропогенного фактора на рост деревьев (например, применение генерализации хронологий).

Финансирование. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-220011 р_а «Реакция полезащитных лесных полос сухостепной зоны Алтайского края на изменения климата») и в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (номер госрегистрации 0306-2021-0007 «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агафонов Л.И., Кукарских В.В. 2008. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Экология. № 3. С. 173-180.

Алтайский край. Атлас. 1978. Т. I. М., Барнаул: ГУГК. 222 с.

Андреев С.Г., Тулохонов А.К., Наурзбаев М.М. 2001. Региональные закономерности изменчивости прироста сосны в степной зоне Бурятии // География и природные ресурсы. № 1. С. 73-78.

Быков Н.И., Рыгалова Н.В., Шигимага А.А. 2020. Особенности радиального роста древесных растений в полезащитных лесных полосах сухой степи Алтайского края // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар. С. 122-124

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. 1996. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 246 с.

Вахнина И.Л. 2011. Радиальный рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зеленой зоне города Читы во второй половине прошлого столетия // География и природные ресурсы. № 1. С. 180-182.

Вахнина И.Л., Малых О.Ф. 2013. Деградация березняков бассейна реки Аргунь как показатель климатических изменений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 4. С. 122-126

Вахнина И.Л., Обязов В.А., Замана Л.В. 2018. Динамика увлажнения в степной зоне юго-восточного Забайкалья с начала XIX столетия по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. № 2. С. 28-33

Грингоф И.Г., Павлова В.Н. 2013. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. III. Ч. 1. Основы агроклиматологии. Ч. 2. Влияние изменений климата на экосистемы, агросферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 384 с.

Магда В.Н. 2003. Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири. Автореф. дис. … канд. биол. наук. Красноярск. 21 с.

Магда В.Н., Ойдупаа О.Ч., Блок Й. 2004. Исследование географических особенностей климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий методами кластерного анализа // Известия Русского географического общества. Т. 136. Вып. 6. С. 46-53.

Малышева (Рыгалова) Н.В., Быков Н.И. 2011. Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири. Барнаул: Азбука. 125 с.

Матвеев С.М., Мироненко А.В., Тимащук Д.А. 2015. Лесоводственный и дендроклиматический анализ искусственных сосновых фитоценозов, подверженных рекреационной дигрессии в пригородной зоне г. Воронежа // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. биол. Т. 8. № 4. С. 410-425.

Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. 2000 / Сост. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. Красноярск: КрасГУ. 80 с.

Оленин С.М., Мазепа В.С. 1987. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны в ленточных борах Казахстана // Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. Ч. II. Каунас. С. 53-61.

Рыгалова Н.В., Быков Н.И. 2015. Пространственно-временная изменчивость климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий ленточных и Приобских боров // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. биол. Т. 8. № 4. С. 394-409.

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Специализированные массивы. 2021 [Электронный ресурс: http://meteo.ru/data (дата обращения: 10.11.2020)].

Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Tychkov I.I., Vaganov E.A., Krutovsky K.V. 2019. Response of Four Tree Species to Changing Climate in a Moisture-Limited Area of South Siberia // Forests. No. 10 (11). P. 999.

Cook E.R., Kairiukstis L. 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in Environmental Sciences. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 394 p.

Dulamsuren C., Abilova S.B., Bektayeva M., Eldarov M., Schuldt B., Leuschner C., Hauck M. 2018. Hydraulic Architecture and Vulnerability to Drought-Induced Embolism in Southern Boreal Tree Species of Inner Asia // Tree Physiology. Vol. 39. P. 463-473.

Edmondson J., Friedman J., Meko D., Touchan R., Scott J., Edmondson A. 2014. Dendroclimatic Potential of Plains Cottonwood (*Populus deltoides* Subsp. Monilifera) from the Northern Great Plains, USA // Tree-Ring Research. Vol. 70 (1). P. 21-30.

Ferguson C.W. 1969. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California // Tree-Ring Bull. Vol. 29. No. 3-4. P. 3-29.

Fritts H.C. 1976. Tree rings and climate. L. etc.: Acad. press. 567 p.

Khansaritoreh E., Schuldt B., Dulamsuren C. 2018. Hydraulic Traits and Tree-Ring Width in *Larix sibirica* Ledeb. as Affected by Summer Drought and Forest Fragmentation in the Mongolian Forest Steppe // Annals of Forest Science. Vol. 75. P. 30.

Kharlamova N.F. 2020. Climatic Variability of the Kulunda Steppe // KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research / Eds. M. Frühauf, G. Guggenberger, T. Meinel, I. Theesfeld, S. Lentz. Springer, Cham. P. 19-32.

Ling H., Zhang P., Xu H., Zhao X. 2015. How to Regenerate and Protect Desert Riparian *Populus euphratica* Forest in Arid Areas // Scientific Reports. Vol. 5. P. 15418.

Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. 2018. The Effects of Limiting Climate Factors on the Increment of Native Tree Species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh Region // Journal of Forest Science. Vol. 64. P. 427-434.

Peters K., Jacoby G.C., Cook E.R. 1981. Principal Component Analysis of Tree-Ring Sites // Tree-Ring Bulletin. Vol. 41. P. 1-21.

Tabakova M.A., Arzac A., Martínez E., Kirdyanov A.V. 2020. Climatic Factors Controlling *Pinus sylvestris* Radial Growth along a Transect of Increasing Continentality in Southern Siberia // Dendrochronologia. Vol. 62. P. 125709.

Vasconcellos T.J., Tomazello-Filho M., Callado C.H. 2019. Dendrochronology and Dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) *Ravenna* (*Malvaceae*) Exposed to Urban Pollution in Rio de Janeiro City, Brazil // Dendrochronologia. Vol. 53. P. 104-113.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 80-90

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.472; 581.524.41

ОПАСНЫЕ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА РАСТЕНИЯ АРИДНЫХ И СЕМИАРИДНЫХ БИОМОВ РОССИИ

© 2022 г. Т.В. Дикарева, В.Ю. Румянцев, М.С. Солдатов, С.М. Малхазова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: tanikdik@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.04.2021. После доработки 01.05.2021. Принята к публикации 01.10.2021

В статье анализируется набор видов аллергенных и ядовитых растений в аридных и семиаридных биомах России. Выявлено видовое разнообразие аллергенных и ядовитых растений. Проведен статистический анализ связей между числом видов аллергенных и ядовитых растений в региональных биомах и климатическими показателями, построены соответствующие тематические картосхемы и дан их анализ. Показано, что число видов аллергенных и ядовитых растений связано с общим количеством видов в биомах, которое, в свою очередь, обусловлено географическим положением, определяющим среднегодовую температуру и количество осадков в регионах. Наиболее тесная связь установлена между числом видов аллергенных и ядовитых растений и среднегодовыми температурами воздуха. Относительно высокая связь выявлена между числом видов и среднегодовым количеством осадков. Однако связь общего числа видов опасных растений в биоме с индексом аридности оказалась низкой.

Ключевые слова: аллергенные и ядовитые растения, аридные и семиаридные биомы, климатические показатели, корреляционный анализ.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-80-90

К группе растений, в различной степени опасных для жизнедеятельности человека, можно отнести *аллергенные* и *ядовитые* виды.

Аллергенные растения в настоящее время привлекают все больше внимания как специалистов, так и населения. Аллергия на пыльцу растений – поллиноз – относится к массовым сезонным заболеваниям, которыми страдает каждый четвертый житель планеты. Пыльцевая аллергия проявляется как насморк, кашель, першение в горле, слезоточивость, зуд и покраснение век. Она также выражается в общем снижении процессов жизнедеятельности. Крайней степенью аллергической реакции можно считать бронхоспазмы и приступы бронхиальной астмы.

В российской литературе различным аспектам воздействия пыльцы растений на человека уделено значительное внимание. Существуют, например, календари цветения аллергенов (Календарь пыления, 2015), но географическое распространение таких растений практически не анализировалось. Зарубежная же аллергология с начала XXI в. занимается этим активно (May et al., 2008; Rondón et al., 2011). В США существует сайт PollenLibrary (2015), на котором ежедневно можно отследить цветение и опасность любого из 300 видов-аллергенов во всех штатах и крупных населенных пунктах.

Ядовитые растения различных систематических категорий объединены свойством токсичности. Содержащиеся в них фитотоксины представляют потенциальную опасность для человека и животных. Свойство ядовитости у растений формировалось в процессе эволюции и является важным механизмом в борьбе за существование.

В отечественной литературе известны справочники и монографии по ядовитым растениям СССР и России (Гусынин, 1962; Дударь, 1971; Луферов, 1995; Зориков, 2005). Поскольку оборотной стороной ядовитости являются лекарственные свойства растений, в таких изданиях, как «Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии» (2021), обсуждаются проблемы применения ядовитых растений в фармакологии. Однако необходимо дальнейшее изучение закономерностей распространения ядовитых растений на территории страны, исследование зависимости их разнообразия от факторов среды.

Авторами ранее опубликован ряд статей, посвященных проблемам географического распространения аллергенных, ядовитых и лекарственных растений России (Дикарева, Румянцев, 2015; Дикарева и др., 2017, 2018, 2021; Dikareva, Rumyantsev, 2015). Тем не менее, задача более детального изучения распространения опасных для здоровья человека растений в региональных биомах России остается актуальной.

В настоящей работе анализируется распространение аллергенных и ядовитых растений в зональных южных (аридных и семиаридных) биомах России, а также в горных биомах Кавказа и Крыма. Эти биомы взяты нами для первоочередного анализа, т.к., по данным некоторых исследований (Николаевский и др., 1987; Орлов и др., 1990), именно в них сосредоточено наибольшее разнообразие видов указанных групп.

Цель работы – выявление закономерностей распределения видового разнообразия аллергенных и ядовитых растений в южных биомах России. В *задачи работы* входило выявление видового разнообразия группы аллергенных и группы ядовитых растений в сумме и каждой по отдельности, проведение статистического анализа корреляционных связей между числом видов этих растений в региональных биомах и климатическими показателями, построение соответствующих тематических картосхем и их анализ.

Материалы и методы

В работе применены методические приемы, ранее использованные авторами при анализе распространения в аридных и семиаридных биомах России лекарственных растений (Дикарева и др., 2021). Исследование проводилось на основе карты «Биомы России» (Огуреева и др., 2018, 2020). В анализ вошли 20 региональных биомов (рис. 1). Изначально это были только равнинные зональные семиаридные и аридные биомы (лесостепные, степные и пустынные), при этом из биомов Днепровско-Приволжский (27) и Саяно-Южнозабайкальский (49) взяты только их лесостепные части. К ним добавлены горные биомы Кавказа и Крыма, традиционно не считаемые аридными. Основанием для этого послужил расчет индекса аридности Де Мартонна (De Martonne, 1925; Справочник …, 2016). Индекс аридности (arid index – AI; рис. 2) рассчитывается по формуле: AI=R/(T+10), где R – среднегодовая сумма осадков, а T – среднегодовая температура воздуха. Чем меньше значение индекса, тем более аридна территория. Авторы ранее использовали этот индекс при анализе распространения лекарственных растений (Дикарева и др., 2021). В этих публикациях приведено и более подробное обоснование включения соответствующих биомов в анализ.

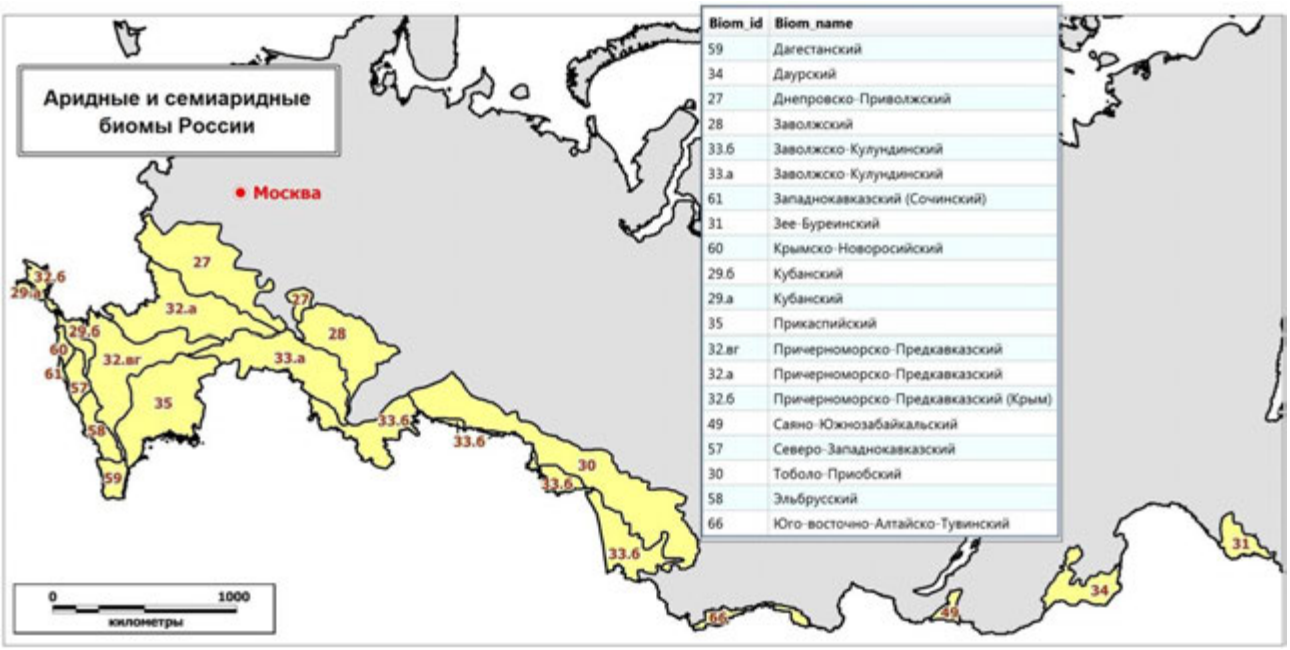


Рис. 1. Региональные биомы, рассматриваемые в работе.

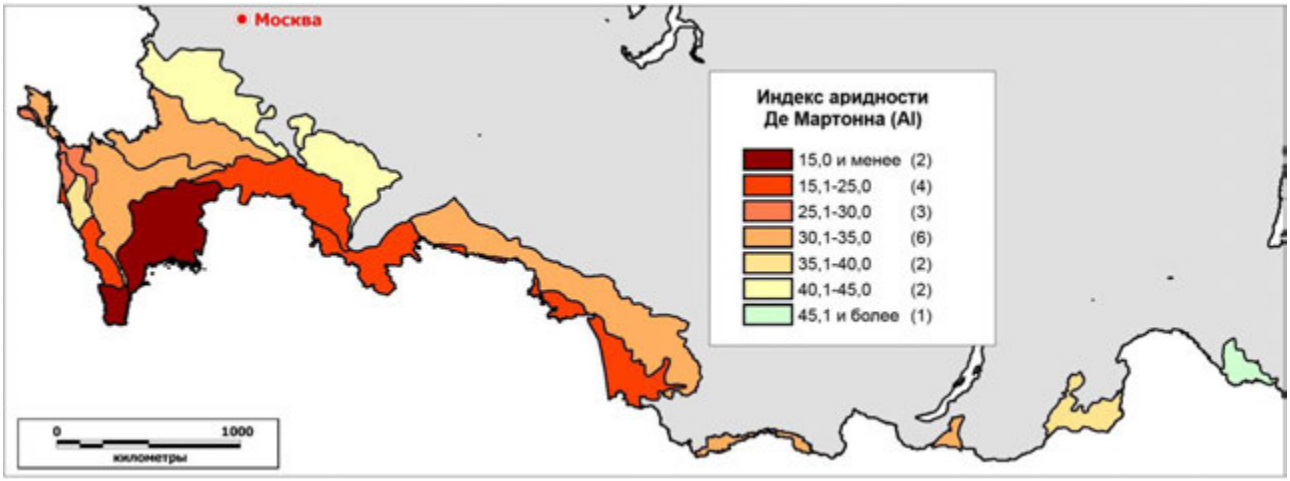


Рис. 2. Изменение индекса аридности Де Мартонна по аридным и семиаридным биомам России. *Условные обозначения:* здесь и далее на картах в скобках дано число биомов в данной градации.

Данные по климатическим показателям были взяты непосредственно с карты «Биомы России» (Огуреева и др., 2018), где для каждого биома они показаны на климадиаграммах, и из соответствующей монографии (Огуреева и др., 2020). Если для биома имелось более одного значения показателя, они усреднялись. Из тех же источников было взято общее количество видов сосудистых растений в биомах, также задействованное в анализе. Значения этих показателей, а также индекса Де Мартонна приведены для включенных в анализ биомов в упомянутых выше работах авторов (Дикарева и др., 2021), поэтому здесь они не рассматриваются.

В анализ включено 215 видов опасных растений. Из них аллергенных – 114 видов, ядовитых – 101 вид. Это только растения, присутствующие в биоме как дикорастущие, поскольку вид обязательно должен обитать в дикой природе, хотя может встречаться и в культуре.

Данные об ареалах анализируемых видов взяты из атласов (Атлас …, 1983; Агроэкологический …, 2015; Медико-географический …, 2019) и из определителей высших сосудистых растений (Гроссгейм, 1949; Рубцов, 1972; Губанов и др., 1995; Сосудистые …, 1995). Конкретный вид считался присутствующим в биоме, если хотя бы незначительная часть его ареала входит в пределы этого биома.

Материалы организованы в компьютерную базу данных средствами СУБД VisualFoxPro 9.0 и привязаны к цифровой карте-основе в среде ГИС MapInfo 15.0 Professional. Кроме того, составлена серия картосхем распределения аллергенных и ядовитых растений в аридных и семиаридных биомах России. В программе STATISTIKA 6.0 рассчитаны коэффициенты парной корреляции Пирсона, характеризующие связи числа видов опасных растений с показателями, которые ниже обозначены как факторы, вероятно, влияющие на распространение этих видов.

Результаты и обсуждение

Были рассмотрены гипотезы: 1) число видов опасных растений в конкретном биоме определяется общим видовым разнообразием сосудистых растений, зависящим от положения биома в системе природной зональности, в свою очередь определяемым климатическими факторами, такими как среднегодовая температура воздуха (рис. 3А) и среднегодовая сумма осадков (рис. 3Б); 2) число видов опасных растений прямо связано с климатическими факторами и в меньшей степени – с общим числом видов в биомах; 3) наибольшее число таксонов опасных растений свойственно наиболее аридным территориям (рис. 2).

Всего в избранных для анализа биомах России, как указано выше, выделено 215 видов опасных растений. Видов, являющихся одновременно аллергенными и ядовитыми, не выявлено, но 13 аллергенных и 19 ядовитых официально признаны в медицине также лекарственными. Распределение числа видов по биомам отражено в таблице 1.

Включенные в анализ виды опасных растений относятся к 46 семействам. Из них 114 аллергенных видов принадлежат к 17 семействам, а 101 ядовитый – к 32 семействам.

Три семейства – сложноцветные, маревые и кипарисовые – включают и аллергенные и ядовитые виды (табл. 2).

По числу семейств наиболее разнообразна группа ядовитых растений, включающая 32 семейства. Максимально количество ядовитых видов в семействе лютиковых – 34. Основную долю здесь составляют виды рода борец (*Aconitum*), все представители которого ядовиты. Подавляющее число видов этого рода встречается в дальневосточных биомах. По 6-7 видов включают семейства пасленовых (Solanaceae), хвощовых (Equisetaceae), мелантиевых (Melanthiaceae). Число ядовитых видов в остальных семействах – не более трех.

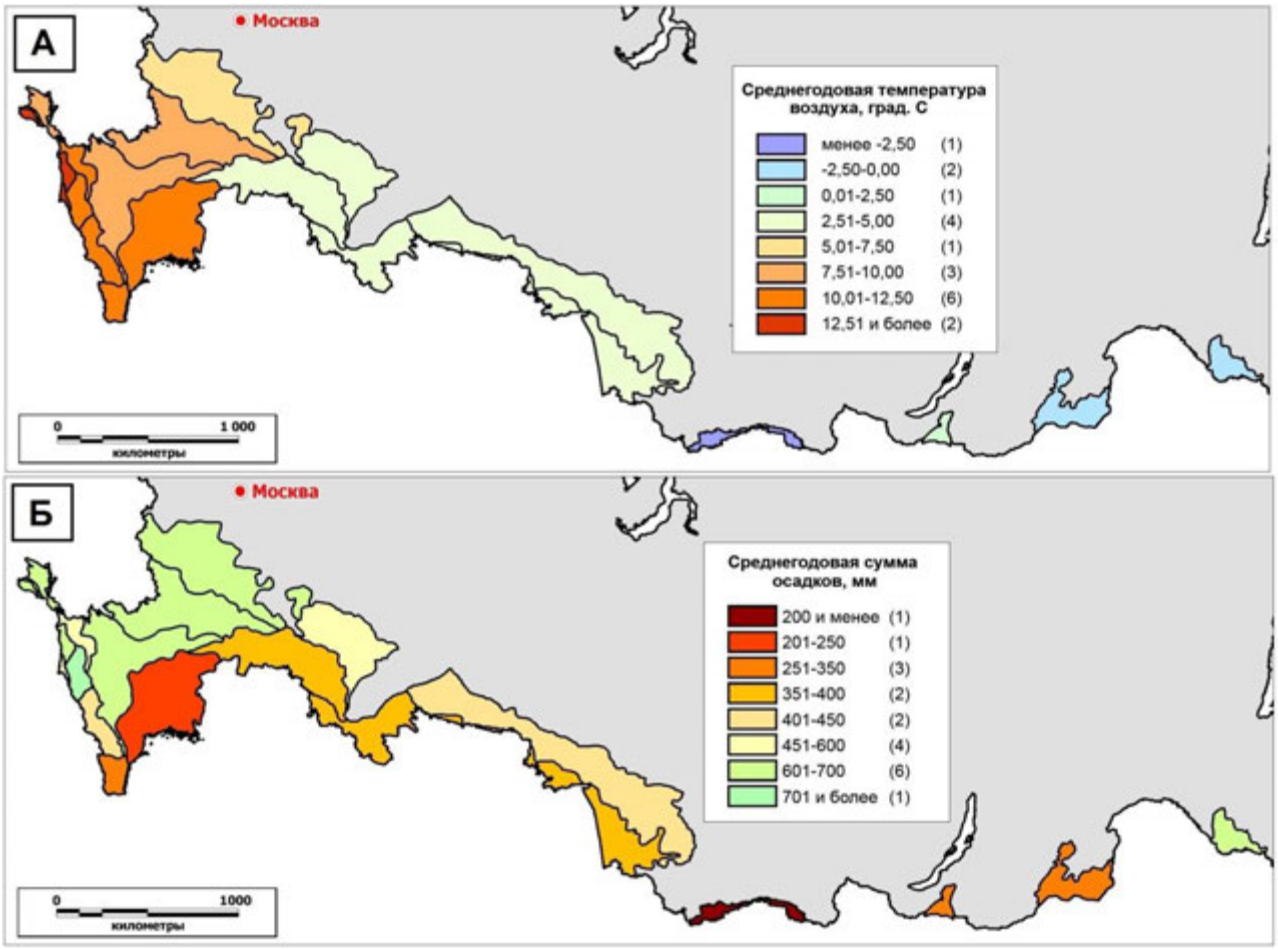


Рис. 3. Изменение климатических факторов по аридным и семиаридным биомам России: А) среднегодовой температура воздуха, °С, Б) среднегодовой суммы осадков, мм.

Число семейств, включающих виды-аллергены, заметно меньше – 17, но видов в группе аллергенных растений несколько больше, чем в группе ядовитых. Значительное число видов принадлежат к семействам злаковых, сложноцветных, маревых, гречишных, что в целом характерно для фитоценозов аридных территорий. При этом среди аллергенных видов довольно велика роль древесных растений – представителей семейств березовых, ивовых, кленовых, буковых, сосновых. Это обусловлено значительной долей лесных фитоценозов в ряде анализируемых биомов – лесостепных и горных.

Ряд семейств включает только по одному виду аллергенных и ядовитых растений: четыре семейства из 17 для аллергенов и 16 из 32 – для ядовитых.

Распределение по биомам числа семейств, включающих опасные растения, отчасти сходно с распределением в них количества соответствующих видов (табл. 1, 3). Например, в лесостепных биомах (№№ 27-30) отмечено более половины всех семейств, включающих ядовитые или аллергенные растения. В степных биомах, кроме Причерноморско-Предкавказского, разнообразие

семейств в этом плане заметно меньше. Количество семейств, включающих все опасные растения, в горных кавказских биомах выше только в двух биомах – Сочинском и Крымско-Новороссийском (№№ 60-61). Общее количество видов опасных растений в пустынном Прикаспийском биоме (№ 35) относительно низкое (табл. 1), однако общее количество семейств опасных растений, в том числе ядовитых, заметно выше, чем во многих других биомах (табл. 3). Это отчасти соответствует мнению ряда авторов (Кречетович, 1931; Николаевский и др., 1987; Орлов и др., 1990) о том, что максимальное разнообразие ядовитых растений наблюдается именно в наиболее аридных регионах.

Таблица 1. Число видов растений разных категорий (сосудистых растений, всех опасных растений, растений-аллергенов и ядовитых растений) в аридных и семиаридных биомах России.

№ биома на карте	Название биома	Число видов растений в биоме			
		сосудистые	все опасные	аллергены	ядовитые
27	Днепровско-Приволжский	2300	144	93	51
28	Заволжский	1880	134	89	45
29.а	Кубанский	1150	100	70	30
29.б	Кубанский	1150	110	72	38
30	Тоболо-Приобский	1450	122	74	48
31	Зее-Буреинский	480	81	38	43
32.а	Причерноморско-Предкавказский	2350	118	79	39
32.б	Причерноморско-Предкавказский (Крым)	2350	87	60	27
32.вг	Причерноморско-Предкавказский	2350	85	55	30
33.а	Заволжско-Кулундинский	1350	73	43	30
33.б	Заволжско-Кулундинский	1350	87	60	27
34	Даурский	655	75	42	33
35	Прикаспийский	1050	99	65	34
49	Саяно-Южнозабайкальский	1500	87	43	44
57	Северо-Западнокавказский	1900	117	74	43
58	Эльбрусский	2300	113	72	41
59	Дагестанский	2800	106	67	38
60	Крымско-Новоросийский	1415	130	84	46
61	Западнокавказский (Сочинский)	1850	113	73	40
66	Юго-восточно-Алтайско-Тувинский	1075	80	40	40
Всего видов растений в категории			**215**	**114**	**101**

Распределение общего числа видов сосудистых растений в избранных биомах (рис. 4, табл. 1) показывает, что наибольшее число видов отмечено для небольшого по площади Дагестанского биома (2800 видов). Такое распределение видов, видимо, обусловлено разнообразием природных условий в горах Дагестана. Здесь характерны предгорные пустыни, переходящие в пояс полынно-злаковых сухих степей и ксерофитных редколесий с шибляком и фрагментами грабово-дубовых лесов (300-500 м н.у.м. БС). Это пояс своеобразной ксерофитной горной лесостепи с аридными редколесьями. Выше идет пояс дубовых, грабовых, буковых лесов (500-1800 м н.у.м. БС), которые сохранились не везде и часто сочетаются с участками вторичных степей. Выше выделяется пояс хвойно-широколиственных лесов.

Несколько меньше видов сосудистых растений имеется в обширном Причерноморско-Предкавказском степном биоме (2350), в Днепровско-Приволжском (2300) и в горных биомах Кавказа. Наименьшее число видов отмечено в восточных биомах – Даурском и Зее-Буриинском.

Общее число видов опасных растений в биомах распределяется несколько иначе (рис. 5, табл. 1). Максимальное их количество отмечено в большом по площади северном Днепровско-Приволжском лесостепном биоме (144).

Таблица 2. Распределение аллергенных и ядовитых растений по семействам.

№	Название семейства		Число видов растений	
	латинское	русское	аллергенных	ядовитых
1	Aceraceae	Кленовые	4	–
2	Apiaceae (Umbelliferae)	Зонтичные	–	4
3	Araceae	Ароидные	–	2
4	Asparagaceae	Спаржевые	–	4
5	Asteraceae (Compositae)	Сложноцветные	19	4
6	Betulaceae	Березовые	8	–
7	Boraginaceae	Бурачниковые	–	1
8	Brassicaceae (Cruciferae)	Крестоцветные	–	2
9	Cannabaceae	Коноплёвые	–	1
10	Caprifoliaceae	Жимолостные	–	1
11	Caryophyllaceae	Гвоздичные	–	1
12	Chenopodiaceae	Маревые	12	1
13	Crassulaceae	Толстянковые	–	1
14	Cucurbitaceae	Тыквенные	–	1
15	Cupressaceae	Кипарисовые	2	1
16	Ephedraceae	Эфедровые	–	3
17	Equisetaceae	Хвощовые	–	6
18	Ericaceae	Вересковые	–	2
19	Euphorbiaceae	Молочайные	–	2
20	Fabaceae (Leguminosae)	Бобовые	–	3
21	Fagaceae	Буковые	3	–
22	Fumariaceae	Дымянковые	–	1
23	Juglandaceae	Ореховые	1	–
24	Lobeliaceae	Лобелиевые	–	1
25	Lycopodiaceae	Плауновые	–	1
26	Melanthiaceae (Liliaceae)	Мелантиевые	–	6
27	Oleaceae	Маслиновые	1	–
28	Papaveraceae	Маковые	–	1
29	Pinaceae	Сосновые	4	–
30	Plantaginaceae	Подорожниковые	5	–
31	Platanaceae	Платановые	1	–
32	Poaceae	Злаковые	21	–
33	Polygonaceae	Гречишные	11	–
34	Polypodiaceae	Многоножковые	–	1
35	Ranunculaceae	Лютиковые	–	34
36	Rhamnaceae	Крушиновые	–	1
37	Rutaceae	Рутовые	–	3
38	Salicaceae	Ивовые	15	–
39	Scrophulariaceae	Норичниковые	–	2
40	Solanaceae	Паслёновые	–	6
41	Taxaceae	Тисовые	–	1
42	Thymelaeaceae	Волчниковые	–	3
43	Tiliaceae	Липовые	1	–
44	Ulmaceae	Вязовые	3	–
45	Urticaceae	Крапивные	3	–
46	Zygophyllaceae	Парнолистниковые	–	1
ВСЕГО: семейства/виды			**17/114**	**32/101**

Таблица 3. Распределение семейств опасных растений по аридным и семиаридным биомам России.

№ биома на карте	Название биома	Число семейств		
		общее	с растениями-аллергенами	с ядовитыми растениями
27	Днепровско-Приволжский	42	14	28
28	Заволжский	36	13	23
29.а	Кубанский	38	11	27
29.б	Кубанский	33	14	19
30	Тоболо-Приобский	36	11	25
31	Зее-Буреинский	24	11	13
32.а	Причерноморско-Предкавказский	39	12	27
32.б	Причерноморско-Предкавказский (Крым)	29	11	18
32.вг	Причерноморско-Предкавказский	21	6	15
33.а	Заволжско-Кулундинский	28	9	19
33.б	Заволжско-Кулундинский	25	9	16
34	Даурский	24	12	12
35	Прикаспийский	38	14	24
49	Саяно-Южнозабайкальский	27	8	19
57	Северо-Западнокавказский	28	14	14
58	Эльбрусский	28	14	14
59	Дагестанский	28	14	14
60	Крымско-Новоросийский	41	15	26
61	Западнокавказский (Сочинский)	40	14	26
66	Юго-восточно-Алтайско-Тувинский	27	8	19

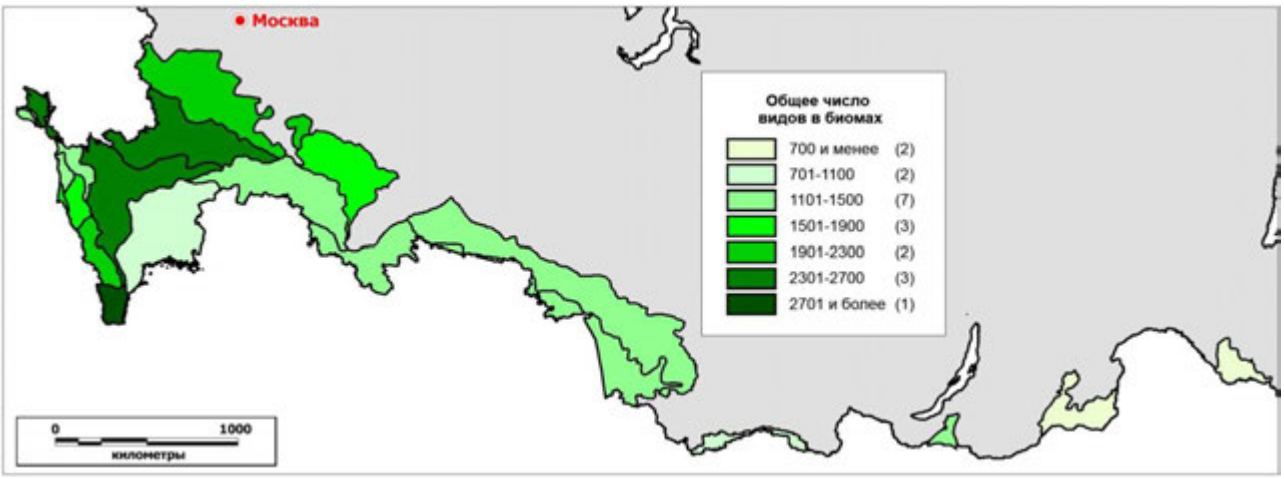


Рис. 4. Распределение общего числа видов сосудистых растений по аридным и семиаридным биомам России.

Несколько меньше опасных растений в Заволжском лесостепном (134) и в Крымско-Новороссийском горном (130) биомах. Не менее ста видов опасных растений отмечено во всех горных биомах Кавказа. Наименьшее число опасных видов характерно для восточных степных биомов – Даурского, Заволжско-Кулундинского, Зее-Буреинского, Юго-восточно-Алтайско-Тувинского (менее 85 видов).

Распределение числа видов аллергенных растений в биомах (рис. 6, табл. 1) отражает их явное преобладание в северных лесостепных биомах – Днепровско-Приволжском (93 вида), Заволжском

(89 видов), а также в Крымско-Новороссийском (84 вида). Наименьшее число аллергенных видов (менее 45) отмечено для Даурского, Зее-Буреинского, Саяно-Южнозабайкальского и Юго-восточно-Алтайско-Тувинского биомов.

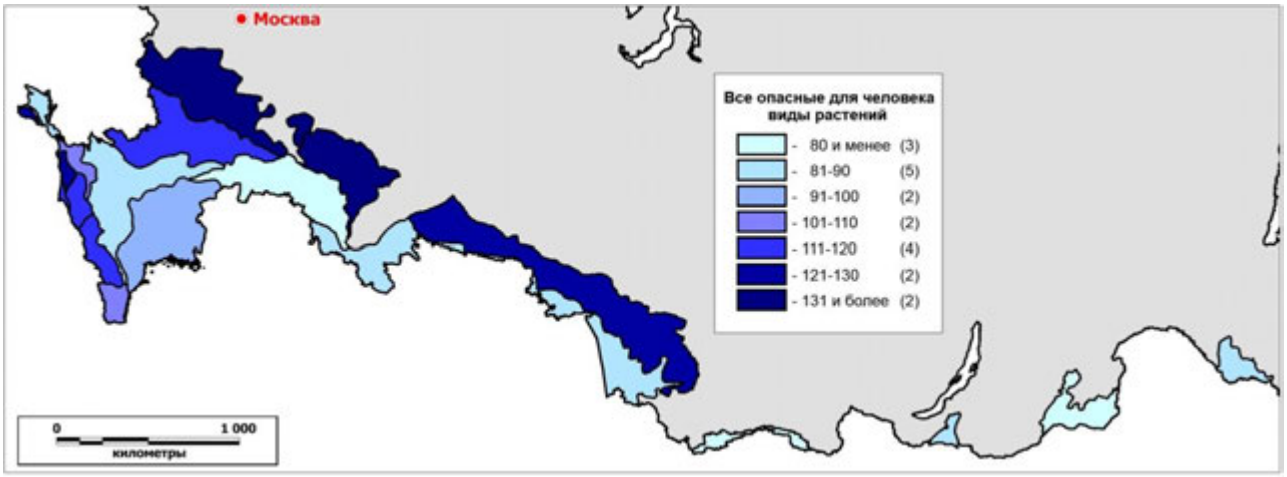


Рис. 5. Распределение общего числа опасных для человека видов растений по аридным и семиаридным биомам России.

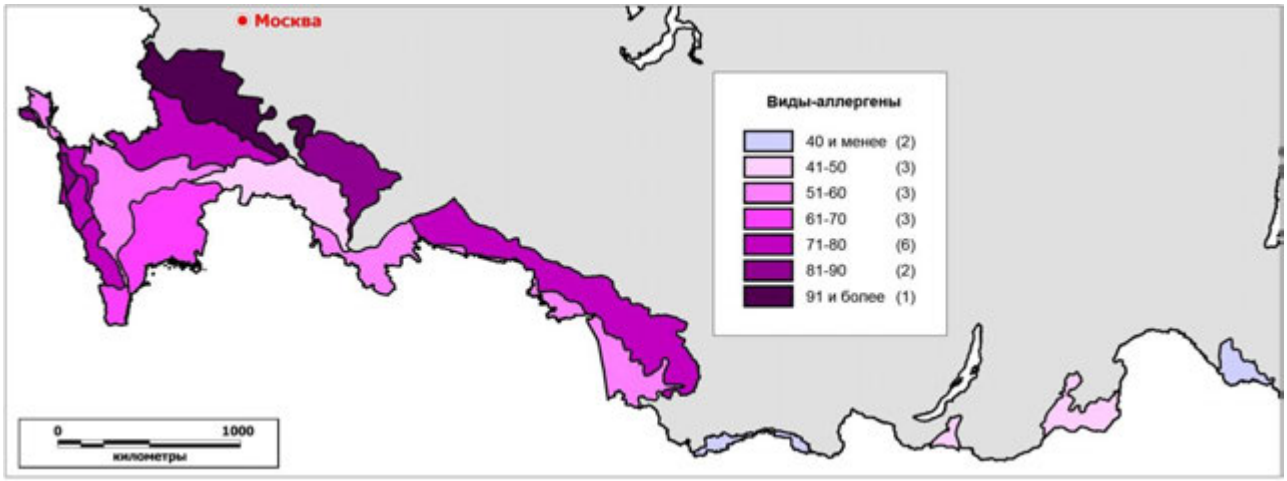


Рис. 6. Распределение видов растений-аллергенов по аридным и семиаридным биомам России.

Наибольшее число видов ядовитых растений (рис. 7, табл. 1) отмечено в Днепровско-Приволжском (51 вид), а также в Тоболо-Приобском и Крымско-Новороссийском биомах (более 45 видов). В остальных биомах насчитывается 27-45 ядовитых видов.

Для проверки высказанных выше гипотез о связи числа видов опасных растений с природными условиями биомов были рассчитаны коэффициенты парных корреляций Пирсона для 15 пар «признак↔фактор» (табл. 4).

- Общее число видов сосудистых растений в биоме ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков.
- Все опасные виды в биомах ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, общее число видов сосудистых растений в биоме.
- Виды-аллергены ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, общее число видов сосудистых растений в биоме.
- Ядовитые виды ↔ индекс аридности, среднегодовая температура воздуха, среднегодовое количество осадков, общее число видов сосудистых растений в биоме.

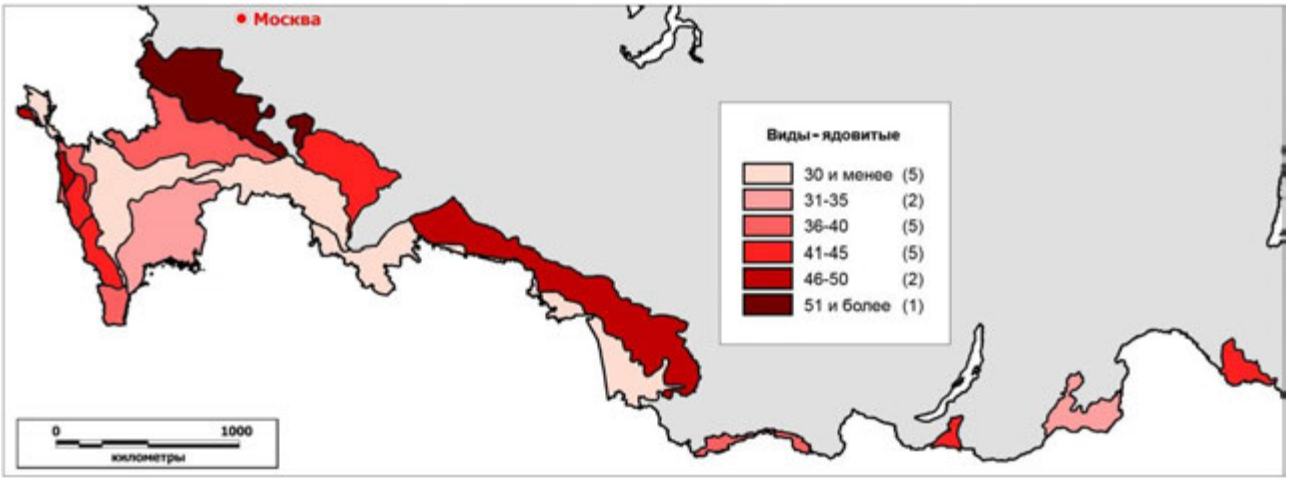


Рис. 7. Распределение ядовитых видов растений по аридным и семиаридным биомам России.

Таблица 4. Коэффициенты парной корреляции Пирсона.

Признаки	Показатели			
	Индекс аридности	**Средняя температура, °С**	**Сумма осадков, мм**	**Все виды сосудистых растений в биомах**
Все виды в биомах	-0.32	**0.50**	0.29	–
Все опасные виды	-0.04	0.45	0.49	0.44
Виды-аллергены	-0.20	**0.61**	**0.51**	**0.51**
Виды ядовитые	0.36	-0.13	0.25	0.08

Примечания к таблице 4: все корреляции значимы при $p<0.05$; жирным текстом выделены случаи с теснотой связи 0.50 и более.

Наиболее тесная положительная связь установлена между числом видов аллергенных растений и среднегодовыми температурами воздуха (0.61). Относительно высока теснота связи числа видов-аллергенов со среднегодовым количеством осадков и с общим числом видов сосудистых растений в биомах (0.51). Таким образом, общее видовое разнообразие биома в какой-то мере определяет и число видов аллергенных растений.

Для ядовитых видов сколько-нибудь существенных по тесноте связей ни с одним из анализируемых факторов не установлено, за исключением весьма слабой связи с индексом аридности (0.36).

Важно отметить, что для трех из четырех анализируемых признаков связь с индексом аридности низка и отрицательна. Малая теснота этой связи может быть свидетельством того, что «аридность», понимаемая как соотношение значений среднегодовых температуры воздуха и суммы осадков, не оказывает определяющего влияния на разнообразие ядовитых, алллергенных видов и всех опасных видов в биомах. Но в случае ядовитых растений сравнительно высокий уровень связи может в какой-то мере подтверждать мнение некоторых авторов (Кречетович, 1931; Николаевский и др., 1987; Орлов и др., 1990) о высоком разнообразии ядовитых растений в наиболее аридных условиях.

Выводы

Проведенный анализ распределения опасных для здоровья человека растений в семиаридных и аридных биомах показал следующее.

– В исследуемых биомах выделено 215 видов опасных растений, из них аллергенных – 114, ядовитых – 101. По числу семейств более разнообразна группа ядовитых растений, (32 семейства). Наибольшее число ядовитых видов в семействе лютиковых (Ranunculaceae) – 34 вида.

– Виды-аллергены относятся к 17 семействам. Больше всего аллергенных видов в семействах злаковых, сложноцветных, маревых, гречишных, что в целом характерно для фитоценозов засушливых территорий. Вместе с тем среди аллергенных видов велика доля древесных растений, что обусловлено значительной долей лесных биомов, задействованных в анализе.

– Больше всего видов опасных растений отмечено в Днепровско-Приволжском лесостепном биоме. Несколько меньше их в Заволжском лесостепном и Крымско-Новороссийском горном биомах. Значительное число опасных видов характерно для горных биомов Кавказа. Наименьшее число таких видов характерно для восточных степных биомов.

– Распределение аллергенных растений демонстрирует их явное преобладание в северных лесостепных биомах – Днепровско-Приволжском и Заволжском, а также в Крымско-Новороссийском. Менее 45 видов аллергенных растений отмечено в восточных Даурском, Зее-Буреинском, Саяно-Южнозабайкальском и Юго-восточно-Алтайско-Тувинском биомах

– Наибольшее число видов ядовитых растений (более 45) отмечено в Днепровско-Приволжском, Тоболо-Приобском и Крымско-Новороссийском биомах. В остальных биомах насчитывается 27-45 ядовитых видов.

– Общее число видов растений, опасных для здоровья человека, довольно тесно связано с общим количеством видов сосудистых растений в биомах, которое, в свою очередь, обусловлено географическим положением, определяющим среднегодовую температуру и количество осадков в биомах.

– Наиболее тесная корреляционная связь установлена между числом видов-аллергенов и среднегодовыми температурами воздуха. Относительно высока связь между числом аллергенных видов, среднегодовым количеством осадков и общим числом видов сосудистых растений в биоме.

– Теснота связи числа видов опасных для здоровья человека растений с индексом аридности Де Мартонна низка для трех из четырёх анализируемых групп (для всех видов в биомах, для опасных для здоровья видов и для аллергенных видов), хотя она несколько выше для ядовитых растений. Вероятно, общее число видов опасных растений в биоме мало связано с его аридностью.

В дальнейшем предполагается проведение аналогичного анализа для всех биомов России, а также исследование распространения опасных для здоровья человека растений в России в связи с прогнозируемым изменением климатических факторов.

Финансирование. Работа выполнена за счет госбюджетных средств по тематике "Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды" (Г3) номер ЦИТИС: 121051100137-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения. 2008 / Ред. А.Н. Афонин, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролов [Электронный ресурс http://www.agroatlas.ru/ (дата обращения 05.05.17)].

Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. 1983. М.: ГУГК. 340 с.

Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021 [Электронный ресурс http://bmfc.rusvrach.ru (дата обращения 05.05.17)].

Гроссгейм А.А. 1949. Определитель растений Кавказа. М.: Советская наука. 376 с.

Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. 1995. Определитель сосудистых растений центра Европейской России. М.: Аргус. 560 с.

Гусынин И.А. 1962. Токсикология ядовитых растений. М.: Изд-во Сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. 197 с.

Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2017. Эколого-географический анализ распространения ядовитых растений в России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 4. С. 29-37.

Дикарева Т.В., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Солдатов М.С. 2018. Влияние аридных условий на распространение ядовитых растений в региональных биомах России // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 84-93. [*Dikareva T.V., Malkhazova S.M., Rumyantsev V.Yu., Soldatov M.S.* 2018. Effect of Arid Conditions on the Distribution of Poisonous Plants in the Regional Biomes of Russia // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 64-72.]

Дикарева Т.В., Румянцев В.Ю. 2015. Картографический анализ распространения растений-аллергенов в России

// Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 6. С. 34-40.

Дикарева Т.В., *Румянцев В.Ю., Солдатов М.С., Малхазова С.М.* 2021. Лекарственные растения аридных и семиаридных биомов России // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1 (86). С. 75-86. [*Dikareva T.V., Rumyantsev V.Y., Soldatov M.S., Malkhazova S.M.* 2021. Medicinal Plants of Arid and Semiarid Biomes of Russia // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 62-72.]

Дударь А.К. 1971. Ядовитые и вредные растения лугов, сенокосов и пастбищ, М.: Россельхозиздат. 108 с.

Зориков П.С. 2005. Ядовитые растения леса: учебное пособие / Отв. ред. В.Д. Чернышёв. Владивосток: Дальнаука. 119 с.

Календарь пыления. 2015 [Электронный ресурс www.kestine.ru (дата обращения 05.05.17)].

Кречетович Л.М. 1931. Ядовитые растения: их польза и вред. Л.-М.: Сельхозгиз. 317 с.

Луферов А.Н. 1995. Род 16. Борец – *Aconitum* L. // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб.: Наука. Т. 7. С. 43-68.

Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения». 2019 / Ред. С.М. Малхазова. М.: Географический факультет МГУ. 304 с.

Николаевский В.В., Еременко А.Е., Иванов И.К. 1987. Биологическая активность эфирных масел. М.: Медицина. 144 с.

Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Емельянова Л.Г., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г., Архипова М.В., Микляева И.М., Бочарников М.В., Дудов С.В., Игнатова Е.А., Игнатов М.С., Мучник Е.Э., Урбанавичюс Г.П., Румянцев В.Ю., Леонтьева О.А., Романов А.А., Губанов М.Н., Котова Т.В., Константинов П.И. 2018. Карта «Биомы России». М. 1:7500000. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF). 8 п.л.

Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Микляева И.М., Бочарников М.В., Федосов В.Э., Мучник Е.Э., Урбанавичюс Г.П., Емельянова Л.Г., Хляп Л.А., Румянцев В.Ю., Кузиков И.В., Липка О.Н., Архипова М.В., Булдакова Е.В., Кадетов Н.Г. 2020. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы / Ред. Г.Н. Огуреева. М.: ФГБУ «ИГКЭ». 623 с.

Орлов Б.Н., Гелашвили Д.Б., Ибрагимов А.К. 1990. Ядовитые животные и растения СССР. М.: Высшая школа. 272 с.

Рубцов Н.И. 1972. Определитель высших растений Крыма. М.: Наука. 550 с.

Сосудистые растения советского Дальнего Востока. В 7 томах. 1995. СПб: Наука.

Справочник по показателям и индексам засушливости. 2016 [Электронный ресурс https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP-Drought-Indices_ru_2016.pdf (дата обращения 05.05.17)].

De Martonne E. 1925. Traite de Geographie Physique. Vol. 11. Paris: Colin.

Dikareva T.V., Rumyantsev V.Yu. 2015. Distribution of Allergenic Plants in Russia // Geography, Environment, Sustainability. Vol. 8. No. 4. P. 18-25.

May J.R., Smith P.H. 2008. Allergic Rhinitis / Eds. J.T. DiPiro, R.L. Talbert, G.C. Yee, G. Matzke, B. Wells, L.M. Posey. Pharmacotherapy: A Pathophysiologic Approach. 7th ed. New York: McGraw-Hill. P. 1565-1575.

PollenLibrary. 2015 [Электронный ресурс www.pollenlibrary.com (дата обращения 05.05.17)].

Rondón C., Blanca-López N., Aranda A., Herrera R., Rodriguez-Bada J.L., Canto G., Mayorga C., Torres M.J., Campo P., Blanca M. 2011. Local allergic rhinitis: allergen tolerance and immunologic changes after preseasonal immunotherapy with grass pollen // The Journal of Allergy and Clinical Immunology. No. 127 (4). P. 1069-1071.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 91-98

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 581.5+581.14 (575.13)

ОНТОГЕНЕЗ И ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ УЗКОЛОКАЛЬНОГО ЭНДЕМИКА КЫЗЫЛКУМА *ASTRAGALUS HOLARGYREUS* BUNGE (FABACEAE)

© 2022 г. Ш.У. Сарибаева, Х.Ф. Шомуродов, О.А. Абдураимов

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

Поступила в редакцию 20.07.2021. После доработки 15.10.2021. Принята к публикации 20.10.2021

Astragalus holargyreus Bunge – узколокальный эндемик Кызылкума. Произрастает в останцовых горах Букантау. Включен в «Красную книгу» Республики Узбекистан (2019) со статусом 1. Целью статьи является оценка современного состояния ценопопуляций. При описании онтогенеза использовали методику Т.А. Работнова (1950), А.А. Уранова (1975) и работу “Ценопопуляции растений” (1976). Структуру ценопопуляции изучали общепринятым методом (Уранов, 1975; Ценопопуляции …, 1976). Ценопопуляции характеризовали по классификациям онтогенетической структурности А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), возрастности и эффективности Л.А. Животовского (2001). Экологическую плотность определили по У. Одум (1986). Геоботанические описания выполнены по стандартной методике на площадках 100 м^2 (Полевая геоботаника, 1964). *Astragalus holargyreus* – моноцентрический вегетативно неподвижный стержнекорневой травянистый поликарпик с симподиально возобновляющимися моноциклическими побегами. Онтогенетический спектр первой ценопопуляции соответствует характерному и отражает биологические особенности вида: постепенное увеличение длительности жизни в прегенеративном и генеративном периодах с кульминацией в средневозрастном состоянии, быстрое старение. с абсолютным максимумом на особях средневозрастного генеративного состояния. Доля особей с абсолютным максимумом приходится на особи средневозрастного генеративного состояния (29.06%). Онтогенетический спектр во второй ценопопуляции не совпадает с характерным, одновершинная с абсолютным максимумом на виргинильные особи (23.40%). В ценопопуляции 1 средняя плотность особей равна 0.86 шт. на 1 м^2, в ЦП2 – 1.17. Экологическая плотность варьирует от 1.28 до 2.76. По сумме баллов организменных и популяционных признаков все обследованные ценопопуляции находятся в стабильном состоянии. Сохранить природную популяцию *Astragalus holargyreus* путем внесения местообитаний вида (хребет Букантау) в систему охраняемых природных территорий республики.

Ключевые слова: *Astragalus holargyreus*, онтогенез, пустыня Кызылкум, хребет Букантау, онтогенетическая структура, ценопопуляция.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-91-98

Во флоре Узбекистана зарегистрировано 4344 видов сосудистых растений (Sennikov et al., 2016). 378 видов (10%) считаются национальными эндемиками, которые находятся под угрозой исчезновения и имеют глобальное значение (Sennikov et al., 2016). Последнее издание Национальной Красной книги Узбекистана (2019) включает 314 видов сосудистых растений. Из них 34 вида из рода *Astragalus*, 4 из которых произрастают в Кызылкуме (*Astragalus holargyreus* Bunge, *Astragalus centralis* E. Sheld, *Astragalus adylovii* F.O. Khass., Ergashev et Kadyrov, *Astragalus plumatus* Boriss.). Эти виды произрастают в останцовых горах Кызылкума в трещинах скал, каменисто-щебнистых, изредка мелкоземисто-щебнистых склонах гор. Останцовые горы Кызылкума представляют собой изолированные возвышенности на равнинной территории, вытянутые в широтном направлении. Они считаются западным продолжением горной системы Средней Азии (Закиров, 1971). В последние несколько лет большинство горных флористических элементов исчезло в горах Кызылкума в процессе ксерофилизации. Исследуемый нами вид – *Astragalus holargyreus* Bunge, узколокальный эндемик Букантау, включен в Красную книгу Республики Узбекистан (2019) со статусом 1 и

находится на грани исчезновения. Ареал этого вида постоянно сокращается, и процесс до настоящего времени не прекращается (Красная книга ..., 1998, 2009).

Материалы и методы

Во время исследования в разных эколого-фитоценотических условиях гор Букантау мы изучили две ценотические популяции *Astragalus holargyreus*. Горы Букантау считаются западным продолжением горной системы Средней Азии. Для климата этой части Узбекистана характерны резкие колебания суточных и годовых температур, сильная инсоляция и незначительная облачность, небольшое количество неравномерных атмосферных осадков. В Кызылкуме суммарная солнечная радиация достигает 140-160 ккал/см^2 в год, а радиационный баланс – 50-60 (местами – 70) ккал/см^2 в год. Продолжительность солнечного сияния высокая – -2500-3000 ч в год. Сумма температур выше 10°С составляет 4000-5000°С и выше. Среднегодовая температура – около 16°С, средняя температура января составляет 0-10°С. Основная часть атмосферных осадков выпадает в зимне-весенний и отчасти в осенний периоды (максимум наблюдается с декабря по апрель). Их годовое количество составляет 70-125 мм. В Кызылкуме почти постоянно дуют ветры (преимущественно северо-восточного направления). Этот фактор увеличивает испарение с поверхности почвы и транспирацию у растений и еще больше усиливает дефицит влаги. На останцах Кызылкума в основном распространены серо-бурые почвы (Закиров, 1971).

Первая ценопопуляция растений описана на юго-восточных склонах гор в составе эфемероидово-полынного сообщества на высоте 531 м н.у.м. БС (рис. 1). Почва на участке щебнистая, каменистая. Общее проективное покрытие сообщества составляет около 11%. Доминирующими видами растительного покрова являются *Artemisia turanica* Krasch. *Convolvulus hamadae* (Vved.) Petrov и *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljakov. В составе сообщества зарегистрированы 16 видов цветковых растений, где преобладают многолетние травы. Вместе с доминирующими видами произрастают *Cousinia hamadae* Juz., *Ferula kyzylkumica* Korovin, *Tulipa buhseana* Boiss. и др.

Рис. 1. Карта локализации ценопопуляций *Astragalus holargyreus*.

Вторая ценопопуляция описана на обнаженных юго-западных склонах гор в составе разнотравно-полынного сообщества на высоте 577 м н.у.м. БС (рис. 1). Растительность на участке разреженная. Благодаря негустой заросли *Atraphaxis spinosa* L. проективное покрытие травостоя составляет около 28%. Ботанический состав сообщества слагается из 25 видов сосудистых растений. В растительном покрове преобладают травянистые многолетники (67%). Наиболее распространенными являются *Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljakov, *Artemisia turanica* Krasch., *Poa bulbosa* L. В ценозе также участвуют *Astragalus holargyreus* Bunge, *Stipa hohenackeriana* Trin. & Rupr., *Tulipa buhseana* Boiss., *Ferula kyzylkumica* Korovin, *Ephedra distachya* L. и др.

При описании онтогенеза мы использовали методику Т.А. Работнова (1950), А.А. Уранова (1975, а также работу «Ценопопуляции растений» (1976). Структуру ценопопуляции изучали общепринятым методом (Уранов, 1975; Ценопопуляции …, 1976). Трансекты закладывали длиной по 10 м и делили на площадки по 1 м^2. В каждой ценопопуляции было заложено от 10 до 30 таких площадок. Онтогенетическую структуру ценопопуляций определяли как соотношение особей разных онтогенетических состояний. За счетную единицу принимали особь. При характеристике популяционной структуры опирались на представления о характерном онтогенетическом спектре (Заугольнова, 1994). По характеру распределения онтогенетических групп выделяют 4 типа спектров: левосторонний, центрированный, правосторонний и бимодальный. Характерный спектр зависит от биологических особенностей вида. Ценопопуляции характеризовали по классификациям: онтогенетической структурности А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1969), возрастности и эффективности Л.А. Животовского (2001). Дельта – индекс возрастности (Δ), введенный А.А. Урановым (1975):

$$\Delta=\sum Ki*Mi /N,$$

где Ki – весовой коэффициент для i-го возрастного состояния, Mi – плотность i-состояния, N – плотность ценопопуляций.

Позже Л.А. Животовский (2001) предложил индекс эффективности (ω), который можно интерпретировать как энергетическую нагрузку на среду, вызываемую «средним» растением:

$$\omega=\sum niei / \sum ni,$$

где ni – абсолютное число растений i-го онтогенетического состояния, ∑ni – общее число растений, ei – эффективность растений i-го онтогенетического состояния. Индекс эффективности определяется возрастной структурой популяции. По классификации Л.А. Животовского (2001), ценопопуляции могут быть молодыми, зреющими, переходными, стареющими и старыми. Плотность популяции определяли количеством особей на единицу площади. При этом особое внимание было уделено показателям средней плотности, т.е. численности особей на единицу всего пространства (общей площади), и экологической плотности, т.е. численности на единицу обитаемого пространства, которое фактически может быть занято популяцией (Одум, 1986). На трансектах изучаемый вид встречался не на всех площадках, поэтому в качестве обитаемого пространства мы рассматривали только те площадки, на которых данный вид присутствовал, а экологическую плотность рассчитали как среднее число для этих заселенных площадок, исключив незаселенные. Геоботанические описания выполнены по стандартной методике на площадках 100 м^2 (Полевая геоботаника, 1964). Для оценки состояния ценопопуляции *A. holargyreus* мы анализировали ряд организменных признаков, таких как репродуктивное усилие особи (Р/У), биомассу особи, число генеративных побегов, высоту растения; и популяционных признаков, таких как плотность особей на 1 м^2, экологическую плотность особей на 1 м^2, долю особей генеративной фракции (g2-g3), долю особей молодой фракции (j-g1). Репродуктивные усилия растений определяли по отношению веса генеративных структур к общему весу особи (Марков, Плещинская, 1987). При этом диапазон каждого признака разбивался на 5 классов с одинаковым объемом по равномерной шкале, а затем каждому классу присваивался балл (табл. 1). Организменные признаки были определены для средневозрастного генеративного состояния (Заугольнова, 1994). Для характеристики каждого организменного признака проанализировано по 3 особи вида (всего для 2 изученных ценопопуляций проанализировано 36 особей).

Таблица 1. Демографическая характеристика ценопопуляций *Astragalus holargyreus*.

Демографические показатели	ЦП 1	ЦП 2
Плотность особей/м^2, шт.	0.86	1.17
Экологическая плотность особей/м^2, шт.	1.28	2.76
щ – индекс эффективности	0.64	0.41
Д – индекс возрастности	0.38	0.37
Тип ценопопуляции	переходный	переходный

Результаты и их обсуждение

В литературе имеются сведения об онтогенезе большинства видов рода *Astragalus* в аридных условиях (Джамалова, Абдураимов, 2004; Сарибаева, 2009). Но онтогенез и онтогенетическая структура *Astragalus holargyreus* раннее никем не изучались. Онтогенез вида был рассмотрен в эфемероидово-полынном сообществе.

Семена мелкие до 2 мм, почковидные, покрыты плотной кожурой, окраска коричневая, поверхность гладкая, матовая. Прорастание семян надземное.

Проростки представлены однопобеговым растением с моноподиальным нарастанием (рис. 2, p). На побеге развертываются две супротивно расположенные семядоли эллипсовидной формы. Первичный побег ортотропный, имеет выраженный гипокотиль. Длина листа – 3 мм, ширина – 2 мм. Высота растения – 5-6 мм. Корневая система стержневая, длина корня – до 11 см.

Ювенильные растения – однопобеговые с 1-3 простыми длинночерешковыми и 1-2 тройчатосложными листьями (рис. 2, j). Простые листья обратнояйцевидные длиной 7 мм, шириной 5 мм. Всего на побеге развертываются до 7 листьев. Высота растения – 7-9 мм. Главный корень удлиняется до 25 см. Развиваются боковые корни I порядка в количестве 1-2 шт.

Имматурные растения имеют симподиально нарастающий одиночный побег с признаками, переходящими от ювенильных к взрослым: тройчатосложные длинночерешковые непарноперистосложные листья переходного типа с 2-3 парами листочков. Листорасположение очередное. В базальной части побега формируются почки возобновления. Корневая система представлена главными и боковыми корнями. Длина главного корня – 38 см, боковых – 4-5 см.

Виргинильные растения многопобеговые, имеют характерные для вида непарноперистосложные листья с 3-6 парами листочков с укороченными черешками. Листовая пластинка ланцетная, длиной 1.1 см, шириной 0.5 см. Высота растения – до 6 см. Главный побег одревесневает. Главный корень сохраняется и удлиняется до 35 см (рис. 2).

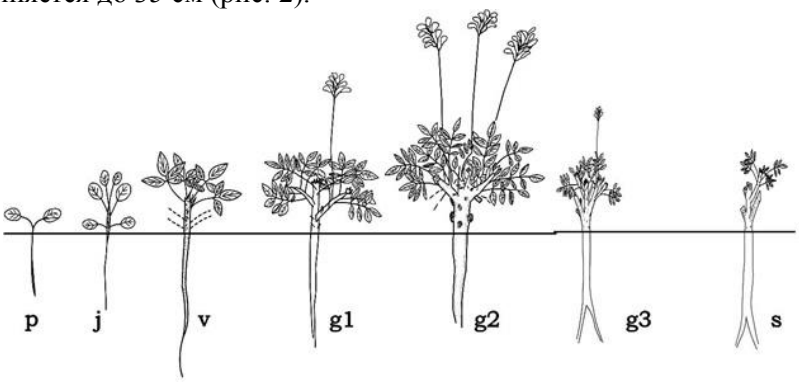


Рис. 2. Онтогенетические состояния *Astragalus holargyreus*. *Условные обозначения:* p – проросток, j – ювенильное, v – виргинильное, g1 – молодое генеративное, g2 – средневозрастное генеративное, g3– старое генеративное, s – сенильное.

Молодые генеративные растения (рис. 2, g1) – многопобеговые, с 5-7 парноперистосложными листьями с короткими черешками, число пар листочков – 6-7. Высота растений – до 7-8 см. Генеративные побеги (цветоносы) образуются из почек, расположенных в пазухах средних листьев, и полностью отмирают после цветения. В данном состоянии рост главного побега прекращается и верхушечная почка отмирает. Растения переходят к симподиальному нарастанию. Побеги возобновления развертываются из боковых почек на 6-8 метамерах, заложенных на годичном приросте текущего года. Каждый побег нарастает моноподиально в течение 2-4 лет и становится скелетным. В данном состоянии на кусте насчитывается до 4 скелетных осей. Вместе с побегами возобновления ежегодно из спящих почек развертываются двулетние боковые вегетативные побеги. На годичном побеге развиваются от 6 до 8 листьев с 7 листочками. Высота вегетативной части растения достигает 2.8-3.8 см. Длина розеточного вегетативного побега – от 0.8 до 1.6 см. Генеративные органы закладываются весной. Число цветоносов достигает 2 (на особь). Соцветие представляет собой кисть, в которой насчитывается от 28 до 54 цветков. После цветения и плодоношения соцветие полностью отмирает, а материнская ось продолжает нарастать

моноподиально. Корень удлиняется до 48 см.

Средневозрастные генеративные растения имеют симподиальную систему моноподиальных скелетных побегов (рис. 2, g2). Особи характеризуются максимальным приростом биомассы, числом соцветий, семенной продуктивностью, с большим числом почек возобновления в базальных частях побегов. Высота растения – до 8-8.6 см. На кусте насчитывается до 12 скелетных осей. Число генеративных побегов достигает 8 (на особь), их длина колеблется от 7 до 15 см. В соцветии насчитывается 32-45 цветков. Развит мощный главный корень длиной до 67 см.

У старых генеративных растений (рис. 2, g3) процессы отмирания преобладают над процессами новообразования, которые выражаются в сокращении числа генеративных (до 2) и вегетативных побегов (до 3). Высота растений – 4.5-4.8 см. Число листочков – до 5. Длина генеративных побегов – до 7 см. Соцветие несет 18-20 цветков. Наблюдается отмирание вегетативных побегов на кусте (рис. 2). Длина корня достигает 75 см.

У сенильных растений отсутствуют генеративные побеги (рис. 2, s). В этом состоянии наблюдается резкое преобладание процессов отмирания над новообразованием. В корневой системе усиливается процесс разрушения центрального главного корня. Высота особей – до 1.8-2.1 см.

Таким образом, *A.holargyreus* – это моноцентрический, вегетативно неподвижный стержнекорневой травянистый поликарпик с симподиально возобновляющимися моноциклическими побегами.

Изучена онтогенетическая структура *A. holargyreus* в двух ценопопуляциях. По классификации А.А. Уранова и О.В. Смирновой (1971) обследованные ценопопуляции вида – нормальные, полночленные. Онтогенетическая структура ценопопуляций *A. holargyreus* имеет два типа спектра: левосторонний (ЦП2) и центрированный (ЦП1). Онтогенез *A. holargyreus* полный, простой, с продолжительностью в средневозрастном генеративном состоянии. Характерный онтогенетический спектр центрированный и определяется биологией вида: семенным способом самоподдержания ценопопуляций, длительным генеративным периодом и быстрым темпом развития особей в прегенеративном и постгенеративном периодах.

Первая ценопопуляция *A. holargyreus* является центрированной, с абсолютным максимумом на особи средневозрастного генеративного состояния. Доля особей этой возрастной группы в ЦП составляет 29.1% (рис. 3).

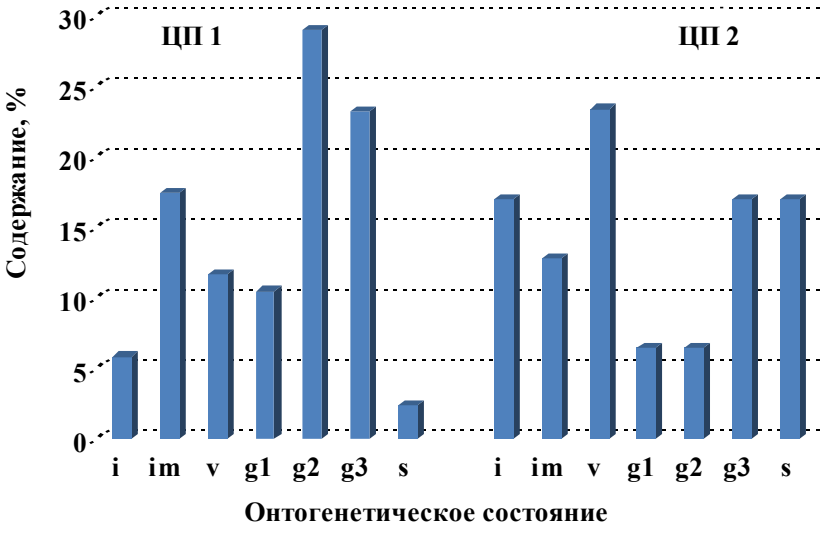


Рис. 3. Онтогенетические спектры ценопопуляции *Astragalus holargyreus* (ЦП 1, ЦП 2).

Накопление средневозрастных генеративных растений в ценопопуляции связано с продолжительным развитием данной онтогенетической группы и быстрым темпом развития особей в прегенеративном возрастном состоянии. Ничтожная доля ювенильных особей в ценопопуляции (5.8%), вероятно, связана с затруднением всхожести семян на каменисто-щебнистых почвах и выпадом молодняка в процессе смещения щебня и камней во время пастьбы скота. Низкие значения в

ценопопуляции имматурных (17.4%) и виргинильных (11.6%) особей – результат интенсивного темпа развития растений в этих возрастных группах и быстрого перехода особей к следующему возрастному состоянию. Старых особей в обследуемой ценопопуляции чуть больше 2%. Это свидетельствует о том, что многие стареющие особи заканчивают свой продолжительный жизненный цикл в старом генеративном возрастном состоянии. Онтогенетический спектр данной ценопопуляции совпадает с характерным.

Вторая ценопопуляция (левостороннего типа) – одновершинная, с абсолютным максимумом на виргинильные особи (23.4%). Подобный тип спектра формируется при обильном плодоношении и быстрых темпах развития молодых особей. На юго-западных склонах гор в составе разнотравно-полынного сообщества из-за плотного зарастания полынью туранской подрост исследуемого вида защищен от ветровой эрозии, а его элиминация незначительная. Низкие показатели генеративных особей (молодых – 6.4%, зрелых – 6.4%) связаны с высоким фитоценотическим давлением, созданным двумя видами полыни. В подобных условиях длительность репродуктивных этапов (g1 и g2) у *A. holargyreus* сокращается и особи переходят к следующему этапу развития. Вследствие этого число особей старого генеративного и сенильного возрастного состояния в ценопопуляции заметно увеличивается (17%). Онтогенетический спектр данной ценопопуляции не совпадает с характерным.

Оценка возрастности (Δ-дельта) и эффективности (ω-омега) ценопопуляций показала, что изученные ценопопуляции *A.holargyreus* – переходные (ЦП1 Δ=0.38, ω=0.64; ЦП2 Δ=0.37, ω=0.41).

Плотность особей в изученных ценопопуляциях варьирует в среднем от 0.86 до 1.17 экз./м^2. Экологическая плотность колеблется от 1.28 до 2.76 экз./м^2 (табл. 2).

Таблица 2. Балловые оценки величины признаков *Astragalus holargyreus*.

№	Признаки	ЦП 1		ЦП 2	
		среднее значение ± ошибка	V, %	среднее значение ± ошибка	V, %
Организменные признаки					
1	Р/У, %	31.93	–	31.23	–
2	Биомасса особи, г	8.3 ± 0.5	11.3	10.66 ± 0.7	11.69
3	Число генеративных побегов, шт.	4.3 ± 0.2	6.8	4.0 ± 0.4	20.01
4	Высота растений, см	8.6 ± 0.5	10.07	7.2 ± 0.4	9.6
Популяционные признаки					
5	Плотность особей вида на 1 м^2, шт.	0.86	–	1.17	–
6	Экологическая плотность особей вида на 1 м^2, шт.	1.28	–	2.76	–
7	Доля g2-g3, %	52.31	–	23.4	–
8	Доля j-g1, %	45.31	–	59.56	–

Примечание к таблице 2: V – коэффициент варьирования признаков.

Изученные ценопопуляции *A. holargyreus* – нормальные, полночленные. Их онтогенетический спектр, изученный на разнотравно-полынном сообществе, не совпадает с характерным. Возрастной спектр первой ценопопуляции соответствует характерному и отражает биологические особенности вида: постепенное увеличение длительности жизни в прегенеративном и генеративном периодах с кульминацией в средневозрастном состоянии, быстрое старение.

Для оценки состояния ценопопуляций в качестве организменных признаков были взяты репродуктивное усилие (Р/У), биомасса особей, число генеративных побегов, высота растения, а в качестве организменных признаков – плотность особей, экологическая плотность, доля молодых (j-g1) и доля генеративных особей (g2-g3).

Следует отметить, что в обследованных ценопопуляциях показатели организменных признаков не имеют больших отличий. В них среднее число генеративных побегов варьирует от 4.0 до 4.3 см, биомасса особей – от 8.3 до 10.66 г, высота растений составляет 7.2-8.6 см. По всей вероятности, высокие значения этих признаков связаны с благоприятными условиями обитания вида: скалистый

склон, отсутствие высокотравных конкурентных видов.
Анализ популяционных параметров также показал относительное сходство по выбранным признакам. Высокая доля особей молодой фракции (j-g1) в ценопопуляциях связана с хорошим семенным возобновлением и выживанием молодых растений в составе фитоценозов, где они произрастают. Доля генеративной фракции (g2-g3) в ЦП1 складывается только за счет одних зрелых генеративных особей. Накопление зрелых генеративных особей объясняется длительностью развития особей в данном онтогенетическом состоянии. В ЦП1 средняя плотность особей составляет 0.86 шт. на 1 м^2, в ЦП2 – 1.17. Экологическая плотность варьирует от 1.28 до 2.76.

Выводы

Ценопопуляции, произрастающие в останцовых горах Букантау, круглогодично находятся под антропогенным прессингом. Популяции исследованных видов страдают от вытаптивания и высокой пастбищной нагрузки. С другой стороны, изменение экологических условий в регионе Приаралья в связи с усыханием Аральского моря заметно повлияло на структуру растительного покрова. Псаммофитные и галофитные сообщества с целыми рядами своих эдификаторов в останцовых горах Кызылкума постепенно вытесняют горные флористические элементы, к числу которых относится и *Astragalus holargyreus*.

Изученные ценопопуляции *A. holargyreus* являются нормальными и полночленными. Благодаря максимальному количеству виргинильных особей их онтогенетический спектр, изученный на разнотравно-полынном сообществе, не совпадает с характерным (левосторонний). Подобный спектр формируется при обильном плодоношении и быстрых темпах развития молодых особей, что свидетельствует об устойчивости ценопопуляции. Спектр другой ценопопуляции соответствует характерному и отражает биологические особенности вида. Анализ организменных и популяционных признаков показал, что они близки к исследованным ценопопуляциям. Большое количество генеративных побегов (4.3), высокие показатели биомассы особей и репродуктивного усилия являются признаком хорошего виталитетного состояния особей. Популяционные признаки также говорят о благоприятном состоянии ценопопуляций *A. holargyreus*. В среднем одна особь на 1 м^2 и высокие доли как молодых, так и зрелых фракций подтверждают стабильное состояние изученных ценопопуляций вида.

Горы Букантау считаются ключевым ботаническим районом Узбекистана. Здесь произрастают эндемы *Gagea deserticola* Levichev, *Scrophularia rudolfii* F.O. Khass., Serekeeva & Kadyrov, *Astragalus remanens* Nabiev (Серекеева, 2012) и редкие виды, которые, включены в «Красную Книгу» Республики Узбекистан (2019): *Ferula kyzylkumica* Korovin, *Lagochilus vvedenskyi* Kamelin & Tzukerv, *Stipa aktauensis* Roshev и другие. Мы считаем целесообразным сохранить природную популяцию редких видов и *Astragalus holargyreus* путем внесения местообитаний вида (хребет Букантау) в систему охраняемых природных территорий республики.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке проекта Министерства инновации Республики Узбекистан в рамках научного проекта П3-2014-0828163420 “Оценка состояния ценопопуляций редких и исчезающих видов растений останцовых низкогорий Кызылкума в связи с опустыниванием”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Джамалова Г.Т., Абдураимов С.А. 2004. Онтогенез *Astragalus turczaninovii* Kar. et Kir. // Развитие ботанической науки в Центральной Азии и ее интеграция в производство. Материалы международной научной конференции. Ташкент. С. 129-131.

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

Закиров П.К. 1971. Ботаническая география низкогорий Кызылкума и хребта Нуратау. Ташкент: Фан. С. 11-19.

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

Красная Книга Республики Узбекистан. 2019 / Ред. Ф.О. Хасанов. Ташкент: Chinor ENK. Т. 1. С. 16-50.

Красная Книга Республики Узбекистан. 1998 / Ред. У. Пратов. Ташкент: Chinor ENK. Т. 1. С. 60.

Красная Книга Республики Узбекистан. 2009 / Ред. У. Пратов. Ташкент: Chinor ENK. Т. 1. С. 48-49.

Марков М.В., Плещинская Е.Н. 1987. Репродуктивное усилие у растений // Журнал общей биологии. № 48 (1). С. 77-82.

Одум У. 1986. Экология. Т. 2. М. 209 с.

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

Работнов Т.А. 1950. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. № 6. С. 7-204.

Сарибаева Ш.У. 2009. Биоэкологические особенности и ценопопуляционная характеристика *Astragalus centralis* E. Sheld. в условиях Юго-Западного Кызылкума. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ташкент. 16 с.

Серикеева Г.А. 2012. Флора Букантау. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ташкент. 16 с.

Уранов А.А. 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. № 2. С. 7-34.

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 растений (основные понятия и структура). 1976. М. 217 с.

Sennikov A.N., Tojibaev K.Sh., Khassanov F.O., Beshko N.Yu. 2016. The Flora of Uzbekistan Project // Phytotaxa. No. 282 (2) P. 107-118.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 99-106

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 574.2:582.998.2 (470.67)

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ РОДА *ACHILLEA* L. В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ РАВНИННОЙ ЗОНЫ ДАГЕСТАНА

© 2022 г. В.В. Семенова*, Д.М. Анатов**

**Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН*
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: semenovav86@mail.ru
***Горный ботанический сад ДФИЦ РАН*
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45

Поступила в редакцию 08.09.2021. После доработки 15.09.2021. Принята к публикации 01.10.2021

В равнинной зоне Дагестана распространены засушливые разнотравно-злаковые степи. В составе их травостоя присутствуют растения тысячелистника, образующие в низменности обширные заросли. Впервые в условиях Дагестана изучено накопление тяжелых металлов в органах растений рода *Achillea* L. и почвах. Определено содержание Fe, Mn, Pb, Cd в надземной и подземной массе растений рода *Achillea* L. фоновых и антропогенно нарушенных участков, а также в почвах, на которых они произрастают. Установлено, что на накопление и распределение тяжелых металлов в органах растений оказывает влияние загрязнение автотранспортом. В растениях *Achillea nobilis*, отобранных в с. Учкент и с. Стальское, содержание кадмия превышает максимально допустимый уровень в 1.2-1.7 раза. По вычисленным коэффициентам биогеохимической подвижности выявлено, что растения антропогенно нарушенных местообитаний характеризуются высокой аккумуляцией Fe, Cd, но низкой – Mn, Pb.

Ключевые слова: *Achillea millefolium* L., *Achillea nobilis* L., *Achillea biebersteinii* Afan., тяжелые металлы, надземная и подземная масса растений, почва, загрязнение.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-99-106

Степи располагаются в районах Дагестана, где в год выпадает 250-400 мм осадков (Акаев и др., 1996). В составе разнотравно-злаковых степей произрастают виды тысячелистника, которые являются лекарственными растениями. Тысячелистник применяется в лечебных целях как кровоостанавливающее, противовоспалительное, ранозаживляющее средство при гастритах (Кортиков, Кортиков, 2002).

Усиление антропогенной нагрузки на окружающую среду делает проблему экологической чистоты лекарственного растительного сырья достаточно актуальной. По мере обострения экологической обстановки необходимо тщательно исследовать загрязненность различных видов лекарственных растений, местообитания которых подвергаются интенсивным антропогенным воздействиям.

Формирование химического состава растений происходит при одновременном воздействии большого количества факторов внешней среды, но особо значимую роль при изучении химической изменчивости растений играет состав почвы. Среди комплекса факторов, оказывающих влияние на организмы растений, большая роль принадлежит природным и антропогенным, которые определяются геологической историей местности, химическим составом почв, развитием промышленного производства, влиянием выбросов автотранспорта (Гринкевич, 1975).

Установлена способность растений поглощать из окружающей среды в больших или меньших количествах практически все известные химические элементы (Ильин, 2006; Андреева, Говорига, 2008; Елькина, 2008; Monni et al., 2001). Пути поступления тяжелых металлов (ТМ) в растения разнообразны, основные из них – корневое и фолиарное (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Касимов и др., 2011). Часто отмечаются различия концентраций ТМ в разных надземных органах (листьях, стеблях, плодах), что может быть связано с видоспецифичностью метаболизма растений и свойствами самих элементов (Дмитраков, Дмитракова, 2006; Говорина и др., 2007; Басов, Басов, 2010; Семенова, 2019; Godzik, 1991).

В условиях Дагестана исследований по содержанию ТМ в органах разных видов тысячелистника, по воздействию выбросов автотранспорта на растения ранее не проводилось.

Цель настоящей работы – изучение особенностей накопления тяжелых металлов (Fe, Mn, Pb, Cd) растениями рода *Achillea* L.: тысячелистником обыкновенным (*Achillea millefolium* L.), тысячелистником благородным (*Achillea nobilis* L.), тысячелистником Биберштейна (*Achillea biebersteinii* Afan.), произрастающих в засушливых условиях равнинной зоны Дагестана.

В задачи работы входило:

1) установление уровней накопления ТМ в почвах и растениях рода *Achillea* L.;

2) исследование содержания ТМ в органах представителей рода *Achillea* L. в условиях загрязнения выбросами автотранспорта;

3) выявление различий растений в поглощении подвижных форм элементов из почвы.

Объекты и методы исследований

Исследования проведены в 2008-2018 гг. Растительные образцы отобраны на территории равнинной зоны Дагестана в период их цветения (июнь-июль), согласно общепринятой методике (Правила …, 1985). Пробы почвы взяты из зоны расположения корневой системы (0-20 см). Подготовка проб выполнена в соответствии с ГОСТ «Общие требования к отбору проб» (1983). Анализ каждой пробы проводили в двукратной повторности. Образцы растений и почв отобраны на территориях, расположенных на расстоянии 250-300 м от дороги, а также на расстоянии 5, 10, 50 и 70 м.

Определение элементов в растительных образцах проводилось после сухого озоления и растворения золы в 20% HCl (Разумов, 1986). Валовое содержание элементов в почвах определялось по методу К.В. Веригиной (1977). Метод основан на сжигании органических веществ прокаливанием и на последующем разложении плавиковой кислотой в присутствии серной кислоты. Подвижные формы элементов были извлечены ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с pH = 4.8 по методу Н.К. Крупского и А.М. Александровой (Практикум по агрохимии, 2001). Измерение свинца и кадмия проводилось на полярографе ПУ-1, железа и марганца – на фотоэлектроколориметре КФК-2.

Определение содержания гумуса в почвах проведено по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО-ГОСТ 26213-91 (1991), pH водной вытяжки почв определен потенциометрическим методом.

Коэффициент биогеохимической подвижности (Bx) рассчитывался как отношение концентрации элемента в растениях (мг/кг сухого вещества) к содержанию его подвижной (ААБ) формы в почве (Перельман, Касимов, 1999). Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel. Для выяснения достоверности различий содержания тяжелых металлов в растениях и почвах фоновых (табл. 1) и антропогенно нарушенных (табл. 2) участков использован t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Валовое содержание Mn, Pb в почвах (табл. 2) не было выше ориентировочно допустимой концентрации (ОДК по ГН 2.1.7.2511-09 (2009)), а содержание Cd в почве с. Тотурбийкала превысило ОДК в 1.2 раза. Содержание подвижных форм Mn в почве с. Манаскент превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК по ГН 2.1.7.2041-06 (2006)) в 1.4 раза.

Каштановые почвы антропогенно нарушенного участка Кумторкалинского района (с. Учкент) содержат концентрации подвижных форм Pb, которые превышают значения на участке с. Коркмаскала в 35 раз ($t = 40.8$, $p = 0.01$; табл. 1, 2). В тысячелистнике благородном содержание Pb в надземной массе по сравнению с фоном повышено в 3-8 раз ($t = 20.2$, $p = 0.03$), Cd – в 3.8-7.4 ($t = 14$, $p = 0.04$; $t = 32$, $p = 0.02$), в подземной массе превышено содержание Cd в 1.3-4 раза ($t = 20$, $p = 0.03$; табл. 3, 4). В надземной массе растений тысячелистника благородного с. Учкент (50 м) содержание Cd превышает максимально допустимый уровень для кормовых трав (МДУ) в 1.2 раза. В растениях тысячелистника Биберштейна, отобранных на загрязненных участках, содержание Pb в надземной массе повышено по сравнению с фоном в 1.6 раз ($t = 29$, $p = 0.02$), Cd – в 5.5 раз ($t = 18$, $p = 0.03$; табл. 3, 4).

На участке с разной удаленностью от дороги (10, 50, 70 м) наибольшая концентрация Pb в почвах наблюдается на расстоянии 10 м (табл. 2). Показатели Pb, Cd в растениях тысячелистника

Биберштейна, отобранных в 10 м от дороги, в 1.5-5.5 раза превышают показатели в растениях, отобранных в 70 м (табл. 4).

Таблица 1. Содержание элементов в почвах фоновых участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг.

Район, населенный пункт	Гумус, %	pH	Fe	Mn	Pb	Cd
Каштановая карбонатная среднесуглинистая						
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	3.3	7.8	25600 / 9.0	420.0 / 98.0	9.0 / 0.12	1.10 / 0.02
Лугово-каштановая карбонатная среднесуглинистая						
Кизилюртовский, с. Стальское	4.5	7.7	25800 / 2.70	420.0 / 115.0	15.0 / 0.32	0.60 / 0.02
Лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая						
Хасавюртовский, с. Тотурбийкала	5.3	7.9	25700 / 5.50	400.0 / 100.0	13.0 / 0.40	0.70 / 0.02
Карабудахкентский, с. Манаскент	7.5	8.0	26500 / 4.30	400.0 / 100.0	8.0 / 0.30	0.30 / 0.01

Примечание к таблице 1: в числителе – валовое содержание элементов, в знаменателе – подвижные формы элементов.

Таблица 2. Содержание элементов в почвах антропогенно нарушенных участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг.

Район, населенный пункт	Расстояние от дороги, м	Гумус, %	pH	Fe	Mn	Pb	Cd
Луговая карбонатная тяжелосуглинистая							
Кировский р-он, с. Богатыревка	10	5.6	7.8	34200 / 26.0	560.0 / 132.0	13.0 / 1.05	0.70 / 0.01
Кизилюртовский, с. Акнада	10	4.2	7.9	60000 / 54.0	460.0 / 122.0	14.0 / 1.13	0.60 / 0.01
Лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая							
Карабудахкентский, с. Манаскент	10	7.5	8.0	38300 / 4.50	440.0 / **140.0**	10.0 / 2.40	0.60 / 0.01
Хасавюртовский, с. Тотурбийкала	5	5.3	7.9	36600 / 9.40	600.0 / 103.0	13.0 / 1.42	**2.40** / 0.01
Кировский р-он г. Махачкалы, с. Шамхал	10	3.3	8.0	34000 / 12.0	520.0 / 85.0	11.0 / 0.97	1.10 / 0.01
Лугово-каштановая карбонатная среднесуглинистая							
Кизилюртовский, с. Стальское	50	4.6	7.7	26900 / 2.50	450.0 / 118.0	22.0 / 0.63	2.00 / 0.05
Каштановая карбонатная среднесуглинистая							
Кумторкалинский, с. Учкент	10	8.7	7.5	26700 / 3.80	480.0 / 113.0	29.0 / 4.20	0.90 / 0.04
Каштановая среднесуглинистая							
Кумторкалинский р-он, с. Учкент	50	3.4	7.9	25800 / 8.30	430.0 / 118.0	23.0 / 2.8	1.20 / 0.01
Кумторкалинский р-он, с. Учкент	70	3.5	7.0	21700 / 3.30	450.0 / 54.0	14.0 / 0.42	0.80 / 0.04
ОДК валового содержания по ГН 2.1.7. 2511-09	–	–	–	–	1500	130.0	2.0
ПДК подвижных (ААБ) форм элементов в почве по ГН 2.1.7.2041-06	–	–	–	–	100.0	6.0	–

Примечание к таблице 2: в числителе – валовое содержание элементов, в знаменателе – подвижные формы элементов. Полужирным шрифтом выделены превышения ОДК и ПДК.

Лугово-каштановая почва загрязненного участка с. Манаскент содержит подвижный Pb, который превышает фон в 8 раз (t = 14.8, p = 0.004; табл. 1, 2). В надземной массе тысячелистника обыкновенного количество Pb повышено в 3 раза (t = 39.59, p = 0.0006; табл. 3, 4).

В лугово-каштановой почве антропогенно нарушенного участка с. Тотурбийкала (табл. 1, 2) количество подвижных форм Fe превышено в 1.7 раз по сравнению с фоном (t = 27.57, p = 0.001), Pb – в 3.5 раза (t = 10.15, p = 0.009). В растениях тысячелистника обыкновенного также наблюдаются превышения Fe в надземной массе в 2 раза (t = 260.2, p = 0.0000), в подземной массе – в 2.5 раза (t = 38.2, p = 0.0006).

Таблица 3. Содержание элементов в надземной и подземной массе растений рода *Achillea* L. фоновых участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг сухого вещества.

Район, населенный пункт	Fe	Mn	Pb	Cd
Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.)				
Хасавюртовский, с. Тотурбийкала	338/246	36.0/44.0	0.30/0.60	0.03/0.02
Карабудахкентский, с. Манаскент	197/235	30.0/47.0	0.26/0.50	0.06/0.03
Тысячелистник благородный (*Achillea nobilis* L.)				
Кизилюртовский, с. Стальское	466/715	27.0/34.0	0.12/0.18	0.09/0.02
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	530/1050	25.5/42.0	0.28/0.44	0.05/0.06
Тысячелистник Биберштейна (*Achillea biebersteinii* Afan.)				
Кумторкалинский, с. Коркмаскала	306/1068	70.0/92.0	0.45/0.86	0.04/0.04
Кизилюртовский, с. Стальское	670/410	38.3/28.0	0.38/0.53	0.09/0.09

Примечание к таблице 3: в числителе – содержание элементов в надземной, в знаменателе – в подземной массе растений.

В лугово-каштановых почвах с. Стальское (табл. 1, 2) содержание подвижных форм Pb превышено в 2 раза (t = 21.92, p = 0.002). В надземной массе растений тысячелистника благородного содержание Pb превышено по сравнению с фоном в 5 раз (t = 32.53, p = 0.001), Cd – в 6 раз (t = 31.11, p = 0.001), в подземной массе содержание Pb повышено в 3 раза (t = 23.33, p = 0.002; табл. 3, 4). В надземной массе растений тысячелистника благородного содержание Cd превышает МДУ в 1.7 раза. В надземной массе растений тысячелистника Биберштейна содержание Pb повышено в 3 раза (t = 45.96, p = 0.0005).

Лугово-каштановые, луговые почвы антропогенно нарушенного участка Кировского района г. Махачкалы (с. Шамхал и Богатыревка), Кизилюртовского района (с. Акнада) содержат повышенное количество подвижного Pb (табл. 1, 2), которое превышает показатели фонового участка с. Тотурбийкала в 2-3 раза (Шамхал – t = 5.67, p = 0.03, Богатыревка – t = 6.46, p = 0.02, Акнада – t = 7.26, p = 0.02). Содержание Pb в надземной массе растений тысячелистника обыкновенного в с. Богатыревка превышает его количество по сравнению с фоновыми в 5 раз (t = 12.54, p = 0.006), в с. Акнада – в 4 раза (t = 8.26, p = 0.01). Содержание Cd превышено в надземной массе растений с. Богатыревка и Шамхал в 2-3 раза (t = 5, p = 0.002), а с. Акнада – в 6 раз (t = 9.89, p = 0.01; табл. 3, 4).

Исследования по содержанию ТМ в растениях тысячелистника узколистного проводились в Калмыкии (Даваева и др., 2017) и согласуются с полученными нами данными. Литературные данные (Минкина и др., 2018) по содержанию Mn (29 мг/кг), Cd (0.1 мг/кг), Pb (1 мг/кг) в надземной массе тысячелистника благородного также согласуются с полученными нами данными.

У всех видов тысячелистника равнинной зоны Дагестана (рис. 1), произрастающих на фоновых

участках, максимальное количество Fe, Mn накапливается в листьях (тысячелистник обыкновенный – Fe – 475 мг/кг, Mn – 48.5 мг/кг; тысячелистник благородный – Fe – 1250 мг/кг, Mn – 48 мг/кг; тысячелистник Биберштейна – Fe – 1101, Mn – 109 мг/кг).

Таблица 4. Содержание элементов в надземной и подземной массе растений рода *Achillea* L. антропогенно нарушенных участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг сухого вещества.

Район, населенный пункт	Расстояние от дороги, м	Fe	Mn	Pb	Cd
Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.)					
Кировский, с. Богатыревка	10	336 / 320	34.3 / 4.9	1.56 / 0.30	0.09 / 0.05
Кизилюртовский, с. Акнада	10	241 / 350	52.3 / 56.0	1.13 / 0.04	0.17 / 0.15
Кировский р-он г. Махачкалы, с. Шамхал	10	313 / 720	50.3 / 51.0	0.39 / 0.03	0.07 / 0.02
Карабудахкентский, с. Манаскент	10	206 / 236	33.0 / 53.0	0.82 / 0.43	0.08 / 0.05
Хасавюртовский, с. Тотурбийкала	5	706 / 630	85.3 / 57.0	0.31 / 0.72	0.03 / 0.02
Тысячелистник благородный (*Achillea nobilis* L.)					
Кумторкалинский, с. Учкент	10	1956 / 1070	120.6 / 110.0	2.30 / 1.20	0.19 / 0.08
Кумторкалинский, с. Учкент	50	807 / 1630	27.80 / 45.0	0.84 / 1.28	**0.37** / 0.26
Кизилюртовский, с. Стальское	50	490 / 720	29.30 / 36.0	0.58 / 0.51	**0.53** / 0.03
Тысячелистник Биберштейна (*Achillea biebersteinii* Afan.)					
Кумторкалинский, с. Учкент	10	653 / 702	91.0 / 82.0	0.74 / 1.10	0.22 / 0.07
Кумторкалинский, с. Учкент	70	308 / 1070	72.0 / 94.0	0.50 / 0.88	0.04 / 0.04
Кизилюртовский, с. Стальское	50	736 / 412	41.0 / 30.0	1.03 / 0.41	0.25 / 0.30
МДУ для кормовых трав (Санитарные ..., 2002)	–	–	–	5.0	0.3

Примечание к таблице 4: в числителе – содержание элементов в надземной, в знаменателе – в подземной массе растений. Полужирным шрифтом выделены превышения максимально допустимого уровня (МДУ), мг/кг.

Тысячелистник обыкновенный аккумулирует наибольшие концентрации Pb (0.5 мг/кг) в корнях и Cd в соцветиях (0.06 мг/кг). Тысячелистник благородный и тысячелистник Биберштейна аккумулируют максимальное содержание Pb (0.4, 0.8 мг/кг), Cd (0.1 мг/кг) в листьях (рис. 1).

Выявлены различия в содержании Pb в органах тысячелистника обыкновенного равнинной зоны в зависимости от загрязнения (рис. 2). В растениях фоновых участков Pb накапливается в корнях (0.5 мг/кг), а на загрязненных участках – в соцветиях растений (1.1 мг/кг).

Максимальные концентрации Pb на фоновых и антропогенно нарушенных участках у тысячелистника благородного (0.4, 2.5 мг/кг), тысячелистника Биберштейна (0.8, 1.2 мг/кг) содержатся в листьях.

Полученные данные позволили рассчитать коэффициенты биогеохимической подвижности изученных элементов для лекарственного сырья разных видов тысячелистника.

Значения Bx показывают, что растения природных местообитаний характеризуются высоким накоплением Fe (49.6-190.7), Pb (0.8-4.4), Cd (2-3.7), но низким Mn (0.25-0.6).

В среднем убывающий ряд Bx для растений тысячелистника обыкновенного, отобранных на

незагрязненных участках, выглядит следующим образом: для надземной и подземной массы – Fe (53.6, 49.6) > Cd (3.7, 2) > Pb (0.8, 1.5) > Mn (0.3, 0.4); для надземной и подземной массы тысячелистника благородного: Fe (115.7; 190.7) > Cd (3.5; 2) > Pb (1.35; 2) > Mn (0.25; 0.35). Для тысячелистника Биберштейна для надземной – Fe (141) > Cd (3.2) > Pb (2.5) > Mn (0.5), для подземной – Fe (135.2) > Pb (4.4) > Cd (3.2) > Mn (0.6).

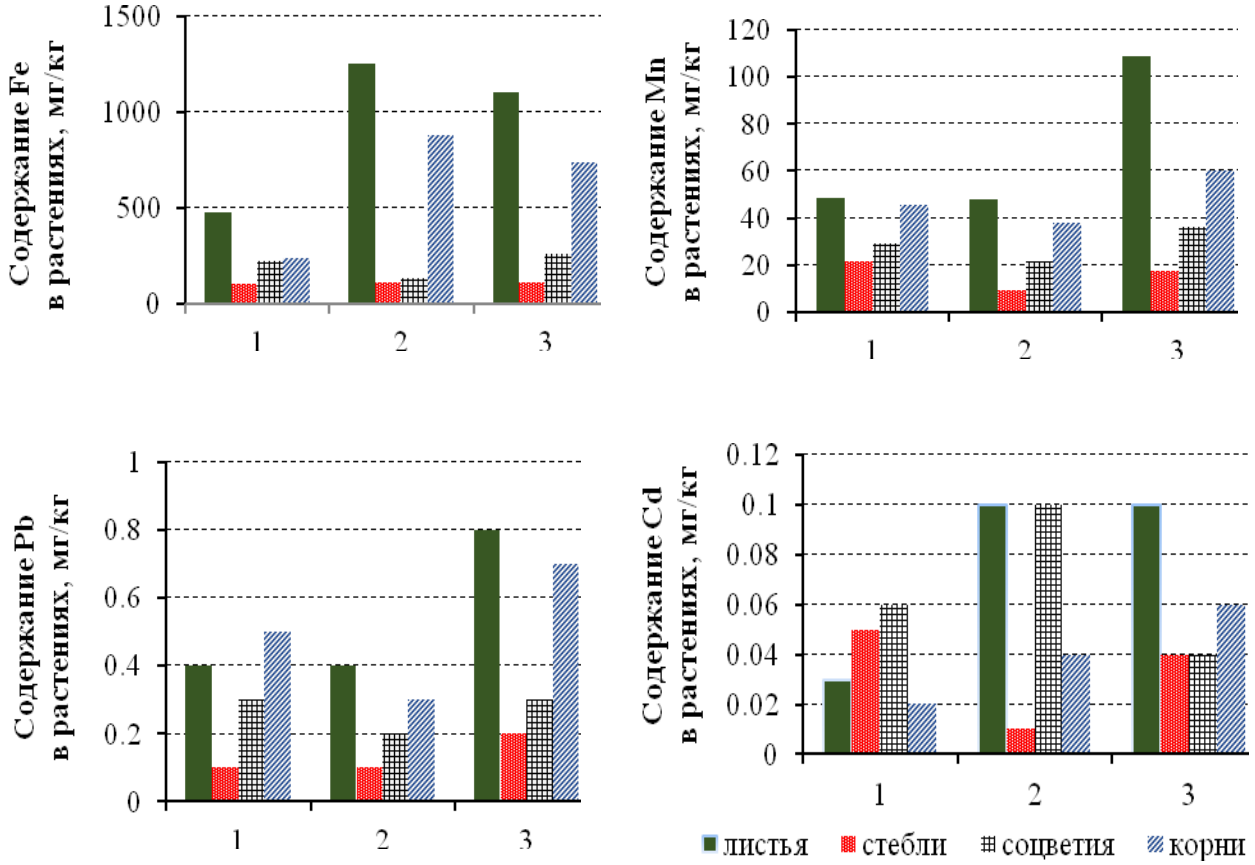


Рис. 1. Среднее содержание тяжелых металлов в органах растений рода *Achillea* L. фоновых участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг. *Условные обозначения:* 1 – тысячелистник обыкновенный, 2 – тысячелистник благородный, 3 – тысячелистник Биберштейна.

В антропогенно нарушенных местообитаниях наибольшие Bx отмечены для Fe (32.7-269.3), Cd (2.9-17.4), а наименьшие для Mn (0.41-0.86) и Pb (0.21-1).

В среднем убывающий ряд Bx для тысячелистника обыкновенного антропогенно нарушенных местообитаний выглядит следующим образом: для надземной массы Fe (32.7) > Cd (8.8) > Pb (0.68) > Mn (0.46), для подземной массы – Fe (39.6) > Cd (5.8) > Mn (0.41) > Pb (0.21). Для надземной и подземной массы тысячелистника благородного: Fe (269.3; 255.3) > Cd (17.4; 9.5) > Pb (0.56; 0.5) > Mn (0.5; 0.53). Для надземной и подземной массы тысячелистника Биберштейна: Fe (186.5; 224.5) > Cd (3.83; 2.9) > Pb (1; 1) > Mn (0.8; 0.86).

По величинам Bx для надземной массы растений, произрастающих в условиях загрязняющего воздействия, виды располагаются в виде следующих убывающих рядов:

Fe – тысячелистник благородный > тысячелистник Биберштейна > тысячелистник обыкновенный;

Mn – тысячелистник Биберштейна > тысячелистник благородный > тысячелистник обыкновенный;

Pb – тысячелистник Биберштейна > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник благородный;

Cd – тысячелистник благородный > тысячелистник обыкновенный > тысячелистник Биберштейна.

Среди всех изученных видов тысячелистник благородный больше аккумулирует в надземной массе Fe, Cd, а тысячелистник Биберштейна – Pb.

Заключение

Транспортные магистрали оказывают негативное влияние на накопление ТМ в растениях тысячелистника и почвах равнинной зоны Дагестана. Содержание ТМ в растениях и почвах антропогенно нарушенных участков превышено по сравнению с образцами, отобранными на фоновых участках. Установлено накопление Fe и Mn в листьях всех видов тысячелистника, но наблюдаются различия в накоплении Pb и Cd в разных органах растений природных местообитаний. В загрязненных местообитаниях Pb накапливается в листьях и соцветиях. Для видов тысячелистника характерно более высокое поглощение Fe и Cd по сравнению с Mn и Pb.

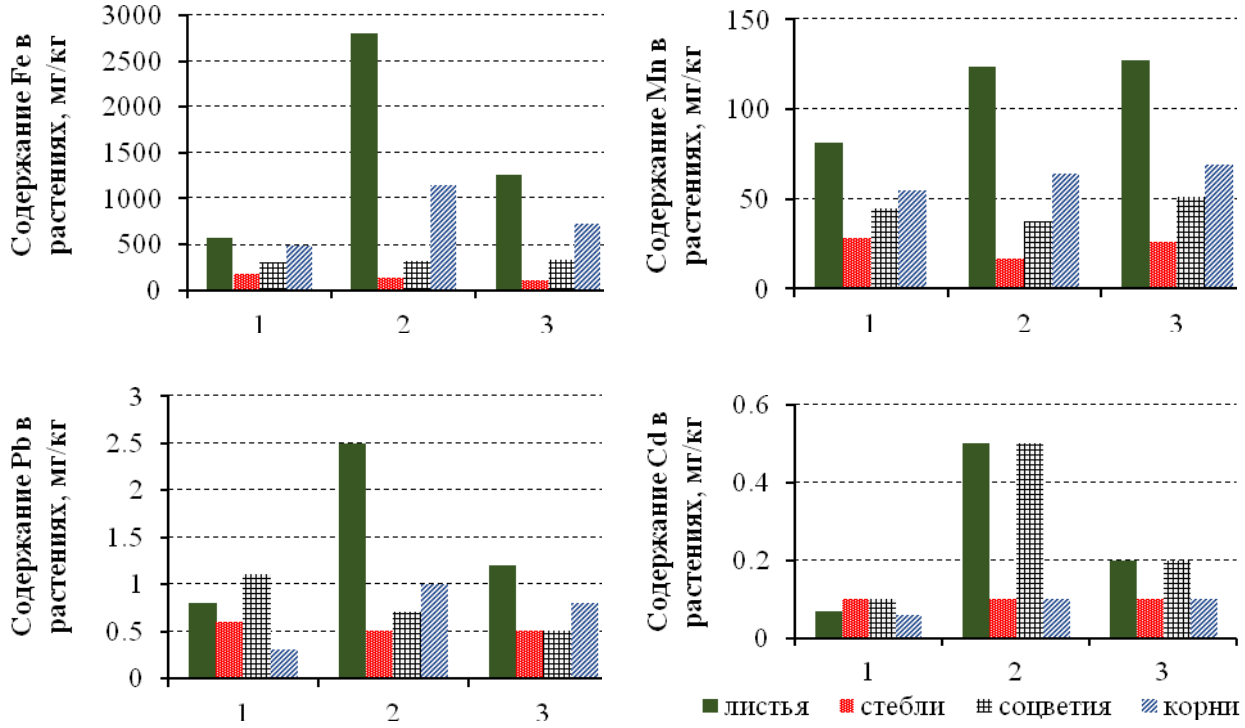


Рис. 2. Среднее содержание тяжелых металлов в органах растений рода *Achillea* L антропогенно нарушенных участков равнинной зоны Дагестана, мг/кг. *Условные обозначения:* 1 – тысячелистник обыкновенный, 2 – тысячелистник благородный, 3 – тысячелистник Биберштейна.

Для всех видов тысячелистника загрязненных местообитаний Bx Cd выше 1, что означает его высокое поглощение из почвы, а Mn меньше 1, что означает слабое биологическое поглощение из почвы, а Bx Pb среднего уровня накопления (Bx = 1) у тысячелистника Биберштейна, низкого уровня у остальных видов. Максимальные значения Bx выявлены для Fe – 32.7-269.3, что свидетельствует об интенсивности поглощения элемента растениями. По рассчитанным средним значениям Bx для всех участков выявлена максимальная аккумуляция в надземной массе тысячелистника благородного Fe, Cd, у тысячелистника Биберштейна – Pb. В условиях загрязнения в растениях *Achillea nobilis*, отобранных в с. Учкент, с. Стальское, содержание Cd превышает МДУ в 1.2-1.7 раза.

Финансирование. Работа выполнена в лаборатории почвенных и растительных ресурсов Прикаспийского института биологических ресурсов ДФИЦ РАН в рамках темы Госзадания № 0205-2016-0003 «Динамика почвенного покрова и биопродуктивности экосистем Северо-Западного Прикаспия и Восточного Кавказа». Рег. № АААА-А17-117081640024-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С. 1996. Физическая география Дагестана. М.: Школа. 381 с.

Андреева И.В., Говорига В.В. 2008. К вопросу о возможных причинах высокой подвижности никеля в растениях // Агрохимия. № 6. С. 68-71.

Басов Ю.В., Басов А.Ю. 2010. Особенности аккумуляции тяжелых металлов гречихой в условиях техногенеза //

Вестник Орловского государственного аграрного университета. Т. 25. № 4. С. 39-43.

Веригина К.В. 1977. Инструкция по определению тяжелых металлов и фтора химическими методами в почвах, растениях и водах при изучении загрязненности окружающей среды. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М. 46 с.

ГН 2.1.7.2041-06. 2006. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве. М. 6 с.

ГН 2.1.7.2511-09. 2009. Гигиенические нормативы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М. 3 с.

ГОСТ 174.3.01-83. 1983. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. 3 с.

ГОСТ 26213-91. 1991. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 8 с.

Говорина В.В., Ракипов Н.Г., Кео Сопхеак Лин, Сидоренкова Н.К. 2007. Содержание и распределение кадмия, свинца и никеля в растениях яровой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания и загрязнения тяжелыми металлами // Агрохимия. № 3. С. 61-67.

Гринкевич Н.И. 1975. Влияние геохимических факторов среды на накопление биологически активных веществ лекарственных растений. Автореф. дисс. … докт. фармацевт. наук. М. 40 с.

Даваева Ц.Д., Сангаджиева О.С., Бамбаева Е.Н., Сангаджиева Л.Х. 2017. Изменение степени аккумуляции тяжелых металлов растениями сенокосов и пастбищ аридных территорий // Материалы XIX Международной научной конференции с элементами научной школы молодых ученых «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России». Махачкала. С. 186-188.

Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К. 2006. Транслокация свинца в растения овса // Агрохимия. № 2. С. 71-77.

Елькина Г.Я. 2008. Поведение меди в системе почва-растение в условиях европейского северо-востока // Агрохимия. № 6. С. 72-79.

Ильин В.Б. 2006. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почва – сельскохозяйственная культура // Агрохимия. № 3. С. 52-59.

Кабата-Пендиас А., *Пендиас. Х.* 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 439 с.

Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С. 2011. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности в г. Улан-Батор (Монголия) // Аридные экосистемы. Т. 17. № 4 (49). С. 14-31.

Кортиков В.Н., Кортиков А.В. 2002. Полная энциклопедия лекарственных растений. Ростов на Дону: Проф-Пресс. 800 с.

Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. 2018. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Аридные экосистемы. Т. 24. № 3 (76). С. 43-55. [*Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Nazarenko O.G., Maksimov A.Yu., Zamulina I.V., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N.* 2108. Accumulation of Heavy Metals by Forb Steppe Vegetation According to Long-Term Monitoring Data // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 3. P. 190-202.]

Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000. 610 с.

Правила сбора и сушки лекарственных растений (сборник инструкций). 1985 / Ред. А.И. Шретер. М: Медицина. 328 с.

Практикум по агрохимии. Учебное пособие. 2001. 2-е изд., перераб. и доп. / Ред. В.Г. Минеев. М.: Изд-во МГУ. 689 с.

Разумов В.А. 1986. Справочник лаборанта-химика по анализу кормов. М.: Россельхозиздат. 303 с.

Санитарные правила и нормы. 2002. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Приор. 464 с.

Семенова В.В. 2019. Воздействие антропогенного фактора на накопление тяжелых металлов в видах рода *Achillea* L., произрастающих в предгорной зоне Дагестана // Экология урбанизированных территорий. М.: Камертон. № 1. С. 87-92.

Godzik B. 1991. Accumulation of Heavy Metals in *Biscutella laevigata* (*Cruciferae*) as a Function of Their Concentration in Substrate // Polish Botanical Studies. Vol. 2. P. 241-246.

Monni S., Uhlig C., Hansen E., Magel E. 2001. Ecophysiological Responses of *Empetrum nigrum* to Heavy Metal Pollution // Environmental Pollution. Vol. 112. P. 121-129.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 107-114

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.46

РЕАКЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ КСЕРОФИТНЫХ ЛЕСОВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА НА ПИРОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

© 2022 г. В.В. Вилкова*, К.Ш. Казеев*, А.К. Шхапацев, С.И. Колесников***

**Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии*
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 194/1. E-mail: kamil_kazeev@mail.ru
***Майкопский государственный технологический университет*
Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 19

Поступила в редакцию 15.07.2021. После доработки 07.09.2021. Принята к публикации 01.10.2021

В последние годы увеличилось распространение природных пожаров в России и мире. Пожары оказывают катастрофическое воздействие на лесные экосистемы, а также значительное влияние на биоту и биологическую активность почв. В последние годы была проведена оценка ферментативной активности коричневых почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа после воздействия пожаров. Исследуемая территория расположена на Абраусском полуострове черноморского побережья России в государственном природном заповеднике «Утриш». Распространенные здесь ксерофитные леса и редколесья состоят из различных видов можжевельников, дубов, фисташки и других пород; почвенный покров представлен сочетанием коричневых почв разной степени мощности, каменистости, карбонатности и гумусированности. Исследованные постпирогенные участки различаются разным периодом восстановления (0-11 лет). Почвенные образцы были отобраны с трех разных глубин (0-3, 3-10 и 20-30 см) в трехкратной повторности. Показано значительное долговременное влияние пожаров на активность ферментов (каталаза, инвертаза, пероксидаза, уреаза) в коричневых субтропических почвах. Содержание органического углерода непосредственно после пожара в поверхностном горизонте возрастает вследствие накопления пирогенного углерода золы, пепла и сажи на поверхности почв. Через год после пожара содержание углерода в почвах уменьшается на 47%, а через 11 лет приближается к контрольным значениям. Активность каталазы, уреазы и фосфатазы коричневых постпирогенных почв сразу после пожара была уменьшена на 43-69% по сравнению с почвой контрольного участка. Активность пероксидазы, наоборот, была простимулирована пожаром. В дальнейшем степень инактивации ферментов и изменение содержания органического углерода в постпирогенных почвах зависело от времени постпирогенного восстановления экосистем и вида фермента. Выявлены особенности изменения активности ферментов при восстановлении постпирогенных коричневых почв. Полного восстановления ферментативной активности постпирогенных коричневых почв не произошло и через 11 лет после пожара. Установлено изменение корреляционных связей активности ферментов и содержанием в почве органического углерода в постпирогенных коричневых почвах разного возраста.

Ключевые слова: почвенные ферменты, пирогенное воздействие, пожары, биоиндикация.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-107-114

В последние десятилетия не только на территории России, но и во всем мире увеличивается частота пожаров в природных экосистемах, что наносит катастрофический экономический и экологический ущерб. Вследствие пирогенного воздействия изменяются биохимические свойства почвы и почвенные процессы, лежащие в основе функционирования экосистемы в целом. Подобные изменения являются большой угрозой для местной флоры и фауны. Основной причиной возгораний называют человеческий фактор. Несомненно, для борьбы с последствиями пирогенного воздействия необходим научный анализ последствий пожаров и влияния разных факторов пирогенного воздействия (огня, высоких температур, дыма), которые могут оказывать значительное влияние на различные компоненты экосистемы и, в частности на почву (Kazeev et al., 2020).

Регулярно повторяющиеся лесные пожары нарушают естественное равновесие наземных экосистем, влияют на изменение типа растительности, динамику растительных ассоциаций, а также на состояние почвенного покрова. Пожар не только нарушает химический состав почв, ухудшает водопроницаемость, влияет на pH, но и уничтожает часть микроорганизмов на определенное время (Сорокин и др., 1983; Магзанова, Хиялиева, 2013; Медведева и др., 2020; Whitman et al., 2019). Уменьшение доли травяной растительности в напочвенном покрове, господство мхов, лишайников и кустарничков характерно для лесных территорий, многократно подвергавшихся пирогенному воздействию (Кулешова и др., 1996).

Пирогенное воздействие имеет комплексный характер, и снижение значений биологических параметров зависит от нескольких факторов: температуры, продолжительности, интенсивности воздействия, дыма и золы продуктов горения, влажности почв (Kazeev et al., 2019, 2020). Выявлена высокая степень зависимости ферментативной активности от длительности воздействия огня. Биологические процессы на гарях при низкой интенсивности пожаров увеличиваются, а при высокой интенсивности снижаются (Вальков и др., 1996). Также степень снижения показателей зависит от вида и характеристик пожара, наличия растительных органических остатков на поверхности почвы.

Постпирогенные экосистемы и почвы изучены недостаточно, особенно на территории юга России. К тому же большинство почв Предкавказья и Причерноморья не имеют нетронутых эталонов сравнения, что сильно затрудняет проведение исследований почвенного покрова и его мониторинга. Особенно это касается воздействия пожаров на свойства и биологическую активность почв ксерофитных лесов Крыма и Кавказа.

Целью работы является исследование реакции ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие. Для выполнения исследований были проведены полевые исследования постпирогенных почв заповедника «Утриш» и определена активность почвенных ферментов (каталаза, инвертаза, пероксидаза, уреаза).

Объекты и методы исследования

В западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа находится территория государственного природного заповедника «Утриш». Заповедник представляет собой естественный природный резерват. На российском черноморском побережье это один из последних участков естественных сухих средиземноморских субтропиков. Экосистемы Абраусского полуострова уникальны и являются ценными объектами охраны. Растительный покров Утришско-Туапсинского варианта характеризуется высокой видовой насыщенностью растительных сообществ, достигающей максимальных значений в приморском поясе фисташково-можжевеловых и пушистодубовых лесов и редколесий. С ним связан оптимум произрастания видов со средиземноморским распространением. К таким видам относятся доминанты лесных и редколесных сообществ: фисташка туполистная (*Pistacia mutica*[1]), можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*), сосна крымская (*Pinus pallasiana*), сосна пицундская (*Pinus pityusa*), иглица колючая (*Ruscus aculeatus*) и др. Характерен высокий уровень эндемизма (Огуреева и др., 2020).

Ранее проведенные исследования показали, что не только на территории полуострова Абрау, но и на территории заповедника «Утриш» распространены коричневые почвы (Казеев и др., 2015). Коричневые почвы отличаются от других типов почв по следующим признакам: коричневый цвет профиля, интенсивное текстурное оглинивание средней части профиля почвы, элювиально-иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания. При этом большинство почв заповедника относят к неполноразвитым родам коричневых почв по причине их формирования на плотных породах разного состава. В связи с этим коричневые почвы отличаются высокой степенью скелетности, то есть содержат значительное количество обломков плотных пород в своем профиле (Опанасенко, Евтушенко, 2019).

В 2019-2020 гг. были проведены исследования постпирогенных экосистем на территории заповедника «Утриш» на трех участках (рис. 1), отличающихся временем восстановления с момента пожаров (табл.).

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

На участке № 1 в сентябре 2020 г. были проведены полевые исследования сразу (через 20 суток) после пирогенного воздействия на нескольких площадках в районе приморской части Базовой щели. Здесь для изучения влияния сильного верхового пожара на биологическую активность почв были заложены 21 почвенный разрез и прикопки на 6 площадках с разной степенью повреждения пожаром. Образцы почв отбирали в трехкратной повторности с глубины 0-3, 3-10 и 20-30 см. Уровень воздействия пожара на площадках была определена визуально согласно полевому руководству (Parson et al., 2010). Растительность исследуемой территории представлена сосной пицундской и можжевельником высоким, под пологом которых растет иглица понтийская. На поверхности почвы площадок с сильной степенью повреждения обнаружен слой золы 3-4 мм. Согласно традиционной «Классификации и диагностике почв СССР» (1977), почвы диагностированы как коричневые выщелоченные на элювии окарбоначенного песчаника.

В 2019 году были проведены полевые исследования в окрестностях устья Широкой щели на мониторинговом участке № 2, который пострадал в результате пожара 2018 года. Площадки с разной степенью пирогенного воздействия находятся на территории смешанного леса, где произрастает сосна пицундская, граб, дуб, фисташка, а также иглица и держидерево. Здесь были заложены 11 почвенных разрезов и прикопок. Почвы диагностированы как коричневые карбонатные каменистые неполноразвитые на элювии песчаников.

Таблица. Описание исследуемых участков.

Номер участка	Местоположение	Рельеф	Крутизна и экспозиция склонов	Высота н.у.м. БС, м	Время после пожара, лет
1	Базовая щель	приморская терраса	20º ЮВ	77	0
2	Широкая щель	приморская терраса	20-25º З	17-32	1
3	Водопадная щель	верхняя часть склона от хребта Навагир	20-25º ЮВ	105-117	11

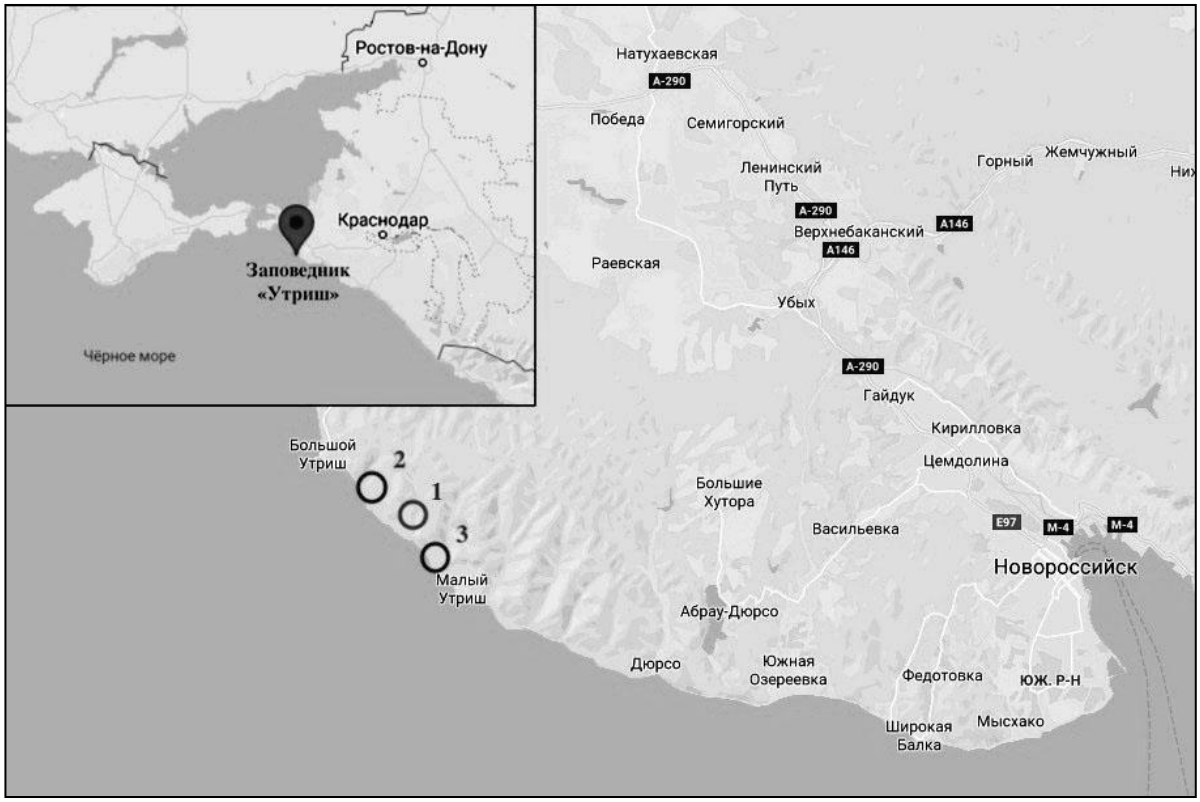


Рис. 1. Местоположение исследуемых участков.

На участке № 3 расположены мониторинговые площадки для исследований последствий пожара 2009 года в районе Водопадной щели. Спустя 11 лет после пожара на пожарище выросла густая разнотравно-злаковая растительность, местами древесно-кустарниковый подрост высотой до 3 м дуба, граба, самшита и других кустарников. Для исследования данной территории были заложены 12 почвенных разрезов и прикопок. Почва – коричневая каменистая на элювии песчаников. Контрольным участком послужила фоновая территория можжевелового редколесья.

В лабораториях кафедры экологии и природопользования Южного федерального университета были выполнены аналитические исследования с использованием распространенных в биологии и почвоведении методов (Казеев и др., 2016). Определение активности каталазы почв произведено волюметрическим методом А.Ш. Галстяна (1978) и основано на учете количества, переработанного в процессе реакции субстрата. Активность пероксидазы была установлена по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой (1986). В качестве акцепторов кислорода использовали гидрохинон. Активность уреазы определяли с помощью реактива Несслера по количеству образующегося при гидролизе мочевины аммиака по методике А.Ш. Галстяна. Активность инвертазы определяли модифицированным колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Активность почвенных ферментов изучали при естественной pH почвы, как предложено для целей биодиагностики (Галстян, 1978; German et al., 2011). Содержание органического углерода определяли методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина по окисляемости хромовой смесью со спектрофотометрическим окончанием. Статистическая обработка данных выполнена с применением дисперсионного анализа для оценки достоверности различий и корреляционного анализа для изучения тесноты и формы связи между показателями эколого-биологического состояния почв.

Результаты и обсуждение

Как показали проведенные исследования коричневые почвы фоновых участков лесов и можжевеловых редколесий исследуемой территории обладают высокой биологической активностью. Ферментативная активность этих почв высока и близка к значениям черноземных почв равнин юга России и предгорий Кавказа (Gorobtsova et al., 2017; Kazeev et al., 2020). Активность каталазы в поверхностных горизонтах почв фоновых участков заповедника «Утриш» по шкалам Д.Г. Звягинцева (1978) отнесена к очень высокому уровню обогащенности. O_2 на участке № 1 – 16.1±0.9 мл/г·мин, на участке № 3 – 15.1±0.2 мл/г·мин, только на участке № 2 с маломощными коричневыми почвами обогащенность каталазой средняя – O_2 – 8.8±2.4 мл/г·мин. Активность уреазы также на очень высоком уровне со значительным варьированием NH_3 на разных участках, от 317.7±7.7 мг/10 г·24 час до 114.2±7.9 мг/10 г·24 час на участке № 3. Активность инвертазы в почвах контрольных участков средняя:глюкозы – 2.1-6.8 мг/24 час. Активность пероксидазы варьирует в почвах фоновых участков в меньших пределах: бензохинона – 29.8-31.5 мг/г·30 мин. Содержание органического углерода в почвах контрольных участков очень высокое на участках № 1 и № 3 – 11.6±1.0% и 10.1±0.7% соответственно. Участок № 2, расположенный на окраине приморской террасы, характеризуется средними значениями содержания углерода, со значительным диапазоном величин в почвах – 6.7±3.6%, что объясняется разницей в уклонах местности и неоднородностями произрастающей растительности.

Во всех постпирогенных почвах заповедника «Утриш» отмечено отклонение в значениях активности исследуемых ферментов в сравнении с контрольными образцами почв. Наибольшее ингибирование таких ферментов, как каталаза, инвертаза и уреаза отмечено непосредственно после сильного пожара на участке № 1 (рис. 2). Активность инвертазы здесь снижена на 69%, уреазы также на 69% и каталазы на 43% по сравнению с контрольными образцами. В целом уровень подавления ферментативной активности зависел от степени повреждения огнем исследуемой территории. Сильное пирогенное воздействие приводит к существенным изменениям растительности, микробного сообщества и биологической активности (Whitman et al., 2019). Снижение ферментативной активности напрямую связано с пирогенным воздействием: увеличением температуры на поверхности почвы, при котором белковые структуры ферментов разрушаются.

Участок № 2 в окрестностях пос. Малый Утриш пострадал от пожара за год до проведения исследований. На исследуемом участке установлено ингибирующее воздействие пожара на ферменты класса оксидоредуктаз и стимулирующее воздействие на активность ферментов класса гидролаз.

Активность инвертазы и уреазы выше на 36-37% по сравнению с контрольным участком (рис. 2).

Это свидетельствует о происходящей активной трансформации подвижных форм углерода и азота, в циклах превращений которых участвуют эти ферменты. В то время как активность ферментов оксидаз – пероксидазы и каталазы относительно контрольного участка снижена на 13% и 44% соответственно.

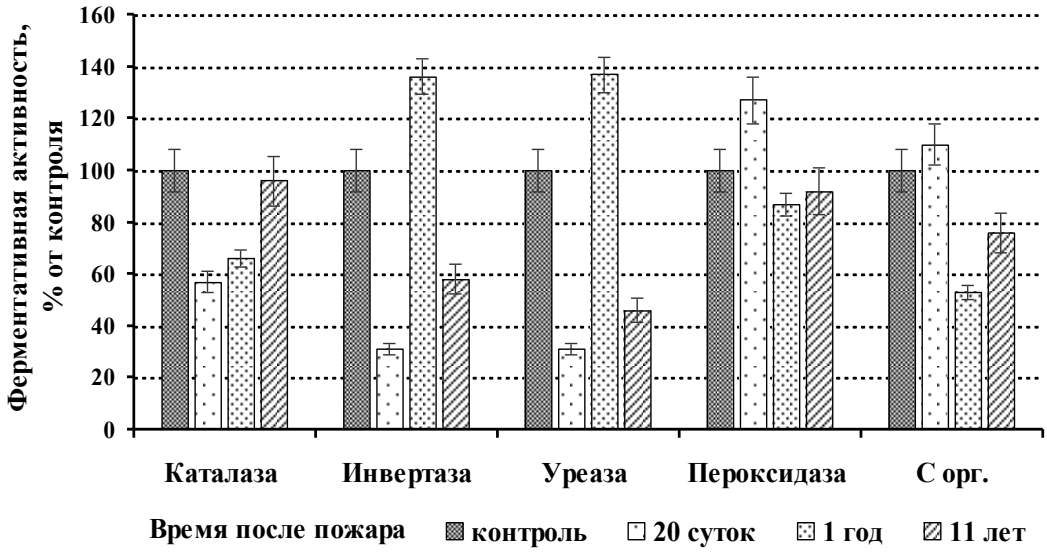


Рис. 2. Динамика активности каталазы, инвертазы, уреазы и пероксидазы постпирогенных почв в процентах от контроля.

Исследование активности пероксидазы постпирогенных почв участка № 1 показали, что активность данного фермента выше относительно контрольных значений на 27%. Повышение активности пероксидазы произошло вследствие участия соединений углерода из золы в качестве дополнительного субстрата, в ближайшие годы ожидается проявление ингибирующего эффекта (Ефремова, Овчинникова, 2007).

Ферментативная активность почв участка № 3, где на момент исследований пожар произошел 11 лет назад, полностью противоположна значениям для участков с недавними пожарами. Здесь наблюдали существенное ингибирование активности инвертазы и уреазы, значения которых были снижены относительно контроля на 42% и 54% соответственно. Активность пероксидазы и каталазы снижена незначительно по сравнению с контролем, что обусловлено повышением биологической активности почв в результате восстановительной сукцессии. Следовательно, в постпирогенных почвах ферменты из класса оксидоредуктаз восстановились быстрее, чем ферменты из класса гидролаз.

По сравнению с контрольными почвами содержание общего органического углерода на участке № 1 сразу после пожара выше на 10%, а для двух других участков пожарищ содержание общего органического углерода снижено на 47% через год после пожара и на 24% через 11 лет (рис. 3).

Приближение содержания органического углерода к контрольным значениям через 11 лет после пожара связано с трендом повышения биологической активности почв при усилении дернового процесса почвообразования, активное участие в котором принимает травянистая растительность начальных этапов восстановительной сукцессии. А увеличение содержания органического углерода непосредственно после пожара напрямую зависит от большого количества пирогенного углерода, образующегося в результате пожаров (Liu et al., 2014). Исследования на участке № 1 через 20 суток после пожара 2020 года обнаружили много золы и пепла от сгоревшей растительности, которые покрывали поверхность почвы сплошным слоем. При этом пирогенный углерод было практически невозможно полностью удалить из почвенных образцов поверхностных горизонтов. Ранее некоторые исследователи отмечали повышение гумусности и улучшение некоторых свойств почв после пожаров низкой интенсивности (Федоров, Тарасов, 2013; Kumar et al., 2013; Kazeev et al., 2019). Однако

восстановление содержания гумуса и биологической активности почв может быть затруднено при повторных пожарах, которые еще больше дестабилизируют экологическое состояние постпирогенных почв (Nichols et al., 2021).

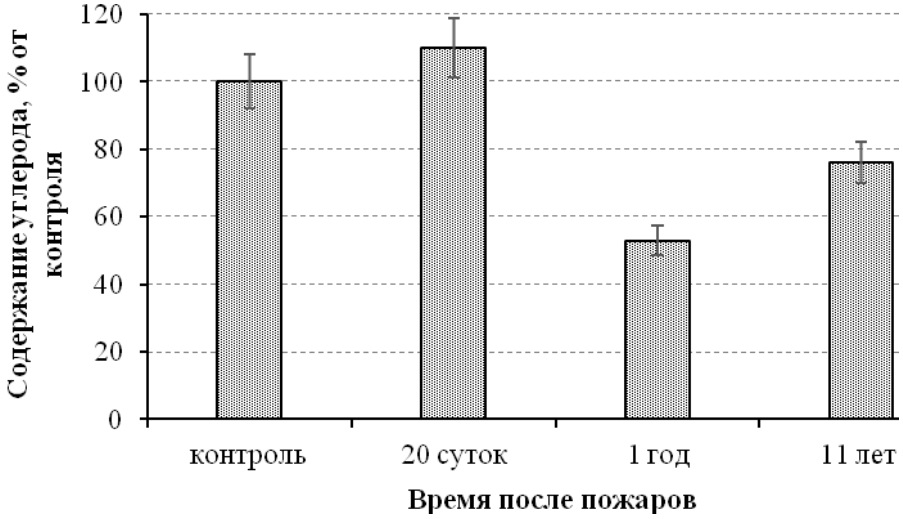


Рис. 3. Содержание органического углерода в постпирогенных почвах, в процентах от содержания в почве контрольного участка леса.

Полученные в ходе этого исследования результаты оценки активности ферментов почв с разным периодом постпирогенного восстановления сравнивали с литературными данными, полученными разными исследователями для коричневых, каштановых и черноземных почв (Kazeev et al., 2019, 2020; Семененко и др., 2020). Сравнение результатов подтвердило чувствительность каталазы к воздействию высоких температур. Максимальное ингибирование активности этого фермента отмечено сразу после пожара, однако ее активность восстанавливается относительно быстро. Положительный тренд повышения активности каталазы отмечен уже спустя 30 суток после пирогенного воздействия малой интенсивности на чернозем (Kazeev et al., 2020). Для каштановых и черноземных почв было отмечено приближение значений активности каталазы к контрольным значениям уже на 2 год после пожара (Семененко и др., 2020). Восстановление активности инвертазы в коричневых и каштановых почвах неодинаково, так даже спустя 11 лет активность данного фермента в коричневых почвах существенно отличается от контрольных, в то время как в каштановых почвах уже спустя 2 года значения близки к контрольным. Через год после воздействия пожаров активность инвертазы каштановых почвы снизилась на 16.4%, а в коричневых почвах, наоборот, повысилась на 36%.

Подобное отличие наблюдается в динамике активности уреазы. В каштановых почвах отмечено приближение значений активности фермента к контрольному варианту уже на 2 год, что не характерно для коричневых почв. В каштановых почвах через год после возгорания отмечается снижение активности на 4.8% в слое почвы 0-10 см, в коричневых почвах спустя год после пожара активность фермента выше относительно контрольных значений на 37%.

Так как биологическая активность обычно определяется содержанием гумуса в почве (Казеев и др., 2016), в настоящем исследовании был проведен корреляционный анализ для определения зависимости ферментативной активности от содержания органического углерода. В результате отмечено отсутствие зависимости между активностью ферментов и содержанием органического углерода на участке № 1 непосредственно после пожара (r = –0.4 - –0.2). Высокая положительная корреляционная связь отмечается на участке № 2 между активностью ферментов класса оксидоредуктаз (каталаза, пероксидаза) и содержанием органического углерода (r = 0.77-0.81). Для активности ферментов класса гидролаз (инвертаза, уреаза) эта связь отрицательна (r = –0.64 - –0.97). На третьем участке спустя 11 лет после пожара обнаружена положительная связь между активностью гидролаз (инвертазы, уреазы) и содержанием органического углерода (r = 0.86-0.84) и отсутствие

связи с активностью оксидаз (каталазы, пероксидазы) (r = 0.45-0.14). Особенности поведения активности ферментов разных классов определяется их разной устойчивостью к пирогенному фактору (Казеев и др., 2020). На возможное отсутствие тесной связи разных ферментов с содержанием органического углерода указывали и другие исследователи (Trasar-Cepeda et al., 2018). В исследуемых почвах оценка корреляционных связей осложнена присутствием в почвах пирогенного углерода.

Заключение

В ходе исследования была изучена реакция ферментативной активности постпирогенных почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа с разным периодом восстановления. На территории заповедника «Утриш» максимальные различия в активности ферментов отмечены в постпирогенных коричневых почвах непосредственно после сильного верхового пожара. В целом активность каталазы и пероксидазы в постпирогенных почвах снижена, а поведение активности инвертазы и уреазы отличается в почвах с разным сроком после пожара. Участки с пожаром однолетней и одиннадцатилетней давности восстанавливаются естественным образом в ходе восстановительных постпирогенных сукцессий. Но биологические параметры постпирогенных коричневых почв отличаются от контрольных значений даже спустя 11 лет. Также выявлены некоторые отличия в реакции почвенных ферментов на воздействие высоких температур для разных типов почв (коричневые и каштановые). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что процессы самовосстановления коричневых и каштановых почв после пожаров имеют разную скорость.

Финансирование. Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации «Агроэкологическое состояние почв при различных антропогенных воздействиях» (НШ-2511.2020.11).

Благодарности. Авторы выражают благодарность замдиректора по научной работе ГПЗ «Утриш» О.Н. Быхаловой за обеспечение проведения исследований на территории заповедника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Кременица А.М., Супрун В.А., Суханова В.М., Тащиев С.С. 1996. Влияние сжигания стерни на биоту чернозема // Почвоведение. № 12. С. 1517-1522.

Галстян А.Ш. 1978. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. № 2. С. 107-114.

Ефремова Т.Т., Овчинникова Т.М. 2007. Оценка методами многомерной статистики состояния органического вещества осушенных торфяных почв в связи с условиями среды // Почвоведение. № 12. С. 1452–1462.

Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. № 6. С. 48-54.

Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. 2016. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 356 с.

Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. 2015. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 104 с.

Карягина Л.А., Михайлова Н.А. 1986. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы // Вестник АН БССР. Серия сельскогаспад. наук. № 2. С. 40-41.

Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 225 с.

Кулешова Л.В., Коротков В.Н., Потапова Н.А., Евстигнеев О.И., Козенко А.Б., Русанова О.М. 1996. Комплексный анализ послепожарных сукцессий в лесах Костомукшского заповедника (Карелия) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 100. № 4. С. 3-15.

Магзанова Д.К., Хиялиева Р.Г. 2013. Исследование влияния полевых пожаров на состояние микробиоценозов почв // Успехи современного естествознания. № 4. С. 160-161.

Медведева М.В., Бахмет О.Н., Ананьев В.А., Мошников С.А., Мамай А.В., Мошкина Е.В., Тимофеева В.В. 2020. Изменение биологической активности почв в хвойных насаждениях после пожара в средней тайге Карелии // Лесоведение. № 6. С. 560-574.

Огуреева Г.Н., Бочарников М.В., Суслова Е.Г. 2020. Структура ботанического разнообразия Утришско-Туапсинского варианта Крымско-Новороссийского оробиома // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4 . С. 10-17. [*Ogureeva G.N., Bocharnikov M.V., Suslova E.G.* 2020. Structure of the Botanical Diversity of the Utrish-Tuapse Variant of the Crimean-Novorossiysk Orobiom // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 261-268.]

Опанасенко Н.Е., Евтушенко А.П. 2019. О классификации скелетных агрокоричневых почв низких таксонов и интегральных показателях их плодородия // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. № 130. С. 42-51.

Семененко С.Я., Морозова Н.В., Марченко С.С. 2020. Исследования влияния пирогенного воздействия на ферментативную активность каштановых и черноземных почв // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4. С. 144-149. [*S.Ya. Semenenko, N.V. Morozova, S.S. Marchenko.* 2020. Studies of the Effects of Pyrogenic Exposure on the Enzymatic Activity of Chestnut and Chernozem Soils // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 4. P. 384-389.]

Сорокин Н.Д. 1983. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. № 4. С. 24-28.

Федоров П.В., Тарасов П.А. 2013. О пирогенном влиянии на физико-химические характеристики почвы // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Красноярск. Т. 1. С. 3-5.

*Черепанов С.К. 1*995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.

German D.P., Weintraub M.N., Grandy A.S., Lauber C.L., Rinkes Z.L., Allison S.D. 2011. Optimization of Hydrolytic and Oxidative Enzyme Methods for Ecosystem Studies // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 43. P. 1387-1397.

Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Tembotov R.K., Khakunova E.M. 2017. Assessment of Biological Activity in Agrogenic and Natural Chernozems of Kabardino-Balkaria // Eurasian Soil Science. Vol. 50. No. 5. P. 589-596.

Kazeev K.Sh., Odabashian M.Yu., Trushkov A.V., Kolesnikov S.I. 2020. Assessment of the Influence of Pyrogenic Factors on the Biological Properties of Chernozems // Eurasian Soil Science. Vol. 53. No. 11. P. 1610-1619.

Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. 2019. Post-fire Changes in the Biological Properties of the Brown Soils in the Utrish State Nature Reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Vol. 4. Suppl. 1. P. 93-104.

Kumar M., Sheikh M.A., Bhat J.A., Bussmann R.W. 2013. Effect of fire on soil nutrients and understorey vegetation in Chir pine forest in Garhwal Himalaya, India // Acta Ecologica Sinica. Vol. 33(1): P. 59-63.

Liu Y., Goodrick S., Heilman W. 2014. Wildland Fire Emissions, Carbon, and Climate: Wildfire-Climate Interactions // Forest Ecology and Management. Vol. 317. P. 80-96.

Nichols L., Shinneman D.J., McIlroy S.K., Graaff M.A. 2021. Fire Frequency Impacts Soil Properties and Processes in Sagebrush Steppe Ecosystems of the Columbia Basin // Applied Soil Ecology. Vol. 165. P. 103967.

Parson A., Robichaud P.R., Lewis S.A., Napper C., Clark J.T. 2010. Field Guide for Mapping Post-Fire Soil Burn Severity. General Technical Reports. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 49 p.

Trasar-Cepeda C., Leiro M.C., Gil-Sotres F. 2008. Hydrolytic Enzyme Activities in Agricultural and Forest Soils. Some Implications for Their Use as Indicators of Soil Quality // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 40. P. 2146-2155.

Whitman T., Whitman E., Woolet J., Flannigan M.D., Thompson D.K., Parisien M.A. 2019. Soil Bacterial and Fungal Response to Wildfires in the Canadian Boreal Forest across a Burn Severity Gradient // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 138. P. 107571.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 115-124

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 581.5

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ПЕСЧАНЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

© 2022 г. М.В. Власенко, К.Ю. Трубакова

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

Поступила в редакцию 17.08.2021. После доработки 01.10.2021. Принята к публикации 10.10.2021

Рассматривается видовое разнообразие, продуктивность, долевое участие и сезонная изменчивость видов в естественных и искусственно созданных фитоценозах на песчаных землях юга Европейской территории России. Объясняется роль влияния условий увлажнения на формирование видового разнообразия в различных сообществах. Мониторинг Цимлянского песчаного массива проводился с применением методик эколого-геоботанических обследований. Травяно-кустарниковый ярус включает 183 вида растений из 41 семейства. Индекс Симпсона показывает, что для территории избыточного увлажнения (II) наиболее выражено доминирование видов семейства Poaceae. На территориях достаточного и переменного увлажнения (III), умеренного увлажнения (IV), а также на участках недостаточного комплексного увлажнения и комплексного увлажнения в сильной степени недостаточного под песчаными буграми, умеренного в «колках» и размытых песках (V) доминируют виды семейств Asteraceae, Fabaceae и Poaceae. Сходство видового состава по индексу Жаккара показывает, что наиболее схожи по видовому разнообразию территории: недостаточного комплексного увлажнения (Va) и комплексного увлажнения в сильной степени недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках (Vб) – 90%; умеренного увлажнения (IV) и комплексного увлажнения в сильной степени недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках (Vб) – 89%; достаточного и переменного увлажнения (III) и умеренного увлажнения (IV) – 87%; избыточного увлажнения (II) и умеренного увлажнения (IV) – 87%. На территории умеренного увлажнения (IV) наибольшую массу формировали злаки: *Agropyron cristatum* L., *A. elongatum* (Host) P. Beauv., *Festuca valesiaca* Gaudin, *F. beckeri* (Hack.) Trautv. и *Poa pratensis* L. В разнотравье преобладали *Artemisia campestris* L. и *Galium verum* L. В среднем доля злаков в сообществе составляла 66.5%, доля разнотравья – 33.5%. На территории достаточного и переменного увлажнения (III) наибольшую фитомассу формировали также виды из семейства Poaceae: *Elytrigia repens* (L.) *Nevski* и *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Agropyron cristatum* L. Большое влияние на прирост фитомассы оказали *Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L. и *Artemisia arenaria* DC. Для прекращения процессов деградации, улучшения хозяйственного состояния и повышения плодородия пастбищных экосистем на больших территориях предлагается закреплять подвижные пески и восстанавливать пастбища с помощью подобранных поликомпонентных травосмесей. Опыт по изучению продуктивности искусственно созданных фитоценозов для восстановления и повышения продуктивности естественных пастбищных экосистем проводился на вегетационных площадках гидрологического комплекса Федерального научного центра агроэкологии РАН. Наиболее перспективной на песчаных субстратах является травосмесь с участием *Agropyron cristatum* L., *Artemisia arenaria* D.C., *Medicaga sativa* L. и урожайностью 228.6-246.7 г/м^2, а также травосмесь с участием *Agropyron cristatum* L., *Agropyrom elangatum* Host.P.B., *Bromus inermis* Leyss. и урожайностью 184.4 г/м^2.

Ключевые слова: фитоценозы, видовое разнообразие, песчаные массивы, пастбищные экосистемы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-115-124

Пески и песчаные почвы встречаются во всех зонах Земли и распределяются на материках неравномерно. Их суммарная площадь составляет свыше 9 млн. км^2. Площадь основных песчаных массивов Европейской части РФ (Терские, Кумские, Бажиганские, Астраханские, Черноземельские) достигает 11 тыс. км^2 и сосредоточена в полупустыне Прикаспийской низменности.

В настоящее время биоразнообразию песчаных земель угрожают разнообразные глобальные экологические изменения, связанные с фрагментацией среды обитания, потеплением и аридизацией климата, повышением уровня моря, биологическими инвазиями (Боткин и др., 2007; Al-Robai et al., 2017). Состояние пастбищных биогеоценозов нарушается также в результате засоления, дефляции, эрозии почв, загрязнения грунтовых вод в итоге деятельности человека. Антропогенные нагрузки и изменение климата приводят к ослаблению природно-ресурсного потенциала экосистем. Активное использование низкопродуктивных песчаных земель разрушает степной биом, увеличивает экологическую и социально-экономическую напряженность (Médail, 2017; Schellenberg, Bergmeier, 2020).

Сложившаяся ситуация свидетельствует о неблагоприятных тенденциях в изменении уникальной структуры растительных сообществ степных регионов Европейской территории России (Рулев, Пугачева, 2019). Поэтому в приоритете остаются задачи рационального природопользования песчаных земель. Продолжает оставаться важной проблема восстановления плодородия почв, продуктивности и экологической стабильности пастбищных экосистем, создания экологически устойчивых, высокопродуктивных биоценозов на песчаных землях. Сохранению биоразнообразия и целостности во многом способствует система ландшафтных зональных ареалов природно-заповедного фонда (Чибилев, 2019; Султангазина, Шарипова, 2019). Эффективное сохранение и восстановление растительных сообществ возможно на основе моделирования интегрируемых социально-экономических и политических процессов с учетом изменения климата, фрагментации и деятельности человека (Кулик, Пугачева, 2016). Изучение и инвентаризация видового разнообразия растительных сообществ песчаных массивов позволяет оценить негативные последствия антропогенного воздействия и разработать программы и технологии их устранения (Демина, 2011; Власенко, Кулик, 2017; Власенко, 2019; Mabrouk, Jribi, 2020).

Материалы и методы

Цель исследований – выявление видового разнообразия, продуктивности и сезонных изменений структуры фитоценозов на песчаных землях Европейской территории России. Объектами исследований являлись естественные и искусственно созданные растительные сообщества, произрастающие на песчаных землях. Биоэкологические исследования фитоценозов проводились с целью раскрытия сложности и изменчивости множественных связей между растениями и факторами местообитания. Так как сезонная динамика фитоценозов обусловлена особенностями развития различных видов, а также изменениями экологических условий среды обитания, их изучение позволяет прогнозировать рост и развитие растительности в различных условиях, и может быть использовано для решения практических задач. В работе применялись методики эколого-геоботанических обследований. Рекогносцировочные обследования проводились на территории Цимлянского песчаного массива. Укосным методом в 5-кратной повторности на учетных площадках отбирались растительные образцы, определялся видовой состав, фитомасса и долевое участие видов в фитоценозах в разные сезоны года.

Для естественных фитоценозов рассчитан индекс доминирования Симпсона по формуле:

$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}\right) \quad (1),$$

где n_i – число особей каждого вида, N – общее число особей.

Индекс чувствителен к присутствию в выборке наиболее обильных видов, но мало зависим от видового разнообразия. Высокая или низкая величина индекса определяется типом распределения видовых обилий для случаев, когда число видов превышает 10. Диапазон индекса варьирует от 0 до 1.

Сходство видового состава по индексу Жаккара рассчитано по формуле:

$$I_j = a/(a+b+c) \quad (2),$$

где a – число общих видов для двух сообществ, b – число видов, имеющихся только в первом сообществе, c – число видов, имеющихся только во втором сообществе.

Создание искусственных фитоценозов было осуществлено на вегетационных площадках гидрологического комплекса (г. Волгоград), которые заполнены песчаным субстратом, привезенным с Кумского и Бажиганского песчаных массивов. Изучались посевы поликомпонентных травосмесей из селекционно улучшенных видов, созданные в 2015 г. для разработки рекомендаций по восстановлению и повышению продуктивности песчаных пастбищных экосистем (Трубакова, Турко, 2020; Турко, Трубакова, 2020). Искусственные фитоценозы представлены тремя видами травосмесей. Травосмесь 1 включает *Agropyron cristatum* L., *Agropyron elangatum* Host. P.B., *Bromus inermis* Leyss; травосмесь 2 включает *Agropyron cristatum* L., *Festuca pratensis* Huds., *Medicaga sativa* L.; а в травосмесь 3 входят *Agropyron cristatum* L., *Artemisia arenaria* D.C., *Medicaga sativa* L. Экспериментальные площадки заложены на делянках 1.75x3.6 м. Норма высева для злаковых видов – 8-10 кг/га, для полыней – 6-8 кг/га, люцерны – 8-12 кг/га. Соотношение видов – 1:1:1. Учитывались урожайность и долевое участие видов в травосмесях в зависимости от сезона года и в среднем за год.

Результаты и обсуждение

На песчаных массивах степной зоны Европейской территории России преобладают легкие песчаные и супесчаные почвы. Они обладают рядом неблагоприятных свойств: подвержены ветровой эрозии (ежегодно теряют десятки тонн мелкозема с гектара (Кулик и др., 2018а; Власенко и др., 2019а; Bengtsson et al., 2019)), что снижает плодородие земель и форсирует деградационные процессы экосистем; имеют труднодоступный сложный рельеф; обладают малой влагоемкостью и высокой водопроницаемостью; бедны элементами азотной и зольной пищи. Однако дефляцию можно предупредить регулированием выпаса скота, а подвижные пески закрепить фитомелиоративными работами. И в сложном рельефе можно найти плюсы: он защищает скот от холодных ветров, а в многоснежные зимы в бугристо-грядовых песках можно найти участки с кустарниками для корма. В жарких сухих условиях водные свойства песков становятся положительными, т.к. они промачиваются осадками на глубину до 1.5 м в отличие от тяжелых почв, которые промачиваются на глубину не более 0.5 м и быстро теряют влагу на физическое испарение. За несколько лет развеваемые пески промачиваются осадками на глубину до 15-20 м, накапливают пресную линзу воды на скатерти соленых грунтовых вод.

Цимлянский песчаный массив (1000 км^2) расположен на территории Волгоградской и Ростовской областей (рис. 1). Регион относится к Донской провинции антициклонической засушливой области умеренного пояса. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет 8.1-8.2°С, среднегодовая относительная влажность воздуха – 70%, среднегодовая сумма осадков – 400-450 мм. Засушливые годы повторяются обычно через 3-5 лет. В июне-июле осадков выпадает больше, чем в августе-сентябре, т.к. в первой половине лета преобладают западные влажные ветры, а во второй – сухие восточные (Сажин и др., 2017; Пугачева, 2020).

Мезорельеф долины р. Дон и ее притоков представлен системой надпойменных террас. Микрорельеф весьма разнообразен. Междолинные песчаные гряды были расчленены промоинами и в последующем подверглись перевеванию ветром. По мере зарастания и формирования почвенно-растительного покрова эрозионно-эоловый рельеф гряд приобрел спокойные (увалистые, пологохолмистые) формы. За последние два столетия они были разрушены вследствие распашки и бессистемного выпаса скота. В сильной степени был разрушен рельеф в менее заиленных долинах. От местных очагов дефляции были погребены песком соседние пониженные лугово-болотные участки. Самому сильному разрушению подверглись как в раннюю, так и в современную фазу дефляции междолинные песчаные гряды. Спокойный древнеэоловый рельеф превратился в рванный бугристо-котловинный рельеф развеваемых полузакрепленных песков (Гаель, 1999).

В растительном покрове Цимлянского массива наблюдаются признаки азональности. Здесь встречаются представители и полупустынной зоны, и бореальных лесов. Существует большое число гипотез, объясняющих видовое разнообразие. Факторы, влияющие на его формирование, многочисленны и находятся в сложном взаимодействии (Пугачева, 2020). В различных фитоценозах их роль неоднозначна. Видовой состав сообществ зависит от фенологического развития растений, которое управляется генетически заданной программой и у каждого вида индивидуально. Сезонные изменения флористического состава ассоциаций вероятны при изменениях климата и погоды (сильные засухи, морозы), из-за антропогенного влияния (уничтожение популяций из-за перевыпаса).

Видовой состав фитоценозов видоизменяется в зависимости от ландшафтно-экологических условий массива: гидрологический режим, экспозиция склонов, почвы, микроклимат и прочее (Радочинская и др., 2019; Турко и др., 2016). Одним из основных факторов распределения растительности песчаных массивов являются условия увлажнения.

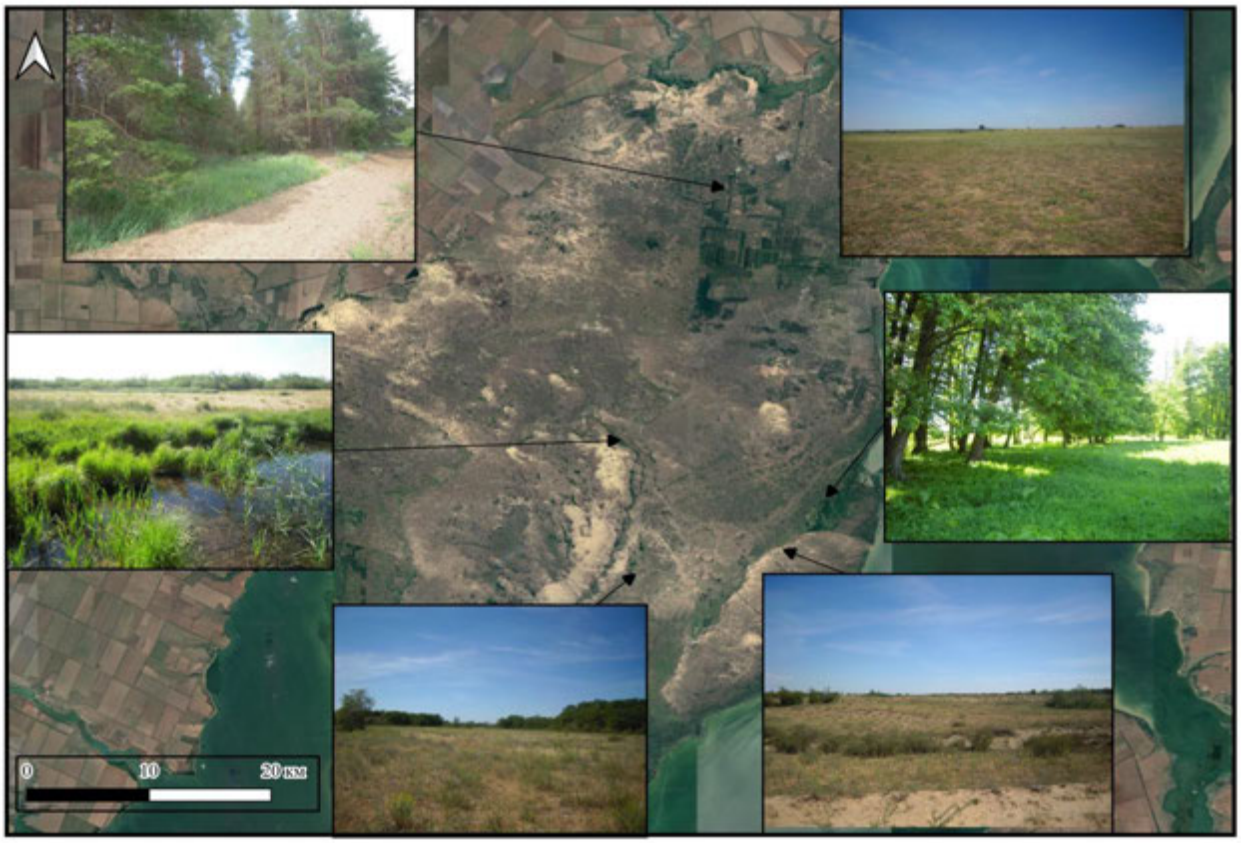


Рис. 1. Цимлянский песчаный массив (47° 59′ 50″ с.ш., 42° 39′ 01″ в.д.).

На территории всего массива выявлено 183 вида трав и кустарников из 41 семейства. Каждый вид занимает положение и долю в сообществе в зависимости от увлажнения территории. Территории полного увлажнения (I) характеризуются наличием 7 видов из 7 семейств, избыточного увлажнения (II) – 19 видов из 10 семейств, достаточного и переменного увлажнения (III) – 112 видов из 29 семейств, умеренного увлажнения (IV) – 78 видов из 17 семейств, недостаточного комплексного увлажнения (Va) – 25 видов из 12 семейств, комплексного увлажнения в сильной степени недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках (Vб) – 35 видов из 13 семейств.

Для биомониторинга использовался индекс Симсона (D; табл. 1). Так как разнообразие среды тем ниже, чем значение D ближе к 1, и тем больше, чем значение D ближе к 0, то можно констатировать, что на разных по увлажнению территориях видовое разнообразие значительно отличается. Индекс Симпсона составил для территорий: I – 0, II – 0.094, III – 0.088, IV – 0.128, Va – 0.097, Vб – 0.029. Для территории II наиболее выражено доминирование видов семейства Poaceae. На территориях III, IV и V доминируют виды семейств Asteraceae, Fabaceae и Poaceae.

Сходство видового состава по индексу Жаккара, рассчитанное для разных по увлажнению территорий Цимлянского песчаного массива (табл. 2), показывает, что наиболее схожи по видовому разнообразию участки: Va и Vб (90%), IV и Vб (89%), IV и Vб (89%), III и IV (87%), II и IV (87%), а также IV и Va (84%).

На ключевом участке территории умеренного увлажнения выявлено сообщество из 16 видов, (табл. 3). Наибольшую фитомассу в этом ценозе сформировали злаки (рис. 2). Особенно весной (62.2 г/м^2 или 68.8% от общей доли в фитоценозе) и осенью (99.6 г/м^2 или 67.3% от общей доли в

фитоценозе). Максимальную долю в фитомассе весной занимают *Agropyron cristatum* L. (17.9 г/м^2 или 19.9%), *A. elongatum* (Host) P. Beauv. (17.1 г/м^2 или 18.9%), *Festuca valesiaca* Gaudin, *F. beckeri* (Hack.) Trautv. (10.2 г/м^2 или 11.3%) и *Poa pratensis* L. (9.5 г/м^2 или 10.5%). Летом максимальную долю в фитомассе занимают *Agropyron cristatum* L., *A. elongatum* (Host) P. Beauv. (их общая масса 58.1 г/м^2 или 25.2%) и *Poa pratensis* L. (39.4 г/м^2 или 17.1%). Осенью – *Agropyron cristatum* L., *A. elongatum* (Host) P. Beauv. (общая масса 42.3 г/м^2 или 28.6%) и *Poa pratensis* L. (24.1 г/м^2 или 16.3%). Установлено уменьшение доли злаков в травостое в весенне-летний период и нарастание их доли в фитоценозе в летне-осенний период. В разнотравье преобладали весной *Artemisia campestris* L. (15.1 г/м^2 или 16.7%), летом – *Galium verum* L. (30.5 г/м^2 или 13.2%) и *Artemisia campestris* L. (28.7 г/м^2 или 12.5%), осенью – *Artemisia campestris* L. (20.2 г/м^2 или 13.7%) и *Galium verum* L. (17.2 г/м^2 или 11.6%). Доля других видов в разнотравье незначительна. Отмечается наличие *Erysimum canescens* Roth (6.4 г/м^2 или 2.8%), *Centaurea scabiosa* L. (0.2-5.6 г/м^2 или 0.2-3.8%), *Scabiosa ochroleuca* L. (0.7-1.2 г/м^2 или 0.5-0.8%). В среднем на территории умеренного увлажнения доля злаков в сообществе составляла 66.5%, доля разнотравья – 33.5%.

Таблица 1. Биоразнообразие растительности (шт.) Цимлянского массива в зависимости от увлажнения территории: I – полного, II – избыточного, III – достаточного и переменного, IV– умеренного (переход к недостаточному), Va – недостаточного комплексного, Vб – комплексного в сильной степени недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках.

№ п/п	Показатель	Участки мониторинговых наблюдений					
		I	II	III	IV	Va	Vб
Всего видов		7	19	112	78	25	35
Индекс Симпсона (D)		0	0.094	0.088	0.128	0.097	0.029

Таблица 2. Сходство видового состава по индексу Жаккара на разных по увлажнению территориях Цимлянского песчаного массива: I – полного, II – избыточного, III – достаточного и переменного, IV– умеренного (переход к недостаточному), Va – недостаточного комплексного, Vб – комплексного в сильной степени недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках.

Участки мониторинговых наблюдений	II	III	IV	Va	Vб
I	0.35	0.14	0.20	0.19	0.24
II	–	0.48	0.87	0.37	0.43
III	–	–	0.87	0.71	0.74
IV	–	–	–	0.84	0.89
Va	–	–	–	–	0.90

На территории достаточного и переменного увлажнения общее количество видов в сообществе составило 18, в том числе 9 видов из семейства Poaceae (табл. 3). Наибольшую фитомассу (весной – 62.6%, летом – 66.8%, осенью – 69.9%) в сообществе сформировали виды из семейства Poaceae. Основную долю (весной – 34.1%, летом – 29.3%, осенью – 30.8%) из них в ассоциации составили *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Agropyron cristatum* L. Большое влияние на прирост фитомассы оказали *Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L. и *Artemisia arenaria* DC., особенно летом, когда их часть в фитоценозе составляла 20.7%. Выявлено нарастание доли злаков в травостое в весенне-осенний период в основном за счет *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (6.3-18.8%). Отмечается небольшой рост доли разнотравья в фитомассе из-за наличия в фитоценозе *Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L., *Artemisia arenaria* DC.

На песчаных массивах смена одного типа растительности другим происходит длительное время. Естественное зарастание может продолжаться более 50 лет. Перевыпас и неорганизованное

бессистемное использование песчаных земель существенно увеличивает эти сроки. При усиленном разбивании песчаных почв образуются холмы сыпучих песков. Осуществление комплекса мероприятий по прекращению процессов деградации, улучшению хозяйственного состояния и повышению плодородия пастбищ позволяет закреплять подвижные пески на больших территориях и восстанавливать пастбищные угодья. Закрепление песчаных участков ускоряет зарастание песков в 2-3 раза (Кулик и др., 2018б; Briske et al., 2020; Власенко и др., 2019б; Власенко, Турко, 2015).

Таблица 3. Фитомасса естественных фитоценозов супесчаной степи Цимлянского массива в зависимости от сезона года (г/м^2).

Вид	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
Территория умеренного увлажнения (переход к недостаточному)				
Artemisia campestris L.	15.1	28.7	20.2	21.3
Galium verum L.	9.2	30.5	17.2	19.0
Thymus marschallianus Willd.	1.2	7.2	2.5	3.6
Scabiosa ochroleuca L.	0.7	1.2	0.9	0.9
Silene wolgensis (Hornem.) Besser ex Spreng.	1.9	3.4	1.9	2.4
Erysimum canescens Roth	–	6.4	–	2.1
Centaurea scabiosa L.	0.2	2.1	5.6	2.6
всего *Poaceae (Agropyron cristatum* L., *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Stipa capillata* L., *Stipa pennata* L., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Festuca beckeri* (Hack.) Trautv., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L.)	62.2	150.9	99.6	104.2
Всего видов	90.5	230.4	147.9	156.2
Территория достаточного и переменного увлажнения				
Artemisia campestris L., *A. vulgaris* L., *A. arenaria* DC.	23.1	55.2	37.4	38.6
Galium verum L.	11.2	8.4	5.1	8.2
Thymus marschallianus Willd.	3.2	6.9	4.8	5.0
Scabiosa ochroleuca L.	1.8	3.2	2.1	2.4
Crepis tectorum L.	2.9	4.4	2.9	3.4
Thlaspi arvense L.	0.8	7.1	1.0	8.9
Centaurea arenaria M. Bieb.	0.7	3.3	2.8	2.3
всего *Poaceae (Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Elytrigia repens* L. Nevski, *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Agropyron cristatum* L., *Festuca beckeri* (Hack.) Trautv., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Stipa capillata* L., *Stipa pennata* L., *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvelev)	73.1	178.5	130.5	127.4
Всего видов	116.8	267.0	186.6	190.1

Проведенные опыты по подбору высокопродуктивных многолетних трав для улучшения деградированных пастбищ показали, что на Бажиганских песках в 2019 году наиболее урожайной являлась травосмесь 3 (228.6 г/м^2), а в 2020 – травосмесь 1 (184.4 г/м^2). На Кумских песках наибольшую урожайность показала травосмесь 3 как в 2019 году (246.7 г/м^2), так и в 2020 году (176.9 г/м^2). Долевое участие видов в травосмесях распределяется следующим образом: на Кумских песках большую долю фитомассы в злаковых травосмесях занимает *Agropyron cristatum* L. (46.5-48.0%); в злаково-бобовых фитоценозах – *Medicaga sativa* L. (53.6-56.4%); в злаково-полынно-бобовых сообществах – также *Medicaga sativa* L. (39.6-47.8%). На Бажиганских песках прослеживается та же зависимость: большую долю фитомассы в злаковых травосмесях занимает *Agropyron cristatum* L. (35.8-40.8%), в злаково-бобовых фитоценозах – *Medicaga sativa* L. (47.8-52.2%), в злаково-полынно-бобовых сообществах – *Medicaga sativa* L. (39.4-48.4%). Наименьшую

долю в фитоценозах на всех песках занимает *Festuca pratensis* Huds. Доля этого вида в травосмесях в среднем за год не превышает 18.5%. Особенно заметно снижение фитомассы *Festuca pratensis* Huds. в осенний период (рис. 3).

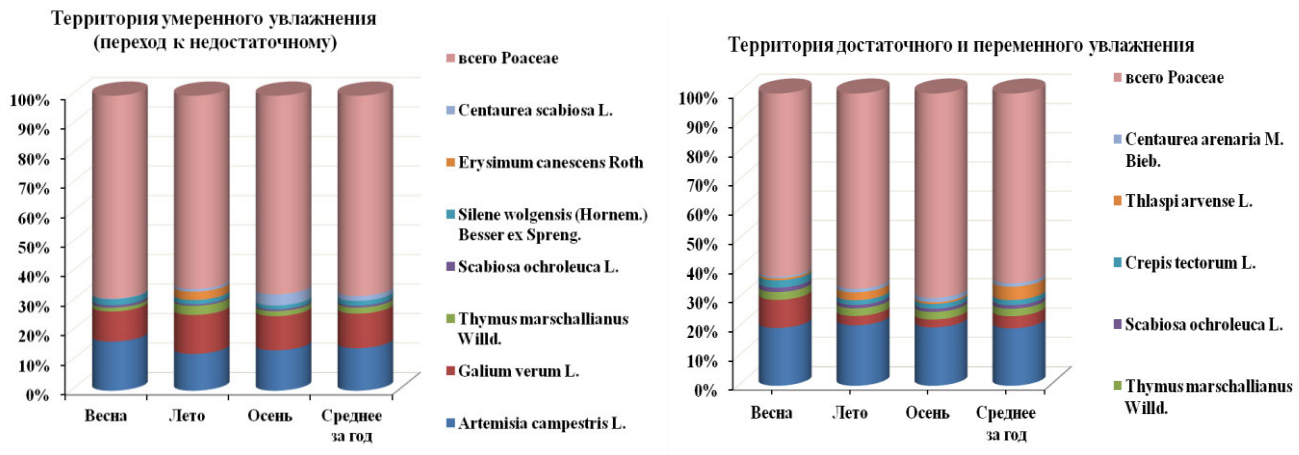


Рис. 2. Долевое участие видов в естественных фитоценозах супесчаной степи Цимлянского массива в зависимости от сезона года (%).

Для сравнительного анализа динамики урожайности *Agropyron cristatum* L. в искусственно созданных фитоценозах и расчета НСР05[1] за контроль взята урожайность монопосева аборигенного вида *Agropyron cristatum* L. (табл. 4). Урожайность *Agropyron cristatum* L. зависела от многих причин: погодных условий, видового состава и биоэкологических особенностей видов в фитоценозе, взаимного положительного или отрицательного влияния растений друг на друга. Выявлено, что на всех экспериментальных посевах в разные сезоны года урожайность селекционно улучшенного вида *Agropyron cristatum* L. была больше по сравнению с контролем в 2-3 раза.

Заключение

Видовое разнообразие растительных сообществ Цимлянского массива включает аборигенные виды, устойчивые к зимним температурам и недостатку влаги. Основную массу в фитоценозах занимают виды из семейства Asteraceae, Fabaceae и Poaceae. Всего выявлено 183 вида растений из 41 семейства. Территория полного увлажнения характеризуются наличием 7 видов из 7 семейств, избыточного увлажнения – 19 видов из 10 семейств, достаточного и переменного увлажнения – 112 видов из 29 семейств, умеренного увлажнения – 78 видов из 17 семейств, недостаточного комплексного увлажнения – 25 видов из 12 семейств, комплексного увлажнения в сильной степени, недостаточного под песчаными буграми и умеренного в «колках» и размытых песках – 35 видов из 13 семейств. Прослежены особенности сезонной динамики структуры в сообществах с доминирующими видами семейства Poaceae. В фитоценозе, произрастающем на территории умеренного увлажнения, доминируют *Agropyron cristatum* L., *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv. Основная масса разнотравья здесь представлена видами *Artemisia campestris* L. и *Galium verum* L. В сообществе на территории достаточного и переменного увлажнения доминируют *Elytrigia repens* L. Nevski, *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Agropyron cristatum* L.; основная масса разнотравья представлена видами *Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L., *Artemisia arenaria* DC.

Опыты по подбору высокопродуктивных многолетних трав для улучшения деградированных пастбищ показали, что наиболее перспективной на песчаных субстратах является травосмесь с участием *Agropyron cristatum* L., *Artemisia arenaria* D.C., *Medicaga sativa* L. и урожайностью 228.6-246.7 г/м^2. Высокой урожайностью отличается также травосмесь с участием *Agropyron cristatum* L., *Agropyrom elangatum* Host. P.B., *Bromus inermis* Leyss. – 184.4 г/м^2. Наибольшую долю фитомассы в злаковых травосмесях занимает *Agropyron cristatum* L. – до 46.5-48.0%. В злаково-бобовых

[1] НСР05 – наименьшая существенная разность для 5-процентного уровня значимости.

сообществах наибольшую долю занимает *Medicaga sativa* L. – до 53.6-56.4%. В злаково-полынно-бобовых фитоценозах наибольшую долю занимает также *Medicaga sativa* L. – до 48.4%.

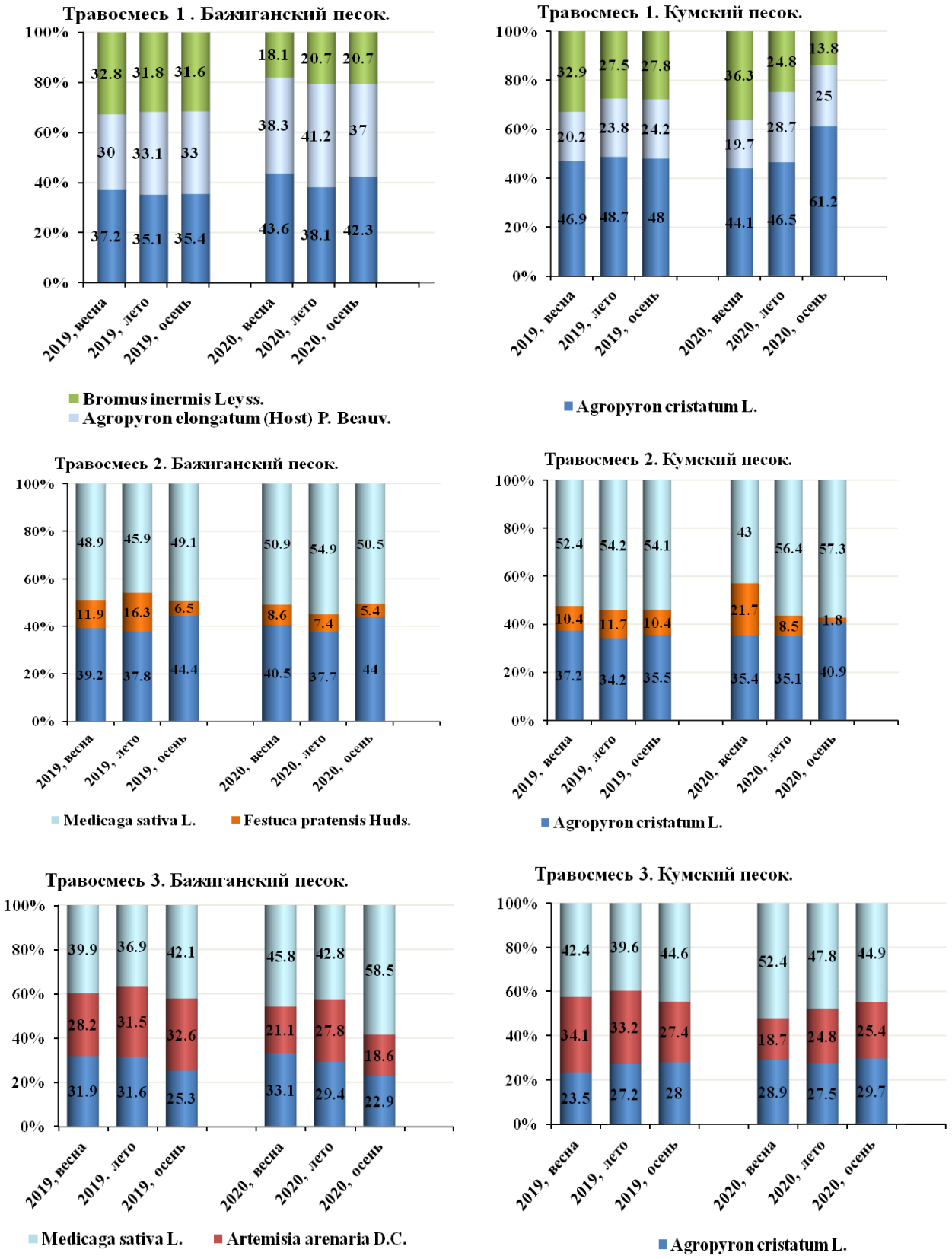


Рис. 3. Долевое участие видов (%) в искусственных поликомпонентных фитоценозах.

Таблица 4. Анализ динамики урожайности *Agropyron cristatum* L. в искусственных фитоценозах.

Вид	весна		лето		осень		среднее	
	г/м^2	± к контролю, г/м^2	г/м^2	± к контролю, г/м^2	г/м^2	± к контролю, г/м^2	г/м^2	± к контролю, г/м^2
Бажиганский песок, 2019								
A. cristatum L. (контроль)	18.6	–	34.0	–	30.0	–	27.5	–
A. cristatum L. в травосмеси 1	70.9	52.3	86.3	52.3	80.9	50.9	79.4	51.9
A. cristatum L. в травосмеси 2	71.5	52.9	90.8	56.8	90.0	60.0	84.1	56.6
A. cristatum L. в травосмеси 3	61.3	42.7	88.3	54.3	54.1	24.1	67.9	40.4
НСР05	2.9		3.9		3.4		3.3	
Бажиганский песок, 2020								
A. cristatum L. (контроль)	20.4	–	37.0	–	19.4	–	25.6	–
A. cristatum L. в травосмеси 1	48.5	28.1	88.2	51.2	89.0	69.6	75.2	49.6
A. cristatum L. в травосмеси 2	51.9	31.5	63.5	26.5	76.8	57.4	64.1	38.5
A. cristatum L. в травосмеси 3	42.1	21.7	44.1	7.1	26.9	7.5	37.7	12.1
НСР05	2.5		3.0		2.9		2.6	
Кумский песок, 2019								
A. cristatum L. (контроль)	19.7	–	35.8	–	27.5	–	27.7	–
A. cristatum L. в травосмеси 1	66.6	47.2	95.3	59.5	77.5	50.0	79.8	52.1
A. cristatum L. в травосмеси 2	54.9	35.2	61.5	25.7	65.8	38.3	60.7	33.0
A. cristatum L. в травосмеси 3	45.3	25.6	75.3	39.5	75.7	48.2	65.4	37.7
НСР05	2.5		3.5		3.2		3.0	
Кумский песок, 2020								
A. cristatum L. (контроль)	19.3	–	38.9	–	32.0	–	30.1	–
A. cristatum L. в травосмеси 1	48.0	28.7	88.9	50.0	94.5	62.5	77.1	47.0
A. cristatum L. в травосмеси 2	42.9	23.6	54.3	15.4	55.1	23.1	50.8	20.7
A. cristatum L. в травосмеси 3	48.2	28.9	63.3	24.4	69.1	37.1	60.2	30.1
НСР05	2.1		3.1		3.2		2.7	

Финансирование. Работа выполнена по теме НИР № АААА-А19-119042290014-5 «Теоретические основы управления водными ресурсами при лесоаграрном освоении засушливых территорий РФ на основе динамической модели водного баланса региона, математического моделирования процессов формирования и динамики грунтовых и поверхностных вод, оценки влияния изменения климата и антропогенных нагрузок на агроресурсный потенциал и лесорастительные условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боткин Д.Б., Сакс Х., Араужо М.Б., Беттс Р., Брэдшоу Р.Х.У. 2007. Прогнозирование воздействия глобального потепления на биоразнообразие // Биология. № 57 (3). С. 227-236.

Власенко М.В. 2019. Видовое разнообразие и устойчивость фитоценозов песчаных пастбищ ростовской области // Аграрная Россия. № 3. С. 17-21.

Власенко М.В., Кулик А.К. 2017. Современное состояние степной растительности Придонских песчаных массивов // Аграрная Россия. № 9. С. 22-29.

Власенко М.В., Кулик А.К., Салугин А.Н. 2019а. Оценка экологического состояния и потерь продуктивности аридных пастбищных экосистем Сарпинской низменности // Аридные экосистемы. Т. 25. № 4 (81). С. 71-81. [*Vlasenko M.V., Kulik A.K., Salugin A.N.* 2019. Evaluation of the Ecological Status and Loss of Productivity of Arid Pasture Ecosystems of the Sarpa Lowland // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 4. P. 273-281.]

Власенко М.В., Кулик А.К., Турко С.Ю., Балкушкин Р.Н., Тютюма Н.В. 2019б. Эколого-фитоценотическая организация псаммофитовых сообществ Цимлянского песчаного массива // Юг России: экология, развитие. Т. 14. № 4. С. 35-45.

Власенко М.В., Турко С.Ю. 2015. Перспективы развития селекции и семеноводства многолетних кормовых

лугопастбищных трав в аридных условиях Нижнего Поволжья // Вестник мясного скотоводства. № 3 (91). С. 119-125.

Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. 1999. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС. 252 с.

Демина О.Н. 2011. Эколого-биоморфологический анализ степной ценофлоры бассейна Дона // Юг России: экология, развитие. № 1. С. 31-40.

Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю. 2018б. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 5-12. [*Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S.* 2018. On the 30th Anniversary of the "General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures" // Arid Ecosystems. Vol. 8. No. 1. P. 1-6.]

Кулик К.Н., Пугачева А.М. 2016. Структура растительных сообществ залежи в системе защитных лесных насаждений в засушливых степях // Аридные экосистемы. № 6 (1). С. 63-69. [*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.]

Кулик К.Н., Рулев А.С., Сажин А.Н. 2018а. Глобальные дефляционные процессы в степных экосистемах // Метеорология и гидрология. № 9. С. 72-80. [*Kulik K.N., Rulev A.S., Sazhin A.N.* 2018. Global Processes of Deflation in Steppe Ecosystems // Russian Meteorology and Hydrology. Vol. 43. No. 9. P. 607-612.]

Пугачева А.М. 2020. Климатические колебания в засушливых степях и их роль в процессе демутации // Аридные экосистемы. № 10 (3). С. 181-187. [*Pugacheva A.M.* 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]

Радочинская Л.П., Кладиев А.К., Рыбашлыкова П.Л. 2019. Производственный потенциал восстановленных пастбищ Северо-Западного Каспия // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1 (78). С. 61-68. [*Radochinskaya L.P., Kladiev A.K., Rybashlykova L.P.* 2019. Production Potential of Restored Pastures of the Northwestern Caspian // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 1. P. 51-58.]

Рулев А.С., Пугачева А.М. 2019. Развитие растениеводства на региональном уровне (на примере Волгоградской области) // Исследования по экономическому развитию России. № 30 (5). С. 557-562.

Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И. 2017. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ. 306 с.

Сенатор С.А., Васюков В.М., Зибзеев Е.Г. 2018. Материалы по флоре Волгоградской области // Фиторазнообразие Восточной Европы. № 12 (4). С. 23-43.

Султангазина Г.З., Шарипова Г.К. 2019. *Cyperaceae* во флоре природного парка «Бурабай» // Вестник Карагандинского университета. № 2 (94). С. 170-176.

Трубакова К.Ю., Турко С.Ю. 2020. Конструирование пастбищных мелиоративно-кормовых насаждений в засушливых условиях Нижнего Поволжья // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. № 3 (60). С. 125-132.

Турко С.Ю., Трубакова К.Ю. 2020. Интенсивность образования травостоя на имитационных моделях пастбищ для разных сезонов использования // Аграрный вестник Урала. № 11 (202). С. 37-44.

Турко С.Ю., Власенко М.В., Петров В.И. 2016. Имитационное моделирование функционирования системы «пастбище - животные» // Вестник Нижневолжского агроуниверситета: наука и высшее профессиональное образование. № 3 (43). С. 101-108.

Чибилев А.А. 2019. Современное состояние и проблемы модернизации природно-экологического каркаса регионов степной зоны Европейской России // Юг России: экология, развитие. № 141 (50). С. 117-125.

Al-Robai S.A., Mohamed H.A., Howladar S.M., Ahmed A.A. 2017. Vegetation structure and species diversity of Wadi Turbah Zahran, Albaha area, southwestern Saudi Arabia // Annals of Agricultural Sciences. No. 62 (1). P. 61-69.

Bengtsson J., Bullock J.M., Egoh B., Everson C., Everson T., O'Connor T., O'Farrell P.J., Smith H.G., Lindborg R. 2019. Grasslands – more important for ecosystem services than you might think // Ecosphere. No. 10 (2). P. e02582.

Briske D.D., Coppock D.L., Illius A.W., Fuhlendorf S.D. 2020 Strategies for global rangeland stewardship: Assessment through the lens of the equilibrium–non-equilibrium debate // Journal of Applied Ecology. No. 57 (6). P. 1056-1067.

Mabrouk L., Jribi I. 2020. Spatial patterns and floristic composition of plant communities in uninhabited islets: the case of Kaboudia (Chebba, Eastern Tunisia) // Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. No. 155. P. 1012-1018.

Médail F. 2017. The specific vulnerability of plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands in the face of global change // Regional Environmental Change. No. 17. P. 1775-1790.

Schellenberg J., Bergmeier E. 2020. Heathland plant species composition and vegetation structures reflect soil-related paths of development and site history // Applied Vegetation Science. No. 23 (3). P. 386-405.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 125-130

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.95:631.6.02

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. А.М. Беляков, А.В. Кошелев, М.В. Назарова

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

Поступила в редакцию 13.07.2021. После доработки 12.08.2021. Принята к публикации 12.10.2021

Агроландшафты сухостепной зоны каштановых почв среднего течения р. Дон и нижнего течения р. Волга функционируют в жестких почвенно-климатических условиях с дефицитом увлажнения 30-40% и в настоящий период подвергаются интенсивному хозяйственному использованию, что, по мнению многих исследователей, является причиной их разбалансированности и разной степени деградации. В этой связи процедура агроэкологического мониторинга и система оценки экологической сбалансированности агроландшафтов, в том числе методика ее проведения, приобретают особое научное и практическое значение в формировании рационального землепользования в зонах недостаточного увлажнения. В результате исследований получены новые знания о процессах, протекающих в агроландшафтах сухостепной зоны каштановых почв под влиянием приемов возделывания, агротехнологий и способов использования земельных ресурсов. Установлено существенное влияние агротехнологических факторов на экологическую сбалансированность агроландшафтов, таких как структура посева, севооборот, приемы основной обработки почвы, уровень отчуждения элементов питания, нормы внесения удобрений, защитный комплекс агрофитоценозов, способ обустройства и лесистости землепользования, системные меры противоэрозионной защиты территории, которые могут приводить объект исследований к высокой степени экологической сбалансированности или, наоборот, к его деградации. Разработана и предложена для практического использования методика оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв по балльной системе по десяти показателям. На основе представленной методики агроландшафт оценивается в баллах по шкале сбалансированности: 5 баллов (абсолютно сбалансирован), 4 балла (сбалансирован), 3 балла (средне сбалансирован), 2 балла (слабо сбалансирован), 1 балл и менее (не сбалансирован). Разработанная система критериев и методика экологической оценки позволяет в высокой степени объективно оценивать экологическую сбалансированность агроландшафта сухостепной зоны каштановых почв, что может быть положено в основу принятия организационно-технологических решений и мер по восстановлению экологического равновесия территорий южных провинций РФ и нормирования антропогенной нагрузки на агросферу в условиях недостаточного увлажнения.

Ключевые слова: агроландшафты, факторы влияния, агротехнологии, экологическая сбалансированность, система оценочных показателей, методика оценки.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-125-130

Агроландшафты сухостепной зоны каштановых почв среднего течения р. Дон и нижнего течения р. Волга функционируют в жестких почвенно-климатических условиях с дефицитом увлажнения 30-40% и в настоящий период подвергаются интенсивному хозяйственному использованию, что, по мнению многих исследователей (Николаев, 1979; Исаченко, 1991; Кирюшин, 2011; Dore, 2011; Лопырев, 2015), является причиной их разбалансированности и разной степени деградации.

В этой связи процедура агроэкологического мониторинга и система оценки состояния агроландшафтов, в том числе методика ее проведения, приобретают особое научное и практическое значение в формировании рационального землепользования в зонах недостаточного увлажнения

(Арманд, 1975; Odum, 1971; Исаченко, 1980; Масютенко и др., 2011; Масютенко, Чуян, 2013; Сухой и др., 2015; Беляков, Назарова, 2019).

Основные позиции рационального землепользования заложены в теоретических постулатах адаптивно-ландшафтного земледелия и отражены в работах А.Н. Каштанова (1994), В.И. Кирюшина (2000, 2011), М.И. Лопырева (2015), где обоснована экологическая направленность аграрного производства, в основе которой лежит мониторинг и оценка состояния агроландшафта, что и обеспечивает научный подход в использовании природных ресурсов как отдельного региона, так и для каждого объекта землепользования (Исаченко, 1980; Каштанов и др., 1994; Жученко, 1994; Кирюшин, 2000; Malezieux, 2012).

Направление наших исследований состоит в расширении знания об экологии, совершенствовании методологии рационального землепользования, выработке научно-практических рекомендаций по ведению сбалансированной хозяйственной деятельности, нормировании нагрузки на ландшафт с учетом зональных особенностей, что обеспечивается системой мер и знания процессов, протекающих в агроландшафтах, и учете всех факторов влияния. В основе такой системы лежит разработка объективной методики оценки состояния объекта исследований, необходимой для решения назревших практических проблем, таких как деградация почвы, опустынивание территорий юга России.

Материалы и методы

Исследования проводились на основе разработок В.И. Кирюшина (1996), Н.П. Масютенко и Р.Ф. Ереминой (2000), А.Г. Исаченко (1992), М.И. Лопырева (2012), Н.П. Масютенко (2000, 2004, 2005), В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова (2005), разработок Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации, Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии, ФГБНУ «Росинформагротех», методик П.Н. Константинова, М.М. Горянского, П.П. Доспехова, ГБУ РС «Госсортсеть» и др.

Объектом исследований стали агроландшафты сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области.

Для сбора полевой научной и статистической информации мы использовали сеть субъектов (ландшафтных стационаров) в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области, в частности, землепользования АО «Усть-Медведицкое» и крестьянского (фермерского) хозяйства В.В. Исаева Серафимовичского района, землепользования сельскохозяйственного производственного кооператива «Черенский» Клетского района (рис.).

Целью исследований являлась разработка методики оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области.

Результаты и обсуждение

В результате исследований мы получили новые знания о процессах, протекающих в агроландшафтах сухостепной зоны каштановых почв под влиянием приемов возделывания, агротехнологий и способов использования земельных ресурсов.

Установлено существенное влияние на экологическую сбалансированность агроландшафтов структуры посева, севооборота, приемов основной обработки почвы, уровня отчуждения элементов питания, норм внесения удобрений, защитного комплекса агрофитоценозов, способа обустройства и лесистости землепользования, системных мер противоэрозионной защиты территории. Эти агротехнологические факторы могут приводить объект исследований к высокой степени экологической сбалансированности или, наоборот, к его деградации.

Мы разработали и предложили для практического использования методику оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв по балльной системе в рамках 10 показателей. Рассмотрим эти показатели.

1. По уровню продуктивности агроландшафта сухостепной зоны каштановых почв, т/га в зерновых единицах с 1 га как реакция растений на условия произрастания (табл. 1).

2. По доле чистого пара в структуре использования пашни, в % от пашни (табл. 2).

3. По наличию в посевах зернобобовых культур и многолетних трав, в га или % от площади пашни, в расчете на 10000 га пашни (табл. 3).

4. По доле пашни в объеме сельскохозяйственных угодий или по коэффициенту выпаханности

земель сельскохозяйственного назначения (К), в % или единицах (табл. 4).

5. По уровню внесения удобрений (кг/га действующего вещества), с учетом выноса элементов питания с 1 т зерна (табл. 5).

6. По плотности сложения почвы, г/см^3 и общей порозности корнеобитаемого слоя почвы, в % (табл. 6).

7. По влагообеспеченности почвы в ранневесенний период (период физической спелости почвы), % от максимальных запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы или по запасам продуктивной влаги, в мм (табл. 7).

8. По общей лесистости территории с учетом полезащитных лесных насаждений, в % от общей площади землепользования (из расчета оптимум для сухостепной зоны – 4.5-5.0%; табл. 8).

9. По проявлению водной и ветровой эрозии, в % к площади пашни и интенсивности воздействия на почву, в баллах (табл. 9).

10. По уровню (объему) применения химических средств, содержащих тяжелые металлы, а именно по числу обработок за сезон, или в % от пашни (табл. 10).

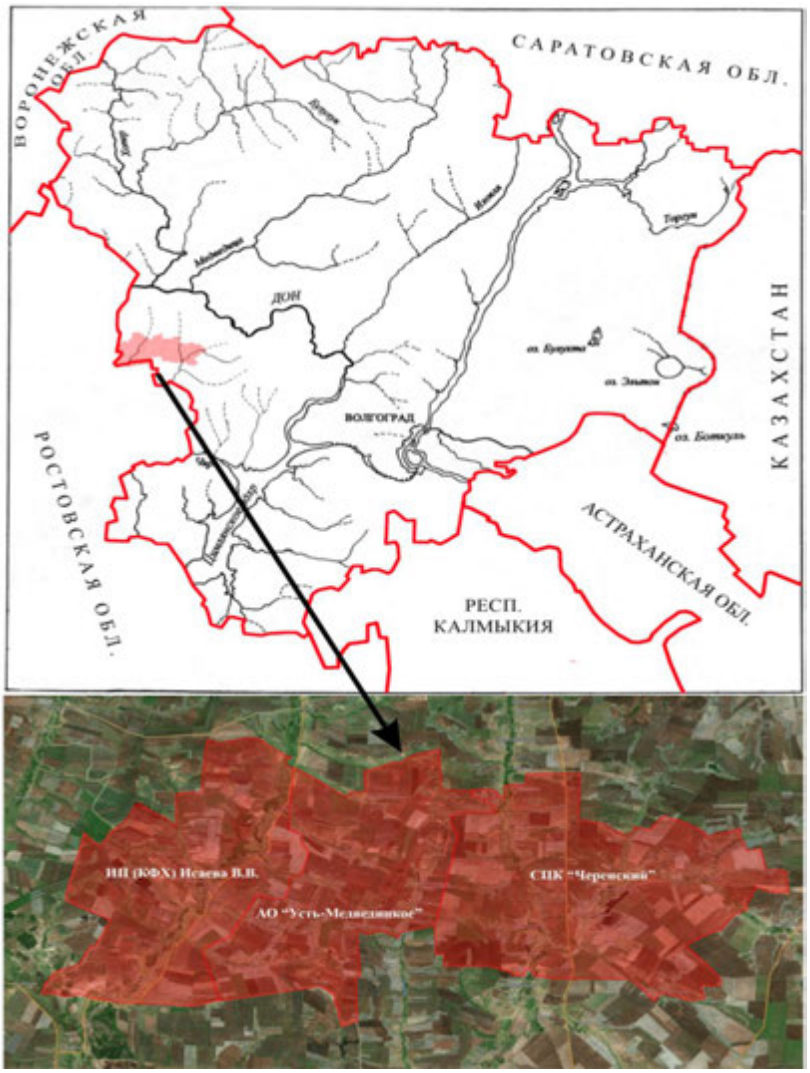


Рис. Географическое положение объектов исследования.

На основе представленной методики предлагается оценивать агроландшафт в баллах по шкале сбалансированности: 5 баллов (абсолютно сбалансирован), 4 балла (сбалансирован), 3 балла (средне сбалансирован), 2 балла (слабо сбалансирован), 1 балл и менее (не сбалансирован). Данную методику мы применили (апробировали) на реальных объектах, а именно, в землепользованиях: СПК «Черенский» (объект «Ч») Клетского района, где использовалась только классическая

агротехнология на основе отвальной основной обработки почвы, 3-польного севооборота с долей чистого пара до 33%; АО «Усть-Медведицкое» (объект «У») Серафимовичского района, где используется только агротехнология прямого посева, т.е. без обработки почвы и без чистого пара; КФХ В.В. Исаева (объект «И») Серафимовичского района, где используется комбинация классической технологии, мелкой и прямого посева в соотношении 60:40. Все объекты исследований расположены в сухостепной зоне каштановых почв правобережья среднего течения р. Дон.

Таблица 1. Показатель продуктивности агроландшафта (т/га в зерновых единицах с 1 га).

Продуктивность, т/га	Баллы
до 1	1
1.1-2.0	2
2.1-3.0	3
3.1- 4.0	4
4.1-5.0 и более	5

Таблица 2. Показатель доли чистого пара в структуре использования пашни (%).

Доля пара, %	Баллы
нет паров	5
5-10	4
11-16	3
17-22	2
23-30 и более	1

Таблица 3. Показатель посева зернобобовых культур и многолетних трав (га и в %) на 10000 га пашни.

га	%	Баллы
50-100	до 1.5	1
110-300	1.6-3.0	2
310-500	3.1-5.0	3
510-1000	5.1-10.0	4
более 1000	более 10	5

Таблица 4. Показатель доли пашни в сельскохозяйственных угодьях по коэффициенту выпаханности.

Доля пашни, %	Коэффициент выпаханности (К)	Баллы
более 68-70	К=0.68-0.70	1
65-67	К=0.65-0.67	2
62-64	К=0.62-0.64	3
54-61	К=0.54-0.61	4
менее 53	менее К=0.53	5

Таблица 5. Показатель уровня внесения удобрений (кг/га) с учетом выноса элементов питания с 1 т зерна (табл. 5).

Количество удобрений, кг/га	Баллы
до 25	1
26-50	2
51-75	3
75-100	4
более 101	5

Таблица 6. Показатель плотности сложения почвы (г/см^3) и общей порозности корнеобитаемого слоя почвы (%).

Плотность сложения, г/см^3	Порозность, %	Баллы
1.16-1.20	60-65	5
1.21-1.23	55-59	4
1.24-1.26	50-54	3
1.27-1.29	45-49	2
более 1.29	менее 45	1

Таблица 7. Показатель влагообеспеченность почвы ранней весной (период физической спелости почвы).

% от максимальных запасов продуктивной влаги	Запас продуктивной влаги, мм	Баллы
96-100	более154	5
91-95	141-153	4
82-90	126-140	3
71-81	111-125	2
менее 70	менее 110	1

Таблица 8. Показатель общей лесистости территории с учетом полезащитных лесных насаждений, в % от общей площади землепользования.

Общая лесистость территории, %	Баллы
менее 2.0	1
2.0-2.9	2
3.0-3.9	3
4.0-4.9	4
более 5.0	5

Таблица 9. Показатель проявления водной и ветровой эрозии (%) и ее интенсивность.

Проявление водной и ветровой эрозии, % к площади пашни	Интенсивность воздействия	Баллы
0	отсутствует	5
2-5	слабая	4
6-10	средняя	3
11-15	средняя	2
более 15	сильная	1

Таблица 10. Показатель уровня (объема) применения химических средств, содержащих тяжелые металлы (число обработок за сезон, или в % от пашни).

Число обработок за сезон	% от пашни	Баллы
0-1	менее 10	5
2-3	10.1-19.0	4
3-4	20.0-31.0	3
4-5	32.0 -43.0	2
более 5	более 44.0	1

В результате проведенной оценки по объекту «Ч» 5 критериев оказались несбалансированными, 3 критерия – частично сбалансированными и только 2 – сбалансированными. По объекту «И» 4 показателя не сбалансированы, 4 частично сбалансированы и 2 сбалансированы. По объекту «У» 5 показателей не сбалансированы и 5 сбалансированы.

При расчете среднего балла объект «Ч» имел 2.3 балла или слабо сбалансированный агроландшафт, объект «И» – 2.9 балла или средне сбалансированный агроландшафт, объект «У» – 3.6 балла или сбалансированный агроландшафт. Таким образом, исследуемые агроландшафты, сформированные под влиянием различных агротехнологий, имеют существенное различие по экологической сбалансированности.

Заключение

По результатам исследований установлена система влияния агротехнологических факторов, таких как структура посева, севооборот, приемы основной обработки почвы, уровень отчуждения элементов питания, норм внесения удобрений, защитного комплекса фитоценозов, способа обустройства и лесистости землепользования, системных мер противоэрозионной защиты территории на экологическую сбалансированность агроландшафта, которые могут приводить объект исследований к высокой степени экологической сбалансированности или, наоборот, к его деградации.

Разработана и предложена для практического использования методика оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв по 5-балльной системе для 10-ти показателей.

Разработанная система критериев и методика экологической оценки позволяет в высокой степени объективно оценивать экологическую сбалансированность агроландшафта сухостепной зоны каштановых почв, что может быть положено в основу принятия организационно-технологических решений и мер по восстановлению экологического равновесия территорий южных провинций РФ и нормирования антропогенной нагрузки на агросферу в условиях недостаточного увлажнения.

Финисирование. Работа выполнена по теме Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН № 0713-2019-0007 «Разработать концептуально-методологические и информационно-технологические основы формирования экологически сбалансированных агролесоландшафтов и адаптивных систем земледелия с применением химических средств нового поколения для прецизионного производства растениеводческой продукции при сохранении и воспроизводстве почвенного плодородия и эффективного использования природно-ресурсного потенциала».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Арманд Д.Л. 1975. Наука о ландшафте: Основы теории и логико-математические методы. М.: Мысль. 288 с.

Беляков А.М., Назарова М.В. 2019. Оценка экологического состояния агроландшафтов в зонах недостаточного увлажнения юга России // Известия НВ АУК. № 3 (55). С. 35-42.

Жученко А.А. 1994. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пущино: РАН. 148 с.

Исаченко А.Г. 1991. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: учебник для вузов. М.: Высшая школа. 366 с.

Исаченко А.Г. 1980. Методы прикладных ландшафтных исследований. Л.: Наука. 224 с.

Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швебс Г.И. 1994. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос. 127 с.

Кирюшин В.И. 2000. Экологизация земледелия и технологическая политика. М. 473 с.

Кирюшин В.И. 2011. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: Колос. 443 с.

Лопырев М.И., Недикова Е.В., Харитонов А.А. 2015. Агроландшафт как фактор устойчивости землепользования и землеустройства // Вестник Воронежского аграрного университета. № 4-2 (47). С. 179-183.

Масютенко Н.П., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В. 2011. Система показателей оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых агроландшафтов. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН. 42 с.

Масютенко Н.П., Чуян Н.А., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В., Брескина Г.М., Дубовик Е.В., Масютенко М.Н., Панкова Т.И., Калужский А.Г. 2013. Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Курск: ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ, РАСХН. 50 с.

Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. 1979. М.: Изд-во Московского университета. 160 с.

Сухой П.А., Морозов А.В., Атаманюк М.Н. 2015. Экологическая оценка аэроландшафтных систем на региональном уровне // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. Т. 1. № 3 (3). С. 6-16.

Odum E.P. 1971. Ecology. London: Holt. 152 p.

Dore T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P. 2011. Facing up to the Paradigm of Ecological Intensification in Agronomy: Revisiting Methods, Concepts and Knowledge // European Journal of Agronomy. P. 197-210.

Malezieux E. 2012. Designing Cropping Systems from Nature // Agronomy for Sustainable Development. Vol. 32. Is. 1. P. 15-29.

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 1 (90), с. 131-139

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 597.552.512; 57.022

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ ЭЙЗЕНАМСКОЙ ФОРЕЛИ (*SALMO TRUTTA EZENAMI* BERG, 1948) И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ОЗЕРЕ КЕЗЕНОЙ-АМ

© 2022 г. Н.И. Рабазанов*, **, Р.М. Бархалов*, **, Р.Н. Рабазанов, Г.Н. Маркевич*****

**Прикаспийский институт биологических ресурсов*
Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45. E-mail: rnuh@mail.ru
***Дагестанский государственный университет*
Россия, 367000, Республика Дагестан, Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 43-а
E-mail: barkhalov.ruslan@yandex.ru
****Кроноцкий государственный заповедник*
Россия, 684000, Камчатский край, г. Елизово, ул. Рябикова, д. 48

Поступила в редакцию 20.07.2021. После доработки 01.08.2021. Принята к публикации 01.10.2021

На основе литературных данных и собственных материалов описано развитие экосистемы озера Кезеной-Ам (Эйзенам) за последние 100 лет. Показано, что экосистема претерпела катастрофическую трансформацию в результате интродукции голавля (*Squalius cephalus orientalis* Linnaeus, 1758) в середине XX века и окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) в 2013-2014 гг. Согласно проведенным нами исследованиям и собранным опросным данным, в экосистеме практически полностью исчез эндемичный подвид форели эйзенамской (*Salmo trutta ezenami* Berg, 1948), ранее представленный двумя симпатрическими формами с озерным и ручьевым нерестом. Дополнительным фактором деградации экосистемы стала многократно возросшая интенсивность сетного лова. В современных условиях в водоеме доминирует окунь, субдоминантный вид – голавль. Нативные виды рыб на данный момент вытеснены на периферию экосистемы: терский пескарь (*Gobio holurus* Folwler, 1976) встречается только в нижнем течении притоков, эйзенамская форель в котловине озере исчезла полностью и предположительно встречается только в верховьях притоков. Основываясь на анализе литературных данных о трансформации аналогичных экосистем, можно утверждать, что последствия деградации фауны озера Кезеной-Ам необратимы, и в ближайшие годы произойдет полное исчезновение эйзенамской форели, занесенной в Красную книгу. Для сохранения эндемика требуются срочные меры, включающие искусственное разведение форели и мелиоративные мероприятия по снижению численности видов-интродуцентов.

Ключевые слова: озеро Кезеной-Ам, ихтиофауна, эйзенамская форель, состояние популяций, меры охраны, речной окунь, голавль.
DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-131-139

В течение последних 150 лет существенно возрастает актуальность организации мер по охране живой природы в целом, и уникальных природных объектов в частности. За этот период предприняты значительные усилия для организации охраны уникальных природных комплексов по всему миру. Первая особо охраняемая природная территория была создана в США в 1872 г., на данный момент под охраной около 12% суши и около 0.5% морских акваторий. В 1949 г. была создана комиссия по редким видам в рамках Международного союза охраны природы. В частности, результатом ее деятельности является регулярное издание Красной Книги МСОП. Несмотря на все усилия, во многих случаях уникальные экосистемы и исчезающие виды не охраняются должным образом, что ставит их на грань полного уничтожения.

Многолетний мировой опыт антропогенного освоения водных экосистем свидетельствует о том, что наиболее уязвимыми для человеческого вмешательства являются закрытые озера с рыбами-эндемиками возникшими в результате симпатрического видообразования (образования видов/форм под действием экологических факторов внутри единой экосистемы). Например, рыболовство нанесло

значительный ущерб «пучку» форм крупных усачей (*Labeobarbus intermedius* Rüppell, 1835) в озере Тана (Мина и др., 2013). В результате массовых интродукций почти полностью уничтожено разнообразие гольцов-кристовомеров (*Salvelinus namaycush* Walbaum, 1792) Великих американских озер (Goodier, 1981). Для восстановления нативных популяций здесь проводятся специальные дорогостоящие мероприятия (Muir et al., 2012, 2015). Вселение нильского окуня (*Lates niloticus* Linnaeus, 1758) в озеро Виктория привело к уничтожению нескольких сот видов эндемичных цихлид (рода *Haplochromis*; Ogutu-Ohwayo, 1990). Размах таких событий колоссален и проявляется в самых разных частях земного шара. В частности, на данный момент под угрозой полного уничтожения, в результате массового вселения чужеродных видов рыб оказалось уникальное сообщество гидробионтов озер Тоувти и Матанао (о. Сулавеси; Ulrich Schliewen, личное сообщение).

Кумжа (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) относится к семейству лососевых (Salmonidae), населяет водоемы Европы, передней и центральной Азии, северной Африки. Для данного вида известен ряд примеров образования симпатрических форм-эндемиков в изолированных водоемах. В частности, в озере Лох-Мелвин (Ирландия) обитает три, а в озере Лох-Лайдон четыре формы, отличающиеся по внешней морфологии, питанию, времени и срокам нереста (Ferguson, 1986; Piggott et al., 2018). По две формы известны из нескольких озер Апеннинского полуострова, одного озера в Шотландии и одного озера в Скандинавии (D'Ancona, Merlo, 1958-1959; Melotto, Alessio, 1990; Allendorf et al., 2010; Gratton et al., 2014). Один из наиболее известных и хорошо изученных вариантов внутриозерной дивергенции кумжи – форели (*S. trutta ischchan* Kessler, 1877) в озере Севан (Закавказье; Савваитова и др., 1989). Здесь было описано 4 озерных (гегаркуни, боджак, летний и зимний бахтак) и одна ручьевая (алабалах) формы (Фортунатов, 1927; Владимиров, 1948). Все перечисленные водоемы находятся в зоне активной деятельности человека, что обуславливает значительный прессинг на эндемичные формы. В настоящее время севанские форели практически полностью уничтожены.

Отдельные литературные сведения о бессточном озере Кезеной-Ам (или Эйзенам) указывают на то, что в водоеме встречается две формы эндемичного подвида форели *Salmo trutta ezenami* Berg, 1948, различающиеся по размерам и характеру питания. Помимо форели нативная ихтиофауна озера включает пескаря ранее определенного как *Gobio gobio lepidolaemus natioholurus* Berg, 1949. Эйзенамская форель занесена в Красную книгу Российской Федерации (2001), Красную книгу Чеченской Республики (2007) и Красную книгу Республики Дагестан (2020). Ранее (10-15 лет назад) её состояние оценивалось как «сокращающаяся в численности» (категория 2). В настоящее время она находится в критическом состоянии (Красная книга Чеченской Республики, 2007; Красная книга Республики Дагестан, 2020), подвиду присвоена категории статуса редкости 1 – подвид озёрной форели, численность которого находится под угрозой исчезновения. Наши данные и опросные сведения других исследователей (М.Г. Каимов, Н.И. Шилин), которые попытались собрать ихтиологический материал на озере в 2015-2020 гг., показывают, что последний достоверный случай её поимки произошел только в зимний период 2015 года (Каимов, личное сообщение). Несмотря на высокую актуальность сохранения данной группы, регулярные исследования экосистемы озера не проводятся. В литературе отсутствуют сведения о природных условиях в бассейне и о состоянии рыбных сообществ. В мае 2017 г. и в сентябре 2018 г. на озере Кезеной-Ам нами проведены работы, включающие первичное описание морфологии бассейна, определение современного состава ихтиофауны и распределения рыб по акватории озера, его притокам и реке ниже завальной плотины. Цель данной работы – определить состояния популяций эйзенамской форели в бассейне озера и ниже завальной плотины; на основе собственных и литературных данных сделать прогноз развития экосистемы и определить пути сохранения эйзенамской форели.

Материалы и методы

Работы на озере были проведены в два периода весной (12-18 мая) 2017 г. и осенью (11-17 сентября) 2018 г. Облов рыбы осуществлялся жаберными сетями с переменным шагом ячеи от 7 до 40 мм. Использовались пелагические (высота стенки 5 м) и донные (стенка 1.5 м) сети длиной 50 м. Сети устанавливали на 24 ч в диапазоне глубин 15-30 м и 40-60 м в разных частях водоема. Дополнительно литоральную зону (5-20 м) обловили сетями с ячей 40 мм. Несмотря на существенное рыболовное усилие (суммарно $36.0*10^3$ ч•м^2) было выловлено в 2017 г. всего 36 экз. рыб, из них 31 экз. речного окуня и 5 экз. голавля, а в 2018 г. всего 33 экз., из которых 30 экз. речного окуня и 3 экз. голавля.

Обловы притоков проведены сачком-ловушкой. В процессе работ обследовано нижнее течение р. Кауха, где было отловлено 30 экз. терского пескаря, 10 экз. голавля и 5 экз. молоди речного окуня. Кроме того, проведено обследованы верховья р. Ахкете – водотока, находящегося ниже завальной плотины. В водотоке отловлено 11 экз. ручьевой форели (*Salmo trutta morpha fario* Linnaeus, 1758).

В 2017 г. в бассейне озера Кезеной-Ам выполнена эхолотная съемка, необходимая для построения батиметрической карты водоема и расчета морфологических параметров озера. Глубины были измерены картплоттером Lowrance Elite 4 HDI с точностью ±0.1 м. Промеры проводили косыми галсами, всего сделано более 9000 измерений глубин. Урез озера построен по космическим снимкам Quck Bird и Geo Eye (разрешение < 1 м/пикс.), которые получены из открытых источников при помощи программного пакета Sas Planet. Батиметрическая карта построена методом интерполяции высотных данных в программном пакете ArcGis 10.1, там же рассчитаны основные морфологические показатели водоема.

Описание района исследоваения. Озеро Кезеной-Ам – крупнейшее озеро северного макросклона Кавказкого хребта, расположенное на западных склонах Андийского хребта (граница республик Дагестан и Чечня). Озеро образовалось в результате сейсмогенного обвала в хребте Кашир-лам, запрудившего долину двух небольших водотоков в месте их слияния. Озеро имеет лопастную форму, основная часть вытянута в меридиональном направлении, обвальная плотина находится в западной части и достигает высоты более 1000 м. Водоем вытянут с севера на юг на 2 км, с запада на восток на 2.7 км, наибольшая ширина – 750 м. Южный и северо-западный берега обрывистые, северный имеет узкую литораль, сплошь покрытую крупными глыбами, образовавшимися в результате эрозионных обвалов. В заливы впадают два небольших притока – р. Харасум и р. Кауха длиной 7 и 5 км соответственно. Скорость течения в приустьевой части составляет 0.2-0.3 м/с.

Водоем находится на высоте 1869 м н.у.м. БС, а высокогорное расположение определяет особенности гидрологического режима – озеро относится к димиктическому типу; толщина эпилимниона к августу достигает 15 м, весеннее перемешивание происходит в апреле-мае, осеннее – в октябре-ноябре (Магомедов, 2007). Вода в озере холодная (летом температура на поверхности не поднимается выше 17-18°С, а температура воды в нижних слоях не прогревается выше 7-8°С) и прозрачная (видимость местами до 10 м), что связано с широким развитием карбонатных пород в бассейнах рек и относительно слабым развитием терригенных отложений. В зимний период (с января по апрель) озеро замерзает, толщина льда достигает 80 см. Озеро поверхностного стока не имеет, разгрузка осуществляется через тело завальной плотины. В 3 км от озера на поверхность выходит несколько мощных ключей, которые, сливаясь, дают начало р. Ахкете (бассейн р. Сулак). Отсутствие поверхностного стока и фильтрация водных масс через плотину определяет значительную зарегулированность стока и высокую амплитуду колебаний уровня, составляющую около 5-7 м.

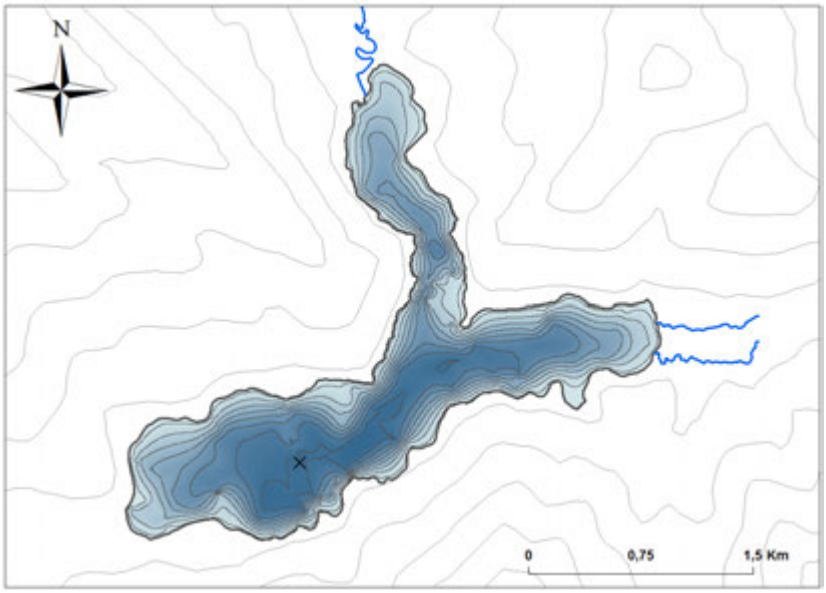


Рис. 1. Батиметрическая карта озера Кезеной-Ам.

Морфология чаши озера (рис. 1) характерна для водоемов подпрудного типа, зона максимальных глубин смещена к завальной плотине. На батиметрической карте хорошо прослеживаются затопленные русла притоков. Максимальная глубина составляет 72.5 м; литораль практически не выражена, береговой свал крутой, что определяет чрезвычайно высокие средние глубины, составляющие 43.7 м. Площадь озера составляет 167 га, а объем воды – 0.073 км^3.

Результаты и их обсуждение

Сведения об ихтиофауне озера Кезеной-Ам. Первые отрывочные сведения об ихтиофауне озера относятся к концу XIX века. В статье Ф.Ф. Каврайского (1896) приведена информация о 4 экз. форелей из озера Кезеной-Ам. Первое относительно подробное описание форелей озера (морфология, характер питания и особенности роста) выполнено сотрудниками севанской гидробиологической станции (Фортунатова, 1933), где были показаны значительные отличия эйзенамской форели как от ручьевой кумжи, так и от озерных форм озер Севан и Гек-Гель. Эйзненамская форель характеризовалась чрезвычайно низким числом пилорических придатков и жаберных лучей, некоторые морфологические характеристики форелей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Морфологические характеристики форелей озера Кезеной-Ам по историческим данным.

	К.П. Фортунатова (1933)	**Г.М. Магомедов (2007)**	**М.Г. Каимов (2013)**
Меристические признаки			
Чешуй в боковой линии	115.14±0.41 107 – 122	118.02±0.12 102 – 138	120±0.19 105 – 137
Рядов чешуй выше боковой линии	24.5±0.35 20 – 28	–	–
Ниже чешуй выше боковой линии	21.32±0.31 17 – 25	–	–
Жаберных тычинок	18.49±0.13 16 – 21	17.9±0.21 12 – 22	18.2±0.15 17 – 21
Жаберных лучей	9.08±0.09 7 – 11	9.7±0.11 8 – 12	9.48 9 – 11
Ветвистых лучей в спинном плавнике	10.53±0.1 10 – 12	8.54±0.16 8 – 10	9.75±0.11 9 – 11
Ветвистых лучей в анальном плавнике	8.9±0.1 8 – 10	–	8.54±0.13 8 – 11
Ветвистых лучей в грудном плавнике	11.47±0.18 8 – 13	–	–
Ветвистых лучей в брюшном плавнике	8.2±0.09 7 – 9	–	–
Позвонков	55.65±0.43 51 – 58	55.7±0.35 53 – 58	57±0.15 56 – 60
Пилорических придатков	43.33±1.02 36 – 48	48.2±0.5 44 – 55	48.4±0.5 45 – 54
Пластические признаки			
Длина головы*, %	23.2	18.28 / 29.80	–
Длина рыла**, %	–	33.29 / 24.7	–
Длина верхней челюсти*, %	40.43	–	–
Наибольшая высота тела*, %	22.36	–	–
Высота хвостового стебля, %	8.79	–	–
Высота спинного плавника*, %	14.71	13.67 / 7.38	–
Высота анального плавника*, %	13.25	–	–
Длина брюшного плавника*, %	16.66	16.99 / 10.17	–

Примечание к таблице 1: * – в процентах от длины тела, ** – в процентах от длины головы, мелкие (10-17 см)/крупные рыбы (18-21 см); над чертой – средняя ± ошибка средней, под чертой – минимум – максимум.

Кроме того, рыбы из данного водоема отличались относительно невысокими темпами роста (табл. 2), половой зрелости самцы достигали в возрасте 2+, самки 3+, максимальный

зафиксированный возраст 12+ (Магомедов, 2007). Небольшое количество (менее 1.5%) рыб достигали длинны 86-115 см и массы 10.1-15 кг. По мере роста наблюдаются аллометрические изменений пропорций тела – крупные рыбы по сравнению с молодью имеют относительно более длинную голову и короткие плавники. У форелей озера Кезеной-Ам отмечены четкие изменения характера питания: мелкие неполовозрелые рыбы в основном потребляют гаммарусов, крупные – легочных и двустворчатых моллюсков, в осенний и зимний периоды отмечены случаи каннибализма и питания икрой (Магомедов, 2007). Нерест гигантских особей невозможен в мелководных водотоках, стекающих в озеро, что может указывать на вероятную подразделенность форелей данного водоема на форму с озерным и речным нерестом. Наличие нескольких нерестовых группировок отмечено также в работе М.Г. Каимова (2013). Нерестилища, по наблюдениям автора, находятся в верхнем течении стекающих в озеро водотоков на порожисто-водопадных участках с галечным дном, а также на свалах озерной котловины в местах разгрузки грунтовых вод.

Таблица 2. Рост форелей озера Кезеной-Ам по историческим данным.

Возраст	К.П. Фортунатова (1933)		Г.М. Магомедов (2007)		М.Г. Каимов (2013)	
	L, см	W, г	L, см	W, г	L, см	W, г
0+	5.42	4.74	–	–	–	–
1+	9.9	16.2	15.5 / 9.2 – 27.3	70 / 11 – 249	14.0±0.09 / 12.2 – 14.9	30±0.9 / 15 – 25
2+	19.3	92	19.0 / 11.0 – 26.0	76 / 25 – 260	15.9±0.02 / 15.3 – 16.2	40±0.9 / 30 – 60
3+	21.8	132	22.0 / 14.7 – 28.2	103 / 22 – 285	19.9±0.03 / 17.0 – 23.0	80.8±2.0 / 60 – 150
4+	25.0	218	24.6 / 17.0 – 34.9	172 / 27 – 450	24.0±0.02 / 23.0 – 27.9	140±8.5 / 100 – 165
5+	27.8	276	28.5 / 21.5 – 39.0	191 / 41 – 750	300±0.50 / 29.9 – 32.0	260±5.8 / 210 – 320
6+	27.0	292	31.6 / 20.6 – 40.0	219 / 90 – 920	–	–
7+	34.6	550	–	–	–	–

Примечание к таблице 2: над чертой – средняя ± ошибка средней, под чертой – минимум – максимум.

В работе К.Р. Фортунатовой (1933) отмечено наличие в желудках форелей икринок карповых рыб, что указывает на наличие второго вида рыб в экосистеме еще до начала активного антропогенного освоения района. В этой же статье указывается на чрезвычайно низкий уровень антропогенной нагрузки на экосистему водоема: «Находясь вдали от населенных пунктов … и имеющее исключительно труднодоступные горные дороги … не может являться серьезным объектом для рыбохозяйственного использования» (Фортунатова, 1933, стр. 91). В 1930-х гг. лов форелей производился только удебными снастями. По-видимому, численность форелей в озере была высокой, исследователям удалось в сжатые сроки отловить не только взрослых рыб, но и молодь, накалывавшуюся в литорали озера. В последствие Л.С. Берг по результатам этих сборов на основе особенностей окраски и морфологического диагноза выделил форель из озера Кезеной-Ам в отдельный подвид (*Salmo trutta ezenami* Berg, 1948).

Во второй половине XX века антропогенное влияние на экосистему водоема заметно возросло. В 1977 и 1984 гг. появились сообщения о поимке здесь 35 экз. крупных голавлей и 6 экз. терских пескарей (Драпкин и др., 1984). Авторы считали, что голавль всегда обитал здесь в небольших количествах и с 1977 г. численность его в озере по каким-то причинам резко возросла. По другим сведениям, нативным видом являлся пескарь, а голавль был интродуцирован в водоем (Красная книга Чеченской Республики, 2007). Мы считаем более предпочтительным второй вариант, поскольку маловероятно, чтобы озерный голавль не был бы пойман во время обстоятельных работ группы К.Р. Фортунатовой. Напротив, пескари, обитающие в стекающих в озеро ручьях, могли быть не

пойманы в котловине озера. В 2013-2014 гг. в водоем был вселен речной окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), который успешно натурализовался и стал одним из массовых видов.

В 1963 году эйзенамская форель была искусственно заселена в озеро Мочох (Республика Дагестан), которое образовалось в том же году в результате громадного оползня (длина – около 1.5 км, ширина – до 1 км) склонов близлежащих гор. Озеро Мочох во многом сходно с озером Кезеной-Ам, хотя уступает ему в размерах (площадь – около 35 га) и глубине (средняя глубина – в пределах 20-30 м). В озеро было перевезено 600 разновозрастных особей эйзенамской форели, которые хорошо прижились и росли, и численность их приблизились к величине, обеспечивающей устойчивое самовоспроизводство популяции. Но в настоящее время форель в озере Мочох отсутствует, поскольку имело место временное загрязнение озера токсичными веществами. Но часть форелей скатилась в вытекающую из озера речку и сохранилась (рис. 2). Около 40 молодых особей из речки были отловлены в 2016 г. местным жителем, посажены в пруд, и сейчас часть из них достигла половозрелого состояния.

Рис. 2. Форель «мочохская».

В общем, современная экосистема озера включает в себя 4 вида рыб, два из которых являются нативными (эйзенамская форель и терский пескарь), а два – интродуцентами (речной окунь и голавль). Проведенные исследования показали, что весной 2017 г. половозрелые особи речного окуня имели длину 15-17 см и находились на IV-V (в преднерестовом состоянии) стадии зрелости гонад. Вдоль берегов озера встречались многочисленные стайки молоди окуня длиной 5-7 см. По имеющимся сведениям, впервые окунь был отмечен в озере Кезеной-Ам в 2015 г. (Каимов, 2015). Речной окунь в сетных уловах встречался по всей акватории озера, на глубинах до 30-40 м, в профундали озера отмечен не был. Отдельные экземпляры молоди окуня были выловлены также в нижнем течении р. Кауха. Пойманные нами в контрольных уловах экземпляры голавля имели длину 29-34 см. Молодь головля была отловлена только в нижнем течении притоков. Интродукция голавля, по-видимому, произошла в начале 1970-хх гг. (Анисимов, 1989). Голавли перешли на питание молодью эйзенамской форелей, что привело к значительному сокращению численности последней. На данный момент голавли встречаются в прибрежной зоне озера до глубины 20 м, в профундали не отмечены.

В нижнем течении р. Кауха ловились особи пескаря определенного Б.А. Левиным согласно анализу маркера цитохрооксидазы COI как *Gobio holurus* Folwer, 1976 (Левин, личное сообщение). Особи данного вида имели длину до 12-15 см. По всей видимости, населяющие бассейн озера пескарь ранее был неправильно определён как *Gobio gobio lepidolaemus natioholurus* Berg, 1949. Весной 2017 г. встречались крупные особи с гонадами на IV стадии зрелости, а уже осенью 2018 г. взрослые особи находились в переходной II-III стадии зрелости гонад. В современных условиях в литорали озера вид не отмечен. В реке встречается на ямах под подмываемыми берегами.

Эндемичная эйзенамская форель в озере нами не поймана. Результаты работы сотрудников биолого-химического факультета Чеченского государственного университета в 2014-2015 гг. также указывают на катастрофическое состояние популяции форелей: в течение 5 экспедиций не было отловлено ни одного экземпляра (Каимов, 2015).

Осенью 2018 г. ниже озера Кезеной-Ам в бассейне р. Миор-Су (приток р. Ахкете) было выловлено несколько экземпляров ручьевой форели (*Salmo trutta morpha fario* Linnaeus, 1758). Средняя длина половозрелых особей составила 159±6.7 (135-196) мм, масса 46±6.0 (26.6-46.0) г. Различия самцов и самок по размерам оказались недостоверны. Соотношение полов было сдвинуто в сторону самок. Половой зрелости ручьевые форели достигали при длине 12-12.5 см, все рыбы с длиной больше 13.5 см были на III стадии зрелости гонад. В питании доминировали гаммарусы (70%), также встречались личинки поденок, ручейников, хирономид (по 10%) и единично – имаго. Форель встречалась на ямах под намываемыми берегами, за крупными камнями, начиная от истоков реки. Численность форели оказалась низкой, на участок длиной около 1 км было поймано всего 10 экз. По опросным сведениям, ручьевая форель здесь активно вылавливается местным населением. Другие виды рыб в реке нами не отмечены.

Прогноз развития экологической ситуации. Отрицательные тенденции в экосистеме озера Кезеной-Ам развиваются с 1980-хх гг. (Каимов, 2013; Красная книга Республики Дагестан, 2020; Barkhalov et al., 2021). Если в 60-70-е годы прошлого века за несколько часов можно было наловить до 25-30 форелей, то в настоящее время, имея первоклассные снасти и большой навык лова форели, невозможно наловить даже одного экземпляра для научных целей. Это говорит о том, что эйзенамская форель в озере в ближайшие годы может исчезнуть и, если не принять меры по искусственному разведению и в дальнейшем пополнению популяций данного подвида выращенной молодью, процесс исчезновения может принять необратимый характер. По нашим прогнозам, озерная эйзенамская форель исчезнет в ближайшие годы, а в верховьях притоков, вероятнее всего, останется осёдлая ручьевая форма, аналогичная алабалаху из притоков озера Севан.

Резкое и значительное сокращение численности популяции эйзенамской форели в озере вызвано несколькими причинами антропогенного характера: 1) интенсивные военные действия, в том числе и авиаудары у озера во время последней чеченской войны; 2) вселение других видов рыб (голавля в 1970-х гг. и речного окуня в 2013-2014 гг.); 3) быстрый рост численности голавля и, особенно, речного окуня, которые способны выедать икру и мальков форели; 4) расширение на озере территории спортивно-туристического комплекса, который пользуется большой популярностью у жителей Чечни и других регионов России; 5) бесконтрольный отлов и браконьерство. Результат изменения видового состава экосистемы, вызванный антропогенным фактором, по всей вероятности, усугубил состояние эйзенамской форели как аборигенного вида этого озера. Последствия трансформации необратимы и в ближайшие годы при нынешней динамике развития ситуации приведут к полному исчезновению эйзенамской форели в озере Кезеной-Ам.

Многие озерные экосистемы ранее уже претерпевали антропогенные трансформации, связанные с бесконтрольными интродукциями, выловом рыбы, гидростроительством и зарегулированием стока. По современным представлениям биологические инвазии, наряду с уничтожением мест обитания, считаются одной из основных угроз биоразнообразию (Алимов, Богуцкая, 2004). Наиболее показательным примером можно признать трансформацию экосистемы озера Севан. В течение XX века туда были вселены сиг (*Coregonus lavaretus* Linnaeus, 1758), серебряный карась (*Carassius auratus* Linnaeus, 1758), куринский усач (*Barbus cyri* De Filippi, 1865), восточная быстрянка (*Alburnoides eichwaldii* De Filippi, 1863). Интродукции привели к катастрофическому снижению численности эндемичных рыб. В конечном итоге бесконтрольный браконьерский лов привел к полному уничтожению симпатрических форм севанских форелей (Савваитова и др., 1989). На данный момент сохранилась только ручьевая форма алабалах, разведение гегаркуни на рыбоводном заводе неэффективно (Экология …, 2010).

В начале XX века в озере Ланао (Филиппины) было описано 18 симпатрических видов барбусов рода *Puntius*. Локальное разнообразие было изолировано системой порогов в вытекающей из озера реке. В течение 20 лет водоем находился под пристальным вниманием исследователей. «Пучок» форм барбусов из озера Ланао считался модельным для изучения процессов микороэволюции у рыб (Herre, 1933; Myers, 1960). В течение второй половины XX века фауна озера попала под жесткий прессинг бесконтрольного лова. После катастрофического снижения численности для повышения рыбохозяйственной значимости в озеро была интродуцирована радужная форель (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). На данный момент из 18 видов эндемичных барбусов сохранилось только два наиболее генерализованных (Ismail et al., 2014).

Существуют еще десятки примеров подобных трансформаций озерных экосистем. Все они

имеют общие причины: бесконтрольный лов рыбы, инвазия чужеродных видов, загрязнение среды. Во всех случаях такой прессинг приводит к быстрому уничтожению симпатрических форм (видов) в местах обитания, и считаются одной из основных угроз биоразнообразию.

Выводы

Предложения по мерам охраны эйзенамской форели. По нашим данным, озерная эйзенамская форель может исчезнуть в ближайшие годы, а в верховьях притоков, вероятнее всего, останется оседлая ручьевая форма. В связи с этим в озере Кезеной-Ам необходимо принять срочные меры по восстановлению популяции эндемичной эйзенамской форели. По мнению всех специалистов, исследовавших в последние годы эйзенамскую форель в настоящее время единственным реальным путем её сохранения, является искусственное разведение, поэтому встал вопрос о его срочной организации. Для этого необходимо создать маточное стадо форели и ряд лет получать потомство, а подросшую молодь ежегодно выпускать в озеро Кезеной-Ам. Но даже если единичные особи и остались в этом глубоководном озере, поймать их для создания маточного стада практически нереально. Попыток расселения эйзенамской форели кроме тех, что были предприняты в озере Мочох, неизвестно. Поэтому, пока есть возможность, нужно пытаться организовать разведение на базе сохранившихся «мочохских» форелей.

Другая важная проблема – создание базы для содержания производителей, инкубации икры, подращивания молоди, приобретения корма для рыб. В Чеченской Республике нет рыбоводных заводов, а в Республике Дагестан, кроме как Приморского экспериментального рыбоводного завода, не занимаются разведением форелей. Хороший опыт имеется на рыбоводных заводах в Республике Северная Осетия и Кабардино-Балкарской Республике. Сначала можно организовать экспериментальное ограниченное разведение на базе озера Мочох. Для дальнейшего, более масштабного разведения потребуется привлечение рыбоводных заводов. В перспективе необходимо организовать и начать строительство на берегу озера рыбоводного завода для инкубации икры эйзенамской форели и последующего подращивания молоди.

Следует также провести в озере Кезеной-Ам серии мероприятий, направленных на снижение численности речного окуня и голавля, включая мелиоративный (специализированный) отлов их в местах нереста. Кроме того, надо закрыть в озере любительский лов на 5-6 лет и исключить возможность вселения новых видов рыб-интродуцентов.

Поскольку озеро находится на территории двух субъектов Российской Федерации целесообразно повысить охранный статус с памятника природы регионального значения до особо охраняемой природной территории федерального значения. При этом важно провести эко-просветительских мероприятий среди местного населения для повышения экологической грамотности и формирования мировоззрения о бережном отношении к природным объектам и уникальному биологическому разнообразию. Что может помочь контролировать экосистему озера и определить пути финансирования мероприятий по восстановлению численности эйзенамской форели.

Благодарности. Авторы выражают благодарность администрации рекреационного комплекса «Кезеной» оказывавших нам полную техническую поддержку на месте проведения работ.

Финансирование. Работа выполнена по Госзаданию АААА-А19-0101590064-1 «Ресурсный потенциал и структура популяций промысловых рыб, современные тренды динамики экосистем дагестанского района Каспия и закономерности их формирования», а также при частичной поддержке гранта РФФИ 16-04-01687 «Устойчивая пищевая диверсификация гольцов рода Salvelinus (Salmonidae) в литоральных экосистемах: индивидуальная специализация или новый виток микроэволюционного процесса?».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г. 2004. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.-СПб: Товарищество научных изданий КМК. 436 с.

Анисимов П.А. 1989. Редкие и исчезающие позвоночные животные Чечено-Ингушской АССР. Грозный: Чечено-Ингушское книжное издательство. 157 с.

Владимиров В.И. 1948. Ручьевая форель Армении и ее отношение к другим представителям рода *Salmo* // Труды Севанской гидробиологической станции. № 10. С. 87-178.

Драпкин Е.И., Щербаков Г.М., Захарова М.И. 1984. О нахождении пескаря *Gobio gobio* в бассейне

высокогорного озера Казеной-Ам // Вопросы ихтиологии. Т. 24 (2). С. 326-329.

Каврайский Ф.Ф. 1896. Лососевые Кавказа и Закавказья. Тифлис: ТІ. 91 с.

Каимов М.Г. 2013. Экология и биологические особенности ручьевой (*Slamo trutta morpha fario* (Linnaeus, 1758) и эйзенамской (*Salmo trutta ezenami* Berg, 1948) форелей Терско-Каспийского района. Дисс. … канд. биол. наук. Грозный. 162 с.

Каимов М.Г. 2015. Изменения видового состава ихтиофауны высокогорного озера Кезеной-Ам (Эйзенам) // Вестник ЧГУ. № 1 (17). С. 132-134.

Красная книга Республики Дагестан. 2020. Махачкала: Типография ИП Джамалудинов М.А. С. 500-502.

Красная книга Российской Федерации (животные). 2001. / Ред.: В.И. Данилов-Данильян и др. М.: АСТ: Астрель. С. 271-272.

Красная книга Чеченской Республики: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. 2007 / Ред. М.У. Умаров. Грозный: Южный издательский дом. 432 с.

Магомедов Г.М. 2007. Систематика, экология и культивирование лососевых рыб Дагестана и сопредельных территорий. Махачкала: Наука плюс. 310 с.

Мина М.В., Дзержинский К.Ф., Мироновский А.Н., Капитанова Д.В. 2013. Фенетическое разнообразие крупных усачей *Barbus intermedius* complex sensu banister из прибрежной зоны Бахардарского залива (озеро Тана, Эфиопия) // Вопросы ихтиологии. Т. 53 (6). С. 627-627.

Савваитова К.А., Дорофеева Е.А, Маркарян В.Г., Смолей А.И. 1989. Форели озера Севан. Л.: Зоологический институт РАН СССР. 180 с.

Фортунатов М.А. 1927. Форели Севанского озера // Труды Севанской озерной станции. Т. 1 (2). С. 1-135.

Фортунатова К.Р. 1933. Форели озера Эйзенам // Труды Севанской озерной станции. Т. 3 (2). С. 71-92.

Экология озера Севан в период повышения его уровня. Результаты исследования Российско-Армянской биологической экспедиции по гидроэкологическому обследования озера Севан (Армения) (2005-2009 гг.). 2010 / Ред. Д.С. Павлов. М: Наука ДНЦ. 375 с.

Allendorf F.W., Hohenlohe P.A., Luikart G. 2010. Genomics and the Future of Conservation Genetics // Nature Reviews of Genetics. Vol. 11. P. 697-709.

D'Ancona U., Merlo S. 1958-1959. La speciazione nelletrote italianeed in particolarequelle del lago di Garda // Attide N'Istituto Veneto di Scienze, Lettere Arti. Vol. 117. P. 19-26.

Ferguson A. 1986. Lough Melvin – a Unique Fish Community // Royal Dublin Society. Vol. 1. P. 1-17.

Goodier J.L. 1981. Native Lake Trout (*Salvelinus namaycush*) Stocks in the Canadian Waters of Lake Superior Prior to 1955 // Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science. Vol. 38. P. 1724-1737.

Gratton P., Allegrucci G., Sbordoni V., Gandolfi A. 2014. The Evolutionary Jigsaw Puzzle of the Surviving Trout (*Salmo trutta* L. complex) Diversity in the Italian Region: a Multilocus Bayesian Approach // Molecular Phylogenetics and Evolution. Vol. 79. P. 292-304.

Herre A.W. 1933. The Fishes of Lake Lanao: a Problem in Evolution // American Naturalist. Vol. 68. P. 154-162.

Ismail G.B., Sampson D.B., Noakes L.G. 2014. The Status of Lake Lanao Endemic Cyprinids (*Puntius* species) and their Conservation // Environmental Biology of Fishes. Vol. 97 (4). P. 425-434.

Melotto S.G., Alessio D. 1990. Biology of Carpione, *Salmo carpio* L., an Endemic Species of Lake Garda (Italy) // Journal of Fish Biology. Vol. 37. P. 687-698.

Muir A.M., Hansen M.J., Bronte C.R., Krueger C.C. 2015. If Arctic Charr *Salvelinus alpinus* is 'The Most Diverse Vertebrate', What is the Lake Charr *Salvelinus namaycush*? // Fish and Fisheries.

Muir A.M., Krueger C.C., Hansen M.J. 2012. Re-establishing Lake Trout in the Laurentian Great Lakes: Past, Present, and Future // Great Lakes Fisheries Policy and Management: a Binational Perspective. East Lansing: Michigan State University Press. P. 533-588.

Myers G.S. 1960. The Endemic Fish Fauna of Lake Lanao, and the Evolution of Higher Taxonomic Categories // Evolution. Vol. 14. P. 323-333.

Ogutu-Ohwayo R. 1990. The Decline of the Native Fishes of Lakes Victoria and Kyoga (East Africa) and the Impact of Introduced Species, Especially the Nile Perch, *Lates niloticus*, and the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* // Environmental Biology of Fishes. Vol. 27 (2). P. 81-96.

Piggott C.V., Verspoor E., Greer R., Hooker O., Newton J., Adams C.E. 2018. Phenotypic and Resource Use Partitioning Amongst Sympatric, Lacustrine Brown Trout, *Salmo trutta* // Biological Journal of the Linnean Society. Vol. 124 (2). P. 200-212.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2022. Т. 28. № 1 (90)

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 февраля 2022 г.

ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60x 84 $^{1}/_{8}$	Объем 21 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 (интернет каталог «Пресса России»)

https://www.pressa-rf.ru/

Подписка на газеты и журналы на 2022 год Почта России

Оформить подписку на журнал «Аридные экосистемы» можно только онлайн. Цена подписки на издание за минимальный подписной период — **816.70** руб. Стоимость за весь период (4 номера) — **3397.4 ₽.** Оплата подписки производится через филиалы Сбербанка РФ (для физических лиц), по безналичному расчету (для юридических лиц), банковской картой «Visa» и «MasterCard», другими электронными способами оплаты через сервис "Робокасса". Доставка товара осуществляется ФГУП "Почта России" бандеролью по всей территории России. По Москве и Московской области для журналов доступна курьерская доставка.