

ISSN 1993-3916

Том 28 Номер 1 (94) Март 2023

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



2023

© 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 ProQuest, 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
ДАГЕСТАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РАН
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 29, № 1 (94), 2023, 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:

А.М. Пугачева, С.А. Мамаев

Адреса редакции:

*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН

Телефон: (499) 135-70-41. Факс: (499) 135-54-15

E-mail: arid.journal@yandex.ru

**Россия, 367000, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ПИБР ДФИЦ РАН

Телефон: (872-2) 67-06-11

E-mail: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

2023

СОДЕРЖАНИЕ

Том 29, номер 1 (94), 2023

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов
К.Н. Кулик, А.И. Беляев, А.М. Пугачёва 4-14
- Лесопастбищное освоение опустыненных земель Прикаспия
А.С. Манаенков, Л.П. Рыбашлыкова, С.Н. Сивцева, Т.Ф. Маховикова 15-24
- Анализ динамики площадей степных пожаров в Западном Казахстане по данным дистанционного зондирования земли
С.С. Шинкаренко, А.Н. Берденгалиева, В.В. Дорошенко, Я.А. Найчук 25-35
- Meteorological drought measurement with deficit in rainfall occurrence according to SPI indices: a case study of Peshawar, Pakistan
Shahla Nazneen, Tehreem Ayaz, Yamna Durrani, Neelum Ali, Min Lei, Saeeda Yousa 36-45
- Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии
В.Г. Юферев, В.А. Силова, Н.А. Ткаченко 46-52
- Антропогенный фактор опустынивания аридных территорий Астраханской области
Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Н.А. Тютюма 53-58
- Оценка динамики наземного покрова в целях установления нейтрального баланса деградации земель на локальном уровне (для опустыненных угодий сухостепного Заволжья)
В.Д. Славко, О.В. Андреева, Г.С. Куст 59-69
- Оценка экологического ущерба от опустынивания аридных территорий на юге Европейской территории России
Е.А. Корнеева 70-76
- Удельная активность естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах и травянистых растениях Ростовской области
Е.А. Бураева, О.С. Безуглова 77-84

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

- Влияние защитных лесных насаждений на фитосанитарное состояние каштановых почв
Г.О. Сытин, И.Ю. Подковыров 85-91
- Некоторые итоги реализации программ по борьбе с опустыниванием территории Черных земель и Кизлярских пастбищ
Н.Л. Цаган-Манджиев, Н.В. Тютюма 92-95
- Элементы технологии размножения *Robinia pseudoacacia* L. для защитного лесоразведения в условиях деградации и опустынивания территорий
С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева, О.О. Жолобова 96-104
- Повышение мелиоративной эффективности лесополос в засушливых условиях
А.В. Кулик, А.Т. Барабанов, О.А. Гордиенко, М.Р. Шайфуллин 105-112

Исследование особенностей структуры и свойств илового осадка с целью применения в качестве почвенного мелиоранта в земледелии аридных регионов
А.С. Межевова, Ю.В. Берестенева 113-119

Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны Волгоградской области
А.М. Беляков, А.В. Кошелев 120-130

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Моделирование формирования грунтовых вод песчаных массивов Придонья (на примере Етеревского песчаного массива)
А.Н. Салугин, А.К. Кулик, Р.Н. Балкушкин 131-142

УДК 630*26; 631*6; 502. 504.

РОЛЬ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В БОРЬБЕ С ЗАСУХОЙ И ОПУСТЫНИВАНИЕМ АГРОЛАНДШАФТОВ

© 2023 г. К.Н. Кулик, А.И. Беляев, А.М. Пугачёва

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, 97. E-mail: kulikkn@yandex.ru; kulikk@v/anc.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

В обзоре, в историческом аспекте рассмотрены вопросы применения агролесомелиорации и защитного лесоразведения для борьбы с засухой и опустыниванием сельскохозяйственных угодий. Показаны современное состояние лесонасаждений в засушливой зоне РФ и проблемы, связанные с дефляцией пастбищ. Отмечено, что в России возникла крупная эколого-хозяйственная проблема в связи с усилением интенсивности развития периодических засух, суховеев, эрозии, дефляции и состоянием защитного лесоразведения, как отрасли народного хозяйства в целом, и раздела науки в частности. Это требует соответствующих ее значимости стратегических государственных решений, которые указаны в «Стратегии развития защитного лесоразведения в РФ до 2025 года», где определены их направления, а также объемы и виды насаждений на период до 2025 г. и на более длительную перспективу на землях лесомелиоративного фонда. Рассмотрены причины опустынивания агроландшафтов, связанных с климатическими и антропогенными факторами, и обозначены меры предупреждения и технологии борьбы с этим явлением.

Ключевые слова: агроландшафты, засуха, защитные лесонасаждения, защитное лесоразведение, деградация, опустынивание, эрозия, дефляция, лесные полосы, фитомелиорция.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14

EDN: CSZXWA

Для территории Российской Федерации характерны растущие темпы деградации земель. В ключевых аграрных районах страны степень распаханности сельскохозяйственных угодий превышает все разрешенные лимиты и составляет 60–90%. Площади пашни (65%), сенокосов (28%) и пастбищ (50%) подвержены разрушающему, порой совместному, воздействию эрозии, дефляции, периодических засух и суховеев. По сравнению с 1990 г. к настоящему времени площадь сельхозугодий, подверженных эрозии и дефляции, увеличилась на 22 млн га и составила 126 млн га. Из-за водной эрозии 10% пашни уже утратило 30–60% плодородия, а 25% – от 10 до 30%. Ежегодная убыль гумуса на пашне в среднем составляет 0.62 т/га. Его содержание в почве за 100 лет снизилось на 30–40%. Площадь заовраженных угодий достигла 8 млн га, а ежегодный прирост эродированных земель достигает 0.4–0.5 млн га. От вредного воздействия природно-антропогенных факторов ежегодный недобор продукции растениеводства в Российской Федерации уже достигает почти 43 млн т в зерновом эквиваленте (Стратегия..., 2018).

Продолжительные научные изыскания, а также российская и мировая практика подтверждают: защитное лесоразведение (ЗЛ) и агролесомелиорация являются в наибольшей степени экологичными, экономичными, надежными и продолжительно действующими методами мелиорации земель и борьбы с засухой (Национальный доклад..., 2021).

«ЗЛ – это совокупность спланированных, обеспеченных необходимыми условиями и ресурсами организационных, лесокультурных, лесоводственных и других мероприятий по созданию, выращиванию, содержанию, эксплуатации и воспроизводству природных и искусственных насаждений из деревьев и кустарников, необходимых для защиты сельхозугодий, почвы, дорог, водоемов, каналов, населенных пунктов, животноводческих помещений и других хозяйственных объектов от неблагоприятных природных явлений и техногенных воздействий» (Энциклопедия

агролесомелиорации, 2004).

Защитные лесонасаждения (ЗЛН) существуют благодаря и в соответствии с природно-ресурсным потенциалом местности. При соблюдении всех правил планировки ЗЛН характеризуются высокими показателями приспособленности к местным условиям. Так, вживляясь в ландшафт, они формируют противодеградационный, экологический каркас территории, нормализуют и стабилизируют общую экологическую обстановку. ЗЛН положительно изменяют структуру территории, водные и земельные ресурсы, позволяют восстанавливать сильно нарушенные и бросовые земли. Благодаря лесным насаждениям совершенствуется и расширяется видовое разнообразие флоры и фауны, обеспечивается стабилизация территории, возрастает продуктивность природно-сельскохозяйственных экосистем.

Россия – родина полезащитного лесоразведения. За период более чем 150-летней истории в стране была разработана теоретическая и методологическая база агролесомелиорации, которая реализована в виде агролесоландшафтов в пределах территории всех ее аграрных регионов.

До революции в России древесно-кустарниковые посадки проводились преимущественно в защитных целях. Так Данилевский И.Я. в 1804–1814 гг. вырастил 1000 га соснового леса на песках по берегу р. Северский Донец на Харьковщине. В эти же годы прибалтийские песчаные дюны засаживал лесом Битнер. Ломиковский В.Я. в 1809–1837 гг. посадил систему полезащитных и противоэрозионных насаждений в своем имении на Полтавщине, назвав это хозяйство «древопольным» (Альбенский, 1971). Скаржинский В.П. вырастил более 400 га ЗЛН в сложных лесорастительных условиях Херсонщины. Облесением овражно-балочных земель с 1821 г. занимались Ф.Х. Майер, И.Н. и И.И. Шатиловы в Орловской губернии. В 40-х годах XIX в. началась организация государственных степных лесничеств, в задачу которых также входило изучение гидроклиматической роли искусственных степных лесов. С 1845 г. начато облесение Терско-Кумских песков в Ставрополье, с 1870 г. – Алешковских песков в низовьях Днепра и Арчединских песков в Придонуе (Виноградов, 1980). С 1884 г. по инициативе Н.К. Генко Удельное ведомство приступило к посадке широких лесных полос по водораздельным плато (сыртам) в Поволжье. До 1906 года их было создано свыше 18 тыс. га. В конце XIX в. ЗЛН были посажены на Кубани, в Саратовской, Самарской губерниях. В начале XX в. организуются песчано-овражные партии под руководством А.Н. Котякова. Ими проводятся работы по закреплению подвижных песков в Астраханской губернии, защите железных дорог от снежных и песчаных заносов, выращиванию леса в горах для предотвращения эрозии. Надо отметить, что даже во время Первой мировой войны царское правительство выделяло ежегодно 1 млн рублей золотом для работы этих партий (Кочерга, 1951; Макарычев, 1987). Не менее важное значение в истории развития лесных насаждений занимают труды Особой экспедиции Лесного департамента (1892–1899) по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России под руководством В.В. Докучаева. Так закладывались основы интегрального экологического изучения состояния степей и способов их облесения. В рамках проведения экспедиции были исследованы три участка (Хреновский, Старобельский и Велико-Анадольский). В пределах данных местностей были реализованы мероприятия по рациональному планированию исследуемой территории, высаживанию различных вариаций лесных насаждений. Кроме того, были выполнены работы по формированию искусственных облесенных водных объектов, орошаемых земель, угодий высокой продуктивности. Были впервые научно доказаны и аргументированы место и роль ЗЛН в аграрных системах.

В советский период ЗЛН становится планомерным государственным мероприятием по борьбе с засухой и эрозией почвы. В Постановлении Совета Труда и Оборона «О борьбе с засухой» от 29 апреля 1921 г. сказано: «Вменить в обязанность Центральному лесному отделу развить в государственном масштабе работы по: а) укреплению оврагов и песков путем древесных насаждений, в особенности в районах Саратовской, Самарской, Царицынской, Астраханской, Тульской и Донской областей; б) устройству снегосборных полос и изгородей; в) облесению вырубков, гарей и других безлесных пространств в засушливых районах, а также в верховьях и по берегам рек». В 1-ю пятилетку (1928–1932) было посажено 212 тыс. га лесных полос, во 2-ю (1933–1937) – 278 тыс. га. В Постановлении СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 26 октября 1938 «О мерах обеспечения устойчивого урожая в засушливых районах юго-востока СССР» была дана новая программа по выращиванию леса (в том числе полезащитных и других ЗЛН) в степи. До 1941 г. в СССР было создано свыше 900 тыс. га ЗЛН (Защитное лесоразведение ..., 1986). К сожалению, от этих посадок в Российской Федерации к настоящему времени осталось около 15 тыс. га. Часть ЗЛН, достигших предельного возраста, выпала,

часть уничтожена во время Великой Отечественной войны (ВОВ). Кстати, работы по посадкам лесополос велись в небольших объемах и во время ВОВ в регионах, не затронутых ею, и особенно вдоль каналов, железных дорог (Кочерга, 1951; Макарычев, 1987). Об этом также свидетельствует многочисленная газетная информация тех лет.

Наибольший размах ЗЛ получило в послевоенные годы. Тяжёлые последствия Великой Отечественной войны усугубились засухой в 1946 г. охватившей более 50% посевных площадей Советского Союза (Украину, Северный Кавказ, Черноземье, Поволжье, юг Западной Сибири, Казахстан). Последовавший в 1947 г. голод унёс жизни более 500 тыс. человек. Тогда по инициативе И.В. Сталина Советом Министров СССР и ЦК ВКП(б) 20 октября 1948 г. на основе разработанной с привлечением ученых из Академии наук СССР системы мероприятий было принято Постановление «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоёмов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». Проект получил второе неофициальное название: «Сталинский план преобразования природы». До сих пор он не имеет аналогов в мировой практике ни по комплексности мероприятий, ни по их масштабу. Главная идея этого обширного проекта заключалась в нескольких аспектах: борьба с засухой и опустыниванием обозначенных территорий в пределах степных и примыкающих участков, преодоление эрозии почв, предотвращение появления песчаных и пыльных бурь в южных районах СССР.

За 5 лет реализации плана в стране было высажено более 2.3 млн га леса, на сельскохозяйственных полях был создан экологический каркас из лесополос с включением в них 10–15% плодово-ягодных деревьев и кустарников (смородины, облепихи, вишни и других), склоны балок и оврагов, берега водоёмов обсажены деревьями и кустарниками, было создано свыше 13 тыс. прудов и водоёмов, заготовлено 6000 т семян древесных и кустарниковых пород. С 1948 по 1953 гг. в стране посадили леса в 2.5 раза больше, чем за предыдущие 25 лет. Осуществляемые мероприятия привели к росту урожайности зерновых на 25–30%, овощей – на 50–75%, трав – на 100–200% (по сравнению с урожаями на незащищенных полях). Удалось создать прочную кормовую базу для развития животноводства. Производство мяса и сала в 1951 г. по сравнению с 1948 г. возросло на 80%, в том числе свинины – на 100%, производство молока – на 65%, яиц – на 240%, шерсти – на 50% (Агролесомелиоративная наука..., 2001).

К сожалению, со смертью Сталина в 1953 г. реализация плана преобразования природы, разработанного до 1965 г., по распоряжению Н.С. Хрущева была прекращена.

Программу закрыли. Посаженные лесные полосы начали вырубаться, пруды и водоемы были заброшены и загрязнены, построенные лесомелиоративные станции закрыты. Следует отметить, что за годы советской власти партией и правительством СССР было принято 25 постановлений, касающихся в той или иной мере вопросов борьбы с засухой и деградацией земель, повышению урожаев, мелиорации и агролесомелиорации. Но ни одно из них не было выполнено полностью.

Тем не менее, полученный ранее опыт проведенных научных изысканий и производственных посадок аргументированно доказывает целесообразность комплексного расположения ЗЛН различных функциональных назначений. В качестве полученного результата территория с образованными устойчивыми, восстановленными или совершенно новыми агролесоландшафтами обладает высоким уровнем саморегуляции. Также важно учитывать масштабы распределения систем насаждений, чем больше площадь распространения, тем выше оказываемый положительный эффект. Так, при правильном размещении лесных полос и защитной лесистости полей севооборотов 1.5-3.0% эрозия и дефляция почвы снижаются до допустимых пределов, а при 4-8% полностью блокируются и предотвращается формирование пыльных бурь. Велико стимулирующее воздействие ЗЛН и на эффективность оросительных, химических и других базовых видов мелиорации. Средняя урожайность зерновых культур увеличивается на 18-23%, технических на 20-26%, кормовых на 29-41% (Агролесомелиорация, 2006).

Исходя из этого, агролесомелиорацию следует рассматривать как важный этап государственной стратегии сохранения окружающей среды, рационального использования и приумножения природно-ресурсного потенциала страны, а также как средство повышения эффективности реализуемых программ, направленных на решение проблем ее экологической и продовольственной безопасности, снижения уровня дискомфорта в местах работы и проживания людей, занятых в аграрном

производстве и других отраслях народного хозяйства на территории малолесных засушливых регионов. В этом отношении системы ЗЛН представляются как многофункциональные, долго действующие мелиоративные системы, эффективность работы которых находится в прямой зависимости от уровня их хозяйственного обслуживания (содержания). Чем суше климат, хуже качество почвенного покрова, сильнее техногенное загрязнение окружающей среды, тем сильнее их эффект.

Вместе с тем, несмотря на утвердившееся в XX в. понимание необходимости лесомелиоративного обустройства земель, финансирование затрат на ЗЛ осуществлялось по остаточному принципу. В результате старения и отмирания, повреждения пожарами, рубками значительно ухудшилось санитарное и функциональное состояние лесополос, накопился большой запас спелой и отмершей древесины. Инвентаризация ЗЛН не проводилась с 1975 г. Доля их на пашне и других ценных землях в структуре создаваемых насаждений постоянно снижалась, ослабевали лесоводственное внимание, контроль состояния и сохранности созданных насаждений, оказались разрушены организационные формы и вертикаль управления ЗЛ, прекращена подготовка специалистов, ослабла научно-исследовательская работа, не создана нравственная обстановка, закрепляющая в сознании людей и политике органов власти императивы бережного отношения к использованию земель и ЗЛН.

К концу 1991 г. на территории бывшего СССР имелось 5.6 млн га ЗЛН (без Государственных защитных лесных полос и других насаждений несельскохозяйственного назначения). В агрофере России (по государственной отчетности) на начало 1994 г. сохранилось 2750 тыс. га ЗЛН, в том числе 1008 тыс. га противоэрозионных, 1233 полезащитных, 97 на аридных пастбищах, 360 на песках и 52 тыс. га по берегам малых рек и вокруг поселков (Федеральная программа..., 1995). По экспертной оценке, на 2015 г. их насчитывалось 983, 1144, 57, 316, 60 тыс. га соответственно. По последнему показателю превышение достигнуто только в результате региональных, ежегодных кампаний по озеленению населенных пунктов. Исходя из необходимости целостного ландшафтно-системного обустройства аграрной территории России с учетом природно-географических и социально-производственных условий, существующей лесистости (в среднем 1.3%) и лесомелиоративной обеспеченности, определена площадь земель, подлежащих лесозащите (лесомелиоративный фонд). Она составляет 156 млн га, или около 75% всех сельскохозяйственных угодий. В составе лесомелиоративного фонда РФ около 100 млн га пашни, 54 млн га сенокосов и пастбищ, более 2 млн га песков и оврагов. В общей сложности на этой территории необходимо иметь около 7 млн га ЗЛН всех видов. Дополнительно к имеющимся нужно создать еще более 4.5 млн га (Стратегия..., 2018)..

В последние годы ФНЦ агроэкологии РАН проводит большую работу по отслеживанию динамики составляющих баланса углерода в агролесоландшафтах РФ. Регион исследований охватывает 6 природных зон. Рассчитано, в России под ЗЛН в слое 0–100 см накоплено 118.26 млн т гумуса, под лесомелиорированными сельскохозяйственными угодьями – 82.39 млн т, таким образом на всей площади депонировано 426.47 млн т углекислоты. Можно полагать, что если в полной мере будет реализована «Стратегия...», к 2035 г. эта величина может удвоиться (Кретинин и др., 2020).

Агролесомелиорация вынуждает организовывать полеводство и кормопроизводство применительно к жестко закрепленному лесонасаждениями членению территории, что налагает особую ответственность в их размещении и тем самым в какой-то мере регламентирует землепользование. Агролесомелиоративные комплексы наиболее эффективны при охвате водосборных бассейнов или районов дефляции и опустынивания целиком, независимо от границ хозяйств, районов или других административно-хозяйственных формирований. Только в этом случае можно рассчитывать на относительно быстрый и надежный положительный эффект.

Прошедшие десятилетия отчетливо показали, что появление в России разных форм собственности на землю не усилило заинтересованность землепользователей в охране и улучшении состояния насаждений. Системы ЗЛН, созданные на государственные средства на землях различного назначения, независимо от их нынешней имущественной принадлежности, по сути, остаются бесхозными. Попытки их передачи на баланс сельских органов самоуправления блокируются из-за отсутствия финансовых средств и производственных структур, способных обеспечить надлежащее содержание насаждений. Локальные инициативы власти и частного капитала навести порядок в

лесных полосах реализуются, как правило, без должного правового обоснования и гарантии лесоводственно-мелиоративной эффективности работ.

Таким образом, на территории России возникла крупная эколого-хозяйственная проблема, требующая соответствующих ее значимости государственных решений. Основные пути ее решения изложены в «Стратегии развития защитного лесоразведения в РФ на период до 2020 года», разработанной в 2008 г. Всероссийским научно-исследовательским институтом агролесомелиорации (до 2017 г. ВНИАЛМИ). Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН), доработанной в 2018 г. на период до 2030 г. и более длительную перспективу (Стратегия..., 2018).

В Стратегии указано, что в сложившихся условиях необходимо сделать следующее:

системы многофункциональных природных и искусственных лесонасаждений (агролесокомплексы) на территории засушливых малолесных территорий следует приравнять к крупным государственным инженерно-мелиоративным системам, гидроэнергетическим модулям, нуждающимся в стационарном хозяйственном управлении и строгом контроле качества их содержания и эксплуатации. Отметим, что недавно принятые поправки в Закон о мелиорации частично решили этот важный вопрос;

разработать и принять федеральные и региональные законы «О защитном лесоразведении» (или их аналоги), а также свод правил «Содержание защитных лесных насаждений», «Инструктивные указания по проектированию, созданию и содержанию защитных лесных насаждений», другие необходимые нормативно-правовые акты, определяющие долговременный порядок проведения работ по ЗЛ и ответственность за их выполнение;

образовать федеральный и территориальные органы управления ЗЛ в системе Министерства сельского хозяйства РФ или Рослесхоза и передать все виды ЗЛН, независимо от формы собственности, в оперативное управление этих органов;

образовать укомплектованные кадрами, материальными и техническими средствами государственные и частные производственные предприятия лесомелиоративного профиля, функционирующие на условиях долговременного государственного заказа;

создать базу безопасной и коммерчески выгодной утилизации древесных ресурсов ЗЛН;

обновить нормативно-методическую основу проектирования, создания и лесохозяйственного обслуживания защитных лесонасаждений;

Все эти задачи тесно взаимосвязаны и должны содержаться в одном пакете решений. Правовая база и соответствующие органы должны обеспечить централизованное управление финансовым, научным обеспечением, планированием, отводом земель, проектированием и выполнением всех видов работ по агролесомелиорации и ЗЛ, включая разработку и согласование генеральных схем и рабочих проектов на создание систем лесонасаждений, проектов организации и ведения в них лесного хозяйства, контроль качества работ, а также создать и обеспечить функционирование механизмов пропорциональной финансовой ответственности и заинтересованности землепользователей в целевом использовании лесонасаждений, повышении плодородия почвы, охране окружающей среды (Кулик, Манаенков, 2020).

Решение перечисленного комплекса задач позволит возродить государственную политику комплексной мелиорации и защиты сельскохозяйственных и других земель засушливого пояса России, перевода его промышленно-аграрного сектора в режим экологически безопасного, устойчивого и эффективного развития.

Вторая грандиозная проблема аграрного производства в России – деградация и опустынивание сельхозугодий. Она тесно связана с климатическими изменениями и ЗЛ, блокирующим эти явления.

Для аридных регионов Российской Федерации характерны длительные чрезмерные нагрузки скота на пастбищные земли, распашка легких почв, крайняя нестабильность погодно-климатических условий и частое проявление опасных природных явлений, которые по территориальному охвату и ущербу, наносимому различным отраслям народного хозяйства, имеют катастрофический характер (Виноградов и др., 1995; Деградация земель... 2019). Например, в Прикаспии – центре опустынивания европейской части аридного пояса РФ – достаточно четко выделяются четыре периода активизации антропогенного воздействия:

1. Ранняя пастушеская фаза, первое тысячелетие до н. э.;
2. Время расцвета Золотоордынского ханства (1200–1400 гг. н. э.);

3. Подъем хозяйственной деятельности в конце XIX и начале XX в.;

4. Интенсификация пастбищного использования земель, распашка целинных почв, развитие транспортных средств, строительство в 50–80-х годах прошлого столетия.

Как правило, периоды активной человеческой деятельности совпадали с ксеротермическими периодами, поэтому совместное их действие и вызвало катастрофические разрушения легких почв. Сильнейший всплеск дефляции произошел в конце XIX в. По Прикаспию ежегодный прирост площади подвижных песков составил в этот период 40 тыс. га (Гаель, 1973).

Две последние вспышки современной антропогенной деградации произошли уже с интервалом в четверть века: первую из них обусловили широкомасштабные работы, связанные с распашкой целинных земель в 50–60-х годах, а вторую – комплекс неадаптированных действий по интенсификации сельскохозяйственного производства в условиях периодической аридизации климата в 70–80-х годах минувшего столетия (Кузьмина, Трешкин, 2014). В настоящее время просматриваются контуры третьей вспышки деградации агроландшафтов, которая зарождается в результате практически бесконтрольного, непрофессионального и истощительного использования земель хозяйствующими субъектами, стремящимися получить максимальную прибыль без адекватного вклада в поддержание и наращивание их агроресурсного потенциала. Обозначились два макрорегиона обширного распространения антропогенного опустынивания: европейская часть аридного пояса с общей площадью около 700 тыс. км² и азиатская часть, охватывающая 1500 тыс. км², в границах указанных географических регионов имеется 108 млн га опустыненных сельхозугодий (Опустынивание..., 2007).

Во время последнего антропогенного пресса (70–80-е гг. XX столетия) на Черных землях в Калмыкии, Дагестане, Чечне, восточных районах Ставропольского края, Астраханской области и др., где пастбища занимают 80% сельхозугодий, в результате перевыпаса и их распашки скорость лавинообразного опустынивания достигала свыше 50 тыс. га в год (Кулик, 2004; Виноградов и др. 2000). И без того малопродуктивные пастбища превращались в подвижные пески и «скальпированные» земли, где почвенные горизонты были выдуты до материнской породы. Возникла европейская пустыня, и потребовались большие усилия науки и практики для обуздания этого беспрецедентного явления, спровоцированного человеком.

Правительство вынуждено было ввести в регионе чрезвычайные организационно-мелиоративные меры (вывод скота, фитомелиорация, орошение, обводнение и др.). Было принято постановление «О разработке Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черноземельских и Кизлярских пастбищ» (Генеральная схема..., 1986). Привлекло внимание директивных органов и то обстоятельство, что здесь эффективно использовались бывшие очаги опустынивания, ранее трансформированные по технологиям ВНИАЛМИ в стабильно продуцирующие, зоотехнически комфортные лесопастбища. Было подсчитано, что 1 га лесопастбищ защищает от дефляции 24 га естественных кормовых угодий (Манаенков, 2014). Надо отметить, что работы по закреплению подвижных песков в регионе начали проводиться лесоводами с начала XX в. и были успешными (Терские, Бажиганские и Астраханские песчаные арены). Некоторые посадки сохранились до настоящего времени (Kulik K. N., Kulik K.D., 2021). Большой объем таких насаждений был осуществлен во время выполнения вышеупомянутого «плана преобразования природы» 1948 г.

Учеными-лесомелиораторами были разработаны и предложены к практике новые методы закрепления песков в зависимости от расчлененности рельефа, массы эолового материала, глубины залегания и минерализации грунтовых вод, подобран адаптированный набор фитомелиорантов и т.д. Также Генеральной схемой предусматривался целый комплекс организационных мероприятий по борьбе с опустыниванием, в том числе вывод скота с деградированных пастбищ и строительство помещений для него, огораживание пастбищ, работы по их обводнению и коренному улучшению, орошаемое кормопроизводство, создание лесомелиоративных станций, закрепление песков и др. Можно констатировать, что пескозакрепительные работы в случае выполнения их на должном уровне обеспечивают закрепление песков в течение 2-3 лет. Основной пик работ пришелся на первые шесть лет реализации Генеральной схемы. За это время были выполнены агролесомелиоративные работы на площади 709 тыс. га, закреплено более 400 тыс. га подвижных песков и передано в эксплуатацию более 250 тыс. га восстановленных, дефляционно-устойчивых древесно-кустарниковых лесопастбищ. Производительность этих угодий достигает 0.8–1.2 т/га, что в 2 раза превышает продуктивность естественных пастбищ. В результате удалось стабилизировать процесс опустынивания и обратить его

вспять, а пастбищное природопользование приобрело регулируемый характер (Кулик, Петров, 2016).

В период 1995–2000 гг. началось активное сотрудничество ученых России с международными организациями по разработке программ по борьбе с опустыниванием в рамках проекта ЮНЕП «Поддержка деятельности по борьбе с опустыниванием в странах СНГ». Итогом этого сотрудничества с ЮНЕП и Центром международных проектов Госкомэкологии РФ и при их финансовой поддержке были опубликованы шесть субрегиональных национальных программ действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО): для Республики Калмыкия, юго-востока европейской части России (Самарская, Саратовская, Волгоградская и Астраханская области, Республик Татарстан), Северного Кавказа (Ростовская область, Ставропольский край и Дагестан), юга Западной Сибири (в пределах Алтайского края и Новосибирской области), Средней Сибири (Республик Хакасия и Тыва и 12 южных районов Красноярского края) и Восточной Сибири (Республика Бурятия, Читинская область и Агинский Бурятский автономный округ). Также в рамках этого проекта на базе ВНИАЛМИ Российской академии сельскохозяйственных наук и других исполнителей проводились координационные совещания по разработке этих документов. Основными исполнителями проекта являлись ВНИАЛМИ, выполнивший подготовку всех НПДБО по европейской части и по Западной Сибири и осуществлявший общее методическое руководство работами, Институт географии РАН, Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук – по югу Средней Сибири и Байкальский объединенный институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук – по югу Восточной Сибири. Исследования, проведенные при подготовке НПДБО, охватили 16 субъектов РФ, затронутых опустыниванием, и показали важнейшее значение проблемы опустынивания для России, позволили оценить экологические, социальные и экономические последствия опустынивания, выявить наиболее важные направления деятельности по борьбе с ним (Национальная программа..., 1995; Субрегиональная национальная ..., 1999). Кроме того, на базе ВНИАЛМИ Центр межотраслевых процессов организовал международные курсы специалистов по темам: «Охрана и использование сельхозземель, подверженных засолению» (1994); «Восстановление и использование эродированных земель» (1997); «Антропогенная деградация ландшафтов и экологическая безопасность» (1999).

Прошло 35 лет и проблемы остались на том же уровне. Увеличилось количество скота (причем даже выше уровня 80-х гг.). Площадь выпасов в регионе уменьшилась примерно на 200 тыс. га за счет организации заповедника и заказников. В результате плотность скота увеличилась до 4–6 голов овец на гектар при норме 0.5 овцы. Усилилась аридизация климата, участились засухи, стали чаще возникать пыльные бури, перенос песка и т.д. (Золотокрылин и др., 2013; Шинкаренко и др., 2020). Резко сократились объемы работ по фитомелиорации. Причем с 2002 г. полностью прекратились работы по коренному улучшению пастбищ на твердых землях и скальпированных участках (рис.). Сбой пастбищ привел к той же ситуации, что была в прошлом.

Со времени издания НПДБО прошло 22 года. В стране существенно изменились природные и социально-экономические условия, землепользование, география опустынивания. Появились новые законодательные акты, связанные с этой проблематикой. Поэтому необходимость пересмотра изложенных в то время некоторых положений и позиций на основе современных знаний, понятийного аппарата, прогрессивных методов исследований и приборного оборудования стала очевидной. В этой связи необходимо срочным образом начать разработку новой программы/плана действий, аналогичной с Генеральной схемой или НПДБО для регионов, подверженных опустыниванию. При этом необходимо учесть изменение природно-климатических условий, современные экономические реалии и риски, новую нормативно-законодательную базу и ошибки которые были сделаны ранее. В конечном счете, это должно вылиться в Федеральную программу борьбы с опустыниванием в РФ. Научная и производственная базы под этот проект в России имеются.

Учеными ВНИАЛМИ разработаны качественные и количественные критерии степени деградации и опустынивания пастбищ, определяющие состояние территории на момент оценки.

Методология строится на расчете индексов деградации (ИД), отражающих по 100-балльной шкале степень опустынивания территории, поражения ее той или иной формой деградации – дефлированность (ИДд), эродированность (ИДэ), засоленность (ИДз), или поврежденность несколькими формами опустынивания ИДд+ИДэ (Субрегиональная национальная ..., 1999). Под пастбища отводят обычно самые бесплодные, «хрупкие» территории с бедными, часто легкими почвами. Поэтому они занимают самые засоленные, дефлированные и эродированные земли. Эта тенденция

характерна для европейской части аридного пояса, где средние показатели по индексам деградации пашни и сенокосов равны 39 и 32 баллам, а на пастбищах достигают 66 баллов. Суммарный индекс опустынивания в регионе может достигать более 100 баллов.

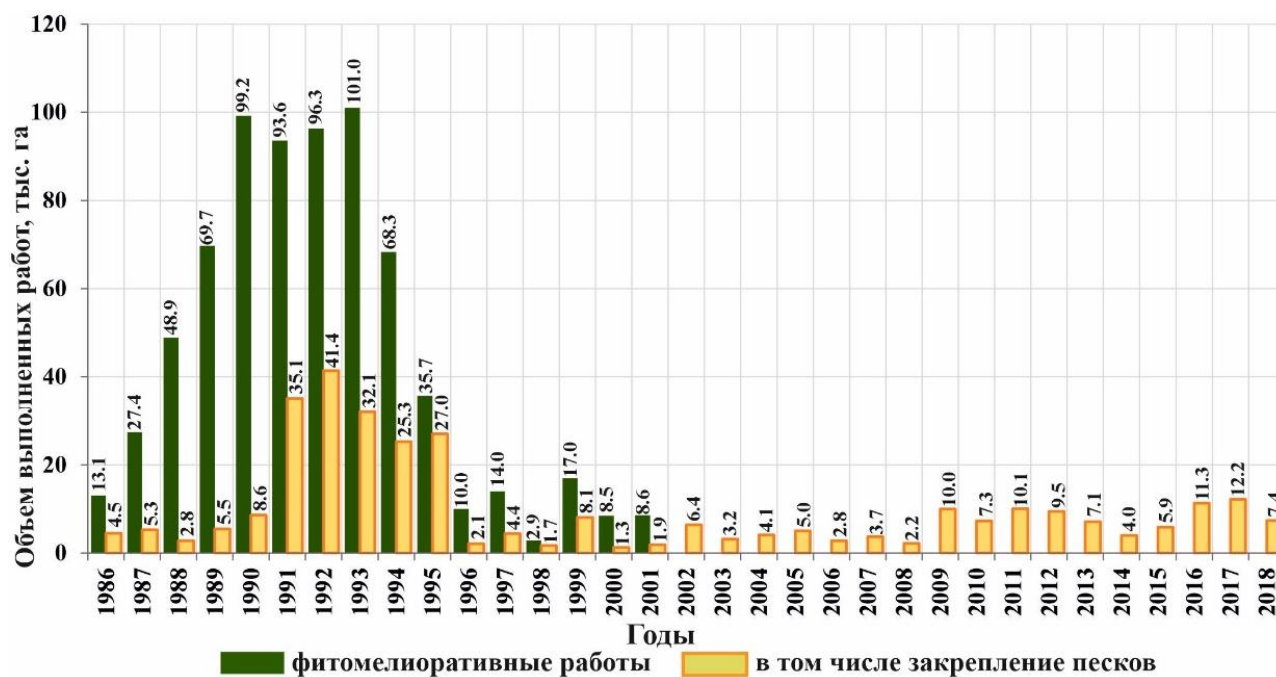


Рис. Объемы работ по фитомелиорации в регионе (Республики Калмыкия, Дагестан, Чечня, Астраханская обл.).

Применение данных дистанционного зондирования для всесторонней оценки процессов опустынивания резко повышают оперативность снятия данных и ее эффективность. Так, состояние растительности пастбищных фитоценозов с использованием спектрально-аэрокосмических снимков проводится по значениям нормализованного дифференцированного вегетативного индекса (NDVI). Значения от 0 до 0.2 соответствуют уровню деградации «бедствие», от 0.2 до 0.4 уровню «кризис», от 0.4 до 0.7 «риск», выше 0.7 уровню «норма» (Кулик и др., 2013). С учетом основных показателей деградации пастбищ от дефляции разработана шкала критериев, по которой возможно определение количественных и качественных показателей этого процесса, как по результатам наземных исследований, так и по аэрокосмическим снимкам (Виноградов, 1998).

На основании геоинформационных исследований территории Астраханской области по спектрально-аэрокосмическим снимкам за май-июнь 2018 г. разработана карта уровней деградации ее территории. Установлено, что на площади 2.8 млн га (без учета территории поймы) около 36% относятся к уровню деградации «бедствие», 28% – «кризис», 22% – «риск» и 14% – к уровню «норма». На территории Калмыкии общей площадью чуть менее 7.5 млн га, около 26% относится к уровню «бедствие», 34% – «кризис», 22% – «риск» и только 14% можно отнести к «норме» (Национальный доклад..., 2019).

Опустыненные пастбища в большей мере страдают от засоления и дефляции. Этими формами деградации затронуты в различной степени 83% угодий региона. Поддержание экологического равновесия, продуктивного потенциала пастбищных экосистем и восстановление их биоразнообразия является фундаментальной задачей, определяющей экологическое восстановление деградированной их части на основе выполнения комплекса фитомелиоративных работ. Лесорастительный (фитоэкологический) потенциал аридных пастбищ России широко варьирует по территории и определяется рядом факторов. Важнейшими из них являются увлажненность территории атмосферными осадками, минеральная обеспеченность почвогрунта, наличие и доступность дополнительных источников водопитания. На основе этих показателей учеными ФНЦ агроэкологии РАН разработана усовершенствованная лесомелиоративная классификация пастбищ по фитоэкологическим условиям и степени их деградации, учитывающая как основные, так и

сопутствующие факторы и условия в таксономических единицах, определяющие фитоэкологические, биологические и лесокультурные особенности адаптивного комплекса лесомелиоративных мероприятий, и составлена лесомелиоративная карта региона (Кулик, 2004,. Методические рекомендации..., 2021).

Проведенные исследования позволили ФНЦ агроэкологии РАН по заданию Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в 2019–2020 гг. разработать 6 инновационных экологически безопасных ресурсосберегающих технологий фитомелиоративной реконструкции и реабилитации деградированных и опустыненных пастбищ. Для каждой технологии также представлены технологические карты и расчет затрат на проведение фитомелиоративных работ (Методические рекомендации..., 2021). Производители уже сейчас могут по ним работать. Кратко остановимся на них.

Технология фитомелиорации деструктивных эколого-морфологических областей современных очагов дефляции. Мелиоративно-кормовые насаждения создают посадкой однолетних стандартных семян терескена серого ранней весной, осенью или зимой (в оттепель). Под защитой свежих борозд-валов проводят ленточные (шириной 2–3 м) посевы семян ценных кормовых растений в разброс с одновременной заделкой их в почву.

Технология фитомелиорации барханных эколого-морфологических областей современных очагов дефляции. Технологию дифференцируют в зависимости от объема подвижного песка и размещения барханных цепей по территории области. Работы начинают с создания противодефляционных (защитных) кулис кияка. Насаждения создают в виде куртин.

Технология закрепления мелкобарханных песков азросевом. При необходимости быстрого подавления дефляции и блокирования развития крупных очагов, угрожающих разрушением населенных пунктов, важных хозяйственных объектов, мелкобарханные пески на связных подстилающих породах закрепляют чистыми посевами кияка с использованием авиации.

Технология создания мелиоративно-кормовых насаждений на мелкобугристых песках полупустыни и пустыни с деградированным растительным покровом. На таких пастбищах мелиоративно-кормовые насаждения создают без предварительной обработки почвы весенней посадкой однолетних семян терескена серого.

Технология облесения пастбищ на рыхлых средне-и высокобугристых песках и песчаных отложениях древних очагов дефляции. Такие пастбища с разреженным растительным покровом и корнедоступной грунтовой водой, производят посадку куртинно-колковым методом.

Технология создания долговечных затишковых, защитно-теневых, озеленительных и других лесных насаждений на пастбищах с незаселенными и слабозаселенными зональными и темноцветными почвами.

Таким образом, сегодня главной задачей является определение и формулировка концепции борьбы с опустыниванием на основе всестороннего учета закономерностей функционирования агроландшафтов. Проблема опустынивания имеет многофакторный характер. Поэтому при разработке программы действий по борьбе с ней необходимо учитывать причинно-следственные связи взаимодействия природных и антропогенных факторов.

Сложившаяся ситуация с резким усилением деградации и опустынивания земель в засушливых регионах, изменение климата, принципиальная позиция ученых, производителей, общественности и депутатов, подвигла правительство Российской Федерации принять стратегически важное постановление от 14 мая 2021 г. о создании Центра по борьбе с опустыниванием в Волгограде, на базе ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН. Главная задача Центра – координация усилий науки и практики в решении основного вопроса сельскохозяйственного производства – обеспечение продовольственной и экологической безопасности страны.

Выводы

ЗЛ и агролесомелиорацию следует рассматривать как важный элемент государственной стратегии сохранения окружающей среды, рационального использования и приумножения природно-ресурсного потенциала страны, а также как средство повышения эффективности реализуемых программ, направленных на решение проблем ее экологической и продовольственной безопасности, снижения уровня дискомфорта в местах работы и проживания людей, занятых в аграрном производстве и других отраслях народного хозяйства на территории малолесных засушливых регионов. В этом отношении системы ЗЛН представляются как многофункциональные, долго

действующие мелиоративные системы, эффективность работы которых находится в прямой зависимости от уровня их хозяйственного обслуживания (содержания).

Анализ факторов и скорости процессов опустынивания агроландшафтов указывает на основную причину возникновения этого явления. В условиях глобальных и региональных изменений климата оно происходит в основном в результате техногенного пресса и нерегламентированной пастбищной нагрузки. Территория РФ, подверженная деградации и опустыниванию, отличается контрастностью природных условий и степенью антропогенной нагрузки. Климат меняется от острозасушливого до умеренного, почвы – от открытых песков до средне- и тяжелосуглинистых черноземов и серых лесных, рельеф – от горных ущелий до равнин и низин. Для предотвращения опустынивания необходимо реализовать комплекс мер, которые должны быть дифференцированы по этим условиям и учитывали все многообразие факторов, обуславливающих деградацию земель, обеспечивающих щадящий режим использования угодий, расширенное воспроизводство плодородия почвы, совершенствование структуры посевных площадей, применение травопольных севооборотов, агролесомелиорации и фитомелиорации, внесение органических и минеральных удобрений и, в конечном счете, применение адаптивно-ландшафтных технологий возделывания сельскохозяйственных растений и повышение общей культуры ведения хозяйственной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агролесомелиоративная наука в XX веке. 2001. Волгоград: ВНИАЛМИ. 366 с.
- Агролесомелиорация. 2006/ Под ред. акад. РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ. 746 с.
- Альбенский А.В. 1971. Сельское хозяйство и защитное лесоразведение. М. 279 с.
- Беляев А.И., Кулик К.Н., Манаенков А.С., Петров В.И., Юферев В.Г., Ольгаренко Г.В., Болаев Б.К., Пугачёва А.М., Рыбашлыкова Л.П., Власенко М.В., Корнеева Е.А., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. 2021. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными, экологически безопасными, ресурсосберегающими технологиями. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 68 с.
- Виноградов В.Н. 1980. Освоение песков. М. 272 с.
- Виноградов Б.В. 1998. Основы ландшафтной экологии. М.: Геос. 418 с.
- Виноградов Б.В., Капцов А.Н., Кулик К.Н. 1995. Прогнозирование динамики разбитых песков Черных земель Калмыкии по обучающей последовательности аэрокосмических снимков // Аридные экосистемы. Т. 1. № 1. С. 62-77.
- Виноградов Б.В., Кошель С.М., Кулик К.Н. 2000. Прогнозирование пространственно-временной динамики экосистем методом универсального кригинга // Экология. № 5. С. 323-332.
- Гаель А.Г. 1973. Об использовании Черноземельских пастбищ в Калмыкии // Эрозия и русловые процессы. Вып. №3. С. 198-218.
- Генеральная схема по борьбе с опустыниванием Черных Земель и Кизлярских пастбищ. 1986. Ростов-на-Дону: ЮжНИИгипрозем. 61 с.
- Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу и поиску путей решения. 2019/ Гл. ред. Г.С. Куст. М.: Изд-во «Перо». 235 с.
- Защитное лесоразведение в СССР. 1986/ Под ред. Е.С. Павловского. М. 264 с.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Уланова С.С., Федорова Н.Л. 2013. Наземные и спутниковые исследования продуктивности пастбищ Республики Калмыкии с различной степенью деградации растительных сообществ // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4(57). С. 31-39.
- Кочерга Ф.К. 1951. Укрепление и облесение горных склонов Средней Азии. М. – Л.: Гослесбумиздат. 100 с.
- Кретьинин В.М., Кулик К.Н., Кошелев А.В. 2020. Агролесомелиоративное почвоведение: развитие, достижения, задачи // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. № 1. С. 23-26.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3(60). С. 14-32.
- Кулик К.Н. 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 248 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. 2013. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. Т. 19. № 4. С. 91-98.
- Кулик К.Н., Петров В.И. 2016. История и современность «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 67. С. 94-97.
- Кулик К.Н., Иванов А.Л., Рулев А.С., Свинцов И.П., Павловский Е.С., Петров В.И., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Васильев Ю.И., Жданов Ю.М., Зыков И.Г., Кулик Н.Ф., Крючков С.Н., Маланина З.И., Семенютина А.В.,

- Сухоруких Ю.И., Шульга В. Д., Юферев В.Г.* 2018. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года, перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 36 с.
- Кулик К. Н., Манаенков А. С.* 2020. Опустынивание и защитное лесоразведение. Вызовы. Стратегия взаимодействия // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: материалы Международ. науч.-практ. конф. М.: МАКС Пресс. С. 17-22.
- Кулик К.Н., Павловский Е.С., Петров В.И., Кружилин И.П., Манаенков А.С., Габунцина Э.Б., Куст Г.С., Савостьянов В.К., Тулохонов А.К.* 2007. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 86 с.
- Макарычев Н.Т.* 1987. Лесомелиоративные основы защиты железных дорог от снежных заносов. Дисс. ... д. с.-х. н. в форме научного доклада: 06.03.04. Волгоград. 49 с.
- Манаенков А. С.* 2014. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 420 с.
- Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) в Калмыкии. 1995. Элиста: ЮжНИИгипрозем. 179 с
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)». Т. 2. 2019/ Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: ООО «Изд-во МБА». 476 с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявление засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». 2021 / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. ООО «Изд-во МБА». 700 с.
- Субрегиональная национальная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) для юго-востока европейской части Российской Федерации. 1999 / Под ред. Е.С. Павловского, К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ. 314 с.
- Федеральная программа развития агролесомелиоративных работ в России. 1995. Волгоград: ВНИАЛМИ. 245 с.
- Шинкаренко С.С.* 2019. Пространственно-временная динамика опустынивания на Чёрных землях Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса Т. 16. № 6. С. 155-168.
- Энциклопедия агролесомелиорации. 2004/ Сост. и гл. ред. Е. С. Павловский. Волгоград: ВНИАЛМИ. 680 с.
- Kulik K.N., Kulik K.D.* 2021. The historical and present-day forest amelioration in the Northern Pre-Caspian Region. IOP Conf. Series Earth and Environmental Science 817, Ninth International Symposium «Steppes of Northern Eurasia» 7-11 June 2021, Orenburg, Russian Federation. Citation K N Kulik and K D Kulik 2021. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 817 01205

ЛЕСОПАСТБИЩНОЕ ОСВОЕНИЕ
ОПУСТЫНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИКАСПИЯ

© 2023 г. А.С. Манаенков*, Л.П. Рыбашлыкова*, С.Н. Сивцева**, Т.Ф. Маховикова**

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: ludda4ka@mail.ru

**Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 356890, Ставропольский край, с. Ачикулак, ул. Пролетарская, 10

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Современное использование равнинных пастбищ Прикаспия сопровождается вспышками дефляции легких почв, образованием барханных и слабозаросших бугристых песков, снижением продуктивности и противодефляционной устойчивости природных кормовых угодий. В минувшем столетии в сухих субгумидных районах Ногайской степи сложилась практика лесомелиоративной трансформации таких песков в лесопастбища с кулисным, узкополосным и диффузным размещением древесного яруса. Преимущество получило создание и естественное распространение насаждений робинии (*Robinia pseudoacacia* L.) и вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.). Лесопастбища образуют нетрадиционные экологически емкие и устойчивые ландшафты, привлекательные как для выпаса домашних, так и обитания диких животных. Представлены результаты изучения состояния лесонасаждений, продуктивности, структуры и питательности корма лесопастбищных угодий, созданных на Бажиганском песчаном массиве и подверженных многолетнему ненормированному выпасу крупного и мелкого скота. Исследования проводились в 2018–2021 гг. с использованием общепринятых методов в лесной таксации и геоботаники. Установлено, что в 20–35 лет насаждения вяза и робинии достигают высоты 5.5–12.0 м, надежно защищают почву от дефляции, животных от перегрева и продуцируют дополнительный корм. Запасы корма в лесопастбищах складываются из урожая трав под пологом насаждений (в основном эфемеров), доступной древесной зелени, питательность которой не уступает питательности доминантных видов травостоя природных пастбищ, и подножной фитомассы открытых участков угодий. Суммарная кормоемкость лесопастбищ до 6 раз выше кормоемкости природных пастбищ, меньше зависит от погодных условий и позволяет в 2–3 раза увеличивать безопасную пастбищную нагрузку, поголовье выпасаемого скота, эффективность животноводства на базе подножного корма. При научно-обоснованном расходе корма на 1 кг привеса крупного рогатого скота (КРС) 100 га лесопастбищ позволяют дополнительно получать в среднем около 5 т говядины или 750 тыс. руб. дохода в год (в ценах 2021 г.).

Ключевые слова: Прикаспий, природные пастбища, опустынивание, пески, лесная мелиорация.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-15-24

EDN: CZNHXB

Многолетняя нерациональная сельскохозяйственная эксплуатация земель Прикаспия привела к значительному изменению многих элементов природного ландшафта, существенным потерям в биологическом и экологическом многообразии, обеднению флоры и фауны на обширной территории. Современные системы и формы ведения сельского хозяйства объективно способствуют еще более значительному росту негативного воздействия на природу. Распаханность земель в сухих субгумидных районах достигла 70–80%. В семиаридном поясе значительные площади земель засолены, естественные пастбища перегружены скотом и на большой площади подвержены изодинамическим процессам опустынивания (Кулик, 2004; Зволинский и др., 2000; Петров и др., 2016; Кулик и др., 2018). Бессистемный выпас животных на одних и тех же участках с ранней весны и

до глубокой осени, а в ряде районов и зимой, за относительно короткое время приводит к выпадению из травостоя охотно поедаемых видов семейства *Poaceae*, *Fabaceae*, *Brassicaceae*, к изреживанию растительного покрова, зарастанию пастбищ сорными и непоедаемыми растениями (*Euphorbia virgata* Waldst, *Anabasis aphylla* L., *Peganum harmala* L. и др.), к развитию ветровой эрозии и потере хозяйственной ценности крупных массивов природных кормовых угодий, поиску альтернативных источников пастбищного корма, резкому сокращению поголовья скота в засушливые годы (Федорова, 2011; Вдовенко, 2016; Булахтина и др., 2018).

Так, на территории Астраханской, Волгоградской областей, Республики Калмыкия, республик Восточного Предкавказья и Ставропольского края периодически возникает от 0.5 до 1.5 млн га и более барханных песков, лишенных растительности («скальпированных»), податливых дефляции земель. Лишь отдельные очаги развееваемых песков – древние коренные образования, а их подавляющая часть – производные, антропогенные, возникшие в результате нерационального природопользования (Кулик, Петров, 1999; Манаенков, 2018; Дедова и др., 2020).

Доступным и эффективным средством предупреждения деградации пастбищных экосистем и восстановления растительного покрова является лесная и лугопастбищная мелиорация в сочетании с упорядочением режимов эксплуатации угодий (Манаенков, 1993; Кулик и др., 2008; Djanibekov et al., 2012). Так, в 80–90-е годы прошлого столетия в наиболее засушливых (семиаридных) районах Прикаспийской низменности (Черные земли, восточные районы Дагестана) было мелиорировано более 400 тыс. га опустыненных земель, возникших вследствие распашки и перевыпаса на пастбищах с легкими зональными почвами (Петров, 2003). На них сформировались сложные многоярусные растительные ценозы, включающие различные растительные формы. Они запустили механизм самозарастания очагов дефляции и функционируют уже 30–40 лет, обладая более высокой стабильностью и продуктивностью подножного корма в сравнении с окружающими природными угодьями (Манаенков, 1993; Радочинская, 2017; Радочинская и др., 2019; Манаенков, Рыбашлыкова, 2020).

В сухих субгумидных и переходных районах с относительно благоприятным водным режимом эффективным средством закрепления подвижных песков, интенсивного использования восстановленных земель является лесная мелиорация с использованием высокорослых древесных пород: робинии (*Robinia pseudoacacia* L.), вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don), тополя (*Populus nigra* L.) и других (Смирнов, 1963; Петров, 2001; Кулик и др., 2021). Они формируют насаждения, которые не только надежно предупреждают дефляцию, существенно улучшают условия регенерации травянистого покрова, содержания скота, но и сами являются источником страхового запаса корма. Под защитой древесного яруса на 7–15% повышаются привесы взрослого поголовья овец, на 12–14% ягнят, 2–6% сохранность поголовья молодняка и овцематок (Маттис и др., 1984). Кроме того радикально расширяются функциональные, зооэкологические и природоохранные возможности ландшафта, возрастает его социальная значимость.

Создание лесопастбищ в Прикаспии на Терско–Кумских полиминеральных песках насчитывает многие десятилетия. Наиболее активно эти работы велись в предвоенные и 3–4 десятилетия в послевоенные годы. Насаждения преимущественно закладывали на предварительно закрепленных кустарниково-травяной мелиорацией и полузаросших бугристых, глубоко увлажненных песках рядовой посадкой сеянцев в виде однородных массивов, широких (50 м) и узких (16 м) полос. Полосные насаждения размещали через 50 м друг от друга в основном из робинии и вяза приземистого. Обработка почвы под лесные культуры заключалась в зяблевой вспашке на глубину 27–30 см, ранневесенней предпосадочной культивации и бороновании зяби. Посадка проводилась тракторным агрегатом (ДТ-75 + СЛЧ-1) при строгом соблюдении прямолинейности рядов крупными сеянцами (высотой 1.2–1.5 м, диаметром в нижней части стволика более 5 мм и хорошо развитой корневой системой) с заглублением корневой шейки на 10–15 см и отаптыванием почвы следом за проходом агрегата. Дополнение отпавших растений проводили в первый год теми же породами. Уходы за почвой в насаждениях вели до смыкания крон путем культивации междурядий и прополки сорняков в рядах по схеме 3-2-1-1 (Язан, 1955).

Перечисленные приемы агротехники способствуют накоплению влаги в верхнем (1.0–1.5 м) слое почвогрунта, обеспечивают высокую приживаемость и развитие лесных культур в первые годы жизни. В последующие 10–15 лет молодые насаждения питаются за счет влаги атмосферных осадков текущего периода, буферных запасов почвенно-грунтовой влаги и линз пресной и

слабоминерализованной грунтовой воды, сформировавшихся в период пребывания песков в подвижном и слабозаросшем состоянии. В этот период посадки быстро растут и развиваются (Манаенков и др., 2010). В дальнейшем запасы влаги исчезают, почвогрунт на значительную глубину увлажняется только в период безлиственного состояния насаждений (осенью и зимой), когда в промачиваемом атмосферными осадками слое накапливается 100–200 мм доступной влаги, и древостой начинают страдать от ее недостатка, сокращают прирост и постепенно отмирают. Насаждения, длительное время питающиеся пресной грунтовой водой, живут 40–50 лет и достигают высоты 15–18 м (Кулик, 1963). Но и на более сухих и засоленных песках их высота составляет 6–8 м, а долговечность семенного поколения – 30–40 лет. Практически до конца жизни эти насаждения служат источником семян, сохраняют способность к порослевому возобновлению, что позволяет на длительный период коренным образом преобразовывать однообразные пастбищные пейзажи.

Так, в результате выполнения перечисленных работ на большой площади (свыше 20 тыс. га) ранее разбитых малопродуктивных песков Бажиганского, Терского и других песчаных массивов Ногайской степи сформировались рукотворные лесопастбищные угодья, надежно функционирующие более 30–50 лет.

Вязовые редкостойные («саванные») насаждения сформировались из самосева на небольшом удалении от материнских насаждений (первого поколения). «Саванные» насаждения робинии созданы после возобновительных рубок в древостоях порослевого поколения.

В связи с организационно-правовыми проблемами, возникшими у Ачикулакской научно-исследовательской лесоаграрной опытной станции (НИЛОС) – ныне Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук в сфере лесных отношений, большой массив лесопастбищ на Бажиганских песках лишился охраны и не менее 1.5 десятков лет подвергается нещадной пастбищной эксплуатации. Неконтролируемое частное поголовье КРС, лошадей и мелкого скота обрели здесь почти круглогодичное содержание. Травянистый покров и доступная веточная масса стравливаются с ранней весны и до наступления устойчивых холодов, что затрудняет восстановление пастбищных экосистем и учет использованного корма.

Цель настоящего исследования – провести комплексную оценку противодефляционной устойчивости, привлекательности и кормовой продуктивности лесопастбищных угодий на песках засушливой зоны.

Материалы и методы

Объекты исследования – лесопастбища с полосными, «саванными» чистыми насаждениями и природные кормовые угодья в режиме эксплуатации на песках Бажиганского массива, расположенные в Нефтекумском районе Ставропольского края (на 1-й лесной даче Ачикулакской НИЛОС 44°48'06"-44°55'26" с.ш., 45°09'71"-45°17'27" в.д.).

Широкополосные (кулисные) насаждения из робинии и вяза ориентированы с севера на юг. С запада и востока к ним примыкают покрытые травостоем пространства такой же ширины. Кулисы были заложены Ачикулакской научно-исследовательской лесоаграрной опытной станцией в 1989 г. 2-летними сеянцами с размещением посадочных мест 4.0×0.8–1.0 м. Состояние лесонасаждений удовлетворительное. Межполосные пространства (занимают около 50% площади современного лесопастбища) ранее использовались под бахчеводство, а с 2000 г. – под пастбищные угодья с круглогодичным выпасом овец.

Узкополосные (пастбищезащитные 4-рядные) насаждения из тех же пород заложены весной 1983 г. по схеме 4.0×1.0 м. Сохранилось до 400 деревьев на гектар. Состояние древостоя удовлетворительное. Межполосные пространства шириной около 50 м (занимают 2/3 площади) использовались под бахчеводство, последние 1.0–1.5 десятилетия – под пастбищные угодья с круглосуточным, чрезмерным выпасом овец и КРС.

Возраст «саванных» насаждений вяза – 30 лет. Состояние их здоровое, много самосева. До поселения вяза территория использовалась под виноградники. В последующем – это пастбище с круглогодичным, неурегулированным выпасом овец.

«Саванные» насаждения акации заложены в 1958 г. посадкой сеянцев под меч «Колесова». Изначально редкостойное массивное насаждение использовалось под выпас овец и КРС, в последние годы – неконтролируемый выпас КРС.

Природные кормовые угодья представляют собой открытые участки пастбищ. Они имеют большое значение в кормовом балансе животноводства, но вследствие нерационального использования сильно деградированы и не удовлетворяют потребности животных в подножном корме в течение всего сезона выпаса.

В покрове этих пастбищ господствуют злаково-разнотравные ассоциации с большой долей рудеральных, ядовитых и мало поедаемых растений.

Исследования проводились в 2018-2021 гг. Характеристика климата и погодных условий периода исследований приводится по данным метеостанции г. Нефтекумск. Таксационные характеристики насаждений изучали на пробных площадях с использованием общепринятых в лесной таксации методов (Анучин, 1971; Битвинскас, 1974). Лесорастительные условия – по данным научных отчетов Ачикулакской НИЛОС и методом бурового зондирования почвогрунта с отбором образцов почвы и грунтовой воды на анализы. Запас веточно-листового корма определяли до высоты срамливания 1.5–1.7 м. Кормовую продуктивность (в пересчете на сено) и видовой состав травостоя определяли в межполосных пространствах и под пологом лесонасаждений в период вегетации (весна, лето, осень). На площадках размером 100 м² в разрезе различных типов насаждений и на необлесенных пастбищах проводился весь комплекс работ, предусмотренный типовой методикой геоботанических исследований (Braun-Blanquet, 1964; Исследования..., 1973; Cherepanov, 2007). На всех объектах были огорожены участки-заповедники, изолированные от выпаса, где укосным методом проводили учеты потенциального запаса поедаемого корма. Оценку качества травянистого и веточно-листового корма проводили в агрохимической лаборатории «Прикумская» г. Буденновска. Данные полевых наблюдений (измерений) обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ для ЭВМ (Excel 2020 и Statistica версии 5.0).

Результаты и обсуждение

Климат и погодные условия периода исследований. Бажиганский песчаный массив расположен в переходном поясе сухая степь – полупустыня. Это высоко теплообеспеченная, безлесная, исконно пастбищная территория, подверженная периодической эоловой трансформации почвенного покрова и глубокому увлажнению атмосферными осадками. Норма осадков 350–370 мм/год ($\pm 30\%$ и более) с максимумом их суммы в мае – сентябре. Продолжительность безморозного периода 170–190 дней, испаряемость 800–900 мм/год, ГТК 0.3–0.7. Для этой территории характерны также малоснежье, частые оттепели зимой и повышенная ветровая активность в короткий (март – апрель) весенний период. На питание сомкнутых древостоев и плотного травянистого покрова здесь может использоваться в среднем 150–200 мм осадков с большими колебаниями по годам. Летние дожди носят ливневый характер и выпадают в первую половину лета. Самый сухой период года – вторая половина лета (июль – август). К концу мая степи часто выгорают и только в августе – начале сентября вновь наступает похолодание, выпадают дожди, создаются благоприятные условия для развития отавы трав.

Погодные условия периода исследований отличались большой неоднородностью. Наиболее засушливыми вегетационные периоды сложились в 2018 г. и 2020 г. (ГТК = 0.36). Осадков за теплый период выпало 140–145 мм – немногим более половины многолетней нормы (251 мм). В 2018 г. повышенная сумма дождевой влаги (69 мм) пришлось на июль, а наиболее засушливая погода – в весенне-летний и летне-осенний периоды. В 2020 г. максимум осадков отмечался в мае (50.6 мм) и около нормы их выпало в августе. В засушливом пастбищном сезоне 2019 г. (осадков 164 мм, ГТК = 0.43) относительно благоприятные условия для развития травостоя сложились только в апреле – июне. Наиболее влагообеспеченным оказался пастбищный сезон 2021 г., выпало 319 мм (127%) влаги (ГТК = 0.74). Ее основная часть пришлось на апрель – июнь (199 мм) с максимумом в июне (135 мм) и сентябрь – октябрь (97 мм). Среднемесячная температура воздуха теплого периода этих лет была существенно выше средней многолетней нормы и, особенно, в резко засушливые годы.

Привлекательность для скота и противодефляционная устойчивость лесопастбищ. На обширных безлесных равнинах Прикаспия лесопастбищные массивы привлекают все виды сельскохозяйственных животных. Непосредственно в древесные насаждения скот массово заходит в весенний период для поедания травостоя эфемеров и эфемероидов, летом – из-за сильного зноя и солнцепека на отдых, и осенью, в основном, вследствие дефицита подножного корма на открытых выпасах. В осенний период КРС, лошади и козы объедают веточно-листовую массу крон деревьев до высоты 1.5–1.7 м и

кустарников, практически полностью стравливают подсохший травянистый покров. Вместе с тем высокая пастбищная нагрузка при длительном, особенно вольном пребывании скота, как под пологом древостоя, так и в межкулисных (межполосных) пространствах практически не приводит к появлению активно развеваемых участков – язв и очагов дефляции. Это свидетельствует о повышенной устойчивости лесопастбищ к вторичному опустыниванию почвенно-растительного покрова.

Лесорастительные условия, таксационная характеристика и кормовая продуктивность лесонасаждений. Бажиганский массив с холмисто-грядовым и мелкобугристым рельефом сложен мелкозернистыми многофазными песками. Они перевеяны на небольшую глубину и подстилаются супесчаными, суглинистыми прослоями и погребенными почвами, содержат около 4.0% глины и 0.2–0.4% гумуса, наименьшая влагоемкость (НВ) отложений составляет 4–5%. Грунтовые воды с минерализацией 3–8 г/л залегают на глубине 4–10 м, поэтому лесопригодность песков существенно дифференцирована почвенно-грунтовыми условиями, но в целом, перевеянные и подстилающие их отложения не засолены или слабо засолены, обладают повышенным плодородием. В отличие от кварцевых песков они не препятствуют глубокому укоренению и питанию древесных растений грунтовой влагой.

Биометрические показатели (табл. 1) и состояние насаждений на пробных площадях типичны для всего изучаемого лесопастбищного массива.

Таблица 1. Таксационная характеристика древесных насаждений на лесопастбищах.

Породный состав	Возраст, лет	Густота, деревьев на 1 га	Расстояние между деревьями, м	Средние		Расстояние до живой кроны, м	Сомкнутость крон		
				высота, м	диаметр, см		общая	в ряду	в междурядьях
Широкополосные насаждения									
Вяз	30	500	5.8	6.5 ± 1.5	8.3 ± 1.4	1.3	0.70	0.6	0.8
Робиния	30	496	7.1	6.0 ± 1.2	9.9 ± 1.2	1.4	0.70	0.6	0.8
Узкополосные насаждения									
Вяз	35	288	4.8	11.9 ± 1.9	21.7 ± 1.5	1.5	0.50	0.5	0.5
Робиния	37	336	4.8	6.0 ± 1.3	13.8 ± 1.8	1.3	0.75	0.8	0.7
«Саванные» насаждения									
Вяз	30	76	40.0	8.9 ± 1.8	21.6 ± 1.6	1.2	0.10	–	–
Робиния	22	110	27.0	5.5 ± 1.2	18.0 ± 1.8	1.1	0.10	–	–
НСР ₀₅	–	–	–	0.37	0.78	–	–	–	–

Вяз и робиния, как теплолюбивые, засухоустойчивые, относительно солестойкие и требовательные к плодородию породы на полиминеральных песках региона быстро развиваются, имеют разветвленную горизонтальную и глубоко проникающую стержневую корневую систему. Они образуют стабильно вегетирующие по годам, хорошо облиственные, насаждения, преимущественно с невысокой сомкнутостью древесного полога. Светолюбивая робиния с ажурной кроной несколько лучше растет в относительно густых насаждениях, где меньше испытывает конкуренцию за влагу со стороны травостоя. Вяз предпочитает свободное стояние деревьев. При этом он образует раскидистую, густую тенистую крону. Присутствие скота (сбой травостоя, удобрение почвы) улучшает водно-минеральное питание и состояние деревьев, повышает их облиственность, особенно при одиночном стоянии деревьев и на опушках насаждений (рис.). Кормовая продуктивность пастбищезащитных насаждений (табл. 2) складывается из доступной скоту веточно-лиственной массы и живого напочвенного покрова (в основном в весенне-раннелетний период).

Насаждения увеличивают урожай эфемеровой растительности на 14–18%, при этом емкость пастбищ возрастает на 30–40%. Весенний запас травостоя больше в узкополосных и саванных насаждениях, особенно из робинии, где освещенность почвы значительно выше, чем в кулисных посадках. Наибольшая масса древесной зелени у вяза формируется к осени. У робинии она

неустойчивая. В периоды почвенной засухи часть листьев у этой породы опадает. В целом, во всех типах лесопастбищ наибольший запас веточно-листового корма продуцируют вязовые насаждения.



Рис. «Саванное» лесопастбище с вязовым древостоем. Лето, 2021 г.

Таблица 2. Продуктивность поедаемой веточно-листовой массы (древесной зелени) насаждений и травостоя под древесным ярусом (2018–2021 гг.).

Порода	Запас веточно-листового корма и травостоя под древесным ярусом, т/га*								
	весна			лето			осень		
	древесный корм	травянистый корм	общая масса	древесный корм	травянистый корм	общая масса	древесный корм	травянистый корм	общая масса
Кулисные насаждения									
Вяз	0.55	0.10	0.65	0.74	0.08	0.82	0.74	0.30	1.04
Робиния	0.68	0.14	0.82	0.41	1.00	1.41	0.46	0.59	1.05
Полосные насаждения									
Вяз	0.27	0.34	0.61	0.36	0.24	0.60	1.82	0.17	1.99
Робиния	0.50	0.42	0.92	0.31	0.38	0.69	0,18	0.24	0.42
Саванные насаждения									
Вяз	0.12	0.27	0.39	0.16	0.40	0.56	0.22	0.87	1.09
Робиния	0.10	0.45	0.55	0.06	1.50	1.56	0.05	1.02	1.07

Примечание. т/га* – в воздушно-сухом состоянии.

На открытых пастбищных угодьях формируются полынно-злаковые (мятликовые) ассоциации с очень низкой (около 0.3–0.4 т/га) урожайностью в мае, а после стравливания и выгорания растительности в августе – 0.06–0.20 т/га. Это объясняется деградацией растительного покрова, который не мог восстановиться из-за повышенной пастбищной нагрузки, низких осенних влагозапасов в почве и повышенных температур воздуха в течение вегетационного периода. Флористический состав на объектах наблюдения составляет 8–19 видов.

Мониторинг растительного покрова на открытых участках лесопастбищ дал следующие результаты

(табл. 3). Запас травянистого корма на фрагментах огороженных пастбищ зависит, в основном, от погодных условий, исходного состава и состояния травостоя. Он испытывает заметные сезонные колебания – снижается в продолжительные засушливые летние периоды, восстанавливается или увеличивается во влажные периоды и осенью. В среднем за период наблюдения запас корма оказался наибольшим на «саванном» лесопастбище (1.04 т/га в пересчете на сено). Между лесными кулисами и полосами осенью он составил 0.86–0.77 т/га и на 30% состоял из разнотравья (*Galium verum*, *Alhagi pseudalhagi*, *Erodium cicutarium*), 20% полыней (*Artemisia annua*, *A. lerceana*) и на 50% – из злаков (*Poa bulbosa*, *P. pratensis*, *Bromus secalinus*) с примесью *Alyssum deserforum*. Здесь реже встречаются рудеральные, ядовитые и мало поедаемые виды.

К середине лета травянистая растительность на выпасах почти ежегодно, за редким исключением, выгорает и животные нуждаются в зеленой подкормке. Древесная зелень (побеги диаметром до 6 мм и листья) в это время не теряет своего кормового значения и дополняет дневной рацион скота. В живых клетках кроны деревьев содержится много биологически активных веществ – витаминов, ферментов, фитонцидов, а также белков, жиров и углеводов. Анализы показали (табл. 4), что по питательным свойствам веточно-лиственной корм не уступает доминантным видам травостоя.

Лесонасаждения существенно пополняют рацион фитонцидами. В 1 кг веточно-лиственного корма робиния и вяз содержится 25.64–35.18 г перевариваемого протеина, 3.4–5.6 г кальция, 0.7–0.8 г фосфора, а его питательность составляет 0.26–0.29 кормовых единиц (к. е.). При этом по содержанию питательных веществ и обменной энергии веточный корм робинии несколько превосходит веточный корм из вяза иохотнее поедается животными, резче реагирует на высокую пастбищную нагрузку снижением запаса.

Таблица 3. Кормовая продуктивность открытых участков лесопастбищ, т/га.

Вариант	Кормовая продуктивность межполосного пространства, т/га по годам				
	2018	2019	2020	2021	среднее 2018–2021
Кулисное лесопастбище					
Выпас	0.43	0.81	0.43	0.54	0.55
Заповедник	0.79	1.06	0.58	1.02	0.86
Полосное лесопастбище					
Выпас	0.59	0.69	0.25	0.50	0.51
Заповедник	0.85	0.83	0.41	1.00	0.77
Саванное лесопастбище					
Выпас	0.75	0.56	0.32	1.21	0.71
Заповедник	1.17	0.72	0.49	1.77	1.04
X ± S _x по заповеднику	0.93 ± 1.2	0.87 ± 1.0	0.49 ± 0.5	1.26 ± 2.5	0,89 ± 0.08
Природное пастбище (контроль)					
Выпас	0.55	0.39	0.31	0.29	0.38
Заповедник	0.83	0.71	0.60	1.18	0.83

Таблица 4. Кормовая ценность веточного корма и доминантов травостоя.

Вид корма	Содержание в 1 кг корма естественной влажности				Макроэлементы, г	
	кормовые единицы	обменная энергия МДж	перевариваемый протеин, г	каротин, мг	Са	Р
Робиния	0.29	3.7	35.18	35	5.6	0.8
Вяз	0.26	3.3	25.64	31	3.4	0.7
Сено	0.24	4.8	36.45	27	8.7	1.2

Примечание. Состав сена: щетинник сизый 80% + 15% мятлик луковичный + 5% костер ржаной.

С учетом фактически занимаемой площади лесными и пастбищными фитоценозами, продуктивность лесопастбищ по мере снижения лесистости угодий увеличивается с 104–152 т сена (27–44 т к. е.) при кулисном размещении насаждений до 280–407 т сена (73–118 к. е.) при рассеянном стоянии деревьев в расчете на 100 га угодий (табл. 5). Она также снижается при достижении древостоем предельного возраста, но во всех случаях по питательности в 1.3–5.9 раза выше, чем на незащищенных древесным ярусом выпасах. При расходе корма 9.5 кг к. е. на 1 кг привеса КРС 100 га лесопастбищ позволяют дополнительно получать 0.68–10.30 т говядины в год или 102–1545 тыс. руб. при цене живого веса 150 руб. за килограмм.

Таблица 5. Продуктивность (в пересчете на сено) кормовых угодий (т/100 га) на Бажиганском песчаном массиве.

Древесный ярус	Веточно-лиственная масса и травостой под древесным пологом			Травостой открытых участков лесопастбищ	Совокупный запас корма, т/к. е.
	веточно-лиственный корм	подножный корм	общий запас корма		
Кулисное лесопастбище					
Вяз	37.0	24.0	61.0	43.0	104.0/27.0
Робиния	23.0	86.5	109.0		152.0/44.1
Полосное лесопастбище					
Вяз	60.1	24.8	84.9	50.8	135.7/35.3
Робиния	6.0	34.3	40.3		91.1/26.4
«Саванное» лесопастбище					
Вяз	22.0	154.0	176.0	104.0	280.0/72.8
Робиния	5.0	297.0	302.0		407.0/118.0
Природное пастбище					
–	–	–	–	–	83.0/19.9

Приведенные расчеты свидетельствуют о том, что трансформация опустыненных песчаных земель сухих субгумидных районов Прикаспия в лесопастбищные угодья позволяет в 2–3 раза увеличить пастбищную нагрузку, поголовье скота, безопасность и эффективность животноводства на базе подножного корма.

Выводы

1. На российской территории Прикаспия нерациональная эксплуатация природных пастбищ сопровождается многократным снижением продуктивности и устойчивости почвенно-растительного покрова, периодическим проявлением всплеск дефляционного опустынивания земель. Одним из наиболее дешевых и надежных средств их реабилитации является лесная и комплексная фитомелиорация открытых и слабозаросших песков.

2. В сухих субгумидных районах высокой эффективностью обладает создание на песках лесопастбищных угодий, сочетающих древесный ярус в виде кулисных, полосных и редкостойных насаждений с открытыми участками пастбищной растительности. Они отличаются высокой устойчивостью к вторичному развеванию песков, разнообразием корма, микроклиматической комфортностью и привлекают животных на протяжении всего выпасного периода.

3. В Ногайской степи высокую долговечность и мелиоративную эффективность имеют пастбищезащитные насаждения из робинии и вяза приземистого. Семенные древостои этих пород на слоистых незасоленных песках сохраняются до 30–50 лет и могут формировать жизнеспособные порослевые насаждения.

4. Запасы корма в лесопастбищах складываются из урожая трав под пологом насаждений (в основном эфемеров), доступной древесной зелени и подножной фитомассы на открытых участках угодий. В периоды продолжительных засух и острого дефицита подножного корма древесные насаждения могут служить страховыми плантациями для заготовки веточно-лиственной подкормки, питательность которой не

уступает питательности доминантных видов травостоя природных пастбищ.

5. Продуктивность травостоя под пологом насаждений снижается от весны к осени, повышается по мере роста освещенности почвы (снижения сомкнутости и плотности крон деревьев) и несколько выше в насаждениях робинии. Запас древесной зелени увеличивается до конца лета, особенно у вяза при относительно низкой сомкнутости полога и на опушках насаждений. Он существенно ниже в редких и слабо растущих старых насаждениях. Кормовая продуктивность травостоя открытых участков лесопастбищ увеличивается до середины – конца лета и зависит от занимаемой ими площади. При снижении лесистости угодий с 50 до 10% она увеличивается в 2–3 раза.

6. Суммарная кормоемкость лесопастбищ в 1.3–6 раз выше кормоемкости природных пастбищ, меньше зависит от погодных условий и позволяет в 2–3 раза увеличивать безопасную пастбищную нагрузку, а, следовательно, и поголовье скота, эффективность животноводства на базе подножного корма. При научно обоснованном расходе корма на 1 кг привеса КРС 100 га лесопастбищ позволяют дополнительно получать в среднем около 5 т говядины или 750 тыс. руб. дохода в год (в ценах 2021 г.).

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания №122020100309-0 «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.П. 1971. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть. 512 с.
- Битвинская Т.Т. 1974. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат. 172 с.
- Булахтина Г.К., Кудряшов А.В., Кудряшова Н.И. 2018. Сравнительные исследования различных по составу агрофитоценозов в аридной зоне Северного Прикаспия // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. Т. 4. № 2(14). С. 9-17.
- Вдовенко А.В. 2016. Восстановление нарушенных экосистем Черноземельских и Кизлярских пастбищ // Научно-агрономический журнал. № 1. С. 25-29.
- Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. 2020. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2(83). С. 63-71.
- Зволинский В.П., Смирнов И.И. 2000. Адаптивное земледелие как основа борьбы с опустыниванием и рационального использования сельскохозяйственных угодий Прикаспийского региона // Материалы научно-практической конференции по общему земледелию. Барнаул. С. 46-49.
- Исследования структуры и строения растительного покрова. 1973/ Ред. Н.И. Рорышина. Л.: Ленинградский университет. 286 с.
- Кулик К. Н. 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 247 с.
- Кулик К.Н., Петров В.И. 1999. Древние очаги дефляции на Черных землях и возможности их фитомелиорации // Аридные экосистемы. Т. 5. № 10. С. 57-64.
- Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенков А.С. 2008. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года. Волгоград: ВНИАЛМИ. 34 с.
- Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. 2018. К 30-летию «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ» // Аридные экосистемы. Т. 24. № 1 (74). С. 5-12.
- Кулик К.Н., Манаенков А.С., Есмагулова Б.Ж. 2021. Лесная мелиорация пастбищ засушливой зоны РФ и пути повышения ее эффективности // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. № 3(63) С. 30-40.
- Кулик Н.Ф. 1963. Основные закономерности водного режима Терско-Кумских песков в связи с их облесением и хозяйственным освоением // Сборник трудов по освоению Терско-Кумских песков. Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, Вып. 1. С. 19-47.
- Манаенков А.С. 1993. Реставрация опустыненных пастбищ на Черных землях // Лесное хозяйство. № 6. С. 33-36.
- Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ВНИАЛМИ. 428 с.
- Манаенков А.С., Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г. 2010. Особенности облесения песчаных земель Терско-Кумского междуречья культурами сосны // Лесное хозяйство. № 5. С. 36-38.
- Манаенков А.С., Костин М.В. 2017. Опыт научных исследований по повышению эффективности лесоразведения в южных степях России // Лесохозяйственная информация. № 3. С. 92-102.
- Манаенков А.С., Рыбашлыкова Л.П. 2020. Повышение эффективности восстановления растительного покрова в АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2023, том. 29, № 1(94)

- современных очагах дефляции на пастбищах Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 26. № 4(85). С. 116-126.
- Маттис Г.Я., Павловский Е.С., Калашиников А.Ф., Савельева Л.С., Торохтун И.М., Зыков И.Г., Ивонин В.М., Вербицкий И.К., Крюкова Е.А., Касьянов Ф.М., Трибунская В.М., Кулик Н.Ф., Щепланов В.Ю., Зюзь Н.С., Абакумов Б.А., Степанов А.М., Терехин С.В., Хорошавин В.Н., Жданов Ю.М., Бабенко Д.К., Тарасюк В.Н.* 1984. Справочник агролесомелиоратора. М: Лесная промышленность. 248 с.
- Петров В.И.* 2001. Лесомелиорация аридных территорий // Агролесомелиоративная наука в XX веке. Волгоград: ВНИАЛМИ. С. 162-198.
- Петров В.И.* 2003. Лесоаграрное освоение Черных земель и прилегающих территорий // Материалы научно-практической конференции. Ставрополь – Пятигорск. С. 41-46.
- Петров К.М., Бананова В.А., Лазарева В.Г., Унагаев А.С.* 2016. Региональные особенности глобального процесса опустынивания в Северо-Западном Прикаспии // Биосфера. Т. 8. № 1. С. 49-62.
- Радочинская Л.П.* 2017. Сохранение видового и популяционного биоразнообразия на лесопастбищах Черных земель как фактор экологической стабильности в регионе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 3(67). С. 161-167.
- Радочинская, Л.П., Кладиев А.К., Рыбашлыкова Л.П.* 2019. Продукционный потенциал восстановленных пастбищ Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 25. № 1(78). С. 61-68.
- Смирнов Н.А.* 1963. Пескоукрепительные лесные полосы и насаждения // Лесные защитные насаждения: сб. ст. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. С. 193-232.
- Федорова Н.Л.* 2011. Ботаническое разнообразие Прикаспийских пустынь в пределах региона Черных земель // Вестник института комплексных исследований аридных территорий. № 1. С. 108-116.
- Язан П. Г.* 1955. Терско-Кумские пески, их закрепление и использование в сельском и лесном хозяйстве. Грозный: Грозненское кн. изд-во. 79 с.
- Braun-Blanquet J.* 1964. Pflanzensociologie. Wien-New York: Springer-Verlag. 865 p.
- Cherepanov S.K.* 2007. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge University Press, Cambridge. 517 p.
- Djanibekov, U., Khamzina, A., Djanibekov, N., & Lamers, J. P. A.* (2012a). How attractive are short-term CDM forestations in arid regions? The case of irrigated croplands in Uzbekistan. Forest Policy and Economics. 21. P. 108-117.
- Nkonya E., Mirzabaev A. Von Braun J.* 2016. Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development // Springer International Publishing AG.

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПЛОЩАДЕЙ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ
В ЗАПАДНОМ КАЗАХСТАНЕ ПО ДАННЫМ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

© 2023 г. С.С. Шинкаренко*, А.Н. Берденгалиева**,***, В.В. Дорошенко***, Я.А. Найчук***

*Институт космических исследований Российской академии наук
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32. E-mail: shinkarenkos@yafanc.ru

**Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций

и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, 97

***Волгоградский государственный университет
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 100

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Регулярные ландшафтные пожары способствуют изменению видового состава растительного покрова, активизации эрозионных процессов, уничтожают животных и их местообитания, служат источником эмиссий парниковых газов. По этим причинам крайне важно изучать пожарный режим ландшафтов. В то время как лесным пожарам посвящено множество исследований, травяные пожары вообще и степные в частности изучены намного хуже. В работе проанализирована динамика горимости зональных естественных ландшафтов трех регионов Западного Казахстана за 2001–2020 гг. по данным экспертного дешифрирования спутниковых изображений Landsat с верификацией по данным детектирования активного горения MCD14ML и выгоревших площадей MCD64A1, FireCCI51, GABAM. Всего идентифицировано 18.6 тыс. гарей, а общая выгоревшая площадь за период исследований составила почти 60% территории. Большая часть площади пройдена огнем очень крупных пожаров площадью более 25 тыс. га каждый, а самые крупные гари имели площадь более 500 тыс. га. Две трети всех выгоревших площадей пройдены огнем два и более раз, в том числе 43% – три и более раз. После 2010 г. горимость территории существенно снизилась, что связано в первую очередь с ростом поголовья скота, а во вторую – с ухудшением гидротермических условий. В засушливых условиях погода влияет на пожарный режим не как фактор для распространения огня, а как фактор для накопления достаточного количества горючего материала. Поэтому снижение сумм осадков, рост температур и пастбищных нагрузок способствуют снижению количества и площадей пожаров из-за уменьшения запасов растительной мортмассы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, природные пожары, Атырауская область, Актюбинская область, Западно-Казахстанская область, картографирование.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-25-35

EDN: ENJGMV

В конце 90-х гг. прошлого века из-за снижения сельскохозяйственной нагрузки на ландшафты степей и пустынь постсоветского пространства активизировались природные пожары (Павлейчик, 2016; Pavleichik, Chibilev, 2018). Также причиной этому служило улучшение гидротермических условий на рубеже веков (Спивак и др., 2011; Zolotokrylin et al., 2016), вызвавшее накопление растительной ветоши в условиях снижения пастбищных нагрузок (Dubinin et al., 2011). Пожары разрушают местообитания животных, меняют состав фауны беспозвоночных (Немков, Сапига, 2010; Опарин, Опарина, 2003). Кроме этого, в результате пирогенного воздействия изменяются спектрально-отражательные свойства гарей, что может проследиваться на протяжении многих лет в виде увеличения альбедо (Шинкаренко, 2021) и соответственно влиять на локальные климатические процессы (Золотокрылин, Титкова, 2011). Пирогенное воздействие вызывает изменения ботанического состава растительных сообществ: полукустарнички замещаются злаками (Родин, 1981;

Рябина и др., 2018; Тереножкин, 1936), что может отрицательно сказываться на кормовой обеспеченности сайгаков Заволжско-Уральской популяции (Abaturov, Dzarova, 2015). По этим причинам для анализа динамики состояния ландшафтов очень важно иметь достоверные и точные данные о границах пожаров, их количестве и длительности пирогенных сукцессий, поскольку имеющиеся работы не учитывают пирогенный фактор (например, Спивак и др., 2011; Золотокрылин, Титкова, 2011; Zolotokrylin et al., 2018). Эмиссии парниковых газов от травяных пожаров практически не учитываются, следовательно, не попадают в национальные кадастры. Существующие исследования и системы мониторинга направлены в первую очередь на изучение лесных пожаров (Барталев и др., 2012; 2017). Ранее подобная работа была проведена для аридных ландшафтов России (Шинкаренко и др., 2022б). Интерес представляет динамика пожарного режима Западного Казахстана – региона со сходными природно-климатическими условиями с юго-востоком европейской России, но имеющего отличия в величинах и пространственном распределении антропогенных нагрузок. Существующие исследования пожаров в Западном Казахстане охватывают только отдельные годы (Архипкин и др., 2007; Павлейчик, 2019; Шинкаренко, 2019), выполнены в мелком масштабе на большую территорию (Loboda et al., 2012; Xu et al., 2021; Zong et al., 2020), либо касаются лесных пожаров (Архипкин и др., 2014).

Целью исследований является анализ горимости зональных естественных ландшафтов Западного Казахстана за 2001–2020 гг. Период исследований связан с наличием данных информационных продуктов детектирования пожаров по данным прибора MODIS, запущенного на спутнике Terra в 2000 г.

Материалы и методы

Исследование охватывает три области Западного Казахстана: Актюбинскую, Атыраускую и Западно-Казахстанскую. Картографирование выгоревших площадей основано на экспертном дешифрировании спутниковых изображений Landsat 5, 7, 8 пространственного разрешения 30 м. Использовались цветосинтезированные RGB-композиции как видимого диапазона, так и с включением коротковолнового и ближнего инфракрасного диапазона. Подобный метод широко используется в картографировании ландшафтных пожаров (Барталев и др., 2012; Павлейчик, 2018; 2019; Шинкаренко, 2018; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019; Шинкаренко и др., 2022а; 2022б; Stroppiana et al., 2012), поэтому в данной работе подробно не описывается. Данные Landsat позволяют с большей точностью картографировать гари по сравнению со спутниковыми изображениями более низкого разрешения (Dubinin et al., 2010; Шинкаренко и др., 2022б). Для дополнительной верификации использовались информационные продукты детектирования активного горения по данным MODIS (Giglio et al., 2006) и выгоревших площадей MCD64A1 (Giglio et al., 2018), FireCCI51 (Chuvieco et al., 2018) и GAVAM (Long et al., 2019). При этом по отдельности эти информационные продукты не позволяют определять выгоревшие площади с достаточной точностью (Берденгалиева, Шинкаренко, 2020). В регионе преобладают пожары летне-осеннего периода (Шинкаренко и др., 2021а), поэтому использовались преимущественно спутниковые изображения с июня по октябрь.

Данные о среднемесячных температурах и осадках по метеостанциям «Актобе», «Атырау», «Калмыково (Тайпак)», «Уральск» приводятся согласно сервису АИСОРИ (Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации) ВНИИ Гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (Бульгина и др., 2014; 2015). Спутниковые данные получены с помощью сервиса «Vegetation Science» (Lourian et al., 2022), функционирующего в рамках Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Луриян и др., 2019). Данные о поголовье скота получены на сайте Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (Бюро..., 2022). Пожары разбиты на размерные классы, предложенные в работе Дубинина (Дубинин и др., 2010). Обработка спутниковых данных, экспертное дешифрирование, геоинформационный анализ выполнены в программе QGIS, статистическая обработка данных осуществлялась с использованием Microsoft Office Excel. Границы областей и базовая карта приводятся по данным сервиса Open Street Map.

Результаты и обсуждение

В результате экспертного дешифрирования спутниковых данных за 2001–2020 гг. идентифицировано 18.6 тыс. гарей общей площадью без учета повторяемости 80.7 млн га (рис. 1).

При этом отдельные пожары имели площадь более 200–300 тыс. га (рис. 2). Таким образом, в среднем ежегодно отмечалось 930 пожаров общей площадью 4 млн га. Среднемноголетняя горимость составила 7.1% (таблица), что почти вдвое превышает этот показатель для регионов юго-востока европейской России (Шинкаренко и др., 2022б). Наибольшие выгоревшие площади отмечены в 2001, 2002, 2004, 2006, 2010 и 2017 гг., в каждый из которых выгорело более 6–7 млн га (см. рис. 2). Рекордным является 2006 г., когда площадь гарей достигла 9.6 млн га (17% территории исследований). Стоит отметить, что на территории России этот год также стал одним из рекордных по площади степных пожаров, когда выгорело 10% зональных естественных ландшафтов Астраханской, Волгоградской областей и Калмыкии (Шинкаренко и др., 2022б).

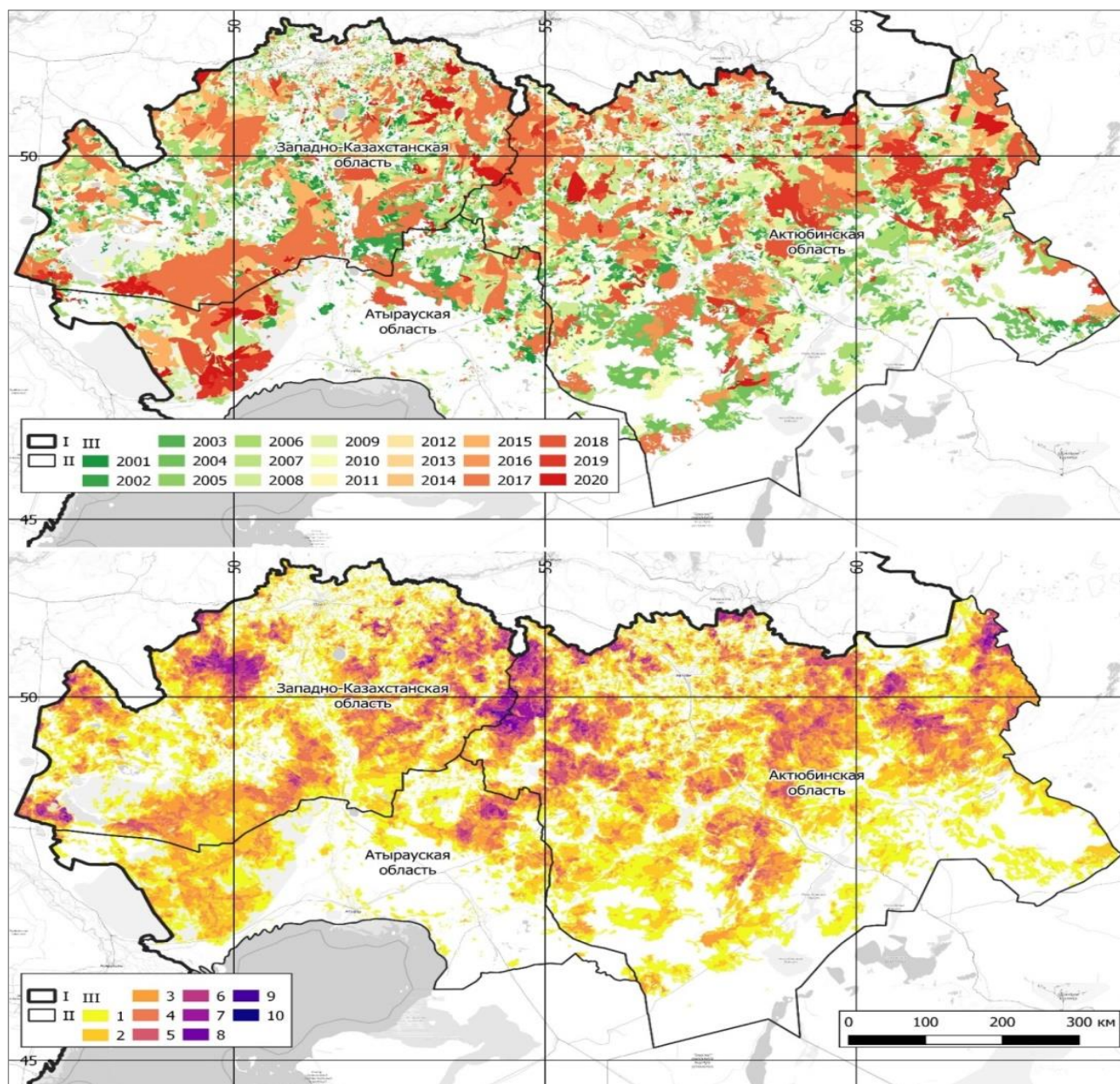


Рис. 1. Пространственно-временное распределение выгоревших площадей (вверху: I – государственная граница, II – границы областей, III – гарь) и количество пожаров за 2001–2020 гг. (внизу: I – государственная граница, II – границы областей, III – количество пожаров).

По данным (Loboda et al., 2012), согласно информационному продукту площадь выгоревших территорий MCD45A1 в 2006 г. в Центральной Азии пожаров составила около 18 млн га, а в 2001 г. –

всего около 8 млн га. По результатам (Архипкин и др., 2007), полученным по данным MODIS, в Западно-Казахстанской области наибольшие выгоревшие площади отмечены в 2001 г. – почти 3 млн га, более 2 млн га гарей зафиксировано в 2002 и 2006 гг. В 2003–2005 гг. выгоревшие площади были на уровне 1.0–1.5 млн га. Для Актюбинской области в этой работе приводятся сведения за 2003–2006 гг., максимальная площадь пожаров была в 2006 г. (примерно 5.1 млн га) и в 2004 г. (около 4.7 млн га). По данным экспертного дешифрирования общая площадь пожаров в Актюбинской области составила в эти годы 5.9 и 5.7 млн га, соответственно. В Западно-Казахстанской области в 2001 г. выгорело 3.8 млн га, в 2002 и 2006 гг. по 2.8 млн га. Таким образом, можно констатировать, что имеющиеся оценки площадей гарей существенно занижены, это может быть связано с используемыми технологиями картографирования выгоревших площадей, основанными большей частью на данных детектирования активного горения. Установлено, что архив тепловых аномалий не в полной мере охватывает площади гарей (Павлейчик, 2019; Шинкаренко, 2019), по этой причине их использование ведет к существенному недоучету площадей пожаров на нелесных землях.

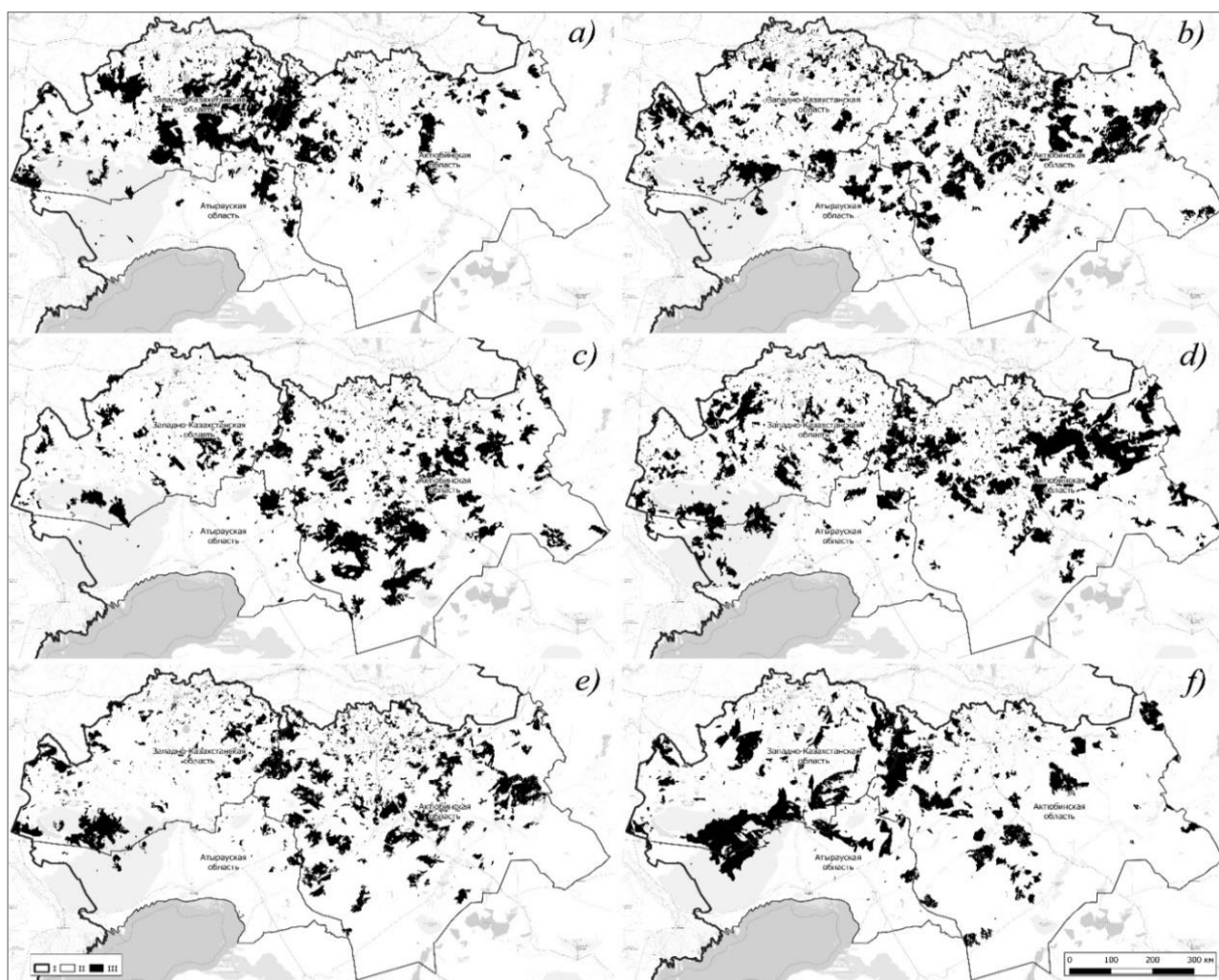


Рис. 2. Наибольшие выгоревшие площади. Условные обозначения: а – 2001 г., б – 2002 г., с – 2004 г., д – 2006 г., е – 2010 г., ф – 2017 г.; I – государственная граница, II – границы областей, III – гарь.

Большая часть выгоревших площадей (74%) представлена очень крупными пожарами площадью более 25 тыс. га каждый (рис. 3), доля которых от общего числа составляет всего 3%. Среди исследованных регионов количество пожаров этого размерного класса составляет от 2% – в Атырауской области, до 5% – в Актюбинской. При этом количественно преобладают пожары площадью до 1000 га каждый (76% всего количества), на долю которых приходится 3% всей выгоревшей площади: от 2.5% в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях, до 4.5% – в

Атырауской. Такое же распределение пожаров по размерным классам пожаров, когда значительная часть выгоревших площадей представлена относительно небольшим количеством очень крупных пожаров, характерно как для зональных ландшафтов других регионов (Шинкаренко и др., 2022б), так и для интразональных речных пойм, например, дельты Волги (Шинкаренко и др., 2022а). Для распространения подобных пожаров требуется наличие ряда условий: пожароопасная погода, наличие горючего материала на значительных площадях и отсутствие препятствий для распространения огня, например, дорог, водоемов, каналов, минерализованных полос, противопожарных разрывов и т.п. В летне-осенний период в регионе исследований обычно устанавливается сухая и жаркая погода, поэтому горимость в большей степени определяется наличием горючего материала (Шинкаренко и др., 2022б) и отсутствием препятствий для продвижения огня. Как правило, самые крупные пожары приурочены к «Особо охраняемым природным территориям» (ООПТ) или к большим неиспользуемым в сельском хозяйстве участкам (Шинкаренко, Берденгалиева, 2019; Шинкаренко и др., 2021б). Например, в 2017 г. на границе Атырауской и Западно-Казахстанской областей отмечены гари площадью 965 и 624 тыс. га каждая, которые были пройдены огнем за 19 и 16 дней. соответственно, пожары при этом покрывали в среднем 40-50 тыс. га в сутки (Шинкаренко, 2019). Подобные пожары могут происходить только на слабозаселенных и плохо освоенных территориях, где отсутствуют препятствия для продвижения фронта пожара и не принимаются меры по борьбе с огнем.

Таблица. Среднегодовые показатели площади, количества пожаров и горимости

Показатель		Регион			Всего
		Актюбинская область	Атырауская область	Западно-Казахстанская область	
Площадь, млн га	2001–2020 гг.	2.2	0.4	1.4	4.0
	2001–2010 гг.	3.2	0.6	1.9	5.7
	2011–2020 гг.	1.4	0.3	1.0	2.7
Количество, шт.	2001–2020 гг.	238	47	247	531
	2001–2010 гг.	349	68	351	768
	2011–2020 гг.	146	30	161	337
Горимость, %	2001–2020 гг.	7.3	3.7	9.3	7.1
	2001–2010 гг.	11.0	4.7	12.6	10.0
	2011–2020 гг.	3.5	2.7	6.0	4.0
k, %/год		-0.55	-0.13	-0.63	-0.49
r		0.55	0.31	0.53	0.58
r (годовые значения)	Поголовье	-0.43	-0.07	-0.47	-0.55
	Осадки	-0.11	-0.01	-0.13	-0.17
	Температура	-0.17	-0.29	-0.32	0.15
r (скользящие средние)	Поголовье	-0.72	-0.04	-0.82	-0.86
	Осадки	0.32	-0.19	0.76	0.28
	Температура	-0.66	-0.61	-0.82	-0.63

Примечание: k – угловой коэффициент линейного тренда выгоревших площадей, r – коэффициент корреляции, курсив – значимые коэффициенты при $p > 0.95$.

В исследовании (Bistinas et al., 2013) для Казахстана не установлено значимой корреляции между плотностью населения и горимостью согласно Глобальной базе данных эмиссий от пожаров (GFED). Это может быть связано с двунаправленным влиянием хозяйственного освоения территории: с одной стороны, чем меньше плотность населения, тем меньше источников огня, так как основная причина пожаров в регионе антропогенная (Yan et al., 2006), с другой – чем ниже освоенность территории, тем меньше препятствий для распространения фронта пожара. Кроме того, важен тип использования

земель. В регионах с высокой долей пашни преобладают небольшие по площади пожары, которые приурочены к неудобьям (балкам, оврагам и т.п.), либо являются палами на отдельных полях. На пастбищных землях площади пожаров больше. Широотно-зональные особенности обуславливают как погодные условия для распространения пожаров и наличие горючего материала, так и являются фактором расселения и аграрной специализации, что в совокупности определяет пожарный режим территории в нелесной зоне (Павлейчик, 2019).

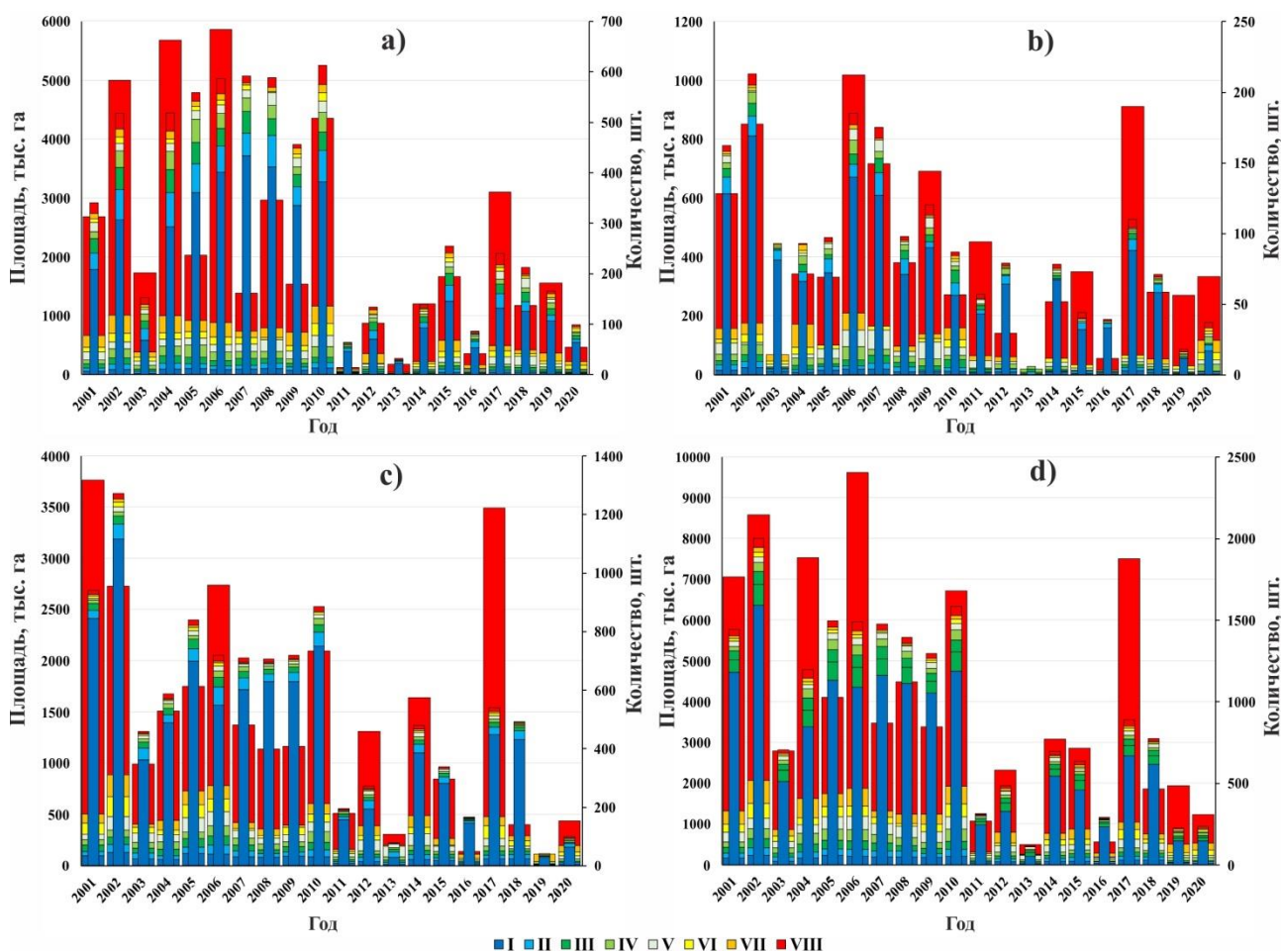


Рис. 3. Динамика площадей и количества пожаров разных размерных классов. Условные обозначения: а – Актыубинская область, б – Атырауская область, с – Западно-Казахстанская область, d – вся территория исследований; I – до 1 тыс. га, II – 1–2 тыс. га, III – 2–3.5 тыс. га, IV – 3.5–6.0 тыс. га, V – 6–10 тыс. га, VI – 10–15 тыс. га, VII – 15–25 тыс. га, VIII – более 25 тыс. га.

Всего за период исследований пройдено огнем 57.5% всей территории (рис. 4) или 32.5 млн га. При этом наибольшее количество пожаров составило 10 случаев на площади 1.8 тыс. га. Две трети выгоревшей площади были пройдены огнем два и более раз, в том числе 43% гарей пройдено три и более раз. Это сопоставимо с частотой пожаров в Астраханской области (Шинкаренко, 2018) и Калмыкии (Шинкаренко и др., 2022б), но меньше, чем на территории Заволжья Волгоградской области (Шинкаренко, Берденгалиева, 2019). Наибольшая доля земель, подвергнувшихся пирогеенному воздействию, расположена в Западно-Казахстанской области (70.3%). Увеличение частоты пожаров способствует замещению полукустарничков дерновинными злаками, например, *Agropyron* spp., *Stipa* spp., *Festuca* spp. (Родин, 1981; Рябинина и др., 2018; Тереножкин, 1936) заканчивают вегетацию уже в первой половине лета. При высокой сомкнутости они могут способствовать распространению пожаров. Таким образом, пирогеенное воздействие на ландшафты приводит к изменению видового состава сообществ в сторону устойчивых к пожарам видов, но которые, в свою очередь, могут увеличивать горимость территории. По мере продвижения на юг

частота пожаров снижается, это может быть связано с худшими условиями для развития растительности и, соответственно, большими временными промежутками, которые требуются для накопления растительной ветоши.

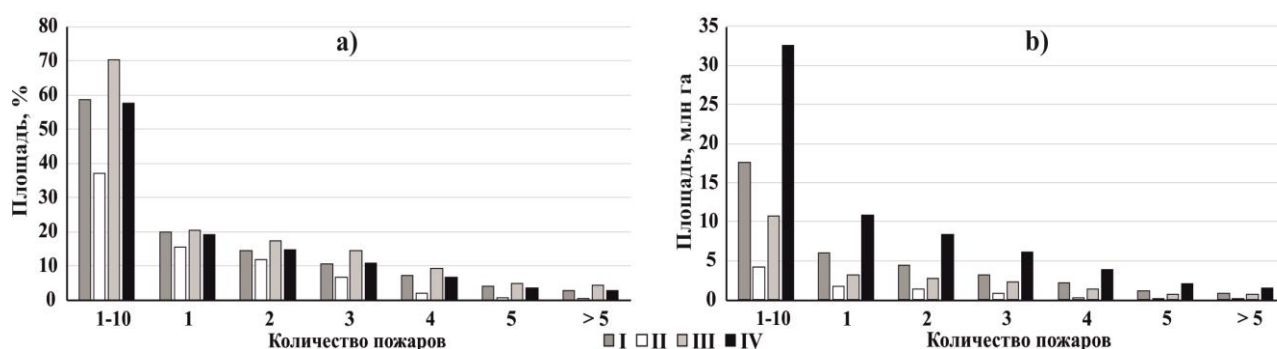


Рис. 4. Доля площади регионов (а) и площади участков (б) с разным количеством пожаров (I – Актюбинская область, II – Атырауская область, III – Западно-Казakhstanская область, IV – вся территория исследований).

Горимость региона исследований характеризуется значимым отрицательным трендом (см. таблицу). При этом характерно резкое снижение выгоревших площадей после 2010 г. Такие же тенденции горимости зональных ландшафтов наблюдаются и в степной, и пустынной зоне России (Шинкаренко и др., 2021а, 2022б). На территории Западного Казахстана горимость в 2011–2020 гг. сократилась вдвое по сравнению с периодом 2001–2010 гг. В Атырауской области нет значимого тренда горимости и связи площадей пожаров с динамикой поголовья. Это может быть обусловлено низкой продуктивностью пастбищ среди региона исследований (Спивак и др., 2011), горимость этого региона также минимальна.

Анализ влияния климатического фактора не выявил значимой связи между горимостью, среднегодовой и максимальной температурой, средней температурой вегетационного периода, суммами осадков за календарный, гидрологический год, за вегетацию. Установлено только значимое влияние поголовья скота на горимость, причем максимальные по модулю коэффициенты корреляции с поголовьем овец и коз, а не с приведенной к условным головам общей численности с учетом крупного рогатого скота и лошадей. Это связано с наибольшим негативным воздействием на почвенно-растительный покров именно овец и коз (Кулик и др., 2016; Шинкаренко, 2015). При этом горимость возрастает по мере удаления от населенных пунктов и животноводческих ферм, что связано со снижением пастбищных нагрузок и соответствующим накоплением растительной мортмассы (Dara et al., 2020). В Казахстане пастбищные нагрузки, выраженные в условных головах овец на гектар, примерно в два раза ниже, чем в Калмыкии и Астраханской области в России. Возможно, что именно с этим фактором связана вдвое большая горимость Западного Казахстана в сравнении с российскими регионами. Также на зональных ООПТ европейской части России, где запрещен выпас, горимость значительно выше, чем в окрестностях (Шинкаренко и др., 2021б).

Поскольку для возникновения и распространения пожаров в засушливых условиях требуется накопление растительной ветоши в течение нескольких лет, связь между скользящими средними по пятилетиям выражена намного сильнее, чем по ежегодным данным (см. таблицу, рис. 5). Максимальная горимость 2001–2010 гг. связана с восстановлением растительности при улучшении гидротермических условий на фоне снижения поголовья скота (Xu et al., 2021; Zong et al., 2020). Таким образом, снижение сумм осадков, повышение температур, пастбищные нагрузки снижают запас растительной массы, в результате ветошь либо не накапливается, либо требуется более длительный период ее накопления для создания условий для распространения пожаров. Такие же тенденции отмечены в Астраханской, Волгоградской областях и Калмыкии (Шинкаренко, и др., 2022б). С другой стороны, в работе (Xu et al., 2021) отмечена отрицательная корреляция площадей пожаров с суммами осадков, относительной влажностью воздуха и почв и положительная – с частотой засушливых дней. Это различие может быть обусловлено разницей в почвенно-климатических условиях. По данным (Xu et al., 2021; Zong et al., 2020), большая часть пожаров приходится на центральную и восточную часть Казахстана, где среднегодовые

температуры значительно ниже, а годовые суммы осадков – больше на 50–150 мм. В таких более благоприятных для развития растительности условиях влияние погоды в меньшей степени сказывается на величине фитомассы, но в большей степени – на условиях распространения пожаров (Павлейчик, 2019). Подобное характерно для типичных степей в северной части Волгоградской области (Шинкаренко и др., 2022б; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019).

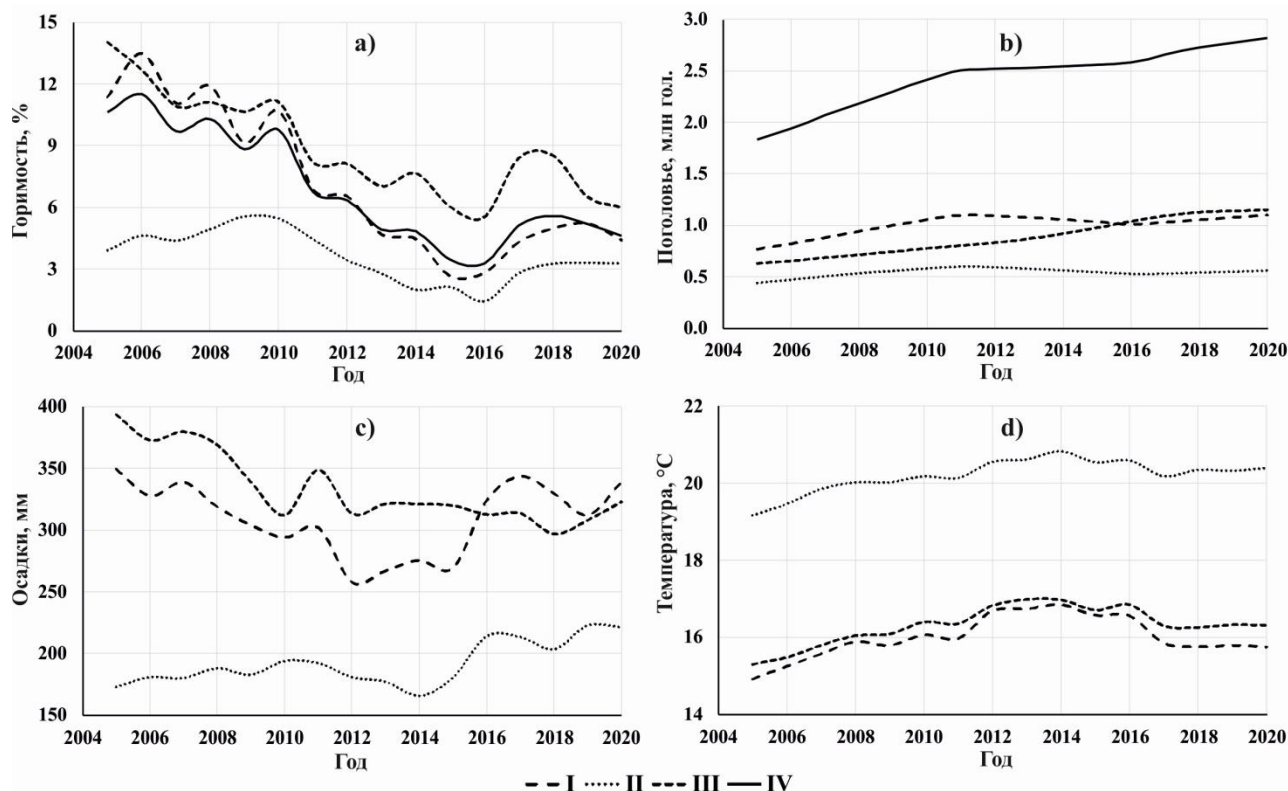


Рис. 5. Динамика скользящих средних по пятилетиям горимости (а), поголовья овец и коз (б), осадков за гидрологический год (с) и температур вегетационного периода (д); I – Актыубинская область, II – Атырауская область, III – Западно-Казахстанская область, IV – вся территория исследований).

Выводы

На основе экспертного дешифрирования идентифицировано более 18 тыс. пожаров в Западном Казахстане за 2001–2020 гг., среднегодовая горимость составила 7.1%. В количественном отношении преобладают пожары площадью до 1 тыс. га, но 74% выгоревшей площади представлено относительно небольшим количеством очень крупных пожаров площадью от 25 тыс. га каждый. Низкая плотность населения и слабое хозяйственное освоение, с одной стороны, способствуют распространению огня на огромные площади, с другой стороны, снижают возможности возникновения пожаров, поскольку подавляющее их большинство происходит по вине человека.

Более половины территории пройдено огнем за период исследований, при этом две трети этой площади выгорели два и более раз. Максимальная частота пожаров составила 10 случаев за 20 лет на площади 1.8 тыс. га. Таким образом, пирогенное воздействие является существенным фактором динамики состояния растительного покрова в регионе.

Горимость зональных ландшафтов Западного Казахстана была максимальной в 2001–2010 гг. в период наименьшей численности домашнего скота и относительно благоприятных гидротермических условий. За 2011–2020 гг. горимость снизилась примерно в два раза по сравнению с предыдущим десятилетием. Наибольшее влияние на снижение площадей пожаров оказывают пастбищные нагрузки и гидротермические условия. Снижение годовых сумм осадков, рост температур вегетационного периода уменьшают фитомассу, а выпас препятствует накоплению ветоши. Только в Атырауской области нет связи горимости с величиной поголовья скота, что может быть связано с

наименьшей продуктивностью ландшафтов в этом регионе.

Разработанные электронные карты выгоревших площадей и количества пожаров позволят определить длительность пирогенных сукцессий после пожаров разных лет. Эта информация позволит оценить последствия воздействия пирогенного фактора на растительный покров в Западном Казахстане, как наземными методами, так и по данным дистанционного зондирования Земли из космоса, например, на основе вегетационных индексов. Кроме того, на участках с наибольшей частотой пожаров необходима оптимизация противопожарных мероприятий.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-35-60007 «Пространственно-временные закономерности динамики состояния аридных пастбищных ландшафтов на основе анализа спектрально-отражательных свойств».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипкин О.П., Спивак Л.Ф., Сагатдинова Г.Н. 2007. Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 1. № 4. С. 103-110.
- Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н., Бралинова Ж.А. 2014. Дистанционная оценка ущерба от лесных пожаров в системе космического мониторинга ЧС в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 11. № 3. С. 203-214.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. 2012. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 9. № 2. С. 9-27.
- Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А. 2017. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. № 6. С. 176-193.
- Берденгалиева А.Н., Шинкаренко С.С. 2020. Дешифрирование нелесных пожаров в условиях речных пойм // Научно-агрономический журнал. № 4. С. 43-48.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. 2014. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 14.05.2022)].
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коришанова Н.Н., Швец Н.В. 2015. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 14.05.2022)].
- Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. 2022 [Электронный ресурс <https://stat.gov.kz/region/list> (дата обращения 20.04.2022)].
- Дубинин М.Ю., Луцкекина А.А., Раделоф Ф.К. 2010. Оценка современной динамики пожаров в аридных экосистемах по материалам космической съемки (на примере Черных земель) // Аридные экосистемы. Т. 6. № 3. С. 5-16.
- Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б. 2011. Тенденция опустынивания Северо-Западного Прикаспия по MODIS-данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8. № 2. С. 217-225.
- Кулик К.Н., Есмагулова Б.Ж., Кошелева О.Ю., Мушаева К.Б., Шинкаренко С.С. 2016. Изменение фитоценозов Волго-Уральского междуречья под влиянием пастбищных нагрузок // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. № 4. С. 25-32.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. 2019. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 3. С. 151-170.
- Немков В.А., Сапига Е.А. 2010. Влияние пожаров на фауну наземных членистоногих заповедных степных экосистем // Экология. № 2. С. 141-147.
- Опарин М.Л., Опарина О.С. 2003. Влияние палов на динамику степной растительности // Поволжский экологический журн. № 2. С. 158-171.
- Павлейчик В.М. 2016. К вопросу об активизации степных пожаров (на примере Заволжско-Уральского региона) // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. № 3. С. 15-25.

- Павлейчик В.М.* 2018. Опыт применения данных дистанционного зондирования Земли в исследованиях степных пожаров // Успехи современного естествознания. № 11. С. 377-382.
- Павлейчик В.М.* 2019. Широтно-зональная неоднородность развития травяных пожаров в Заволжско-Уральском регионе // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. № 2. С. 1-14.
- Родин Л.Е.* 1981. Пирогенный фактор и растительность аридной зоны // Ботанический журнал Т. 66. № 12. С. 1673-1684.
- Рябинина Н.О., Канищев С.Н., Шинкаренко С.С.* 2018. Современное состояние и динамика степных геосистем юго-востока Русской равнины (на примере природных парков Волгоградской области) // Юг России: экология, и развитие. № 1. С. 116-127.
- Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Терехов А.Г., Батырбаева М.Ж.* 2011. Мониторинг долговременных изменений растительного покрова аридных и полуаридных зон Казахстана с использованием данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8. № 1. С. 163-169.
- Тереножкин И.И.* 1936. О влиянии пожаров на растительность полупустыни // Природа. № 9. С. 45-49.
- Шинкаренко С.С.* 2015. Оценка влияния выпаса на ландшафты Приэльтона // Научное обозрение. № 14. С. 10-15.
- Шинкаренко С.С.* 2018. Оценка динамики площадей степных пожаров в Астраханской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 15. № 1. С. 138-146.
- Шинкаренко С.С.* 2019. Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 1. С. 121-133.
- 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. 192-206.
- Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н.* 2019. Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 2. С. 98-110.
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н., Комарова И.А.* 2021а. Динамика горимости аридных ландшафтов России и сопредельных территорий по данным детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 18. № 1. С. 149-164.
- Шинкаренко С.С., Иванов Н.М., Берденгалиева А.Н.* 2021б. Пространственно-временная динамика выгоревших площадей на федеральных ООПТ юго-востока Европейской России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 6. № 3. С. 23-44.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М.* 2022а. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 19. № 1. С. 143-157.
- Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А. Н.* 2022б. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. Т. 86. № 1. С. 122-133.
- Abaturov B.D., Dzapova R.R.* 2015. Forage availability to saigas (*Saiga tatarica*) and their state on steppe pastures with a different ratio of graminoid plants and forbs // Biology Bulletin. Vol. 42. P. 163-170.
- Bistinas I., Oom D., Sa A.C., Harrison S.P., Prentice I.C., Pereira J. M. C.* 2013. Relationships between Human Population Density and Burned Area at Continental and Global Scales // PLoS ONE. Vol. 8. No. 12. P. 81188.
- Chuvienco E., Pettinari M.L., Lizundia-Loiola J., Storm T., Padilla Parellada M.* 2018. ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis.
- Dara A., Baumann M., Holzel N., Hostert P., Kamp J., Muller D., Ullrich B., Kuemmerle T.* 2020. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes // Ecosystems. Vol. 23. P. 943-956.
- Dubin M., Potapov P., Lushchikina A., Radeloff V.C.* 2010. Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing // Remote Sensing of Environment. Vol. 114. P. 1638-1648.
- Dubin M., Lushchikina A., Radeloff V.C.* 2011. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. Vol. 14. P. 547-562.
- Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J.* 2006. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS // Remote Sensing of Environment. Vol. 87. P. 273-282.
- Giglio L., Boschetti L., David P. R., Humber M.L., Justice C.O.* 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // Remote Sensing of Environment. Vol. 217. P. 72-85.
- Loboda T.V., Giglio L., Boschetti L., Justice C.O.* 2012. Regional fire monitoring and characterization using global NASA MODIS fire products in dry lands of Central Asia // Frontiers of Earth Science. Vol. 6. No. 2. P. 196-205.
- Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R.* 2019. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine. Remote Sens. No. 11. P. 489.
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I.* 2022. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote

- Sensing. Vol. 14. No. 1. P. 77.
- Pavleichik V.M., Chibilev A.A.* 2018. Steppe fires in conditions the regime of reserve and under changing anthropogenic impacts // *Geography and natural resources*. Vol. 39. No. 3. P. 212-221.
- Stroppiana D., Bordogna G., Carrara P., Boschetti M., Boschetti L., Brivio P.A.* 2012. A method for Extracting Burned Areas From Landsat TM/ETM + Images by Soft Aggregation of Multiple Spectral Indices and a Region Growing Algorithm // *J. Photogramm. Remote Sens.* Vol. 69. P. 88-102.
- Xu Y., Lin Z., Wu C.* 2021. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan // *Remote Sensing*. Vol. 13. No. 2. P. 313.
- Yan X., Ohara T., Akimoto H.* 2006 Bottom-up estimate of biomass burning in Mainland China. *Atmospheric Environment*. Vol. 40. No. 27. P. 5262-5273.
- Zolotokrylin A.N., Titkova T. B., Cherenkova E. A., Vinogradova V. V.* 2016. Dynamics of Summer Moistening and Biophysical Parameters of Arid Pastures in the European Part of Russia in 2000-2014 // *Arid Ecosystems*. Vol. 6. No. 1. P. 1-7.
- Zolotokrylin A.N., Titkova T. B., Bazha S. N., Syrtyyova S. H. D.* 2018. Trends in Livestock Numbers and Spectral Properties of the Pasture Surface: Case Study of the Middle Gobi Aimag of Mongolia // *Arid Ecosystems*. 2018. Vol. 8. No. 3. P. 153-160.
- Zong X, Tian X, Yin Y.* 2020. Impacts of Climate Change on Wildfires in Central Asia // *Forests*. Vol. 11. No. 8. P. 802.

SYSTEMATIC STUDY OF ARID TERRITORIES

UDC 551.5:005.8

METEOROLOGICAL DROUGHT MEASUREMENT WITH DEFICIT IN RAINFALL OCCURRENCE ACCORDING TO SPI INDICES: A CASE STUDY OF PESHAWAR, PAKISTAN

© 2023 r. **ShahlaNazneen***, **TehreemAyaz****, **YamnaDurrani***, **Neelum Ali***, **Ming Lei****, **SaeedaYousa***

**Department of Environmental Sciences, University of Peshawar, Peshawar, 25120, Pakistan.*

***College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P. R. China.*

Postal Address: College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, 410128, P.R. China. E-mail: tehreemayaz17301@yahoo.com

Received April 1, 2023. Revised June 30, 2023. Accepted July 1, 2023.

The study aimed to analyze the probability of occurrence/severity situation of meteorological drought in Peshawar, Pakistan and its impacts on agriculture. Therefore, the past 30-years (1986-2016) meteorological data was collected from Peshawar Meteorological Department and analyzed through Standardized Precipitation Index (SPI) drought software for mild, moderate, severe and extreme droughts on monthly, seasonally and annually basis. Results for the monthly and seasonal analysis found that severe and extreme droughts occurred mostly in May and June in summer, and March and April in spring seasons. The annually basis analysis found severe drought for the years 1989, 2000, 2001 and 2006, in which the most extreme drought year was 2001. Furthermore, the probability of occurrence/percentage of mild drought (12-month) in past 30 years was calculated 34%, moderate 9%, severe 8% and extreme drought 1.6%. These results also provide an insight of drought probability of occurrence and severity in next hundred years. The study concluded that most immediate consequence of drought can be seen in a fall in crop production. No work has been conducted before on measurement of meteorological drought of Peshawar through SPI. Therefore, it is a novel study and will contribute towards preparing for the drought which may affect the crops of Peshawar.

Keywords: Drought; Meteorological Drought; SPI; Probability of recurrence; Precipitation Deficit and Shortfall.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-36-45

EDN: HINEPB

Drought is below normal or deficient protracted period of precipitation which results in loss of yield, extensive damage to crops and is a recurring extreme climate event over a period of months to years. It can be considered as purely a meteorological phenomenon (Palmer, 1965) and a temporary aberration from normal climatic conditions, varying significantly from one region to another (Fuchs, 2019). Increase in the emissions of greenhouse gases not only cause environmental changes but also probability of drought thereby, influences the stability of ecosystems worldwide (Parry et al., 2007; Albert et al., 2011; Pei et al., 2013). Drought differs from one another in arsenical characteristics such as intensity, duration and spatial coverage (Wilhite, 2019), as well as spatial extent and timing (Orville, 1990).

There are four types of drought, which includes agricultural, socioeconomic, meteorological and hydrological drought (Wilhite, 2000) expressed in four classes according to Standardized Precipitation Index (SPI): mild, moderate, severe, and extreme (Wang et al., 2016). Meteorological, hydrological and agricultural droughts are measured as a physical phenomenon, while socioeconomic drought deals with supply, demand and the tracking of the effects of water shortfall (Wilhite, 2000; Nebraska-Lincoln, 2017). Meteorological drought also called climatological drought is «the magnitude of a precipitation shortfall and the duration of this shortfall»(Orville, 1990). It can begin and end rapidly (NOAA, 2019), taking place when dry weather patterns are dominant over an area. Conceptual models are used to study the relationship between drought, intensity, duration and frequency (Ojos Negros Research Group, 2019). The impacts of drought are monitored by remote sensing technology in the fields of agriculture, water and related sectors (Chaudhry et al., 2001). There are very few extreme events and natural hazards, which are as economically,

ecologically and environmentally disruptive as drought, affecting millions of people in large areas of the world each year (Dai, 2013; Asrari and Masoudi, 2014). The crop yield and food production gets affected due to drought and climatic change and are globally well documented (Mishra and Cherkauer, 2010). It has been observed that not only the numbers of droughts but also their intensity over the last few decades has increased (Tigkas et al., 2012), attributing to the change of climatic conditions, which puts additional pressure on hydrological systems and water resources. Severe drought conditions can not only impact agriculture but ecosystems, tourism, basic human welfare and most importantly water resources (Dai, 2013), as well as desertification, increased crop losses, social alarm, urban water supply shortages, degradation and forest fires (Flannigan and Harrington, 1988; Pausas, 2004; Asrari and Masoudi, 2014). There has been an increase in the average global temperature of earth by 0.7% in the last century (Parry et al., 2007); leading to the increase in the number of droughts recorded per year in general.

Drought has affected many parts of the world in terms of crop losses, water supply shortage etc. including North America (Cook et al., 2007; Herweijer et al., 2007), Mexico (Seager et al., 2009; Méndez and Magaña, 2010), Asia (Zhai et al., 2010), Africa (Shanahan et al., 2009) and Australia (Kiem and Franks, 2004; Dai, 2013). Pakistan has experienced several drought years (e.g., 1899, 1920, 1935), also affecting Khyber Pakhtunkhwa (KP) region in 1902 and 1951, similarly, Sindh region experienced its worst drought in the years of 1871, 1881 and 1931 (Chaudhry et al., 2001). It is expected that climate change may increase the frequency, duration and severity of extreme events of drought, thus threatening millions of people around the world in terms of food security and reduced water availability (Lasage et al., 2008).

Therefore, keeping in mind the deleterious effects of drought as apparent from the literature, this study was conducted to analyze the rainfall data of the last 30-years (1986-2016) through SPI for the measurement of meteorological drought expressed as: mild, moderate, severe and extreme drought, and on monthly, seasonally and yearly basis. Findings of this research can also be useful to the policy makers and experts of water resources involved in drought planning and mitigation. This research also forms a basis for further investigation, by climatologist, meteorologists and economist for future research.

Study Area

The study area demarcated for the measurements of the meteorological drought was Peshawar, the capital city of the province Khyber Pakhtunkhwa (KP), Pakistan. Peshawar lies between 33°44' and 34°15' north latitude and 71°22' and 71°42' east longitude. The total area of Peshawar is 1.257 square km² (Government of Pakistan, 2011), and situated at an altitude of 347 m (138 ft.) above sea level. The average population was about 193.2 million in 2016. The dates for the onset and termination of average annual rainy days are from February to April in the winter seasons and from July to August in the summer season. The average annual rainfall is 5908 mm (20 inches). The driest months in terms of rainfall are from October to December, the annual monthly sunshine hours are recorded in the months of May to July, respectively. Winter season starts from mid-November to the end of March. The mean maximum temperature in summer is over 40°C (104°F) and the mean minimum temperature is 25°C (77°F). The mean minimum temperature in winter is 4°C (39°F) and its maximum is 17.8°C (64.04°F). The wind speed varies from 5 knots (5.8 mph; 9.3 km/h) in December to 24 knots (28 mph; 44 km/h) in June. There is a variation in the relative humidity from 46% in June to 76% in August (Regional Meteorological Centre Peshawar, 2011).

Peshawar is known for fertile and highly cultivated soil and its food and cash crops. Subsistence agriculture forms the base and primary crops are wheat, barley, corn, peppers, millet, cotton and sugarcane. The two major planting and harvesting periods are winter for wheat and barley, and summer for corn. Planting and harvesting of sugarcane overlap both the periods. In many villages of pepper, cotton, wheat and especially sugarcane and tobacco are grown for the local consumption and for the market as well. In Peshawar there are peach, apricot, pear and grape vineyards (Government of Khyber Pakhtunkhwa, 2018). It is pertinent to mention that total irrigated area of Peshawar is 75758 ha with 99.6% crop intensity (Fig. 1). Maize is cultivated on 16777 ha with production of 29477 tons in 2013, rice 340 ha and production 711 tons, pigeon pea 33 ha and production 22 tons, chilies 12 ha and production 11 tons, sugarcane 11164 ha and production 576880 tons, wheat 36228 ha and production 80061 tons, Barley 51 ha and production 62 tons, rape and mustard 25 ha and production 20 tons, garlic 214 ha and production 2696 tons, coriander 16 ha and production 8 tons, onion 27 ha and production 251 tons, potato (summer + autumn) 58 ha and production 975 tons, Potato (Spring) 32 ha and production 228 tons (Government of Khyber Pakhtunkhwa, 2013).

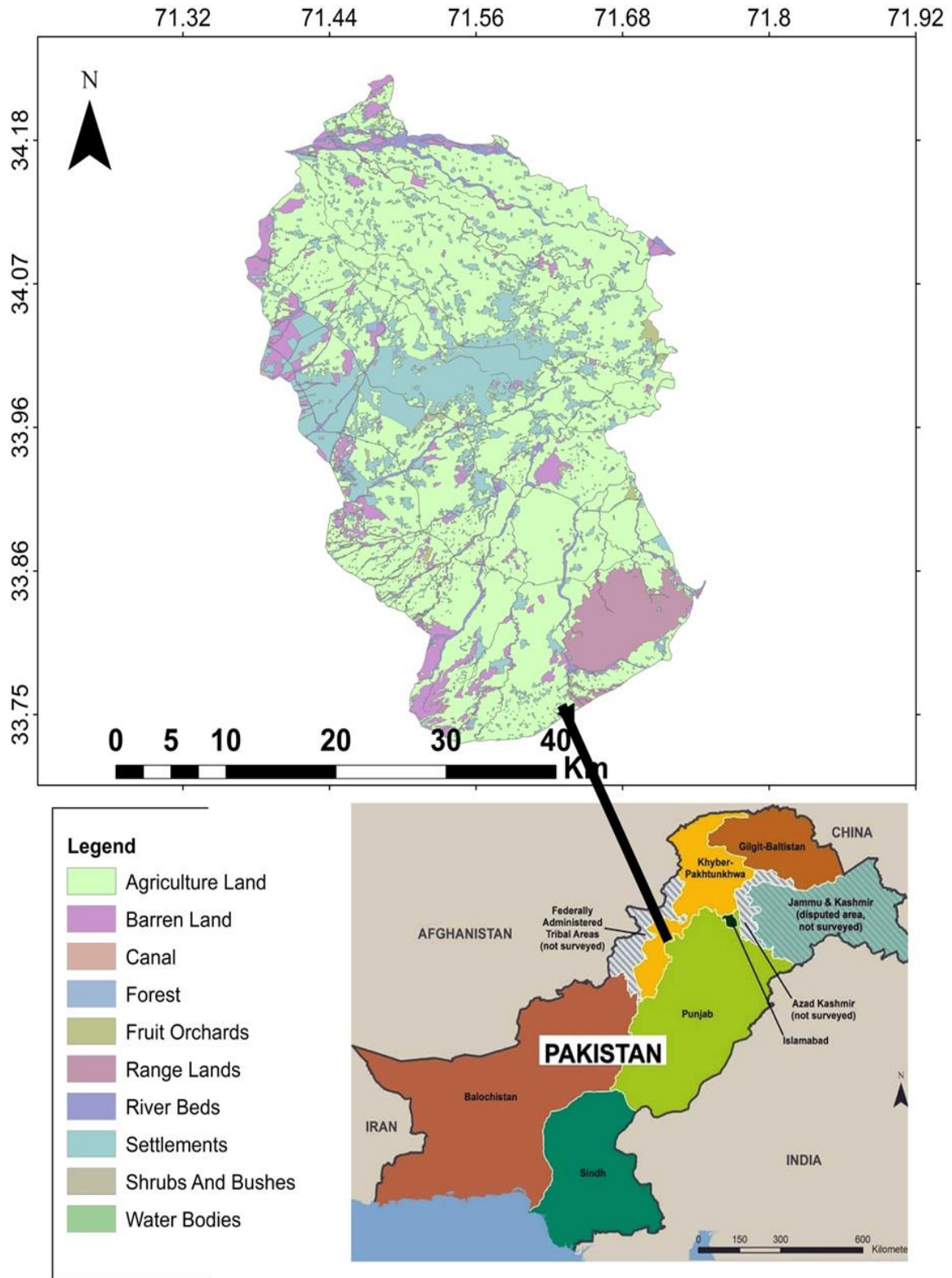


Fig. 1. Land use map of Peshawar district.

Methods and materials

Data set on rainfall for the period of 30-years (1986-2016) was obtained from Regional Meteorological Center (RMC), Peshawar. This was a real time data manually recorded at 0300Z, Greenwich Mean Time (GMT). The recorded length of 30-years provides a good basis for evaluating measurements of

meteorological drought of Peshawar region and to assess rainfall and climate. In this study, the deficits in normal rainfall were analyzed, assessed, interpreted, and calculated. The SPI drought software was used for the data analysis and SPI drought classification types were used which include mild, moderate, severe and extreme drought on monthly, seasonal and yearly scale. The classification of meteorological drought according to Pakistan Meteorological Department, 2008 is given in Table 1.

Table 1. SPI drought classification and Types of droughts.

SPI drought classification		
2.0+	Extremely wet	No drought
1.55 to 1.99	Very wet	No drought
1.0 to 1.49	Moderately wet	No drought
-0.99 to 0.99	Nearnormal	Mild drought
-1.0 to -1.49	Moderately dry	Moderate drought
-1.5 to -1.99	Severely dry	Severe drought
-2.0 and less	Extremely dry	Extreme drought

For this study, standard deviation from normal rainfall was calculated by the SPI values of 1, 3, 6, 9 and 12 months through which the deficiency or shortfall in rainfall was calculated. SPI 1-3 months reading can be used to identify meteorological drought, 3 to 6 months readings, agriculture drought and 6-12 months readings, hydrological drought. The same methodology has also been adopted previously by many authors (Palmer, 1965; Dai, 2013; Asrari and Masoudi, 2014; Szarzynski et al., 2014; Fahim et al., 2016). SPI has been used widely in numerous parts of the world because of its reliability, accuracy, efficiency and ability to report drought at various time scales for a variety of different climatic regions (Mishra and Cherkauer, 2010; Zhai et al., 2010; Jain et al., 2015) and most suitable for Asian region (Jain et al., 2015). It measures water deficit, observed precipitation and associated variation in moisture (McKee et al., 1993) used in identifying meteorological drought (Mishra and Cherkauer, 2010).

Classification of meteorological drought based on the SPI indices

Meteorological drought classified into four types based on the SPI indices are described as (a) mild drought, (b) moderate drought, (c) severe drought, and (d) extreme drought.

(a) Mild drought is further classified into «going into drought»; A situation in which a short-term dryness is observed and in which slow plant growth or pastures is observed and «coming out of drought»; A situation in which crop or pastures are not fully recovered, and some lingering water deficits are eminent. (b) Moderate drought is a situation in which some damages to pastures, crops, reservoirs, streams, or wells are observed, or when some prominent water shortages and voluntary water-use restrictions are requested. (c) Severe drought is a situation in which there is eminent crop or pasture losses, water shortages, and water restrictions are imposed. (d) Extreme drought is a situation in which major crops/pasture losses are widespread, while water shortages or restrictions are present.

Further, in this study number of times drought occurred in thirty years, probability of reoccurrence, and severity of the drought events of each category of the drought in the next hundred years have also been predicted.

Results and discussion

Occurrence of mild, moderate, extreme and severe drought in Peshawar district from 1985-2016 was determined through 1, 3, 6, 9 and 12-month SPI readings and are depicted in Table 2 (A-E). Yearly drought was determined through 12-month SPI reading, while seasonal drought was determined by 6 and 9-month SPI reading. In the year 1989, 2000, 2001 and 2006 drought has been recorded all year round and therefore classified as major drought years. From the above-mentioned years, only 2001 is categorized as extreme drought year while rest are classified as severe drought years according to WMO (World Meteorological Organization, 2012) classification system. The report produced by the Global Facility for Disaster Risk Reduction, shows that the drought of 2000 in Pakistan was severe that it destroyed the livelihoods of people. It was due to the extremely less rainfall reported i.e., 30% below of which is normally expected (Qureshi and Akhtar, 2004; Larsen et al., 2014; Ullah and Takaaki, 2016). According to Economic Survey of Pakistan, the drought in Pakistan was due to the monsoon season failing

to deliver rain (PWP, 2011). One of the major reasons of the drought was the presence of El-Nino, and the lack of winter rains, this causing 30% below normal monsoon rainfall in the region, and also increased the chances of moderate to extreme drought (National Disaster Management Authority of Pakistan, 2012).The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) indicated an increase in the drought conditions in different parts of the world as well as South Asia (Parry et al., 2007).

Table 2. Occurrence of mild, moderate, extreme and severe drought in Peshawar district from 1985-2016 {1-month SPI reading (A), 3-month SPI reading (B), 6-month SPI reading (C), 9-month SPI reading (D) and 12-month SPI reading (E)}.

1-month SPI reading (A)

Month	Years																															
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
I																																
II																																
III																																
IV																																
V																																
VI																																
VII																																
VIII																																
IX																																
X																																
XI																																
XII																																

3-month SPI reading (B)

Month	Years																															
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
I																																
II																																
III																																
IV																																
V																																
VI																																
VII																																
VIII																																
IX																																
X																																
XI																																
XII																																

6-month SPI reading (C)

Month	Years																															
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
I																																
II																																
III																																
IV																																
V																																
VI																																
VII																																
VIII																																
IX																																
X																																
XI																																
XII																																

Continuation of the table2. Occurrence of mild, moderate, extreme and severe drought in Peshawar district from 1985-2016 {1-month SPI reading (A), 3-month SPI reading (B), 6-month SPI reading (C), 9-month SPI reading (D) and 12-month SPI reading (E)}.

9-month SPI reading (D)

Month	Years																																		
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016				
I																																			
II																																			
III																																			
IV																																			
V																																			
VI																																			
VII																																			
VIII																																			
IX																																			
X																																			
XI																																			
XII																																			

12-month SPI reading (E)

Month	Years																																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016					
I																																				
II																																				
III																																				
IV																																				
V																																				
VI																																				
VII																																				
VIII																																				
IX																																				
X																																				
XI																																				
XII																																				

DroughtType	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
Nodrought					
Mild					
Moderatedrought					
Severedrought					
Extremedrought					

Seasonal drought determined from the 6-month SPI readings were recorded for the years 1987-1989, 2000-2001 and 2006. Whereas, in the 9-month SPI readings seasonal drought has been recorded for the years 1988, 1989, 2000, 2001 and 2006 (Fig. 2 A-E).

It is pertinent from the 1-month SPI reading that mild drought occurred almost every year from 1986-2016 with the highest percentage of 36%. The percentage of time for mild drought for 3, 6, 9, and 12-months SPI readings are almost same, followed by moderate drought. Similarly, probability of occurrence of moderate and severe drought for 9 and 12-month SPI readings are almost same i.e., 8% (Table 3).

Fig. 2 clearly shows that extreme droughts also occurred in the past 30 years. Previous studies showed that because of the climatic change in Peshawar, a change in the monsoon periods is also observed (Bukhari and Bajwa, 2012), which is also one of the factors leading to drought. Maize, wheat, sugarcane, tobacco and different kinds of vegetables are the main agricultural products and rainfall is the main water source for agricultural activities in the province (Fahim et al., 2016). Heat and drought are the major abiotic stresses that restrain crop production (Iqbal et al., 2017). Due to the variation in the temperature or precipitation patterns of Peshawar, from the normal climatic conditions which are generally expected, sensitivity may be shown by the yield of maize as it is highly vulnerable to water stress, whereas the yield of wheat and rice is sensitive to heat stress. Heat stress upsets various biochemical and physiological processes in wheat thereby affecting its growth. Heat stress does not affect the protein content of the plant but a strong correlation has been shown by the grain protein and leaf nitrogen content (Iqbal et al., 2017).

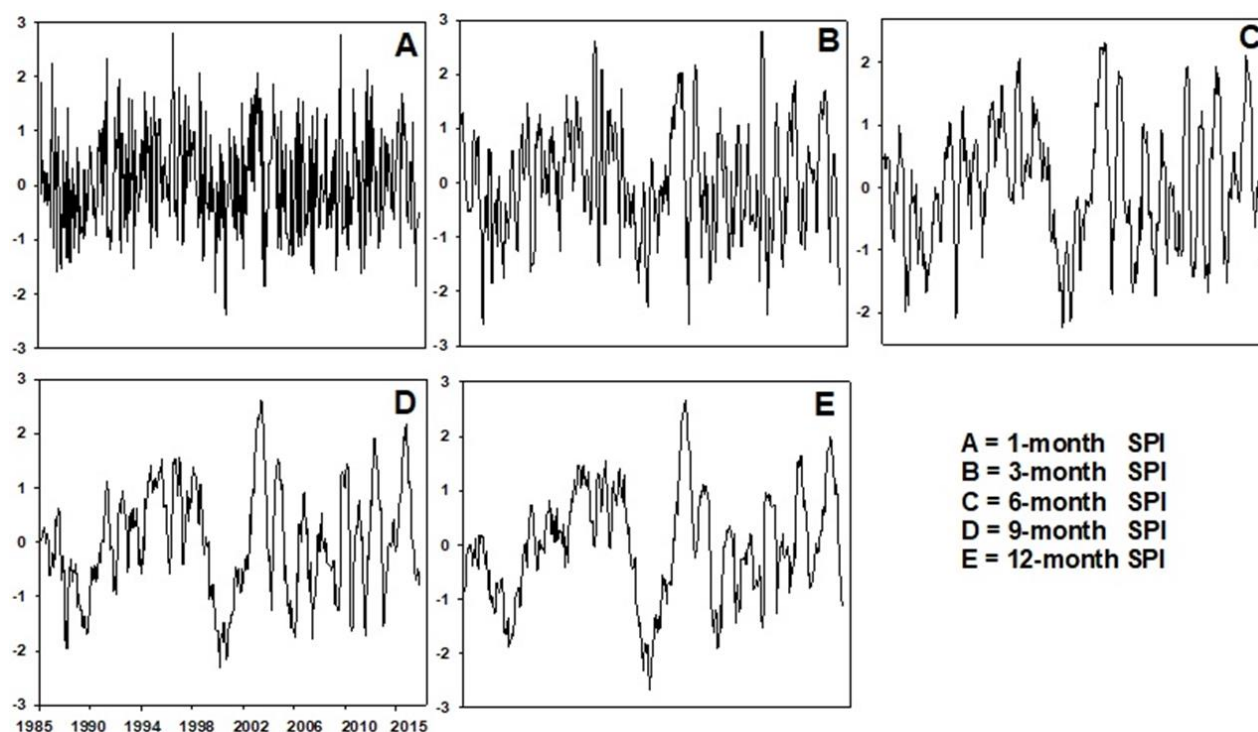


Fig. 2.1, 3, 6, 9 and 12 months SPI of drought for Peshawar district from 1985-2016.

Table 3. Probability of occurrence of drought in Peshawar in last 30 years (1986-2016) and next 100 years.

Category	Probability of occurrence, %					No. of times in next 100 years	Severity of events
	1-month	3-month	6-month	9-month	12-month		
Mild drought	36.0	36	33	36.0	34.0	34	1 in 3 years
Moderate drought	9.0	9	14	8.0	9.0	9	1 in 11 years
Severe drought	3.6	4	5	8.3	8.0	8	1 in 12.5 years
Extreme drought	0.2	2	1	1.0	1.6	6	1 in 16 years

As the severity of events clearly indicates that severe drought can occur once in 12.5 months and extreme drought can occur once in sixteen years, it may have antagonistic impacts on agriculture such as low crop yields, low average productivity (Ali et al., 2017), and loss of biodiversity (Metz et al., 2001) as well as adverse influences on human and animal health. As agriculture and crops fully rely on a particular season,

changes are also expected in the sowing and harvesting period, as well as yield and productivity. Being totally dependent on the climate and weather of a region, agriculture sector is the most susceptible sector to drought and even every small change can have far reaching effects on agriculture (Mendelsohn, 2001). Due to change in the precipitation and increase in the temperature of the area, in case of annual crop productivity, the duration between sowing and harvesting will shorten and senescence will occur sooner thus having an adverse effect on productivity (Haldar, 2010). Wheat and tobacco being the main cash crops of the Peshawar are cultivated in winter. In the winter season (December-February), wheat crops may be badly damaged due to insufficient or ill-timed rainfall. As Peshawar experienced an extreme drought twice in the month of January in the winter season according to the SPI indices, in the past 30 years, therefore, there are high chances that winter crops may get affected if the same temporal trend is followed. Vast majorities of the population in Peshawar depend directly or indirectly, in one form or the other on agriculture. Sugar cane is a high-water demand crop, due to higher temperatures and insufficient water availability, the rate of evaporation will increase, resulting in the crop not giving proper produce and yield. In Peshawar, the spring season is very essential for many types of crops especially cereals like wheat (Government of Khyber Pakhtunkhwa, 2013). The maturation of wheat crop seeds occurs in the spring season, so if it does not get adequate and enough spring period and rainfall, or if the temperature has changed then there is a risk of lower yield. According to the SPI values, it can be predicted that severe and extreme drought can occur mostly in the summer season in the months of May and June and spring season in the months of March and April. As the spring season March and April according to the SPI indices also have severe and extreme drought occurrence, crops may get affected. Thus, effects of climate change phenomenon like drought, is causing a considerable impairment to crops (Nelson et al., 2009), and can also be observed in Peshawar, as the production of the crops got affected due to not only changes in seasonal precipitation but its pattern of variability. This could be due to the change and shifting of seasons and temperature (Olesen and Bindi, 2002). These both factors are of major importance for agricultural system, which can be changed due to the drought conditions of the area. Crop yield being both hazard and context dependent is affected by the prevailing temperatures and moisture conditions (Iqbal et al., 2009).

The Third Assessment Report of the IPCC has stated that the frequency and intensity of droughts will most probably increase during the 21st Century (Orville, 1990). The most immediate consequence of drought can be seen due to the inadequate and poor distribution of rainfall, which is a fall in crop production. The SPI indices and reoccurrence of drought clearly indicate that drought may cause damage to the crop yield as observed all over Peshawar thus leading to a period of drought-induced food deficit and affecting the wellbeing of farmers.

Conclusion

This study concludes that significant meteorological drought occurred for four years, and in those years severe and extreme drought was recorded all year round. According to the SPI values severe and extreme drought occur mostly in the summer season in the months of May, June, and spring season in the months of March and April thus affecting the important cash crops of Peshawar. It is worth mentioning that extreme drought can occur once in sixteen years, therefore it is important to draft a strategy to cope with any emergency situation.

This study helps in quantifying the drought situation in the region on monthly, seasonal as well as on annual basis. In the future, more work can be done by hydrologists and agriculturalists, which will help in streamlining mitigation activities in the case of drought reoccurrence.

Statements and declarations

We declare that we have no financial and personal relationships with other people or organizations that can inappropriately influence our work. This manuscript is not under review elsewhere and its publication in the *Arid Ecosystems* is approved by all authors.

Competing interests

The authors have no conflict of interest.

Funding

The research work is not funded by any organization.

Availability of data and material

All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available in the repository of Regional Meteorological Department, Peshawar, Pakistan.

Code availability

Not applicable.

Authors' contributions

Shahla Nazneen: Conceptualization, Roles/Writing-Original Draft preparation, Software, Visualization, Methodology. **Tehreem Ayaz:** SPI Analysis, Visualization, Editing and Reviewing. **Yamna Durrani:** Roles/Writing-Original Draft preparation, SPI Analysis, Visualization. **Neelum Ali:** Software and Editing. **Ming Lei:** Reviewing and Editing. **Saeeda Yousaf:** Reviewing and Editing.

Acknowledgment

We are highly thankful to Meteorological Department-Peshawar for providing data and technical support.

Ethics approval

Not applicable.

Consent to participate

Not applicable.

Consent for publication

Not applicable.

REFERENCES

- Albert K., Mikkelsen T., Michelsen A., Ro-Poulsen H. and van der Linden L. 2011. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants. *Journal of Plant Physiology*, 168(13), p. 1550-1561.
- Ali S., Liu Y., Ishaq M., Shah T., Ilyas A., Din IU. 2017. Climate change and its impact on the yield of major food crops: Evidence from Pakistan, *Foods*, 6(6), p.39.
- Asrari E., Masoudi M. 2014. A New Methodology for Drought Vulnerability Assessment Using SPI (Standardized Precipitation Index). *Int J Sci Res Knowl* 2(9), p.425.
- Bukhari S., Bajwa G. 2012. Development of national response strategy to combat impacts of climate change on forest of Pakistan. Pakistan Forest Institute Peshawar.
- Chaudhry Q., Sheikh M., Bari A., Hayat A. 2001. History's worst drought conditions prevailed over Pakistan. *Cook ER, Seager R, Cane MA, Stahle DW*. 2007. North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. *Earth Sci Rev* 81(1-2), p. 93-134.
- Dai A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat Clim Chang* 3(1), p.52.
- Fahim AM., Shen R., Ali SM., Zhang J. 2016. Characteristics of drought variation in winter using drought indices during the period 1971-2010: a case study of khyber pakhtunkhwa (pakistan). *Mausam* 67(3), p. 697-708.
- Flannigan M., Harrington JB. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). *J Appl Meteorol* 27(4), p.441-452.
- Fuchs B. 2019. National Drought Mitigation Center. US Drought Monitor.
- Government of Khyber Pakhtunkhwa. 2013. Crop Statistics, Khyber Pakhtunkhwa. In: L.C.D. Agriculture (Editor). Government of Khyber Pakhtunkhwa. 2018. Peshawar.
- Government of Pakistan. 2011. Crops Area and Production (By Districts) (1981-82 TO 2008-09).
- Haldar I. 2010. Global warming: the causes and consequences. *Mind Melodies*. ASBN:13, p. 200.
- Herweijer C., Seager R., Cook ER., Emile-Geay J. 2007. North American droughts of the last millennium from a gridded network of tree-ring data. *J Clim* 20(7), p.1353-1376.
- Iqbal MM., Goheer MA., Noor S., Sultana H., Salik K and Khan A. 2009. Climate Change and Agriculture in Pakistan: Adaptation Strategies to Cope with Negative Impacts, Research Report GCISC-RR-16, Global Change Impact Studies Centre, Islamabad.
- Iqbal M., Raja N., Yasmeen F., Hussain M., Ejaz M., Shah M. 2017. Impacts of heat stress on wheat: a critical review. *Adv. Crop Sci Technol* 5, p.1-9.
- Jain VK, Pandey RP, Jain MK, Byun HR. 2015. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. *Weather Clim Extrem* 8, p.1-11.
- Kiem AS., Franks SW. 2004. Multi-decadal variability of drought risk, eastern Australia. *HydroProcess* 18(11), p.2039-2050.
- Larsen O., Oliver J., Casiles Lanuza E. 2014. Developing a disaster risk insurance framework for vulnerable communities in Pakistan: Pakistan disaster risk profile. Report No. 16. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS).

- Lasage R., Aerts J., Mutiso G., De Vries A.* 2008. Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya. *Phys Chem Earth, Parts A/B/C* 33(1-2), p.67-73.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society Boston, MA, pp. 179-183.
- Mendelsohn R.* 2001. *Global Warming and the American Economy*. Edward Elgar Publishing. Méndez M., Magaña V., 2010. Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. *J Clim* 23(5), p. 1175-1188.
- Metz B., Davidson O., Swart R., Pan J.* 2001. *Climate change 2001: mitigation: contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 3. Cambridge University Press.
- Mishra V., Cherkauer KA.* 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States. *Agric and For Meteorol* 150(7-8), p.1030-1045.
- National Disaster Management Authority of Pakistan, 2012. *National Disaster Management Plan*. Islamabad.
- Nebraska-Lincoln N, 2017. *Types of droughts*. In: N.D.M. Centre (Editor). University of Nebraska-Lincoln.
- Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M.* 2009. *Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation*, 21. Intl Food Policy Res Inst.
- NOAA. 2019. *National Oceanic and Atmospheric Administration's. Definition of Drought*.
- Ojos Negros Research Group. 2019. *Drought Facts*.
- Olesen JE., Bindi M.* 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur j Agron* 16(4), p.239-262.
- Orville HD.* 1990. AMS statement on meteorological drought. *Bulletin of the American Meteorological Society* 71(7), p.1021-1025.
- Palmer WC.* 1965. *Meteorological drought (Vol. 30)*. US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Parry M., Parry ML., Canziani O., Palutikof J., Van der Linden P., Hanson C.* 2007. *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC*, 4. Cambridge University Press.
- Pausas JG.* 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Clim change* 63(3), p.337-350.
- Pei F., Li X., Liu X., Lao C.* 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *J Environ Manage*, 114, p.362-371.
- PWP. 2011. *History of drought in Pakistan – In detail*. Pakistan Weather Portal.
- Qureshi AS, Akhtar M.* 2004. *Analysis of drought-coping strategies in Baluchistan and Sindh provinces of Pakistan*, 86. IWMI.
- Regional Meteorological Centre Peshawar. 2011. *Drought Basics RMC Peshawar, Monthly Climate Normal's of Pakistan*.
- Seager R., Ting M., Davis M., Cane M., Naik N., Nakamura J., Li C., Cook E., Stahle D.* 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera*, 22(1), p.1-31.
- Shanahan TM, Overpeck JT, Anchukaitis K., Beck JW, Cole JE, Dettman DL, Peck JA, Scholz CA, King JW.* 2009. Atlantic forcing of persistent drought in West Africa. *Science*, 324(5925), p.377-380.
- Szarzynski J., Zhang W., Tatem B.* 2014. *Climate Change and Drought in California*. <https://digitalcommons.pepperdine.edu/sturesearch>
- Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G.* 2012. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Sci Total Environ* 440, p.33-41.
- Ullah W., Takaaki N.* 2016. *Climate Change Vulnerability of Pakistan Towards Natural Disasters: A Review*. *Int J Enviro Prot Policy* 4(5), p. 1-7.
- Wang L., Chen W., Zhou W., Huang G.* 2016. Understanding and detecting super-extreme droughts in Southwest China through an integrated approach and index. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 142(694), p. 529-535.
- Wilhite DA.* 2000. *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. Published in *Drought: A Global Assessment Vol. I*. (1), p. 3-18.
- Wilhite DA.* 2019. *Drought Management*, *Water Encyclopedia*. retrieved from <http://www.waterencyclopedia.com/Da-En/Drought-Management.html>
- World Meteorological Organization, 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide*, (WMO-No. 1090), World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Zhai J., Su B., Krysanova V., Vetter T., Gao C., Jiang T.* 2010. Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China. *J Clim* 23(3), p.649-663.

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОПУСТЫНИВАНИЯ
ТЕРРИТОРИИ КАЛМЫКИИ**

© 2023 г. В.Г. Юферев, В.А. Силова, Н.А. Ткаченко

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: vyuferev1@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Геоинформационные технологии оценки опустынивания аридных территорий обеспечивают определение пространственного положения объектов исследований, а также фиксацию изменений, происходящих на территориях в пространственно-временном аспекте при воздействии климатических и антропогенных факторов, определяющих такие изменения. Дистанционный, пространственно-временной мониторинг заключается в картографировании участков опустынивания с точной географической привязкой объектов и определением произошедших на них изменений с течением времени (Mariam Akhtar-Schuster, 2020). Оценка степени опустынивания основывается на классификации видов опустынивания и методологии дистанционных исследований участков деградации и геоинформационных технологиях (Юферев, 2007). Принимая за основу критерии зон экологического состояния (норма, риск, кризис и бедствие) для различных видов земель сельскохозяйственного назначения (Виноградов, 1984), определяют критерии проведения дистанционного мониторинга зон экологического бедствия с использованием актуальных космоснимков на территории Республики Калмыкия. Использование для мониторинга дистанционных методов оценки опустынивания обеспечивает возможность выявления пространственных изменений, происходящих на территории мониторинга, при изменении уровня воздействия антропогенных и климатических факторов. Математическая и статистическая обработка результатов, полученных при пространственно-временных исследованиях, дают возможность выявить функциональные связи площади опустынивания и величины действующих здесь природных и антропогенных факторов, на основании которых появляется возможность разработки математической модели таких изменений. Такая модель отражает вероятное развитие площади опустынивания в зависимости от фактического сочетания наиболее существенных факторов, поэтому при моделировании важным является выбор таких факторов. Моделирование степени деградации основывается на оценке величины участков (площади), подверженных определенной степени деградации, и математическом описании процессов изменения их состояния. В результате на территории исследования были определены площади опустынивания и изменение площадей этих зон. Проведенный мониторинг опустынивания по данным дистанционной съемки территории Калмыкии позволил определить за период с 1984 по 2020 гг. увеличение площадей, подверженных опустыниванию, практически в 4 раза, с 750 до 3000 тыс. га.

Ключевые слова: мониторинг, опустынивание, космоснимки, модель, факторы, изменение.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-46-52

EDN: KQMOFT

Опустынивание территории Калмыкии определено как нерациональным использованием продуктивных ресурсов пастбищ при общем снижении биомассы растительности, так и климатическим воздействием на эти ресурсы, а именно, уменьшением количества осадков и увеличением повторяемости и продолжительности засух и пыльных бурь. Деградация слабогумусированных светло-каштановых, бурых почв и супесей в условиях аридного климата очень быстро приводит к потере плодородия, оставляя место для рудеральной растительности, включая соответствующие виды псаммофитов и галофитов. Опустынивание территории Калмыкии, в

особенности пастбищных угодий, приводит к обеднению земель по всем характеристикам. При этом воздействие нерегламентированной антропогенной нагрузки и ужесточение климатических условий приводит к уменьшению продуктивности пастбищ и к необратимой деградации почв.

Изучение факторов опустынивания, проведенное до настоящего времени (Виноградов, 1993; Кулик, 2004; Куст, 2002), заложило научное обоснование и методы определения функционирования аридных экосистем, основных факторов их опустынивания, таких как запредельная пастбищная нагрузка и в результате – опустынивание земель, используемых для выпаса скота; использование земель, слабопригодных для выращивания растений. Это привело к увеличению площадей участков опустынивания. Использование орошения сельскохозяйственных земель, без учета залегания солей, приводит к их предельному засолению и опустыниванию. Все эти процессы проходят на фоне повышения засушливости климата, увеличения повторяемости пыльных бурь и продолжительности почвенных и атмосферных засух.

Техногенное воздействие на территорию Калмыкии осложнено увеличением транспортных перевозок полезных ископаемых от мест добычи, проведением работ по добыче ресурсов, а также строительством объектов различного назначения.

В настоящее время исследования проблем опустынивания направлены на совершенствование методологической базы, разработку научных основ борьбы с опустыниванием, восстановление земель аридных территорий и организацию их рационального использования.

Процессы опустынивания на территории Калмыкии имеют тенденцию к нарастанию, поэтому своевременное определение опустыненных участков с использованием регулярного мониторинга обеспечивает возможность за короткое время провести оценку их состояния и динамику изменений, вызванных природным и антропогенным воздействием. Космические снимки являются источниками исходных объективных данных для изучения пространственного распределения участков опустынивания и изменения их площади.

Методология и методы

Развитие технологий мониторинга состояния земель на основе данных дистанционного зондирования Земли основано на использовании космических снимков (Кулик, 2010). Использование снимков сверхвысокого и высокого разрешения спутников семейства World View, Sentinel, Landsat и др. обеспечило возможность детального мониторинга процессов опустынивания аридных территорий.

В настоящее время активно развивается система съемок поверхности Земли различных типов из космоса, что дает возможность получения достоверной информации пространственного распределения и площадей участков опустынивания (Guo, 2017).

В задачи исследований входило компьютерное картографирование участков опустынивания, определение основных факторов, влияющих на изменение пространственного положения участков опустынивания в различные периоды; определение методологической основы картографирования на основе ГИС-технологий пространственно-временного анализа космоснимков.

Основой методологии, применяемой при исследовании процессов опустынивания, является положение о соответствии изображения на снимке реальному состоянию снимаемого объекта. Применение анализа изображений космоснимков для выявления контуров участков опустынивания и геоинформационное определение характеристик их пространственного распределения проводится с применением инструментов геостатистического анализа в программном комплексе QGIS 3.24.

В основе анализа изображения космоснимков территории, подверженной опустыниванию, принята гипотеза о том, что растровое изображение в достаточной мере определяет реальное состояние участка. При проведении геоинформационного анализа изображения опустыненных территорий по результатам мониторинга необходимо учитывать направление как изменения свойств объекта исследований, так и изменение тона пикселей на его изображении.

По результатам анализа и дешифрирования разновременных космоснимков со сравнимыми в пространстве и времени характеристиками (период съемки, фенологическая фаза вегетации ценных видов кормовой растительности, влажность верхнего слоя почвы) создаются геоинформационные картографические слои состояния территории исследований на момент съемки. Создание такого слоя является эффективным средством отображения степени опустынивания территории. При этом

выделяются участки опустынивания, а полученное изображение сравнивается с характеристиками полевых эталонов на тестовых участках. Созданные геоинформационные слои степени опустынивания используются для сравнения изменений ситуации в контурах опустынивания по временным периодам картографирования и тщательного анализа таких изменений. Точность и детализация аналитического геоинформационного слоя динамики опустынивания определяется качеством и разрешением исходного космоснимка.

Основопологающим подходом в методике выявления участков опустынивания является сравнительный анализ их растрового изображения с использованием анализа гистограмм. Гистограмма с распределением энергии по спектральным каналам позволяет выявить величину отраженной электромагнитной энергии, а также установить и ее распределение в растре (Pernar, 2003). Анализ гистограммы распределения отраженной энергии участков опустынивания обеспечивает получение данных по контурам опустынивания.

Полевое эталонирование раstra снимков участков опустынивания проводится для повышения достоверности дешифрирования данных дистанционной съемки.

Выбор участков для изучения опустынивания проводится в процессе составления космокарт территории.

К участкам, предрасположенным к развитию опустынивания, можно отнести:

- дефлированные земли с участками разреженного растительного покрова;
- аридные территории, используемые для производства сельскохозяйственной продукции;
- аридные территории в условиях проявления засух и пыльных бурь;
- слабогумусированные супеси и пески,
- засоленные земли.

На этапе предварительной оценки территории создается обзорная космокарта, используемая для определения координат объектов мониторинга опустынивания. Масштаб обзорной космокарты – 1:1000000, 1:2000000. На обзорную космокарту региона исследований наносятся координатная сетка, границы и атрибутивная информация.

На этапе определения вида опустынивания, степени его опасности и количественной оценки опустынивания применяются карты крупного масштаба – 1:10000, 1:25000. Карты контуров опустынивания разрабатываются на основе космоснимков высокого разрешения.

Таким образом, с использованием геоинформационных технологий на основе дистанционного мониторинга составляются карты участков опустынивания. На таких картах отображается пространственное распределение участков опустынивания, приуроченность таких участков к рельефу, почвенные контуры и их характеристики, растительность (состав сообществ), виды и степень опустынивания территории (Шинкаренко, 2019; Haishuo, 2018).

Результаты и обсуждение

Дистанционный мониторинг опустынивания был проведен на всей территории Калмыкии с использованием геоинформационных технологий и программ по данным космоснимков спутников Landsat 5, 7, 8 в период 1984–2020 гг., полученных с сервиса <https://earthexplorer.usgs.gov>. На основе созданной мозаики космоснимков с разрешением 30 м и точностью позиционирования 12 м были разработаны космокарты территории Калмыкии (рис. 1), результаты дешифрирования которых позволили выделить площади земель, подверженных опустыниванию. К таким землям отнесены участки с разными видами деградации, которая привела к снижению проективного покрытия растительностью на них до значений менее 10%.

Для уточнения характеристик растительных сообществ и почв, а также получения фотоэталонов аридных территорий, к которым относится территория Калмыкии, были проведены полевые исследования на репрезентативных участках. При этом выявлялись состав фитоценозов, проективное покрытие и уровень засоления.

По результатам полевых исследований разработаны эталоны участков поверхности на территории исследований как при полном отсутствии растительности, так и при различных величинах проективного покрытия. Пример фотоэталонов приведен на рис. 2. При эталонировании проведен анализ гистограмм распределения пикселей растрового изображения подстилающей поверхности, что позволило определить среднее значение тона изображения и его стандартное отклонение. Полученные данные дают

возможность автоматизировать анализ изображения и провести его классификацию с выделением участков, подверженных деградации в условиях аридного климата, то есть опустыниванию (рис. 3).

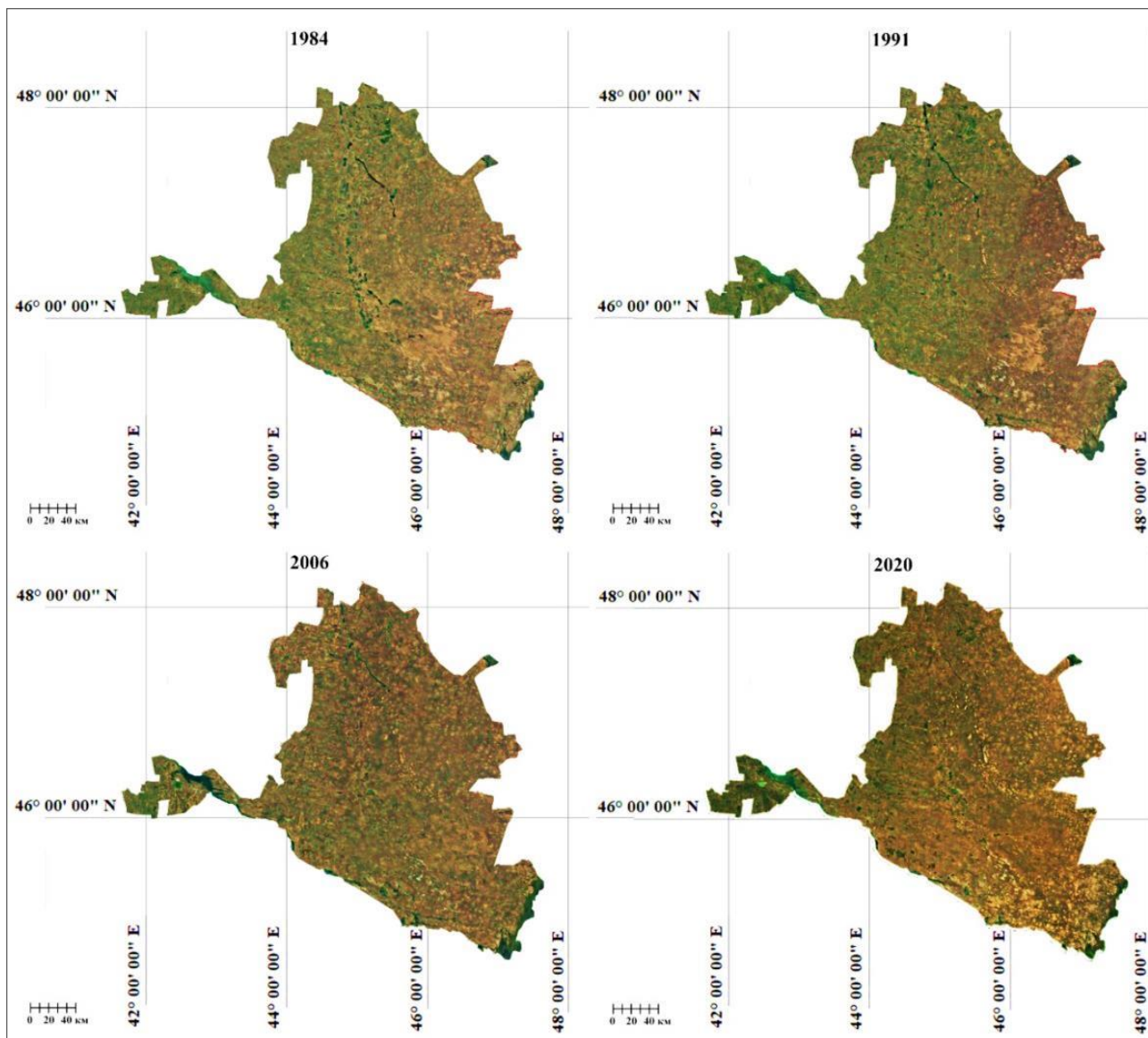


Рис. 1. Разновременные космодарты Калмыкии

По результатам дешифрирования участков опустынивания с проективным покрытием менее 10% были разработаны карты участков опустынивания по годам мониторинга с 1984 по 2020 гг. (мозаики спутников Landsat 5, 7, 8), примеры см. на рис. 3. По полученным картам разработана локальная ГИС опустынивания территории Калмыкии, определено пространственное распределение участков и их площади.

В итоге проведенного мониторинга осуществлен анализ изменения площади опустынивания S_{on} по годам исследований t , который позволил разработать уравнение регрессии на основе логистической функции с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.74$, с определением коэффициентов аппроксимации в виде:

$$S_{on} = 3960 / (1 + 223 \exp 0.2709) + 339.$$

На рис. 4 показан график изменения площади опустынивания территории Калмыкии в период с 1984 по 2020 г. и результат моделирования изменения площади опустынивания.

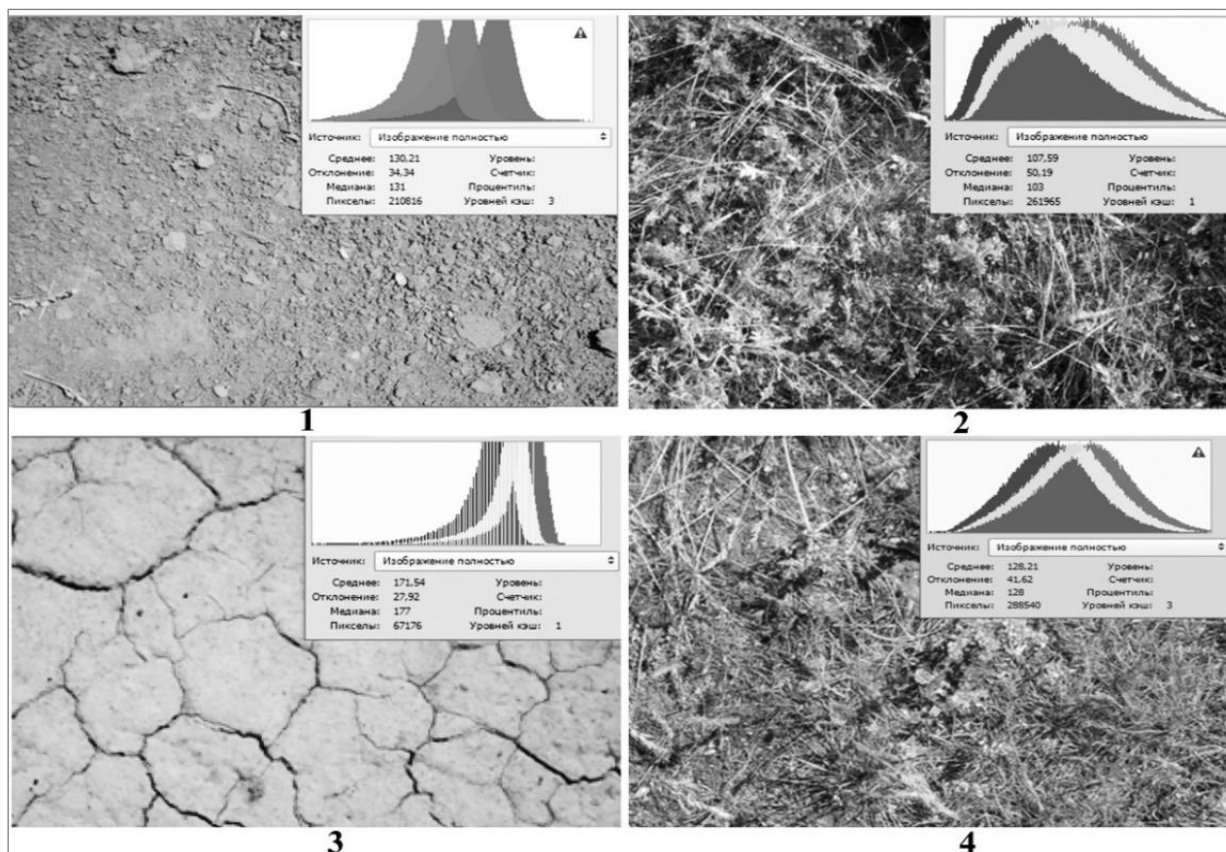


Рис. 2. Фотоэталон деградированных (1), засоленных (3) почв при отсутствии проективного покрытия; фотоэталон с проективным покрытием: *Artemisia lercheana* Weberex Stechm + *Festuca valesiaca* Gaudin (2) – 38%, *Poa bulbosa* L. (4)– 55%.

Выводы

Проведенный мониторинг опустынивания по данным дистанционной съемки территории Калмыкии позволил определить увеличение площадей за период с 1984 по 2020 г., подверженных опустыниванию практически в 4 раза – с 750 до 3000 тыс. га. Такое увеличение неравномерно по годам и обусловлено воздействием на аридные экосистемы Калмыкии как природных, так и антропогенных факторов. Антропогенные факторы связаны в большей степени с увеличением нагрузки на пастбища, с путями перегона животных, с их концентрацией при водопое и в кошарах. В меньшей степени они связаны с развитием сети полевых дорог и с перемещением транспорта по дорогам-дублерам, что приводит к уничтожению растительности в колеях.

Закономерность увеличения площади земель подверженных опустыниванию можно описать уравнением регрессии $S_{on} = 3960/(1 + 223\exp(0.2709)) + 339$, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.74$. Использование этого уравнения с достаточно высокой степенью достоверности дает возможность прогнозировать изменение площади опустыненных территорий и планировать необходимые работы по их реабилитации.

С увеличением площадей, не покрытых растительностью, возрастает концентрация животных на оставшихся площадях, соответственно возрастает нагрузка и степень деградации растительности.

Климатические условия оказывают существенное влияние на экосистемы. Это влияние обусловлено не только небольшим количеством и структурой выпадения осадков, но и влиянием пыльных и песчаных бурь, частота которых в последние годы увеличилась. Проявления таких бурь отмечены в 2020, 2021 и 2022 г.

В связи с этим необходимо отметить, что для сохранения и восстановления аридных экосистем на территории Калмыкии необходимо проведение фитомелиоративных мероприятий как по закреплению подвижных песков, так и по повышению пищевой ценности сбитых в различной степени пастбищ ценными видами травянистой и древесной растительности.

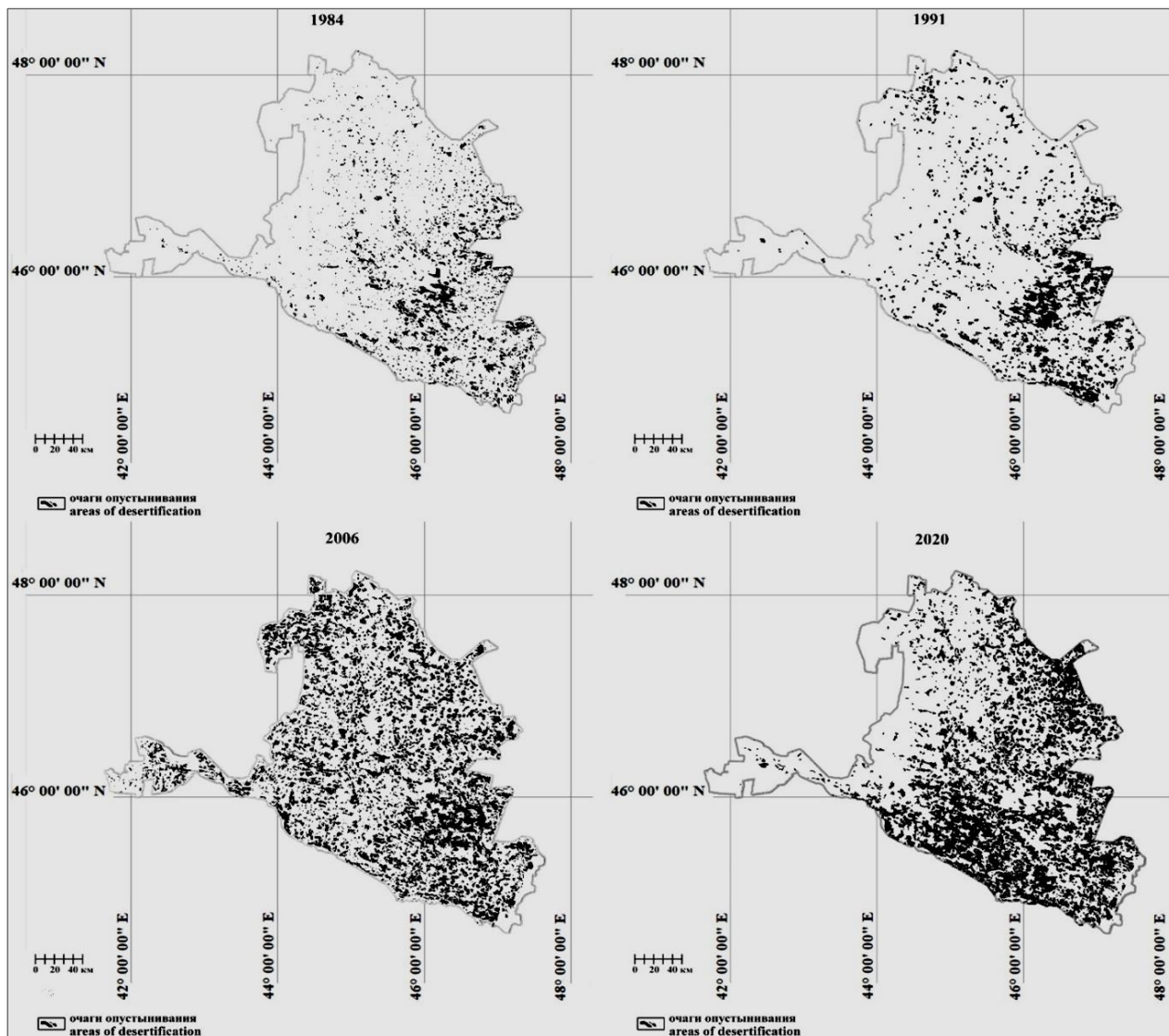


Рис. 3. Карты расположения участков опустынивания

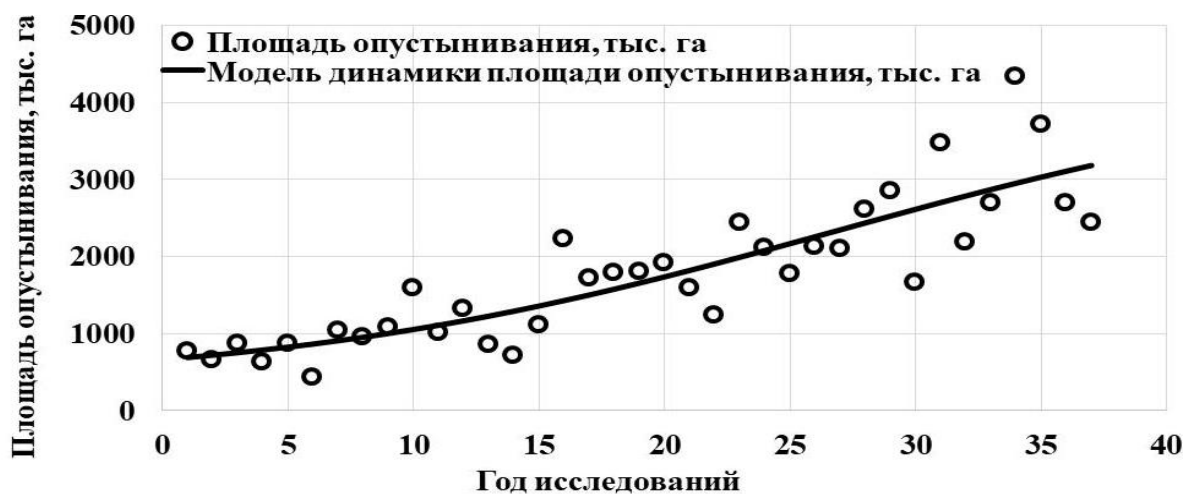


Рис. 4. Площади опустынивания территории Калмыкии в период 1984-2020 гг. и модель изменения площади опустынивания.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН, госрегистрация № 122020100311-3 по теме FNFE-2022-0003 «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов Б.В.* 1984. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М: Наука. 380 с.
- Виноградов Б.В.* 1993. Дистанционные индикаторы опустынивания и деградации почв // Почвоведение. № 2. С. 98-103.
- Кулик К.Н.* 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 248 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю.* 2010. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.
- Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В.* 2002. Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации // Аридные экосистемы. Т. 8. № 16. С. 7-27.
- Шинкаренко С.С.* 2019. Пространственно-временная динамика опустынивания на Чёрных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 16. № 6. С. 155-168.
- Юферев В.Г.* 2007. Дистанционный мониторинг состояния и динамики агроландшафтов // Земледелие. № 3. С. 8-9.
- Guo Q., Fu B., Shi P., Cudahy T., Zhang J., Xu H.* 2017. Satellite Monitoring the Spatial-Temporal Dynamics of Desertification in Response to Climate Change and Human Activities across the Ordos Plateau. China // Remote sensing. Vol. 9.No. 6.P. 255.
- Haishuo Wei, Wang Juanle, Cheng Kai, Li Ge, Ochir Altansukh, Davaasuren Davaadorj, Chonokhuu Sonomdagva.* 2018. Desertification Information Extraction Based on Feature Space Combinations on the Mongolian Plateau // Remote Sens. No10(10). 1614p.
- Mariam Akhtar-Schuster, Bigas Harriet, Thomas Richard, Chasek Pamela, Reed Mark.* 2010. Monitoring and assessment of desertification, land degradation and drought: knowledge management, institutions and economics: White Paper of the DSD Working Group 3 // UNU-INWEH/9. 126 p.
- Pernar R., Klobucar D.* 2003. Estimating stand density and condition with the use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos // Annales experimentis silvarum culturae provehendis. Zagreb: Universitas studiorum Zagrebiensis, Facultas forestalis. Vol. 40. P. 81-111.

УДК 504.05

АНТРОПОГЕННЫЙ ФАКТОР ОПУСТЫНИВАНИЯ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. Н.В. Тютюма, Г.К. Булахтина, Н.А. Тютюма

*Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук
Россия, 416251, Астраханская область, Черноярский район,
с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8. E-mail: gbulaht@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

В статье представлены результаты многолетних исследований влияния выпаса животных на развитие опустынивания в Астраханском регионе. Цель исследования – разработать научно обоснованные ресурсосберегающие нагрузки сельскохозяйственных животных на пастбищные экосистемы Астраханской области (АО) по административным районам. В задачи исследования входило: проведение геоботанического мониторинга биоценозов естественных аридных пастбищ; определение емкости используемых пастбищ, определение фактической нагрузки выпаса и разработка научно обоснованных пастбищных нагрузок. Расчеты проводились с использованием практического руководства ВНИИ кормов «Нормы нагрузки пастбищ Прикаспийского региона» (1995). В результате было выявлено, что в Астраханском регионе в результате увеличения антропогенного фактора, а именно бессистемного и бесконтрольного использования природных полупустынных пастбищ под выпас животных, когда происходит несоответствие фактической нагрузки пастбищ их емкости (в 2–6 раз), активизируется процесс опустынивания. Несбитые и слабосбитые пастбища сохранились на 35% площади исследуемых кормовых угодий, среднесбитые и сильносбитые пастбища занимают 43 и 22%, что свидетельствует о более чем пятикратном возрастании их за последнее десятилетие.

Ключевые слова: опустынивание, животноводческая нагрузка, продуктивность пастбищ, условные головы, норма нагрузки.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-53-58

EDN: PWLLCU

Аридные земли занимают более 36% суши Земли, из них 25% пахотных земель и 39% пастбищ находятся в состоянии опустынивания. Более 10 млн км² – пустыни, созданные человеком. Таким образом, можно констатировать, что современное земледелие и животноводство – это дестабилизирующие факторы в экологии планеты (Залибеков, 2011; Кулик, 2013; Тютюма и др., 2020).

Еще в 1923 г. академик Келлер Б.А. установил, что «...в результате антропогенного фактора, а именно интенсивной пастьбы на типичных полупустынных участках и даже на травяно-степных, растительность изменяется и приближается к пустынному типу» с доминантами, принадлежащими к пустынной флоре (Келлер, 1923).

В СССР такая проблема как опустынивание земель считалась актуальной в основном для пустынных регионов Средней Азии и Казахстана (Ахмеденов и др., 2015.).

По утверждению академика Кулика К.Н. «Наиболее подверженные опустыниванию регионы расположены в аридной, субаридной, сухой субгумидной и отчасти в гумидной зонах России. Другими словами, это лесостепь, степь, полупустыня – основной зерновой пояс страны. В административном отношении это Астраханская, Волгоградская, Ростовская области, а также Калмыкия, Дагестан, Ставропольский край, Кубань (отчасти), Саратов, Оренбург и др. Только за счет негативного воздействия комплекса природно-антропогенных факторов Россия ежегодно не добывает до 47.3 млн т продукции растениеводства в зерновом эквиваленте. Опустынивание есть не только на юге, но даже в тундре, где экосистемы деградируют до полного прекращения биопродуктивности из-

за техногенеза и появления песчаных барханов в пойме реки Лены, на Ямале, севере западной Сибири, Кольском полуострове и др. То есть, этот процесс не знает природных ограничений» (Остановить опустынивание ..., 2020).

В настоящее время исследования природных процессов не обходятся без использования геоинформационных технологий. Такие съемки дают совершенно новые возможности для точного картографирования природных объектов и происходящими с ними процессами (Виноградов, 1990; Юферев и др., 2010). Получаемые космические данные дают оперативную информацию о быстро изменяющихся природных процессах и явлениях, таких, как движение песков, опустынивание (деградация) земель и фенологические смены растительности (Кулик и др., 2010; Шакирова, 2005). Однако, выявить основные причины негативных процессов в природной среде возможно только углубленными наземными исследованиями.

Пастбищное скотоводство – основной потенциал развития Северного Прикаспия России. Исходная база и материальная основа сельскохозяйственного производства этого региона – обширные пастбищные земли. В общем объеме производства продукции по России здесь производится 14–15% баранины и 20% шерсти. Этот регион отмечен также наиболее дешевой продукцией животноводства, к примеру, себестоимость производства говядины и свинины в 2 раза выше, чем баранины. Находясь на пастбищах в условиях полупустыни и пустыни круглый год, расходы на содержание овец обуславливают наиболее низкие затраты. Дешевый подножный корм в рационе пастбищного скота по региону доходил по удельному весу до 75–85%. В результате, чрезмерная нагрузка скота привела к дигрессии степных фитоценозов и развитию процессов опустынивания (Мухортов и др., 2010). В настоящее время пыльные бури стали настоящим экологическим бедствием в Республике Калмыкия и Астраханской области (Кулик и др., 2021). Экологическая проблема, связанная с выпасом животных, усложняется тем, что ущерб, наносимый пастбищам, происходит из-за круглогодичного пребывания животных на пастбищах без обеспечения их восстановления. В результате уменьшаются урожайность и запасы пастбищных кормов, почва оголяется, растёт засоренность пастбищного травостоя непоедаемыми, вредными и ядовитыми растениями, увеличивается пастбищная и водная эрозия (наличие пастбищных троп, промоин, оврагов и пр.), исчезают из пастбищного травостоя отдельные виды растений, наблюдается смена доминантов растительных сообществ.

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН проводил многолетние исследования влияния такого антропогенного фактора, как выпас животных на развитие опустынивания региона. Цель исследования – разработать научно обоснованные ресурсосберегающие нагрузки сельскохозяйственных животных на пастбищные экосистемы Астраханской области по административным районам.

В задачи исследования входило: проведение геоботанического мониторинга биоценозов естественных аридных пастбищ; определение емкости используемых пастбищ, установление фактической нагрузки выпаса и разработка научно обоснованных пастбищных нагрузок.

Земельный фонд Астраханской области по состоянию на 01.01.2021 г. составил 5292.4 тыс. га, в том числе 68.6% – земли сельхозназначения (данные Росреестр, 2021 г.). За последние 15 лет площадь сенокосов уменьшилась на 25.5 тыс. га, пастбищ – на 260.8 тыс. га (рис. 1).

Однако поголовье пастбищного скота за этот период активно увеличивалось, в том числе наиболее «экологически опасных» для пастбищных экосистем овец и коз (рис. 2).

Материалы и методы

Объектами исследования являлись аридные пастбищные экосистемы Астраханской области по административным районам, в том числе урожайность и питательность сухого корма по сезонам года, количество используемых пастбищ (гектар) и выпасаемого скота (в условных головах овец – усл. гол.).

В своих расчетах мы опирались на практическое руководство «Нормы нагрузки пастбищ Прикаспийского региона» (ВНИИ кормов, 1995). Продуктивность оптимальную (нормальную), использованную животными без ущерба для последующей урожайности пастбища, определяли по формуле:

$$П = У_k \cdot Э \cdot К_d, \quad (1)$$

где П – продуктивность, корм. ед.; Ук – урожайность кормовых видов растений, ц/га сухой массы; Э – питательность 1 кг сухого корма, корм. ед.; Кд – коэффициент допустимого использования пастбищной травы.

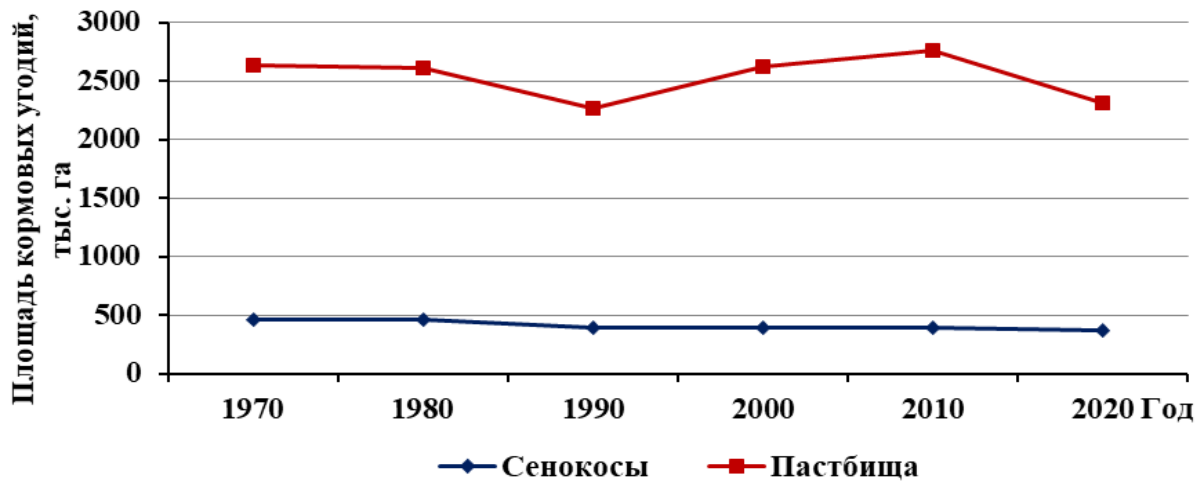


Рис. 1. Динамика площади кормовых угодий Астраханской области по годам (данные Росреестр, 2021г.)

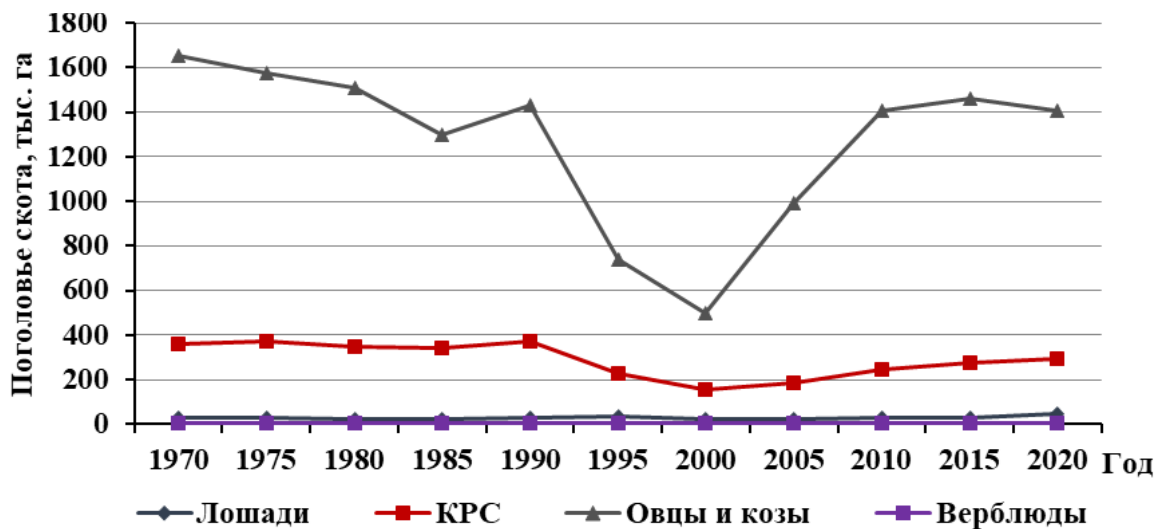


Рис. 2. Изменение поголовья скота (тыс. гол.) в Астраханской области по годам (данные Астраханьстат, 2021 г.)

При расчетах урожайности пастбищ необходимо вводить поправку на использование пастбищ дикой фауной. На природных пастбищах Прикаспия приняты следующие коэффициенты использования пастбищной массы дикой фауной: для летних, осенних и круглогодичных – 0.2; для зимних и весенних – 0.1.

Коэффициент допустимого использования пастбищной массы – величина, характеризующая часть (долю) урожайности кормовых видов растений, которая может быть использована животными без ущерба для последующего состава и продуктивности травостоя, а также экологического состояния кормового угодья. Он изменяется в зависимости от типа пастбищ и их состояния, сезона использования угодий, урожайности и биологических особенностей кормовых растений и составляет обычно 70–90% (или 0.7–0.9) для нечерноземной зоны.

Нагрузка пастбищ (Н) – это количество животных, выпасаемых на 1 га в течение всего пастбищного периода (или отдельного сезона). Она выражается в головах на 1 га за сезон и является показателем антропогенной нагрузки. Одним из основных условий рационального использования

пастбищ является соблюдение оптимальной нагрузки пастбищ. Нагрузка пастбищ может быть повышенной, оптимальной и заниженной.

Норма нагрузки пастбищ (Нн, гол./га) рассчитывают по формуле:

$$Нн = \frac{Пр(1-Кф)}{НД}, \quad (2)$$

где Пр – продуктивность пастбища, корм. ед.; Кф – коэффициент использования травы дикой фауной; Н – суточная норма кормления одного животного пастбищным кормом, корм. ед.; Д – продолжительность выпаса животных, дней.

Нагрузка пастбищ подвержена значительным сезонным и многолетним колебаниям, обусловленным изменением урожайности в зависимости от метеорологических условий. Так, эфемерные пастбища могут изменять свою урожайность в 8–10 раз, солянковые – в 5–6, полынные, полынно-злаковые – в 2–3 раза.

Результаты и обсуждение

На первом этапе был собран статистический материал в муниципальных образованиях Астраханской области по количеству пастбищного поголовья (голова) и используемых пастбищ (гектар) и рассчитана фактическая нагрузка на аридные пастбищные угодья по административным районам (табл. 1).

Таблица 1. Расчет фактической нагрузки (условных голов на 1га) на аридные пастбищные угодья Астраханской области по административным районам.

Наименование района	Наличие пастбищ, га	Поголовье, усл. гол.					Фактическая нагрузка, усл. гол./га
		КРС	овцы, козы	лошади	верблюды	всего	
Наримановский	419579	211230	352753	18900	10850	593733	1.4
Енотаевский	412326	287140	252713	23970	–	563823	1.4
Черноярский	263453	97630	301442	7050	–	406122	1.5
Харабалинский	370888	234790	141698	43960	5880	406238	1.1
Ахтубинский	226789	242140	74906	18900	–	335946	1.5
Красноярский	161696	170880	18062	40570	26940	256452	1.6
Приволжский	27994	127155	20388	–	–	147543	5.2
Лиманский	287180	206241	245490	16121	56	467908	1.6
Камызякский	90836	216699	14714	37464	–	268877	3.0
Икрянинский	48406	121989	15133	16079	364	153565	3.2
Володарский	99962	196252	11162	12159	–	219573	2.2

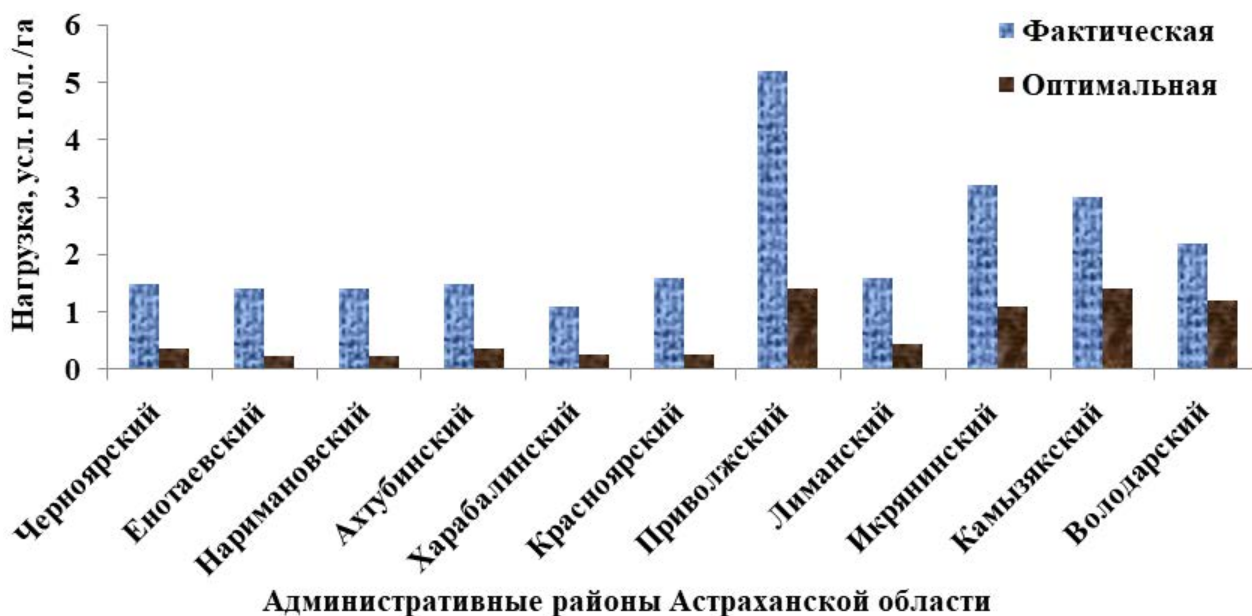
После проведения мониторинга кормовых угодий, когда была собрана база данных по урожайности и питательной ценности пастбищного корма по сезонам года, а также экологического состояния исследуемых пастбищ, были проведены расчеты оптимальной нормы нагрузки на аридные пастбища Астраханской области по административным районам (табл. 2). Оптимальная нагрузка (норма нагрузки) – это количество выпасаемых животных на 1 га в течение пастбищного периода (или отдельного сезона) при условии отсутствия деградации травостоя.

В результате проведенных исследований было выявлено значительное превышение оптимальной нормы нагрузки на пастбищные экосистемы (рис. 3). Несбитые и слабосбитые пастбища сохранились на 35% площади исследуемых кормовых угодий, среднесбитые и сильносбитые пастбища занимают 43 и 22%, что свидетельствует о более чем пятикратном возрастании их за последнее десятилетие. Растительный покров полупустынных пастбищ характеризуется изреженностью травостоя, большей частью состоящего из засухоустойчивых и солевыносливых видов растений, основной фон растительности представлен различными полынками, солянками с эфемерами и тростниковой растительностью.

Таблица 2. Расчет научно обоснованной (оптимальной) нормы нагрузки на аридные пастбищные угодья Астраханской области по административным районам*.

Наименование района	Урожайность, сухое вещество, ц/га	Питательность 1 ц. СВ. корм. ед	Коэффициент допустимого использования	Продуктивность пастбищ, ц. корм. ед./га	Оптимальная норма нагрузки, усл. гол./га
Наримановский	2.9	0.65	0.60	1.13	0.23
Енотаевский	3.0	0.71	0.55	1.17	0.24
Черноярский	3.8	0.73	0.65	1.80	0.37
Ахтубинский	4.5	0.67	0.55	1.70	0.36
Харабалинский	3.5	0.65	0.55	1.25	0.26
Красноярский	3.7	0.64	0.55	1.30	0.27
Приволжский	1.4	0.68	0.70	0.68	1.40
Лиманский	1.2	0.62	0.30	0.22	0.45
Камызякский	1.4	0.72	0.70	0.70	1.40
Икрянинский	1.1	0.69	0.70	0.52	1.10
Володарский	1.3	0.66	0.70	0.60	1.20

Примечание: *В расчетах использовались данные: продолжительность выпаса – 365 дней; суточное потребление 1 усл. гол. пастбищного корма – 1.2 корм. ед.

**Рис. 3.** Фактическая и оптимальная животноводческая нагрузка на естественные пастбища Астраханской области.

Выводы

Таким образом, в Астраханском регионе в результате увеличения антропогенного фактора, а именно бессистемного и бесконтрольного использования природных полупустынных пастбищ под выпас животных, когда происходит несоответствие фактической нагрузки пастбищ их емкости (в 2–6 раз), активизируется процесс опустынивания. Темпы снижения урожайности возросли до 3–5% в год. Это означает, что, если не изменить подход к данной проблеме, через 30–50 лет значительная часть

территории астраханских природных пастбищ превратится в пустыню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмеденов К.М., Сапанов М.К., Сиземская Л.М.* 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель Северного Прикаспия // *Аридные экосистемы*. Т. 21. № 3(64). С. 84-91.
- Виноградов Б.В.* 1990. Аэрокосмический мониторинг динамики почвенного покрова // *Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве: сб. ст.* М.: Наука. С. 55-60.
- ВНИИ кормов. 1995. Нормы нагрузки пастбищ Прикаспийского региона // Отв. за выпуск А.А. Зотов. 23 с.
- Залибеков З.Г.* 2011. Аридные земли мира и их динамика в условиях современного климатического потепления // *Аридные экосистемы*. Т. 17. № 1 (46). С. 5-13.
- Келлер Б.А.* 1923. Растительный мир русских степей, полупустынь и пустынь. Очерки экологические и фитоценологические // *Труды ин-та по изучению природы и хозяйства засушливых пустынных областей России*. Воронеж. Т. 1. Вып. 1. 183 с.
- Кулик К.Н.* 2013. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // *Аридные экосистемы*. Т. 19. №3(56). С. 87-94.
- Кулик К.Н., Булахтина Г.К., Тютюма Н.А.* 2021. Изучение факторов влияния мелиоративно-кормовых лесных насаждений на аридные пастбищные экосистемы // *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*. №2. С. 28-39.
- Мухортов В.И., Власенко М.В., Булахтина Г.К.* 2010. Проблемы сохранения и рационального использования пастбищных угодий аридной зоны Северо-Западного Прикаспия // *Изд-во «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук»*. С. 346-349.
- Остановить опустынивание. Беседа с академиком К.Н. Куликом. 2020. Портал «Научная Россия» [Электронный ресурс <https://scientificrussia.ru> (дата обращения 10.06.2022 г.)].
- Тютюма Н.В., Булахтина Г.К., Кудряшов А.В., Кудряшова Н.И.* 2020. Мелиоративная эффективность кустарниковых кулис на аридных пастбищах юга России // *Аридные экосистемы*. №1 (82). С. 62-68.
- Шакирова А.Р.* 2005. Геоинформационные технологии: основные понятия, функции и типы применения // *Открытое и дистанционное образование*. № 1(17). С. 33-36.
- Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю.* 2010. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В ЦЕЛЯХ УСТАНОВЛЕНИЯ
НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ
(ДЛЯ ОПУСТЫНЕННЫХ УГОДИЙ СУХОСТЕПНОГО ЗАВОЛЖЬЯ)**

© 2023 г. В.Д. Славко, О.В.Андреева, Г.С. Куст

*Институт географии Российской академии наук
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29. E-mail: kust@igras.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Сухостепное Заволжье имеет сложную структуру земель, представленную участками орошаемого и богарного земледелия, пастбищными угодьями как на естественных степных участках, так и на заброшенных пахотных землях, что приводит к существенному искажению результатов оценки нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) на основе стандартных подходов, разработанных для анализа состояния земель на глобальном и региональном уровне. В работе анализируется проблема интерпретации результатов оценки динамики наземного покрова как одного из основных глобальных индикаторов НБДЗ, предлагаемых Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием. Для исследуемой территории был разработан и применен метод, основанный на анализе сезонных серий снимков КА Landsat с помощью самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена, реализованных в программном комплексе Scanex Image Processor. Показано, что такой подход существенно расширяет возможности оценки НБДЗ, как в результате детализации оценки и установления большего количества картографических выделов и контуров, так и при использовании матрицы оценки переходов, основанной на расширенной классификации наземного покрова. Применение модуля Change Detection программного комплекса SAGAGIS позволяет не только выявлять характер восстановительных и деградационных изменений, но и проводить сравнительные оценки трендов для различных угодий и категорий земель. Совокупность предложенных подходов, реализованная в виде функционального алгоритма, может быть рекомендована для мониторинга и оценки достижения НБДЗ на локальном уровне.

Ключевые слова: нейтральный баланс деградации земель, опустынивание, материалы дистанционного зондирования земли, изменения наземного покрова.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-59-69

EDN: WHOCSS

Одной из задач, решаемых в рамках Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), является стандартизация методов оценки деградации земель на глобальном уровне для проведения сравнимых наблюдений за динамикой этого явления в странах и регионах. К настоящему времени можно считать, что основа для таких методов сформулирована и заключается в концепции НБДЗ, отдельные аспекты которой ранее рассматривались нами, в том числе и в журнале «Аридные экосистемы» (Куст и др., 2020; Tsymbarovich и др., 2020; Беляева и др., 2020).

Напомним, что под НБДЗ понимается «такое состояние, при котором объем и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определенных временных и пространственных масштабах и экосистемах» (определение принято на 12 Конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) в сентябре 2015 г. (UNCCD, 2016). Этот подход используется в расчетном модуле Trends.Earth (Trends.Earth Documentation. Release 1.0.4., 2021), предлагаемом КБО ООН в качестве базового метода для подготовки и представления национальных данных по оценке деградации земель и достижению НБДЗ, а также в национальной отчетности по достижению задачи 15.3 Целей устойчивого развития ООН, индикатор 15.3.1 – доля деградированных земель от общей площади суши.

Принцип работы Trends.Earth заключается в использовании трех основных индикаторов, предлагаемых в рамках КБО ООН (UNCCD-GM, 2016): динамика наземного покрова, динамика продуктивности, динамика запасов органического углерода почв.

Согласно определению, данному ФАО, наземный покров – наблюдаемый биофизический покров на поверхности Земли. При этом в узком смысле под land cover подразумевается растительный покров и объекты, созданные человеком (Di Gregorio, A.; Jansen, Louisa J.M., 2000).

В расчетном модуле Trends.Earth используется классификация типов наземного покрова, предлагаемая ФАО ООН (Land cover CCI, 2017). Данная классификация представлена 37 классами, генерализованными в 7 основных классов для целей глобальной оценки: 1) пашня, 2) травянистые сообщества, 3) древесная растительность, 4) болота, 5) антропогенные территории, 6) участки, лишенные растительности, 7) водные объекты.

Для оценки динамики наземного покрова, динамики продуктивности, динамики запасов органического углерода почв используются глобальные базы данных, включающие ГИС-данные и космические снимки. На их основе строятся слои, отражающие ежегодное состояние каждого из индикаторов, рассчитывается их динамика за выбранный промежуток времени (начиная с 2000 г.). Присвоение качественной характеристики выявленным трендам (деградация, проградация, отсутствие изменений) позволяет при наложении картографических слоев трендов всех трех индикаторов выявлять территории с негативной динамикой, используя принцип «one out, all out».

Динамика наземного покрова – это основной индикатор модуля Trends.Earth, оценка которого может выполняться с использованием материалов дистанционного зондирования Земли, что позволяет проводить ретроспективный анализ НБДЗ, свести к минимуму трудоемкие полевые исследования, выполнять оценку для больших территорий в относительно короткие сроки.

Модуль Trends.Earth разрабатывался для целей глобальной оценки деградации земель и, как было показано нами ранее (Беляева и др., 2020), недостаточно точно отражает изменения на локальном и региональном уровне из-за низкого пространственного разрешения (300 м); количество классов наземного покрова недостаточно для отражения специфики территории на локальном уровне; типы переходов не всегда отображают специфику деградационных процессов на конкретной территории (Отчет о НИР, 2021; Славко, Куст, 2022).

С учетом этих обстоятельств задачи нашей работы заключались в том, чтобы оценить возможности и результаты использования преобразованной матрицы переходов классов наземного покрова, устанавливаемых с использованием дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) более высокого разрешения и расширенной (адаптированной для местного уровня) классификации наземного покрова.

С целью валидации результатов оценки в 3-х километрах на юго-запад от оз. Эльтон был заложен ключевой участок Pgi. Территория представляет собой залежь 17-летней давности, в настоящее время находящуюся под выпасом. Точки опробования (всего 4) были заложены по градиенту увеличения пастбищной нагрузки по мере приближения к кошаре (месту содержания скота). В качестве эталонного участка условнонарушенных почв была взята точка Vul 3 ключевого участка Vul, расположенная в 20 км северо-восточнее от оз. Булухта. Для данного участка отмечается отсутствие пахотной нагрузки за период наблюдения КА Landsat, пастбищная нагрузка также низкая в связи с большой удаленностью от кошар.

Каждая точка опробования представляет собой площадку размером 300×300 м*, гомогенную с точки зрения растительности и структуры почвенного покрова. Для каждой точки закладывались опорные почвенные разрезы, измерялись морфологические, физико-химические показатели почв, проводилось описание растительного покрова.

Объекты и методы исследований

Тестовый полигон расположен в Волгоградской области в Эльтонской котловине и представлен ячеистыми ландшафтами с полынно-типчакково-ковыльными и полынно-типчakovыми степями с участками орошаемого и богарного земледелия и пастбищ как на степных участках, так и на залежах

*Размер площадок закладывался с целью дальнейшего использования в качестве эталонов при обучении нейронных сетей.

разного возраста.

В работе исследовались результаты применения нескольких способов оценки динамики наземного покрова: 1) с помощью программного модуля Trends.Earth; 2) с сохранением алгоритма Trends.Earth, но на основании анализа материалов ДЗЗ КА Landsat 4-5, Landsat 8 с большим пространственным разрешением (~30 м), чем используемые в Trends.Earth; 3), то же, но с использованием расширенной классификации наземного покрова, проведенной по результатам наземной валидации.

В расчетном модуле Trends.Earth оценка динамики наземного покрова производится в терминах «деградация», «улучшение», «изменения отсутствуют» на основе таблицы переходов типов наземного покрова (Trends.Earth Documentation. Release 1.0.4., 2021). Оценка по материалам (ДЗЗ) КА Landsat 4-5, Landsat 8 производилась на основе анализа серий многоканальных космических снимков КА Landsat 4-5, и Landsat 8 с помощью самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена, реализованных в модуле Thematic Pro программного комплекса Scanex Image Processor 5.1. Общая последовательность выполнения работ представлена в схеме на рис. 1.

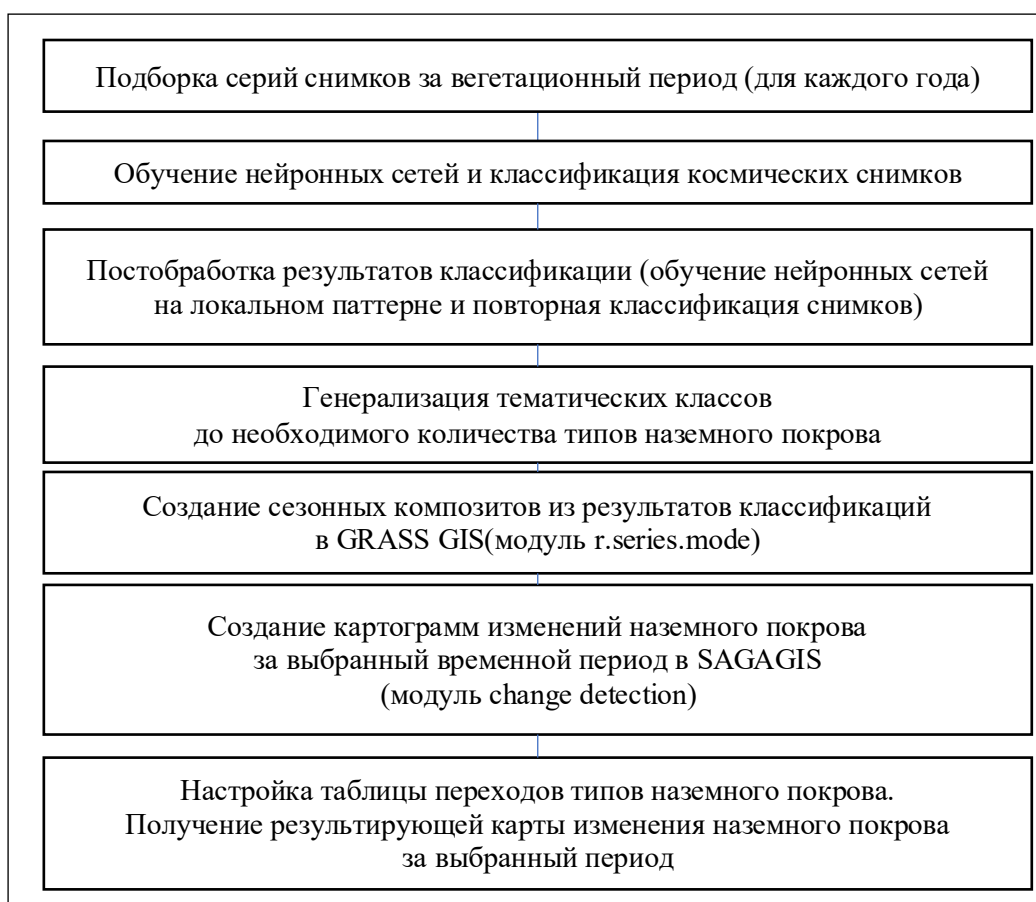
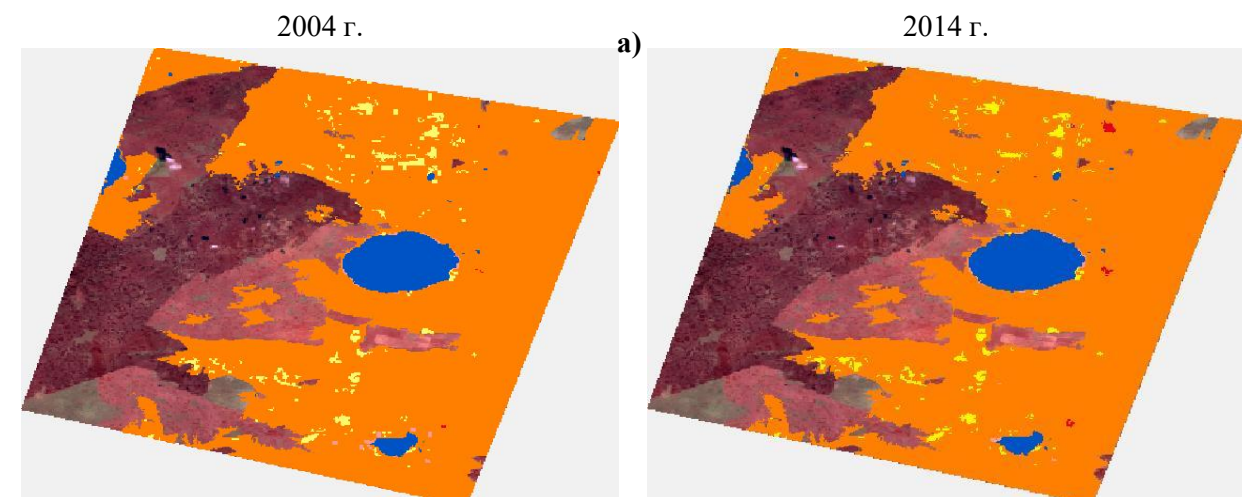








Рис. 1. Блок-схема анализа изменений наземного покрова на основании данных КА Landsat 4-5, Landsat 8.

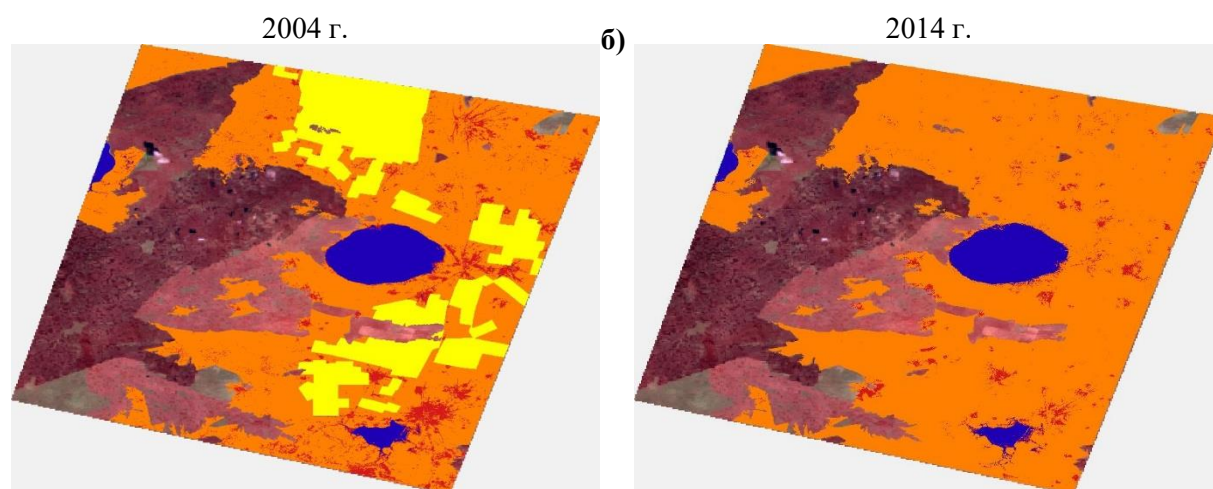
В работе использовался синтез 7-4-2 каналов Landsat 4-5 и аналогичный ему синтез 7-5-3 каналов Landsat 8. Такие синтезы каналов позволяют детектировать открытые участки почвы, минеральных отложений, оценивать состояние растительности, степень увлажнения почвы, развитие процессов засоления (Quinn J.W., 2001).

В 2014 г. территория тестового полигона была подвержена обширным степным пожарам (рис. 2). Выгоревшие территории не входили в анализ, для их исключения была подготовлена векторная маска, полученная на основе автоматической оцифровки картограмм индекса NBR – normalized burned ratio (Key, Benson, 2005), на рис. 2 представлена в красно-коричневой гамме. Для исключения ошибочного отнесения участков, занятых пашней, к классу наземного покрова «степная

растительность» (из-за особенностей севооборота) была создана векторная маска пашни, в границах которой пиксели были принудительно отнесены к классу наземного покрова «пашня».



	Тип наземного покрова	Площадь 2004 г., %	Площадь 2014 г., %
	Древесная растительность	0.01	0.01
	Степная растительность	91.51	91.82
	Пашня	2.49	2.14
	Антропогенные объекты	0.03	0.18
	Другие территории	0.29	0.18
	Водные объекты	5.68	5.68






	Тип наземного покрова	Площадь 2004 г., %	Площадь 2014 г., %
	Водные объекты	6.10	6.08
	Участки, лишённые растительности	6.54	2.73
	Степная растительность	63.51	91.19
	Пашня	23.85	0.00

Рис. 2. Картограммы наземного покрова по состоянию на 2004 и 2014 гг., получаемые с использованием разных ДЗЗ и методов их обработки. Исходный масштаб 1:300 000. Координаты левого верхнего угла 46.1727E, 49.5808N. *Условные обозначения:* а – картограмма наземного покрова, полученная с помощью Trends.Earth, б – картограмма, полученная на основе анализа данных КА Landsat, в – картограмма, полученная на основе анализа данных КА Landsat и адаптированной классификации выделов.

Продолжение рис. 2.

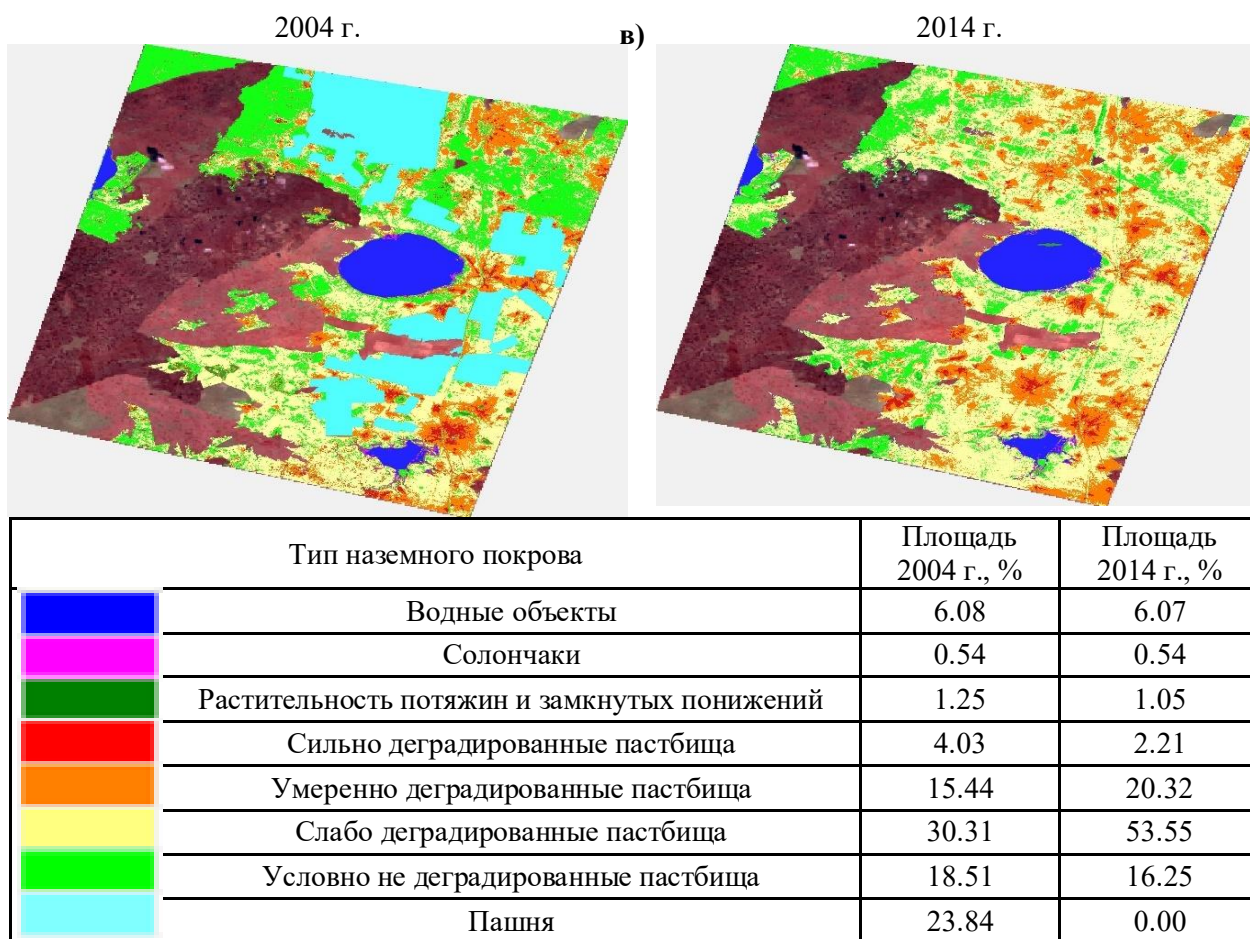


Рис. 2. Картограммы наземного покрова по состоянию на 2004 и 2014 гг., получаемые с использованием разных ДЗЗ и методов их обработки. Исходный масштаб 1:300 000. Координаты левого верхнего угла 46.1727E, 49.5808N. *Условные обозначения:* а – картограмма наземного покрова, полученная с помощью Trends.Earth, б – картограмма, полученная на основе анализа данных КА Landsat, в – картограмма, полученная на основе анализа данных КА Landsat и адаптированной классификации выделов.

Оценка динамики наземного покрова тестового полигона

Ранее нами было показано (Славко, Куст, 2022), что результаты, получаемые с использованием данных Landsat, отличаются существенно большей детальностью по сравнению с оценкой, проведенной с помощью Trends.Earth, а уточнение классификации локальных выделов наземного покрова позволяет более точно распознать его пространственную неоднородность, в особенности обусловленную разным состоянием пастбищ (см. рис. 2).

Для диагностики изменений, отражающихся на картограммах наземного покрова, представленных на рис. 2в, использовался модуль Change Detection программного комплекса SAGAGIS (Conard, 2010), который, в отличие от расчетного модуля Trends.Earth, позволяет не только видеть снижение площадей каждого из классов наземного покрова, но и демонстрировать тип перехода для каждого пикселя картограммы, что является важным инструментом для детального анализа трендов деградационных процессов. На рис. 3 представлены результаты сравнительной обработки картограмм наземного покрова по состоянию на 2004 и 2014 гг., полученных с помощью ДЗЗ Landsat и уточненной классификации.

Картографический анализ последней картограммы позволяет выявить наиболее распространенные по площади типы переходов наземного покрова за исследуемый период (рис. 4). Основными типами переходов для исследуемой территории являются: пашня – слабо деградированные пастбища (15.26%

от общей площади тестового участка), условно не деградированные пастбища – слабо деградированные пастбища (9.49 %), умеренно деградированные пастбища – слабо деградированные пастбища (5.62 %), пашня – умеренно деградированные пастбища (4.69 %), слабо деградированные пастбища – умеренно деградированные пастбища (4.48 %). При анализе с помощью Trend.Earth такая информация о качественных изменениях в наземном покрове не может быть получена, поскольку все детали и особенности переходов скрыты под единым выделом «степная растительность».

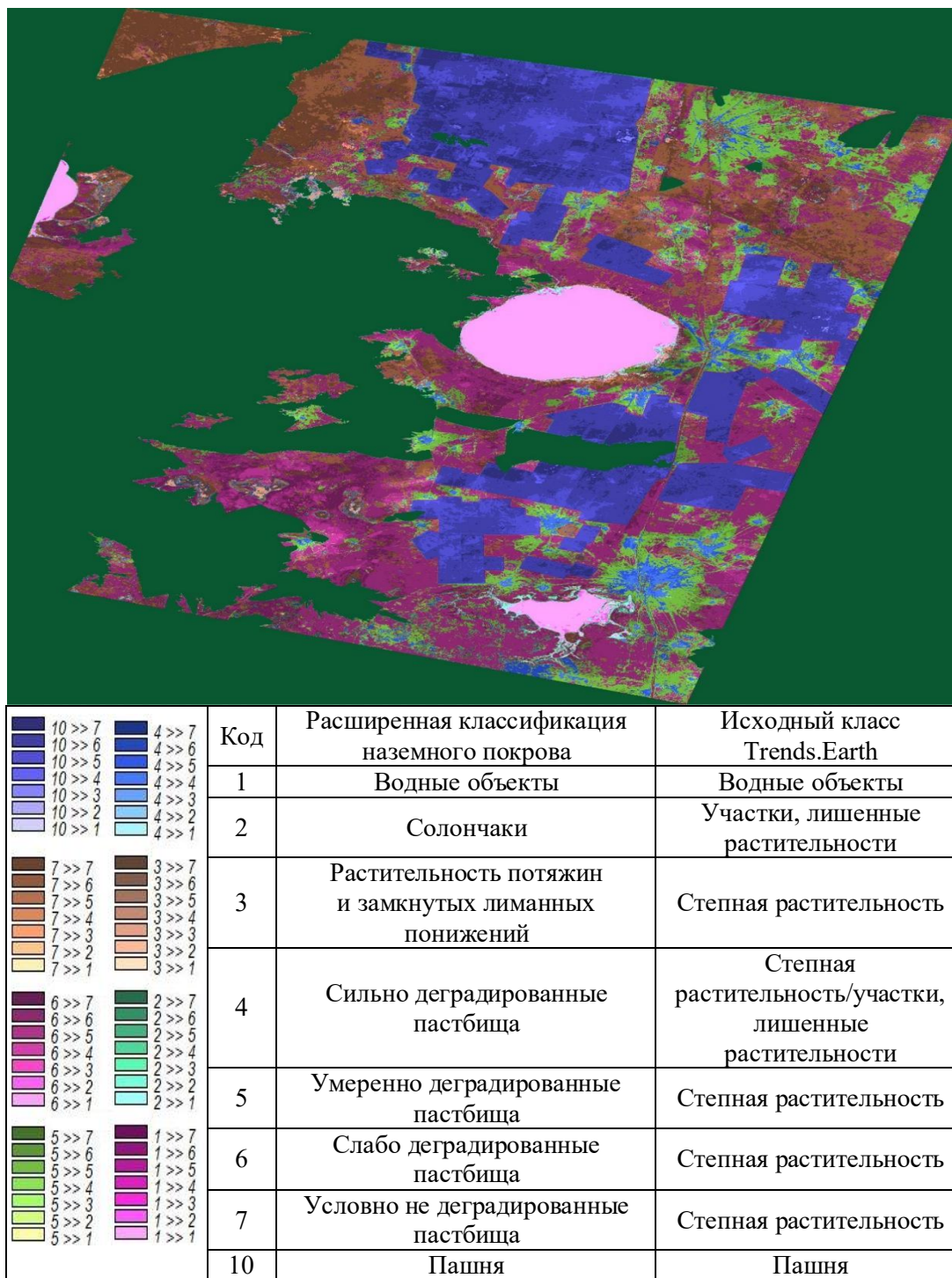


Рис. 3. Картограмма изменения наземного покрова тестового полигона за период с 2004 по 2014 гг. Численные коды изменений соответствуют кодам таблицы.

Изменение land cover тестового полигона за период с 2004 по 2014 гг.

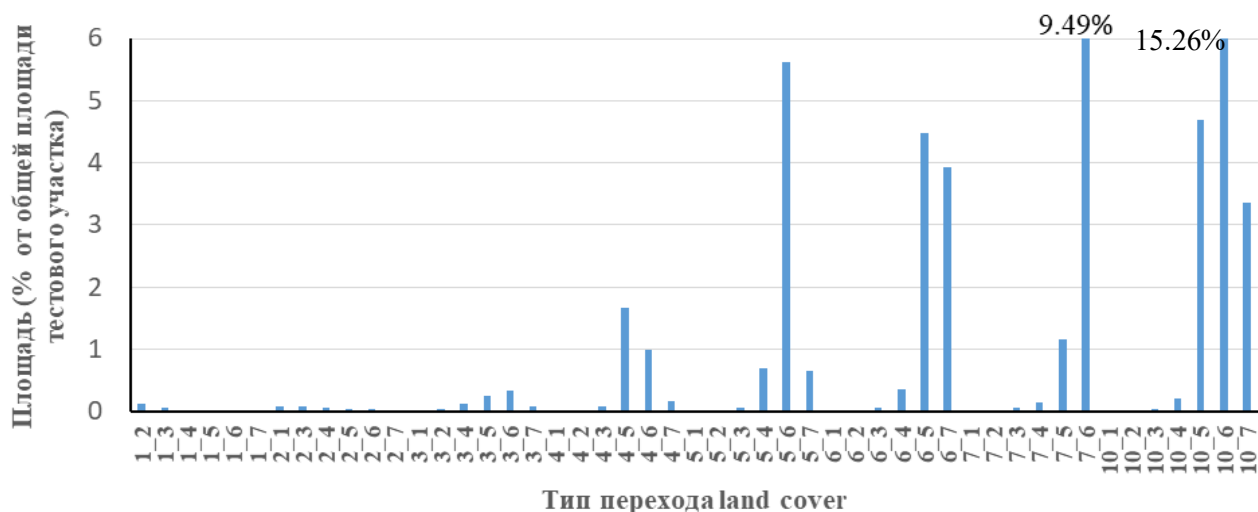


Рис. 4. Гистограмма типов изменений наземного покрова. Коды соответствуют легенде рис. 3

В целях качественной оценки деградации земель в терминах «улучшение – отсутствие изменений – деградация», используемой при анализе достижения НБДЗ, полученные результаты позволяют скорректировать матрицу положительных и отрицательных переходов наземного покрова для данного тестового участка. Результат представлен в табл. 1.

Таблица 1. Матрица переходов для оценки НБДЗ при использовании расширенной классификации наземного покрова на локальном уровне (зеленый – улучшение, красный – деградация, желтый – отсутствие изменений).

Изначальный класс наземного покрова	Конечный класс наземного покрова							
	водные объекты	солончаки	растительность потяжин и замкнутых лиманных понижений	деградированные пастбища			условно не деградированные пастбища	пашня
				сильно	умеренно	слабо		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водные объекты	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Солончаки	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Растительность потяжин и замкнутых лиманных понижений	Yellow	Red	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	Red
Сильно деградированные пастбища	Yellow	Red	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green
Умеренно деградированные пастбища	Yellow	Red	Green	Red	Yellow	Green	Green	Green

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Слабо деградированные пастбища	Yellow	Red	Green	Red	Red	Yellow	Green	Green
Условно не деградированные пастбища	Yellow	Red	Green	Red	Red	Red	Yellow	Green
Пашня	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow

На основании данной матрицы переходов была подготовлена итоговая картограмма деградации земель тестового полигона по индикатору «динамика наземного покрова» в соответствии с методологией НБДЗ (рис. 5б). Для сравнения приведена аналогичная картограмма, подготовленная с использованием стандартной матрицы, используемой по умолчанию в Trend.Earth (рис. 5а, цит. по Славко, Куст, 2022).

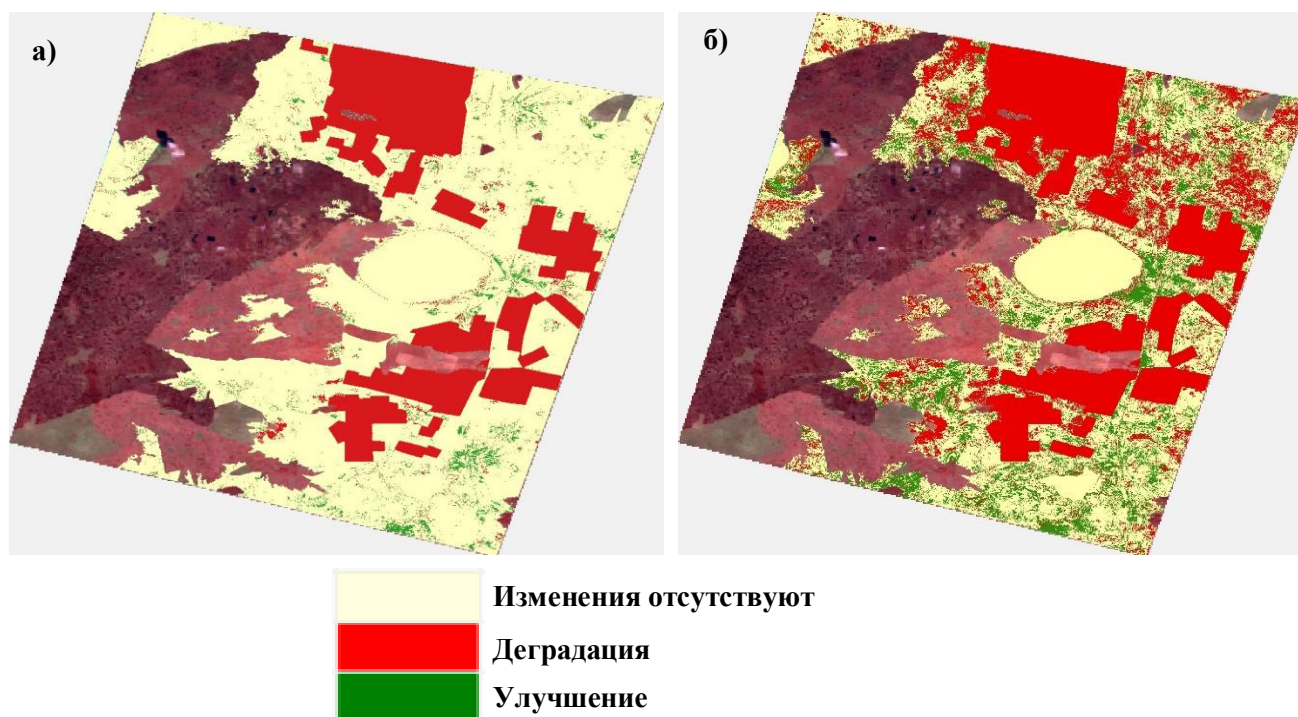


Рис. 5. Оценка деградации наземного покрова тестового полигона за период с 2004 по 2014 г. с использованием разных классификаций и оценочных матриц. Условные обозначения: а – с использованием оценочной матрицы Trends.Earth (по умолчанию), б – с использованием расширенной классификации выделов и оценочной матрицы, адаптированной для местных условий.

Сравнение картограмм, полученных для тестового полигона на основе обработки серий снимков КА Landsat 4-5, Landsat 8 с помощью нейронных сетей, использующих стандартную классификацию и расширенную классификацию наземного покрова, показывает, что расширенная классификация позволяет выявлять большее количество переходов типов наземного покрова, чем стандартная классификация Trends.Earth, и большее количество участков деградационных / проградационных изменений в пределах тестового полигона. В табл. 2 представлены результаты сводной оценки деградации земель с помощью различных подходов. Анализ таблицы показывает, что по уточненным данным ситуация с деградацией земель оказывается более контрастной, то есть отмечается увеличение доли земель как с признаками деградации, так и с признаками улучшения. В частности,

выявляются признаки улучшения пастбищ. Так, например, на рис. 6 представлен фрагмент снимка 2004 г., где заметно, что площадь отчетливо видимых скотопрогонных участков и троп (высветленных областей, что соответствует классу наземного покрова «сильно деградированные пастбища») больше, чем на снимке 2014 г.

Таблица 2. Сравнение результатов оценки деградации земель (с использованием материалов ДЗЗ КА Landsat 4-5 и Landsat 8), полученных с помощью различных методов

Тип изменений	Стандартная классификация наземного покрова	Расширенная классификация наземного покрова)
	площадь (в % от общей площади тестового полигона)	
Деградация	24.64	40.62
Улучшение	2.87	13.38
Нет изменений	72.49	45.98

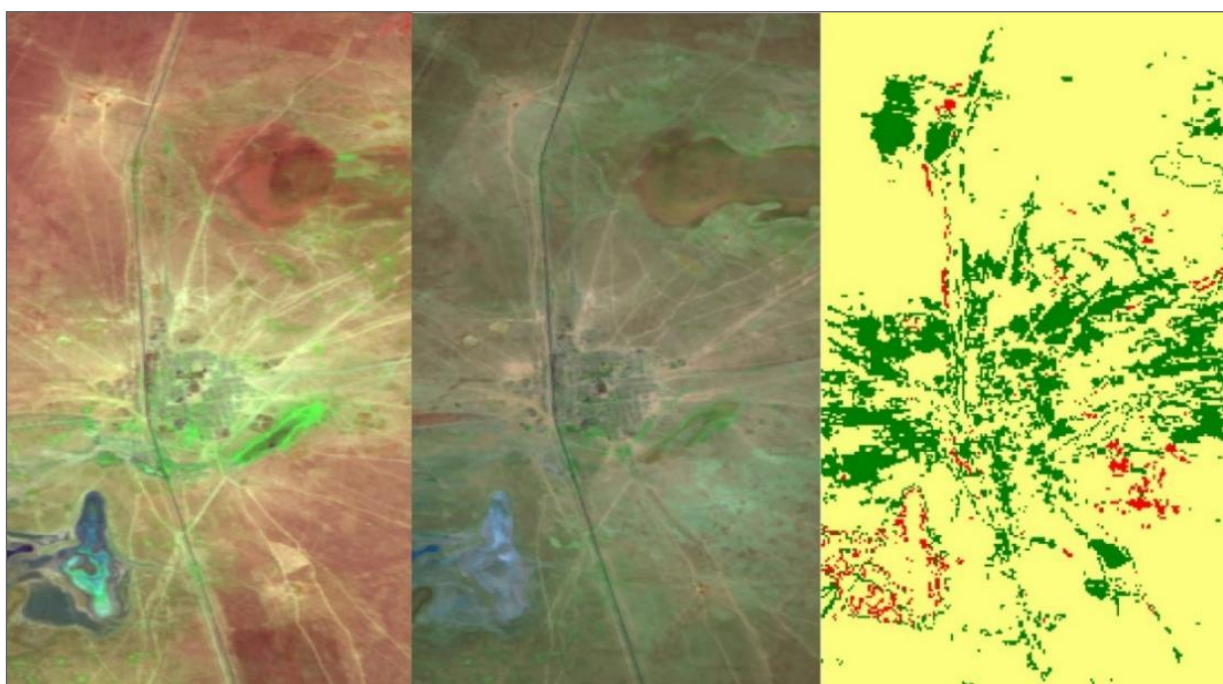


Рис. 6. Пример восстановления деградированных пастбищ. Слева фрагмент снимка КА Landsat 4-5 16.08.2004 (синтез 7,4,2 каналов), в центре фрагмент снимка КА Landsat 8 03.08.2014 (синтез 7,5,3 каналов), справа фрагмент картограммы деградации наземного покрова. На рисунке видно уменьшение высветленных участков, соответствующих сильно выбитым пастбищам.

Использование расширенной классификации наземного покрова и оценочной матрицы, совокупно с обработкой с помощью Change Detection, позволяет также более дифференцированно оценивать изменения, происходящие с отдельными категориями земель и угодьями. Например, для исследуемого тестового участка было установлено, что доля деградированных земель в структуре пастбищных угодий меньше (22.2%), чем доля деградированных земель относительно всей площади тестового полигона (40.6%). При этом доля земель, оцениваемых как улучшенные, за период с 2004 по 2014 гг. в структуре пастбищных земель незначительно выше (17.5%), чем доля улучшенных земель в целом по территории (13.4%), что связано в первую очередь с тем, что забрасывание ранее продуктивных сельскохозяйственных полей и переход их в пастбищные угодья оценивается как деградационное изменение. Для участков пастбищ, ранее не использовавшихся в качестве пашни, отмечается снижение доли сильно деградированных земель (с 5.3 до 2.6%) при существенном увеличении доли слабо деградированных пастбищ (с 39.8 до 50.4%). Подобная картина объясняется

тем, что при забрасывании пахотных земель произошло восстановление естественной степной растительности и перераспределение пастбищной нагрузки за счет залежей, в том числе на участках, примыкающих к загонам для скота (см. рис.6).

Выводы

1. Для оценки НБДЗ по индикатору динамики наземного покрова на местном уровне анализ серий многоканальных космических снимков КА Landsat 4-5, и Landsat 8 с помощью самоорганизующихся нейронных сетей позволяет существенно детализировать результаты по сравнению с результатами, получаемыми с использованием модуля Trend.Earth, рекомендуемого КБО ООН для оценок на глобальном уровне.

2. Помимо использования космических снимков с повышенным разрешением для удобства выявления деградационных процессов тестовой территории предлагается использовать расширенную классификацию наземного покрова с выделением подклассов состояния пастбищ, имеющих важное значение для конкретного тестового полигона.

3. Показана возможность и приведен пример разработки уточненной матрицы переходов для качественной оценки НБДЗ в терминах «деградация – нет изменений – улучшение земель», составленной на базе расширенной системы классов наземного покрова.

4. Совокупность предложенных подходов, реализованная в виде функционального алгоритма, может быть рекомендована для мониторинга и оценки достижения НБДЗ на локальном уровне.

5. Для тестового полигона (в пределах Эльтонской котловины) в период с 2004 по 2014 гг. выявлено уменьшение доли сильно деградированных пастбищ и рост доли умеренно деградированных и слабо деградированных пастбищ, что связано как с увеличением площади пастбищных земель за счет забрасывания пахотных угодий, так и в связи со снижением пастбищной нагрузки на участках, примыкающим к водопоям и загонам для скота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляева М.В., Андреева О.В., Куст Г.С., Лобковский В.А. 2020. Опыт оценки динамики деградации земель юга Европейской части России с использованием методологии нейтрального баланса деградации земель // Экосистемы: экология и динамика. Т. 4. № 3. С. 145-165.
- Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В., Можарова Н.В., Быкова Е.П. 1991. Типизация структур почвенного покрова равнинного Дагестана и его антропогенная устойчивость // Почвоведение. № 3. С. 5-13.
- Карибаева К.Н., Курочкина Л.Я. 1991. Смены растительности и их регулирование при пастбищном использовании (Таукумы). Алма-Ата: Гылым. 168 с.
- 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 (83). С. 3-9.
- Можарова Н.В., Федоров К.Н. 1990. Эволюция почвенных мезоструктур аккумулятивно-морской равнины Терско-Кумской низменности // Биологические науки. № 2. С. 15-20.
- Отчет о НИР по государственной теме FMWS-2019-0010 «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования (заключительный)». 2021. Институт географии РАН. М. 200 с.
- Программа обработки данных дистанционного зондирования ScanEx Image Processor v 5.1. Модуль тематической интерпретации (Тематик Про). Руководство пользователя. 2019. М.
- Славко В.Д., Андреева О.В., Куст Г.С. 2022. Особенности оценки динамики наземного покрова на локальном уровне с использованием космических снимков (на примере сухостепного Заволжья) // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. № 5. (в журнале 4 выпуска в год) в номерах за 2022 г. такой статьи нет.
- Смагин А.В. 2012. Теория и практика конструирования почв М.: Изд-во Московского университета. 544 с.
- Conard O. SAGA-GIS Module Library Documentation (v 2.1.3). 2010 [Электронный ресурс https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.1.3/imagery_classification_2.html (дата обращения 02.06.2022)].
- Di Gregorio A., Jansen, Louisa J.M. Land Cover Classification System: Classification Concepts and User Manual FAO. 2000. [Электронный ресурс http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/X0596e00.htm#P-1_0 (дата обращения 02.06.2022)].
- Huang D., Wang K., Wu W.L. 2007. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agropastoral transition zone in Northern China // Journal of Arid Environments. Vol. 70. № 1. P. 120-136.

- Key C. and N. Benson N. 2006. "Landscape Assessment: Remote Sensing of Severity, the Normalized Burn Ratio; and Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index." In FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, RMRS-GTR, Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 56 с.
- Land cover CCI. Product User Guide. Version 2.0. [Электронный ресурс http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf (дата обращения 02.06.2022)].
- Orr B. J., Cowie A. L., Castillo V. M. S., Chasek P., Crossman N. D., Erlewein A., Welton S. 2017. Scientific conceptual framework for land degradation neutrality. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). A Report of the Science-Policy Interface [Электронный ресурс <https://www.unccd.int/resources/publications/scientific-conceptual-framework-land-degradation-neutrality-report-science> (дата обращения 02.06.2022)].
- Quinn J. W. 2021. Summary of Band Combinations. [Электронный ресурс http://web.pdx.edu/~nauna/resources/10_Band_Combinations.htm (дата обращения 02.06.2022)].
- Trends.Earth Documentation. Release 1.0.4. 30.06.2021. Trends.Earth [https://trends.earth/docs/en/pdfs/Trends.Earth.pdf(дата обращения 02.06.2022)].
- Tsymbarovich Petr, Kust German, Kumani Mikhail, Golosov Valentin, Andreeva Olga. 2020. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia // International Soil and Water Conservation Research. 2020. Т. 8. № 4.Р. 418-429.
- UNCCD. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 2016. https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-03/ldn_ts_low_res.pdf(дата обращения 02.06.2022)].
- UNCCD-GM. 2016. Achieving Land Degradation Neutrality at the country level - Building blocks for LDN.Target Setting. Bonn, Germany: Global Mechanism (GM) of the United Nations Conventions to Combat Desertification (UNCCD). [Электронный ресурс http://www2.unccd.int/sites/default/files/documents/18102016_LDN%20country%20level_ENG.pdf (дата обращения 01.10.2019)].

УДК 504.03

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ОПУСТЫНИВАНИЯ
АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

© 2023 г. Е.А. Корнеева

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, 97. E-mail: korneeva.eva@list.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

В настоящее время опустынивание является нерешенной экологической проблемой, затрагивающей 1.5 млрд человек и 25% засушливых земель во всем мире. Оно представляет собой критическую угрозу биоразнообразию, социально-экономическому развитию и устойчивости аридных регионов. В местных масштабах опустынивание часто является результатом неустойчивого управления земельными ресурсами. Сельскохозяйственные угодья, подверженные этому процессу, интенсивно используются для массового производства продовольствия. Несмотря на всю важность этой экологической проблемы, до сих пор нет единой точной количественной оценки, идентифицирующей процесс опустынивания в региональном масштабе. Отсутствие четкого определения и единых стандартизированных методов измерения причин и последствий этого деструктивного процесса представляет собой значительное препятствие для разработки соответствующих стратегий в борьбе с опустыниванием. С помощью метода компенсационных затрат на примере полупустынной зоны проведена оценка экологического ущерба, который получают землепользователи из-за деградации земель, в виде потерь плодородия – органических и питательных веществ почвы. Установлено, что не в последнюю очередь это обусловлено многолетним климатическим трендом, свидетельствующим о нарастании засушливости климата исследуемой территории. На основании последних данных определена величина площадей сельскохозяйственных угодий на юге европейской части России с преобладанием светло-каштановых почв, подверженных опустыниванию, рассчитаны региональные затраты удобрений, необходимых для компенсации утраченного плодородия этих природных ресурсов, установлена величина потерь их годичной продуктивности. Полученные оценки могут быть использованы лицами, формирующими политику, в качестве важного количественного инструмента для определения масштабов и издержек опустынивания в части обоснования снижения этим процессом производственного потенциала засушливых земель.

Ключевые слова: опустынивание, полупустынная зона, изменение климата, юг Европейской территории России (ЕТР), экологический ущерб, потери плодородия, компенсация затрат, удобрения.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-70-76

EDN: ZUINDE

Опустынивание – серия природных процессов, ведущих к постепенному разрушению земель, является серьезной экологической проблемой на глобальном, национальном, региональном и местном уровнях (Imeson, 2011). Деградация земель означает снижение или утрату биологической и экономической продуктивности орошаемых и неорошаемых сельскохозяйственных, пастбищных и лесных угодий. Наиболее распространенными определениями опустынивания являются: разрушение почвенного и растительного покрова, ветровая эрозия, перемещение песчаных дюн, превращение продуктивных земель в непригодные для сельскохозяйственного использования (Dregne, 1985; Кулик и др., 2007). На территории, подверженной опустыниванию, ухудшаются биологическая продуктивность и физические свойства почвенного покрова, что подрывает способность аридных экосистем к самовосстановлению (Зволинский, Туманян, 2006).

По оценкам Конвенции по борьбе с опустыниванием ООН (UNCCD, 2011) всего в мире этому процессу подвержено более 1 млрд га. Ежегодные потери орошаемых земель при этом составляют 6 млн га. Земли с наиболее высокой степенью опустынивания находятся в Азии, Южной Америке, Австралии, Африке – до 45% от общей площади территории этих стран.

По данным Минсельхоза Российской Федерации (Государственный доклад, 2021), в стране интенсивные процессы опустынивания наблюдаются в Южном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах. При этом на юге России (в Республике Калмыкия, в Астраханской и Волгоградской областях) эти процессы наблюдаются более чем на 50% сельскохозяйственной территории.

Опустынивание проявляется по-разному в неодинаковых климатических условиях и при различных системах землепользования. Вместе с тем считается, что оно является процессом «деградации ресурсов» из-за чрезмерного выпаса скота, вырубке лесов, расширения интенсивного земледелия, плохого управления землепользованием (Geist, Lambin, 2004). Реалистичная оценка районов с высоким уровнем деградации и низким уровнем продуктивности земель с целью мониторинга изменений в устойчивости и качестве окружающей среды, связанных с управлением сельским хозяйством, является особо актуальной задачей в современных природно-хозяйственных условиях (Salviaetal., 2019).

Несмотря на расширение масштабов опустынивания в засушливых районах по всему миру, а также на многочисленные и многолетние исследования в этой области, точные оценки, количественно характеризующие процесс опустынивания, отсутствуют (Bestelmeyeretal., 2015). Вместе с тем этот динамический процесс может быть диагностирован и оценен с помощью системы специальных индикаторов. Их применение способствует принятию правильного решения на самых ранних стадиях, а позднее эти индикаторы могут использоваться для мониторинга с целью получения окончательной оценки состояния района в отношении опустынивания (Mantelet al., 2014). Степень деградации почвы здесь является качественным показателем этой оценки. Уменьшение мощности почвы и содержания в ней гумуса и питательных веществ является основным количественным индикатором, свидетельствующим о том, насколько серьезной становится проблема опустынивания в том или ином районе (Reining, 1978). Таким образом, *целью* исследования является количественная оценка масштабности и опасности процесса опустынивания через показатель экологического ущерба, который определяется как компенсационное количество органических удобрений, необходимых для восполнения утраченного плодородия опустыненных земель.

Материалы и методы

Исследования проводились применительно к почвенно-климатическим условиям аридных регионов, расположенных на юге европейской территории России (ЕТР). Ущерб от опустынивания в этом регионе определяли для полупустынной зоны. Основными зональными почвами здесь являются светло-каштановые почвы с содержанием гумуса 2.0–2.5%. Для них характерна разной степени солонцеватость – типичный признак для этих почв (Единый государственный реестр ..., 2018).

Полупустынная зона приурочена к двум геоморфологическим областям: Ергенинской возвышенности и Прикаспийской низменности (с правобережной частью – Сарпинской низменностью). Они располагаются в лево- и правобережных частях реки Волга на территории Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия. Рельеф этих низменностей представляет собой пониженную равнину, имеющую слабый уклон к Каспийскому морю (Шашко, 1985).

Климат полупустынной зоны очень теплый и резко засушливый. Растительность представлена полынно-солянково-злаковым типом с пятнами галофитов и галоидофитов. Для растительного покрова зоны характерна не только мозаичность, но и изреженность. Степень проективного покрытия, как правило, не превышает 50%, еще более снижаясь по мере продвижения к югу страны (Манаенков, 2018).

Выбор ключевых регионов исследования обоснован наличием в свободном доступе достоверных данных, касающихся их климатических показателей. Таким образом, исследования проводили с помощью электронного ресурса «Погода и климат» со следующей географической привязкой метеорологических станций, находящихся в пределах территорий со светло-каштановыми почвами в полупустынной зоне:

1. Волгоградская область – расположение ключевой метеорологической станции в Палласовке, широта 50.05°, долгота 46.88°, высота над уровнем моря 37 м.

2. Республика Калмыкия – расположение ключевой метеорологической станции в Малых Дербетах, широта 47.93°, долгота 44.70°, высота над уровнем моря 9 м.

3. Астраханская область – расположение ключевой метеорологической станции в Черном Яре, широта 48.07°, долгота 43.15°, высота над уровнем моря 5 м.

Исследования базировались на методе сопоставления состояний одних и тех же территорий в разные моменты времени с применением принципа сравнительно-географического анализа. Временной горизонт принят равным 5 лет (2016–2020). Основными формами опустынивания являются засоление почв, водная и ветровая эрозия.

Масштаб процессов опустынивания устанавливали по ключевым муниципальным районам на юге ЕТР с преобладанием светло-каштановых почв. Для Астраханской области и Республики Калмыкия величину площадей, подверженных указанным процессам, устанавливали на основании официально подтвержденной статистической информации (Доклад ..., 2021). Для Волгоградской области площадь деградированных земель определяли на основании имеющихся данных по их удельному весу в общей площади сельхозугодий (Цветнов и др., 2021) и имеющимся данным по степени их опустынивания (Национальный доклад ..., 2019).

Для определения экологического ущерба использовали методологию компенсационных затрат на восстановление потерь плодородия почв деградированного слоя оцениваемых земель (Enters, 1998; Korneeva, 2021).

Потери годичной продуктивности основных видов земель сельскохозяйственного назначения, связанные с их деградацией и опустыниванием, оценивались по формуле Петрова (Кулик и др., 2007).

Результаты и обсуждение

Климатические условия Прикаспийской и Сарпинской низменностей характеризуют полупустынную зону как сухую агроклиматическую область. Нормализованный индекс аридности этой территории превышает 0.70. Средняя величина гидротермического коэффициента колеблется от 0.3–0.4 и ниже. В отдельные годы его величина существенно меняется. Жесткие природные условия порождают неблагоприятные погодные явления, к которым относятся засухи, пыльные бури (в среднем 18 дней в году), холодные бесснежные зимы (Кулик и др., 2007).

Сумма положительных температур в полупустынной зоне на юге Российской Федерации достигает 3000–3400°C. Лето сухое, жаркое и пыльное. Количество осадков за период с положительными температурами не превышает 160–200 мм. Выпадают они в основном в виде ливневых дождей, неравномерно распределяясь по поверхности. Среднеиюльские температуры достигают 22.0–24.7 °C с абсолютным максимумом до 40–44 °C. Продолжительность безморозного периода полупустынной зоны может достигать 148–170 дней, что благоприятно сказывается при возделывании зерновых, овощных, бахчевых культур, а также подсолнечника и горчицы (Шашко, 1985).

Пятилетняя (2016–2020 гг.) динамика основных климатических показателей, полученная на основе данных опорных метеостанций полупустынной зоны, свидетельствует о нарастании в последние годы засушливости климата исследуемой территории (рис.). Так, среднегодовая температура воздуха за указанный период увеличилась на 0.6–0.8 °C – с 8.7 °C (Волгоградская область) и 10.4 °C (Республика Калмыкия) в 2016 г. до 9.3 °C (Волгоградская область) и 11.1 °C (Астраханская область) в 2020 г. Годовая сумма осадков при этом, напротив, уменьшилась – с 300–385 мм в 2016 г. до 165–278 мм в 2020 г. Это свидетельствует обускорившейся в последнее время аридизации почвы – сложном сочетании природных процессов, ведущих к снижению увлажненности крупного ареала территорий.

Известно (Национальный доклад ..., 2019), что юг Европейской территории России (ЕТР), включающий Республику Калмыкия, Астраханскую и Волгоградскую области – это наиболее обширная часть аридного пояса России – почти 660 тыс. км². Для этих земель проблема опустынивания остается особо актуальной. По последним данным (Доклад ..., 2021), доля сельскохозяйственных угодий с неблагоприятными почвами с учетом возможных комбинаций неблагоприятных факторов деградации в Астраханской области равняется 74.25% от их общей

площади, Волгоградской области – 53.97%, Республики Калмыкия – 82.13%.

Установлено (табл. 1), что наиболее значительной формой опустынивания земель сельскохозяйственного назначения на юге ЕТР является засоление почв – 46% от их общей площади. Что касается пахотных земель, то здесь доминируют процессы водной эрозии – площадь земель, подверженных этой форме опустынивания, всего составляет 56%. Дефляцией на юге ЕТР затронуто 3055 тыс. га сельхозугодий, что равняется 16% от их общей площади, водной эрозией – соответственно 2737 тыс. га и 14%. В наибольшей степени пахотные угодья затронуты процессами опустынивания в Волгоградской области – их площадь составляет почти 81% от всей деградированной пашни на юге ЕТР.

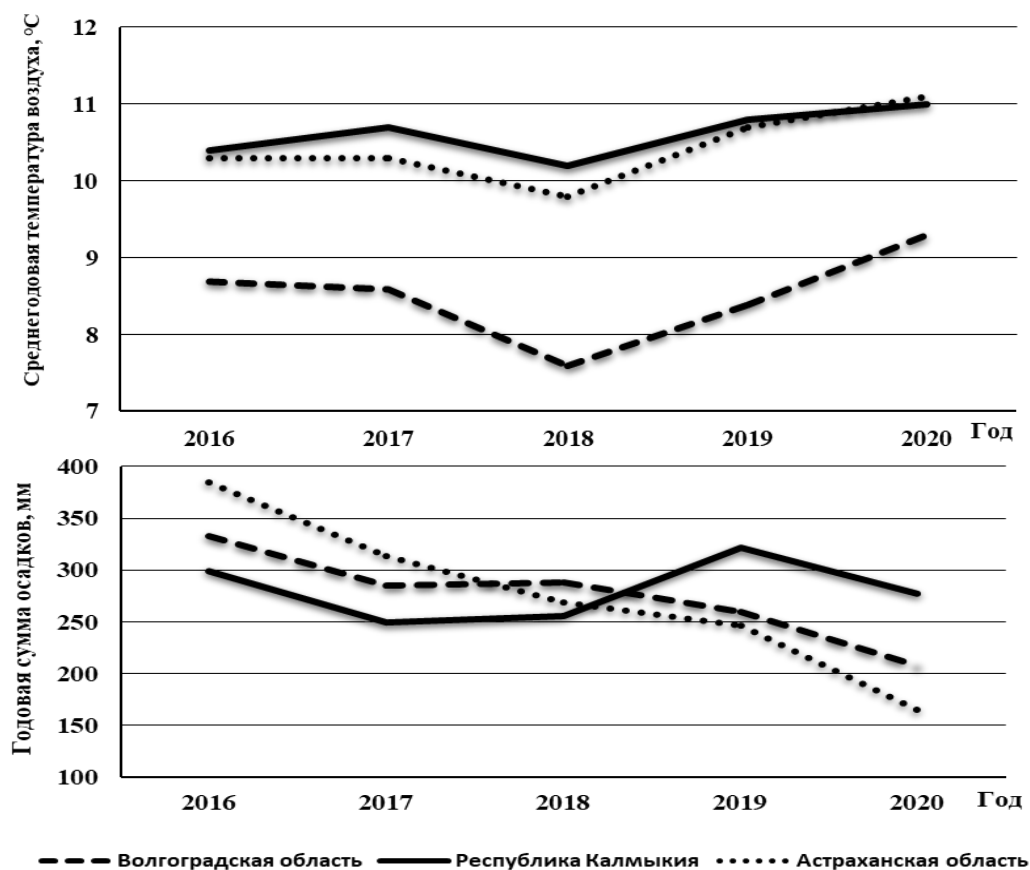


Рис. Климатические показатели полупустынной зоны на юге ЕТР

Таблица 1. Формы и площадь опустынивания земель сельскохозяйственного назначения на юге ЕТР, тыс. га.

Субъект РФ	Дефляция	Эрозия	Засоление	Всего
Сельскохозяйственные угодья				
Волгоградская область	87.3	2220.5	1436.4	3744.2
Астраханская область	498.3	0.7	1012.4	1511.4
Республика Калмыкия	2469.8	516.1	2423.5	5409.4
Юг ЕТР	3055.4	2737.3	4872.3	10665.0
%	29.0	26.0	46.0	100.0
Пашня				
Волгоградская область	46.9	1350.5	691.1	2088.5
Астраханская область	1.7	–	168.3	170.0
Республика Калмыкия	23.5	100.3	203.3	327.1

Юг ЕТР	72.1	1450.8	1062.7	2585.6
%	3.0	56.0	41.0	100.0

Расчеты показывают (табл. 2), что потери органических и минеральных веществ светло-каштановых почв (со средним содержанием гумуса 2.25%) при слабой степени опустынивания, когда слой разрушенной почвы в результате ее засоления, воздействия водной и ветровой эрозии составляет около 5 см, равняются 9.2 т/га. При повышении интенсивности этого процесса до уровня пыльных бурь и чрезмерного вредоносного стока, когда разрушается весь пахотный горизонт (слой почвы более 20 см), потери плодородия увеличиваются почти в 4 раза.

Для восполнения этих потерь необходимо внести 42.6–166.7 т удобрений в расчете на 1 га деградированной территории в зависимости от степени интенсивности опустынивания. Из них 95% приходится на органические удобрения, вносимые в почву при ее гумификации, и около 5% – на замещение азота, фосфора и калия почвы минеральными удобрениями с активным веществом NPK.

Таблица 2. Компенсационные затраты удобрений для восполнения потерь элементов питания светло-каштановых почв в результате опустынивания, т/га.

Расчетные показатели	Гумус	Азот (N)	Фосфор (P)	Калий (K)	Азотсодержащее и активное вещество (NPK)
Потери органических и минеральных веществ в почвенном профиле (A + B) в результате опустынивания, т/га					
Интенсивность: слабая	8.07	0.32	0.13	0.64	9.16
средняя	14.67	0.60	0.24	1.20	16.71
сильная	31.53	1.28	0.51	2.57	35.89
Компенсационные затраты удобрений на восполнение потерь плодородия в результате опустынивания, т/га					
Марка органических и минеральных удобрений, заменяющих элементы питания в почве	Подстилочный навоз крупного рогатого скота	Нитрат аммония	Двойной гранулированный суперфосфат	Хлорид калия	Органические и минеральные удобрения
Интенсивность: слабая	40.33	0.94	0.27	1.03	42.57
средняя	73.50	1.76	0.52	1.92	77.70
сильная	157.67	3.76	1.11	4.11	166.65

Установлено, что в рамках изучаемой площади сельхозугодий на юге ЕТР экологический ущерб от разрушения светло-каштановых почв в пересчете на органические и минеральные удобрения составляет 14.1 тыс. т (табл. 3). В Волгоградской области этот ущерб обусловлен, главным образом, развитием водной эрозии, в Астраханской области – засолением почв, в Республике Калмыкия – дефляцией.

Экологический ущерб, наносимый землепользователям в результате опустынивания, выражается не только в компенсационном количестве удобрений, которые необходимо внести в почву для восполнения утраченного плодородия, но и величиной потерь годичной продуктивности деградированных сельхозугодий. Так, для исследуемых регионов эти потери составляют более четверти млн ц в зерновом эквиваленте, что равноценно среднегодовому урожаю сельскохозяйственной продукции, получаемой на территории одного из муниципальных районов на юге ЕТР.

Отметим, что приведенные расчетные данные по экологическому ущербу, получаемому сельским хозяйством в полупустынной зоне на юге РФ, имеют величину, адекватную не всей площади деградированных сельскохозяйственных угодий этой зоны, а в расчете на некоторые муниципальные

районы, по которым имеются достоверные данные по площадям, подверженным опустыниванию. Очевидно, реальный ущерб выражается более значительной величиной и имеет соответствующий денежный эквивалент (Корнеева, 2019).

Таблица 3. Экологический ущерб от опустынивания земель аридных территорий со светло-каштановыми почвами на юге ЕТР, т в год.

Муниципальный район	Площадь сельхозугодий, подверженная опустыниванию, тыс. га	В том числе по степени опустынивания			Потери годичной продуктивности, тыс. ц к.е.
		слабая	средняя	сильная	
Волгоградская область					
Ленинский район	63.87	42.86	11.88	9.13	83.03
Светлоярский район	110.08	73.86	20.47	15.75	143.10
Количество удобрений, необходимых для компенсации плодородия, т	11628.62	4968.77	2513.60	4146.25	226.13
Астраханская область					
Приволжский район	14.58	7.33	5.14	0.82	23.33
Количество удобрений, необходимых для компенсации плодородия, т	848.07	312.04	399.38	136.65	23.33
Республика Калмыкия					
Ики-Бурульский район	19.59	16.31	3.28	0	11.75
Малодербетовский район	13.61	12.2	1.37	0.04	8.17
Количество удобрений для восполнения плодородия, т	1581.65	1213.67	361.31	6.67	19.92
Общий экологический ущерб, тыс. т	14.06	6.50	3.27	4.29	269.38

Выводы

Таким образом, полученная количественная оценка ущерба от деградации земель, наряду с обозначенными климатическими тенденциями экологических процессов, ведущих к опустыниванию, показала, что оно является не только деструктивным природным, но и негативным социально-экономическим процессом в стране. Только на светло-каштановых почвах, имеющих самое низкое плодородие на юге ЕТР, экологический ущерб от опустынивания оценивается значительной величиной, что не в последнюю очередь обусловлено процессом глобального уменьшения увлажненности этой аридной территории. В настоящее время в России опустыниванием охвачено более 100 млн га земельных объектов. Это свидетельствует о том, насколько серьезна проблема, и многократно повышает актуальность мероприятий по их защите и рекультивации.

Представленная количественная оценка экологического ущерба в виде компенсации утраченного плодородия деградированных сельхозугодий органическими и минеральными удобрениями, а также потерь их годичной продуктивности, будет служить региональным идентификатором опасности проявления процесса опустынивания, свидетельствующим о значительном уроне, который получает

сельскохозяйственная отрасль за счет деградации земель. Масштабирование этих оценок на другие регионы со схожими с югом ЕТР почвенно-климатическими условиями позволит определить последствия опустынивания для местной экономики этих регионов, а также станет ценным инструментом для формирования политики и разработки программ мероприятий по борьбе с этим деструктивным процессом.

Финансирование. Работа выполнена по теме Государственного задания ФНЦ Агроэкологии РАН (№ FNFE-2022-0015) «Управление процессами опустынивания аридных территорий по данным мониторинга почв, климата и земель, подверженных опустыниванию, методами математического моделирования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». 2021. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова. 864 с.
- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. 2021. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 404 с.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018 [Электронный ресурс <https://http://egprp.esoil.ru/content/adm/adm30.html> (дата обращения 16.04.2022)].
- Зволинский В.П., Тумаян А.Ф.* 2006. Опустынивание: основные факторы и причины развития // Природопользование в аграрных регионах России. М.: Изд-во «Современные тетради». С. 67-73.
- Корнеева Е.А.* 2019. Лесная мелиорация как фактор устойчивого развития агропроизводства в Волгоградской области // АПК: экономика, управление. № 6. С. 55-63.
- Кулик К.Н., Павловский Е.С., Петров В.И., Кружилин И.П., Манаенков А.С., Габунцина Э.Б., Куст Г.С., Савостьянов В.К., Тулохонов А.К.* 2007. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 86 с.
- Манаенков А.С.* 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны (2-е изд., перераб. и доп.). Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 428 с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)». Т. 2. 2019 / Ред. Р.С.-Х. Эдельгериев. М.: ООО «Издательство МБА». 476 с.
- Погода и климат. 2022 [Электронный ресурс <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 20.04.2022)].
- Цветнов Е.В., Макаров О.А., Цветнова О.Б., Крючков Н.Р.* 2021. Опыт совмещенной оценки нейтрального баланса деградации земель Волгоградской области и их эколого-экономического ущерба // Достижения науки и техники АПК. Т.35 № 1. С. 12-15.
- Шашко Д.И.* 1985. Агроклиматические ресурсы СССР. Ленинград: Гидрометеиздат. 247 с.
- Bestelmeyer B., Okin G., Duniway M., Archer S., Sayre N., Williamson J., Herrick J.* 2015. Desertification, land use, and the transformation of global drylands // *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol. 13.No. 1. P. 28-36.
- Dregne H.E.* 1985. Desertification of Arid Lands // *The Geographical Journal*. Vol. 151.No. 1.P. 114.
- Enters T.* 1998. Methods for the Economic Assessment of the On-and-Off-Site Impact of Soil Erosion. Thailand. Bangkok: International Board for Soil Research and Management (IBSRAM). 60 p.
- Geist H., Lambin E.* 2004. Dynamic Causal Patterns of Desertification // *BioScience*. Vol. 54.No. 9.P. 817-829.
- Imeson A.* 2011. Desertification, Land Degradation and Sustainability. UK, Chichester: John Wiley & Sons. 344 p.
- Korneeva E.A.* 2021. Economic Evaluation of Ecological Restoration of Degraded Lands through Protective Afforestation in the South of the Russian Plain // *Forests*. Vol. 12.No. 10.P. 1317.
- Mantel S., Schulp C.J.E., van den Berg M.* 2014. Modelling of soil degradation and its impact on ecosystem services globally. Part 1: A study on the adequacy of models to quantify soil water erosion for use within the IMAGE modeling framework. The Netherlands. Wageningen, World Soil Information. 74 p.
- Reining P.* 1978. Handbook on Desertification Indicators. USA. Washington, D.C. 141 p.
- Salvia R., Egidi G., Vinci S., Salvati L.* 2019. Desertification Risk and Rural Development in Southern Europe: Permanent Assessment and Implications for Sustainable Land Management and Mitigation Policies // *Land*. Vol. 8.No. 12.P. 191.
- UNCCD. Desertification: a visual synthesis. 2011. Bonn: The United Nations Convention to Combat Desertification. 50 p.

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
И ИСКУССТВЕННОГО ^{137}Cs В ПОЧВАХ И ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2023 г. Е.А. Бураева*, О.С. Безуглова**

*Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 194. E-mail: buraeva@sfedu.ru

**Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского Южного федерального университета.
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 194/1. E-mail: osbesuglova@sfedu.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Работа посвящена изучению особенностей распределения в растениях и почвах естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и искусственного ^{137}Cs в условиях сухих и полусухих степей на примере Ростовской области. В качестве объектов исследования использованы образцы почв и растений, отобранных в Цимлянском, Волгодонском, Дубовском, Пролетарском и Орловском районах Ростовской области в экспедициях 2001–2019 гг. Удельную активность (концентрацию) радионуклидов в почве и растениях измеряли гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа. Искусственный радионуклид ^{137}Cs в почвенном покрове и в растениях Ростовской области распределен неравномерно в связи с особенностями его выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС. Удельная активность естественных ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах и растительной массе сопоставима в пределах стандартного отклонения (20–30%) и в среднем составляет 21.2 Бк/кг и 24.8 Бк/кг для ^{226}Ra и ^{232}Th в растениях и 22.0 Бк/кг и 27.1 Бк/кг для ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах. Концентрация ^{40}K в растениях и почвах составляет 149.4 Бк/кг и 468.5 Бк/кг соответственно и обусловлено особенностями солонцеватых почв сухостепной зоны Ростовской области. Составлены ряды по удельной активности радионуклидов в вегетативной массе растений: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$.

Ключевые слова: удельная активность, естественные радионуклиды, радиоцезий (^{137}Cs), степь, растение, распределение, почва.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-77-84

EDN: ZWRGEV

Урбанизация территорий, интенсификация сельскохозяйственного производства и промышленности, рост автотранспортных нагрузок, развитие ядерной топливной энергетики и функционирование тепловых станций – все эти реалии современного общества могут приводить к изменению концентрации радионуклидов (как естественных, так и искусственного происхождения) в объектах окружающей среды (почва, растения, вода, атмосферный воздух, донные отложения). Внимательный анализ экологической обстановки приводит к выводу, что аридизация многих территорий и изменение характера распределения осадков в течение года также обязывают к более тщательному мониторингу радиационной обстановки. Обусловлено это тем, что приуроченность радионуклидов к фракциям физической глины таит в себе опасность «размазывания» пятен загрязнения на большие территории с ветровым переносом и учащающимися пыльными бурями (Маханько, 2000; Черныш, Аношко, 2006). Актуальность данного утверждения очевидна как для Ростовской области (Безуглова и др., 2020, 2022; Парфенова, Дашкевич, 2021), так и для других регионов Юга России (Шинкаренко и др., 2020; Губарев и др., 2022; Залибеков и др., 2022). Причем, как показано в работе Акимова (2021), самое значительное потепление на европейской территории России в период с 1958 по 2017 годы происходило на широте 47.5° с.ш. в секторе $37.5\text{--}40.0^\circ$ в.д., в районе аридных земель Калмыкии, Ростовской области, Поволжья, Ставропольского края, части Волгоградской и Астраханской областей, Республики Дагестан, а также юга Центрально-Черноземного региона.

Особенно актуальны такие исследования на урбанизированных территориях этой природной зоны, так как плотность населения здесь наибольшая и загрязненность пылевыми частицами атмосферного воздуха чревата развитием множества заболеваний (Pagano et al., 1996; Thorpe and Harrison, 2008; Ладонин, Пляскина, 2009; Wei and Yang, 2010; Касимов и др., 2019; Укарханова и др., 2020).

Цель данной работы – анализ состояния естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах и растениях сухостепной зоны Ростовской области.

Объекты и методы исследований

Эколого-географическая характеристика региона исследования. Ростовская область расположена в трех почвенных зонах: степная зона обыкновенных и южных черноземов, сухостепная зона темно-каштановых и каштановых почв, полупустынная зона светло-каштановых и бурых почв. Сухостепная зона представлена Донской провинцией, на территории которой выделяют все типы каштановых почв. Почвенный покров характеризуется комплексностью: широко распространены солонцы и лугово-каштановые почвы, встречаются солончаки. Растительность сухой степи представлена ковылями (тырса, украинский, Лессинга), распространены типчак, житняк и мятлик узколистный. Встречаются растения «перекати-поле»: катран, качим метельчатый, зопник колючий, различные кермеки. На пятнах средних и мелких солонцов господствуют белая полынь и прутняк, на корковых солонцах произрастают камфоросма и черная полынь (Горбачев, 1974).

Климатические условия сухостепной зоны характеризуются резко континентальным климатом, очень сухим летом и жесткой зимой. Годовое количество осадков составляет 320–390 мм, сумма активных температур – 3200–3300 °С, гидротермический коэффициент районов исследования – 0.4–0.5 (Безуглова, Хырхырова, 2008). Причем оценка состояния этой территории констатирует общую тенденцию нарастания степени аридизации климата территории юго-востока Ростовской области (Безуглова и др., 2021) и тенденцию к увеличению количества пыльных бурь (Парфенова, Дашкевич, 2021).

Исследования проводились на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) – в заповеднике «Ростовский», на природно-техногенных (ПТ) ландшафтах в зоне наблюдения Ростовской АЭС и урбанизированных территориях (г. Волгодонск, с. Орловское, г. Цимлянск, ст. Жуковская, ст. Подгоренская).

Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Дозиметрия природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий является неотъемлемой частью радиоэкологического мониторинга. В рамках дозиметрии в полевых условиях в данной работе проводили измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД, мкЗв/ч) гамма-излучения с использованием поисковых дозиметров-радиометров типа СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком БДКС-96с. На природных и природно-техногенных территориях измерения МЭД проводили в районе заложения почвенных разрезов на высоте 2–3 см и 100 см от поверхности почвы (грунта) минимум в пятикратной повторности. Параллельно велась пешеходная гамма-съемка по всему контрольному участку. На каждом контрольном участке в рамках природных и природно-техногенных территорий было сделано 150–200 измерений МЭД.

На урбанизированных территориях измерения МЭД проводились на высоте 100 см от поверхности почвы (грунта) на оживленных улицах, в спальных и парковых районах, в районах размещения различных промышленных предприятий. В зависимости от размеров городского или сельского поселения в каждом населенном пункте было сделано от 150 до 1500 измерений МЭД.

Отбор и подготовка почвенных и растительных проб. В качестве объектов исследования использованы образцы почв и растений, отобранных в Цимлянском, Волгодонском, Дубовском, Орловском и Пролетарском районах Ростовской области в экспедициях 2003–2021 гг. Экспедиции проводились преимущественно в летний период (с июня по сентябрь). Контрольные участки, в основном, расположены на целинных или залежных почвах. Почву отбирали в пятикратной повторности из прикопок глубиной 0–10 см (поверхностные пробы, для определения запаса радионуклидов) и из почвенных разрезов глубиной до 150 см (последовательно, слоями 0–1, 1–3, 3–5, 5–10, 10–15, 15–25, 25–35 см и далее слоями по 10 см до дна). В ряде случаев почвы из разрезов отбирали по почвенным генетическим горизонтам.

Образцы почвы и растений высушивали до воздушно-сухого состояния. Почвы перетирались и просеивались через сито с диаметром ячейки 1 мм, растения измельчались до размеров порядка 1 см.

Методы измерений. Для оценки содержания радионуклидов в почвах и растениях использовались гамма-спектрометрическая установка «Прогресс-гамма сцинтилляционный» на основе NaI(Tl) детектора и низкофоновая спектрометрическая установка на основе полупроводникового коаксиального детектора из особо чистого германия (GeHP) с эффективностью 25% в диапазоне 13÷1500кэВ, отношением пик/комpton 51.7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, Canberra Corporate Headquarters, Франция) (Бураева и др., 2007). Методики подготовки проб почвы и измерений удельной активности радионуклидов применялись стандартные (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; Бодров и др., 2004). Использовались счетные геометрии Маринелли 0.5 л, Маринелли 1.0 л и Чашка Петри. Время измерения гамма-спектров составляло 1–2 ч для счетных геометрий Маринелли 0.5 л, Маринелли 1.0 л и 24 ч – для счетной геометрии Чашка Петри. Погрешность определения удельной активности радионуклидов в образцах почвы и растений составляла 15–30%.

Подготовку почвенных образцов к определению гранулометрического состава проводили пирофосфатным способом (метод Долгова-Личмановой), а учет механических фракций – методом пипетирования по Качинскому (Морозов, Безуглова, 2011). Содержание гумуса в почвенных образцах определяли по методу Тюрина в модификации Симакова.

Результаты и обсуждение

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения. На рис. 1 и в табл. 1 приведены результаты статистической обработки данных МЭД на природных, природно-техногенных и урбанизированных территориях Ростовской области.

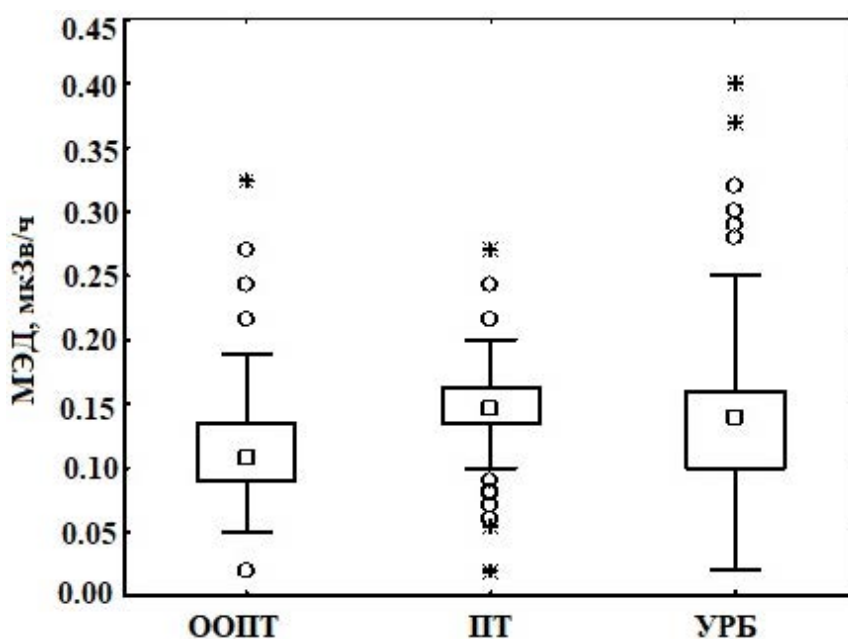


Рис. 1. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на природных (ООПТ), природно-техногенных (ПТ) и урбанизированных территориях (УРБ).

Несмотря на то, что МЭД гамма-излучения на природных, природно-техногенных и урбанизированных территориях сухостепной зоны Ростовской области согласуется в пределах стандартного отклонения (см. рис.1 и табл. 1), на ООПТ гамма-фон фиксируется более низкий. Это может быть обусловлено тем, что измерения проводились на территории заповедника «Ростовский», на котором отсутствует промышленность и населенные пункты. Также на значения МЭД может оказывать влияние особенность выпадения радиоцезия после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 год). Согласно оценкам плотности выпадений радиоцезия на территории Европы, включая Российскую Федерацию, Белоруссию и Украину (Атлас, 1998), на территории Ростовской области основные пятна загрязнений радиоцезием пришлось на северную и западную части. Юго-Восток Ростовской области оказался наименее загрязненным радиоцезием.

Таблица 1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на природных (ООПТ), природно-техногенных (ПТ) и урбанизированных территориях (УРБ).

Параметр	ООПТ	ПТ	УРБ
Минимум, мкЗв/ч	0.020	0.020	0.020
Максимум, мкЗв/ч	0.324	0.270	0.400
Среднее арифметическое, мкЗв/ч	0.118	0.146	0.139
Медиана, мкЗв/ч	0.108	0.146	0.140
Мода, мкЗв/ч	0.135	0.162	0.120
Стандартное отклонение, мкЗв/ч	0.038	0.029	0.053
Коэффициент вариации, %	32	20	38
Количество измерений, шт.	1003	1412	1783

На урбанизированных территориях дополнительный вклад в величину МЭД могут давать строительные материалы, дорожные покрытия, выхлопы автотранспорта, использование угля для отопления. В качестве природно-техногенных территорий в данной работе использовалась зона наблюдения Ростовской АЭС. Но в отсутствии влияния АЭС на радиационный фон (Ежегодник, 2022) необходимо учитывать удельную активность естественных дозообразующих радионуклидов в почвах (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K).

В целом, распределение МЭД гамма-излучения на территории сухостепной зоны Ростовской области равномерное, без значимых его вариаций (коэффициенты вариации находятся в пределах 30–40%, что совпадает со стандартным отклонением (см. табл. 1).

Содержание радионуклидов в почвах. В табл. 2 представлены результаты измерений удельной активности естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий Ростовской области.

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в верхнем (0–10 см) слое почвы природных (ООПТ) и урбанизированных территорий (УРБ).

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
ООПТ				
Минимум, Бк/кг	0.5	20.0	20.2	282.0
Максимум, Бк/кг	20.0	34.3	43.4	731.0
Среднее арифметическое, Бк/кг	6.3	26.5	31.9	535.8
Медиана, Бк/кг	5.6	26.4	32.2	547.0
Мода, Бк/кг	4.3	28.0	33.7	582.0
Стандартное отклонение, Бк/кг	4.3	4.0	5.9	123.9
Коэффициент вариации, %	69.2	15.1	18.7	23.1
Количество образцов, шт.	25			
УРБ				
Минимум, Бк/кг	0.0	2.8	3.6	77.8
Максимум, Бк/кг	54.4	43.3	80.1	1000.6
Среднее арифметическое, Бк/кг	14.5	20.5	26.9	451.0
Медиана, Бк/кг	7.8	20.3	25.4	417.2
Мода, Бк/кг	0.0	22.0	25.0	453.0
Стандартное отклонение, Бк/кг	14.8	5.9	10.1	179.6
Коэффициент вариации, %	102.4	28.9	37.7	39.8
Количество образцов, шт.	111			

Естественные радионуклиды ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах ООПТ и урбанизированных территорий сухостепной зоны Ростовской области сопоставимы в пределах стандартного отклонения, при этом максимальные значения ^{40}K фиксируются в заповеднике «Ростовский». Источниками ^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra в почвах являются почвообразующие породы, поэтому эти изотопы относительно равномерно распределены по всему почвенному профилю (табл. 3).

Таблица 3. Распределение естественных радионуклидов и искусственного радиоцезия в профиле почв сухостепного комплекса.

Название почвы	Горизонт	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				Гумус, %	Физическая глина, %
		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K		
Лугово-каштановая тяжелосуглинистая почва	Ad 0-10(15)	16.8	21.3	24.6	523.0	4.15	45.71
	A 10(15)-35	0.4	26.6	27.9	551.0	2.10	49.22
	B1 35-60	0.9	25.7	28.8	552.0	1.45	52.84
	B2 60-85	< 0.1	20.1	22.7	433.0	0.84	52.25
	Cca 85-130	26.1	24.5	20.3	390.0	0.72	52.61
Солонец каштановый средний столбчатый тяжелосуглинистый	A 5(7)-15	21.4	27.1	28.1	501.0	2.76	46.48
	B1 15-30	< 0.1	24.2	23.8	479.0	1.30	50.82
	B2 30-52	1.54	26.1	24.5	447.0	0.56	50.69
	Csd 52-65	0.3	23.7	23.3	427.0	0.40	53.61
	Cca 65-95	< 0.1	26.0	23.6	428.0	0.57	56.34
Каштановая слабосолонцеватая тяжелосуглинистая почва	Ad 0-10	20.89	22.7	26.9	450.0	4.86	49.83
	A 10-20	0.7	26.3	29.4	553.0	1.57	50.85
	B1 20-45	0.8	22.7	33.6	547.0	1.51	55.10
	B2 45-63	< 0.1	25.4	27.9	432.0	0.79	54.70
	BC 63-80	< 0.1	25.3	24.1	463.0	0.56	55.44
	Cca 80-95	< 0.1	24.6	27.4	467.0	Не опр.	Не опр.

По некоторым данным (El-Arabi, 2007), ^{40}K , будучи биогенным элементом, накапливается в поверхностных слоях с относительно высокой биологической активностью. Для зоны сухих степей характерны комплексы каштановых почв, солонцов и лугово-каштановых почв (Безуглова и Хырхырова, 2008). И, несмотря на то, что в составе солей преобладают соли натрия, кальция и магния, в данных гидротермических условиях при чередовании обильных осадков и длительных засух не стоит исключать поднятие по почвенным капиллярам и солей калия, в том числе и ^{40}K . Однако данные, приведенные в табл. 3, скорее свидетельствуют об участии ^{40}K в элювиальном процессе, что доказывает его накопление в средней части профиля в каштановой слабосолонцеватой почве и в солонце. И только в лугово-каштановой почве, характеризующейся гораздо более богатым растительным покровом, четко идентифицируется биогенное накопление радиоизотопа этого элемента в гумусово-аккумулятивных горизонтах А и В.

Значимые различия в удельной активности искусственного радионуклида ^{137}Cs (см. табл. 2) в почвах на территориях ООПТ, как уже говорилось выше, обусловлены его неравномерным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС. И минимальные концентрации данного радионуклида фиксируются в заповеднике «Ростовский», который оказался наименее загрязненным радиоцезием.

Искусственные радионуклиды, такие как ^{137}Cs , попадают на поверхность почвы с радиоактивными выпадениями и мигрируют по почвенному профилю в виде солей, так как он в силу своей очень высокой реакционной способности активно реагирует со многими неметаллами и растворяется почти во всех кислотах, образуя соли. Возможно его передвижение по профилю и с тонкими илистыми частицами, так как большинство почв региона в той или иной степени солонцеваты, а, как известно, внедрение натрия в почвенно-поглощающий комплекс сопровождается

пептизацией минеральных коллоидов. Существует вероятность миграции радиоцезия по профилю и в виде комплексных соединений с гуминовыми веществами (Хелаль и др., 2007). Тем не менее, особенности водного режима изучаемой территории способствуют тому, что большая часть радиоцезия сосредотачивается в поверхностных горизонтах, как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и путем образования малоподвижных комплексных соединений с гуминовыми кислотами и сорбции его гумином (см. табл.3). Удельная активность цезия коррелирует с содержанием гумуса: коэффициент корреляции между этими показателями составил 0.597, что характеризует силу связи между этими показателями как положительную среднюю.

Радионуклиды в растениях сухостепных регионов Ростовской области. Ниже представлены результаты оценки удельной активности радионуклидов в растениях природно-техногенных территорий сухостепных регионов Ростовской области. В качестве фитоиндикаторов были выбраны наиболее распространенные представители флоры региона – полынь австрийская (*Artemisia austriaca*) и шалфей остепненный (*Salvia tesquicola*). Эти данные (рис.2) четко продемонстрировали общие закономерности: полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении ^{40}K . Причем максимальная концентрация этого изотопа калия в полыни обнаруживается на каштановой солонцеватой почве. В целом можно составить ряды по удельной активности радионуклидов в вегетативной массе растений: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$. Следует отметить, что радиоцезий в растениях был обнаружен не на всех контрольных участках, что связано не только с неравномерностью выпадения этого элемента с осадками. Так, в растениях полыни на темно-каштановой солонцеватой почве ^{137}Cs присутствует, а в шалфее – нет. И, наоборот, в каштановой солонцеватой на лессовидных суглинках в полыни ^{137}Cs не обнаружен (как и ^{232}Th), а в шалфее эти радионуклиды присутствуют. Эти факты свидетельствуют об избирательности поглощения радионуклидов растениями, которая определяется их физиологическими особенностями.

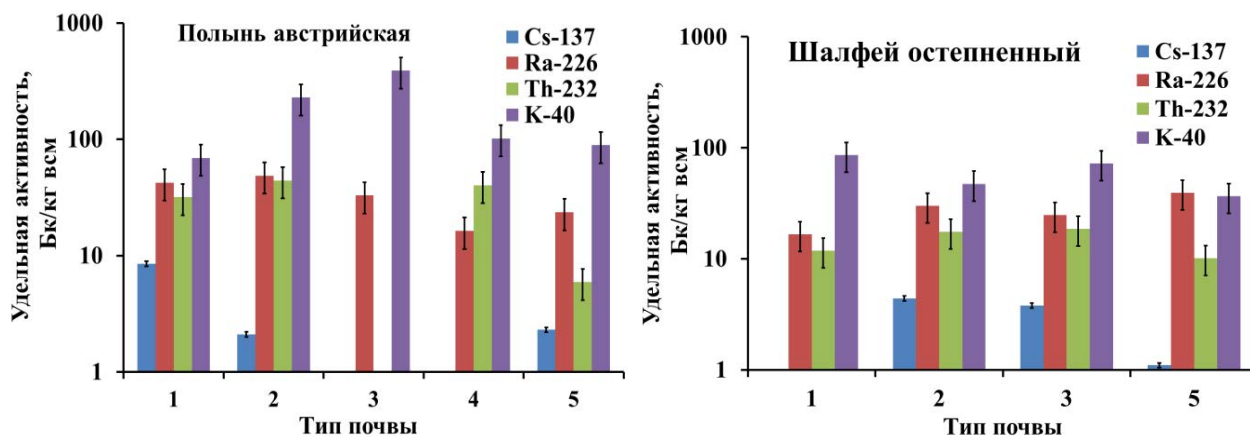


Рис. 2. Распределение радионуклидов в травянистых растениях, произрастающих на разных почвах. Условные обозначения: 1 – темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 2 – лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 3 – каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 4 – флювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях, 5 – каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на желто-бурых глинах.

Данные, представленные в табл. 4, показывают, что удельная активность радиоцезия, тория и радия в растениях и почве сопоставимы в пределах стандартного отклонения.

Содержание ^{40}K в растениях примерно в три раза ниже, чем в почвах. Обусловлено это, вероятно тем, что почвы в основном хорошо обеспечены доступным обменным калием, представленным более легким изотопом, и растениям нет острой необходимости поглощать из почвы более тяжелый изотоп. Но в то же время в растениях коэффициенты вариации ^{137}Cs значительно выше (60–100%), что также обусловлено способностью растений селективно поглощать необходимые элементы в случае их недостатка. Комплексность почвенного покрова предопределяет разную степень доступности калия – этого важнейшего, особенно в засушливых условиях, элемента питания. На пятнах солонцовых почв

обменный калий наряду с натрием может вызывать пептизацию почвенных коллоидов (Окорков, 2020) и выносится вместе с коллоидными частицами в солонцовый горизонт, тем самым обеспечивая обеднение поверхностного (0–10 см) слоя одновалентными катионами K^+ . Учитывая, что цезий в силу своего сродства легко замещает калий в растениях и плохо передвигается в профиле почв, что обусловлено его сорбцией органическим веществом, можно предположить, что в таких условиях он восполняет недостаток калия в растениях.

Таблица 4. Удельная активность радионуклидов (Бк/кг высушенной массы – Бк/кг в см) в растениях и почвах (Бк/кг) природно-техногенных территорий сухостепной зоны Ростовской области.

Параметр	Радионуклид							
	Растения				Почвы			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кгвсм	1.2	10.3	10.9	28.0	1.0	10.1	7.4	255.4
Максимум, Бк/кг всм	49.5	82.0	98.3	515.8	39.1	34.7	37.7	631.0
Среднее арифметическое, Бк/кг всм	13.2	21.2	24.8	149.4	13.4	22.0	27.1	468.5
Медиана, Бк/кгвсм	9.5	26.2	26.7	81.7	12.3	23.0	28.8	474.0
Мода, Бк/кг всм	–	37.1	13.8	455.4	11.3	25.4	33.0	493.0
Стандартное отклонение, Бк/кг всм	5.4	7.5	7.4	61.4	7.4	5.3	7.2	96.9
Коэффициент вариации, %	101.4	59.2	70.1	94.6	55.1	24.0	26.4	20.7
Количество образцов, шт.	55				105			

Выводы

1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сухостепных регионов Ростовской области распределена равномерно без ее значительных вариаций и в среднем составляет 0.118 мкЗв/ч, 0.146 мкЗв/ч и 0.139 мкЗв/ч для природных, природно-техногенных и урбанизированных территорий соответственно.

2. Удельная активность естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) не зависит от степени урбанизации и антропогенной нагрузки.

3. Удельная активность искусственного радионуклида ^{137}Cs в почвах обусловлена его неравномерным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС, это определяет значимые различия этого показателя в почвах разных участков изученной территории. Большая часть радиоцезия сосредотачивается в поверхностных горизонтах, как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и за счет соединений с органическим веществом почв.

4. По накоплению радионуклидов в вегетативной массе растений (полынь австрийская и шалфей остепненный) можно выстроить убывающий ряд: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} \geq ^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$. Причем полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении ^{40}K , что позволяет рекомендовать полынь в качестве растения-индикатора.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание в области научной деятельности, Южный федеральный университет, 2020 г.). Тема № БАЗ0110/20-3-07ИФ.

Исследование выполнено при поддержке программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов Л.М. 2021. Тенденции изменения термического режима на аридных и сопредельных территориях европейской части России в летний период // Аридные экосистемы. Т.27. № 4 (89). С. 3-12.

- Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины.* 1998. Разработан в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под научным руководством Ю.А. Израэля. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. 143с.
- Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Гаевая Э.А., Минаева Е.Н.* 2021. Плодородие почв Ростовской области в связи с аридизацией // Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». Коллективная монография / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева. С. 172-177.
- Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Закруткин В.Е., Назаренко О.Г., Литвинов Ю.А., Гаевая Э.А., Меженков А.А., Жумбей А.И.* 2022. Динамика деградации земель в Ростовской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 86(1). С. 41-54.
- Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н.* 2020. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т.26. №2 (83). С. 10-15.
- Безуглова О.С., Хырхырова М.М.* 2008. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета. 352 с.
- Бодров И.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А.* 2004. Инструментальное определение урана и тория в природных объектах. // Атомная энергия. Т.96. Вып.4. С. 271-276.
- Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В.* 2007. Компоненты фона Ge(Li)- и GeNP-детектора в пассивной защите // Атомная энергия. Т.103. Вып.5. С. 318-322.
- Горбачев Б.Н.* 1974. Растительность и естественные кормовые угодья Ростовской области. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство. 153 с.
- Губарев Д.И., Левецкая Н.Г., Деревягин С.С.* 2022. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1 (90). С. 20-27.
- Ежегодник.* 2022. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году (Росгидромет). Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 350 с.
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Курбанисмаилова А.С.* 2022. Почвы аридных регионов Юга России в базовой классификации почв мира // Аридные экосистемы. Т.28. № 1 (90). С. 42-52.
- Касимов Н.С., Безбердая Л.А., Власов Д.В., Лычагин М.Ю.* 2019. Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты // Почвоведение. №12. С. 1524-1538.
- Ладонин Д.В., Пляскина О.В.* 2009. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москва // Почвоведение. № 1. С. 106-118.
- Маханько К.П.* 2000. Влияние ветрового подъема радиоактивной пыли на загрязнение атмосферы над территорией России // Атомная энергия. Вып. 6. С. 460-464.
- МВК № 1.5.2 (45)-11. Методика контроля удельной активности грунта (почвы) с применением пробоотбора. 2011. Свидетельство № 45090.1К196.
- Морозов И.В., Безуглова О.С.* 2011. Классификации элементарных почвенных частиц в разных школах почвоведения // Фундаментальные исследования. №12. С. 281-285.
- Окорков В.В.* 2020. О факторах пептизируемости солонцовых почв // Владимирский земледелец. № 4 (94). С. 21-32.
- Парфенова А.В., Дашкевич Л.В.* 2021. Аридизация климата Ростовской области // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Т. 1. № 6. С. 131-138.
- Укарханова Д.Т., Московченко Д.В., Юртаев А.А.* 2020. К вопросу об изучении пылевидных образований в городских экосистемах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. Вып. 104. С. 241-269.
- Хелаль А.А., Арида Х.А., Ризк Х.Е., Халифа С.М.* 2007. Взаимодействие цезия с гумусовым веществом: исследование методами радиометрии и ионометрии // Радиохимия. Т. 49. №5. С. 458-463.
- Черныш А.Ф., Аношко В.С.* 2006. Миграция и аккумуляция радионуклидов в эродированных агроландшафтах Белорусского Полесья // Вестник БГУ. Сер. 2. № 1. С. 98-102 [<https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/22810/1/98-102.pdf> (15.06.2022)].
- 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.
- El-Arabi A.M.* 2007. ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications // Radiation Measurements. V.42. I.1. P. 94-100
- Pagano P., De Zaiacomo T., Scarcella E., Bruni S., Calamosca M.* 1996. Mutagenic activity of total and particle-sized fractions of urban particulate matter // Environmental Science & Technology. V. 30. P. 3512-3516.
- Thorpe A., Harrison R.M.* 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review // Science of the Total Environment. V. 400. Is. 1-3. P. 270-282.
- Wei B., Yang L.* 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China // Microchemical Journal. V. 94 (2). P. 99-107.

**ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ**

© 2023 г. Г.О. Сытин*, И.Ю. Подковыров**

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97

**Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
Россия, 143050, Московская область, Одинцовский район,
р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5. E-mail: parmelia@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

При интенсивном сельскохозяйственном освоении территорий каштановых почв выявлено ухудшение фитосанитарного состояния почвы и растений. Стационарные наблюдения проведены на территории опытно-производственного хозяйства (ОПХ) «Качалино» Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН) Иловлинского района и опытно-производственного хозяйства «Горная поляна» Волгоградской области. Анализ растений озимой пшеницы показал наличие возбудителей корневых гнилей: *Alternaria alternariae* (Cooke) Woudenb. & Crous., *Fusarium oxysporum* Schlecht, *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker. Определено положительное влияние защитных лесных насаждений на фитосанитарное состояние посевов зерновых культур. Выявлено, что в зонах влияния защитных лесных насаждений в период распространения инфекции в апреле древесные виды по-разному влияют на скорость ветра и влажность почвы прилегающей территории. Установлено, что ильмовые и дубовые защитные насаждения эффективно снижают распространенность корневых гнилей в посевах озимой пшеницы (биологическая эффективность 13.71–43.96%). Их развитие уменьшается на 5–7% в зонах защиты на расстоянии до 150 м от насаждений. Вместе с этим под защитой ильмовых насаждений увеличивается урожайность озимой на 9.4–21.3%.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, каштановая почва, болезни растений, влажность почвы, фитосанитарное состояние, зерновые культуры.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-85-91

EDN: SSGXEG

Интенсивное экологически безопасное освоение аридных территорий возможно только при соблюдении регламентов, включающих лесомелиоративную защиту сельскохозяйственных угодий, интегрированную систему защиты растений, обеспечение карантина, применение устойчивых сортов. Широкое освоение аридных территорий для производства продукции растениеводства привело к снижению её качества, что обусловлено проявлением на сельскохозяйственных землях фитосанитарной дестабилизации. Научные исследования выявили многие причины, такие как нарушение технологических операций, применение на производстве необоснованных приёмов, нарушение регламентов средств защиты растений и удобрений, несоблюдение севооборотов (Куликов, 2014; Санин, 2016, 2020; Черкашин и др., 2020). Выявлено, что на аридных территориях утрачено как плодородие, так и здоровье почвы. В период с 1985 по 2021 гг. произошло сокращение засеваемой пашни на 42.9 млн га (Захаренко, 2011, 2013; Соколов и др., 2017). В результате распространения болезней растений в посевах и посадках теряется до 30% урожая (Санин, 2016). Это указывает на необходимость и актуальность исследований, связанных с фитосанитарным состоянием почвы в аридных условиях и биологической эффективностью (БЭ) защитных лесных насаждений.

Вопросы сохранения и восстановления плодородия почвы являются важными при производстве высококачественной продукции. Аридные почвы обеспечивают связи между компонентами в системе литосфера – атмосфера – агроценоз, которые выражаются в обеспечении экологической

стабильности в пределах этой системы. Для повышения эффективного использования почвы необходимо исследовать факторы и составляющие компоненты, динамику свойств данного ресурса.

Материалы и методы

Стационарные наблюдения проведены на территории ОПХ «Качалино» ФНЦ агроэкологии РАН Иловлинского района и ОПХ «Горная поляна» Волгоградской области. На модельных участках были заложены экологические трансекты, на которых в 2019–2020 гг. проведены комплексные исследования влияния защитных лесных полос на влажность почвы и её фитосанитарное состояние. В центре участка ОПХ «Качалино» располагалось насаждение из вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), созданное в 1985 г. в виде 4-х рядов. В центре 2 ряда вяза приземистого, по опушкам 2 ряда кустарника смородины золотистой (*Ribes aureum* L.). По данным учётов в период исследований средняя высота насаждения составила 10,2 м. Линия защитного лесного насаждения расположена в направлении с юго-запада на северо-восток. Экологические трансекты заложены с северо-западной и юго-восточной сторон от модельного насаждения на расстоянии до 300 м. Межполосное пространство занято полями с посевами озимой пшеницы. На рис. 1 отмечены точки почвенных скважин на различном расстоянии от насаждения, кратном 5, 10, 15, 20 и 30 высот деревьев.

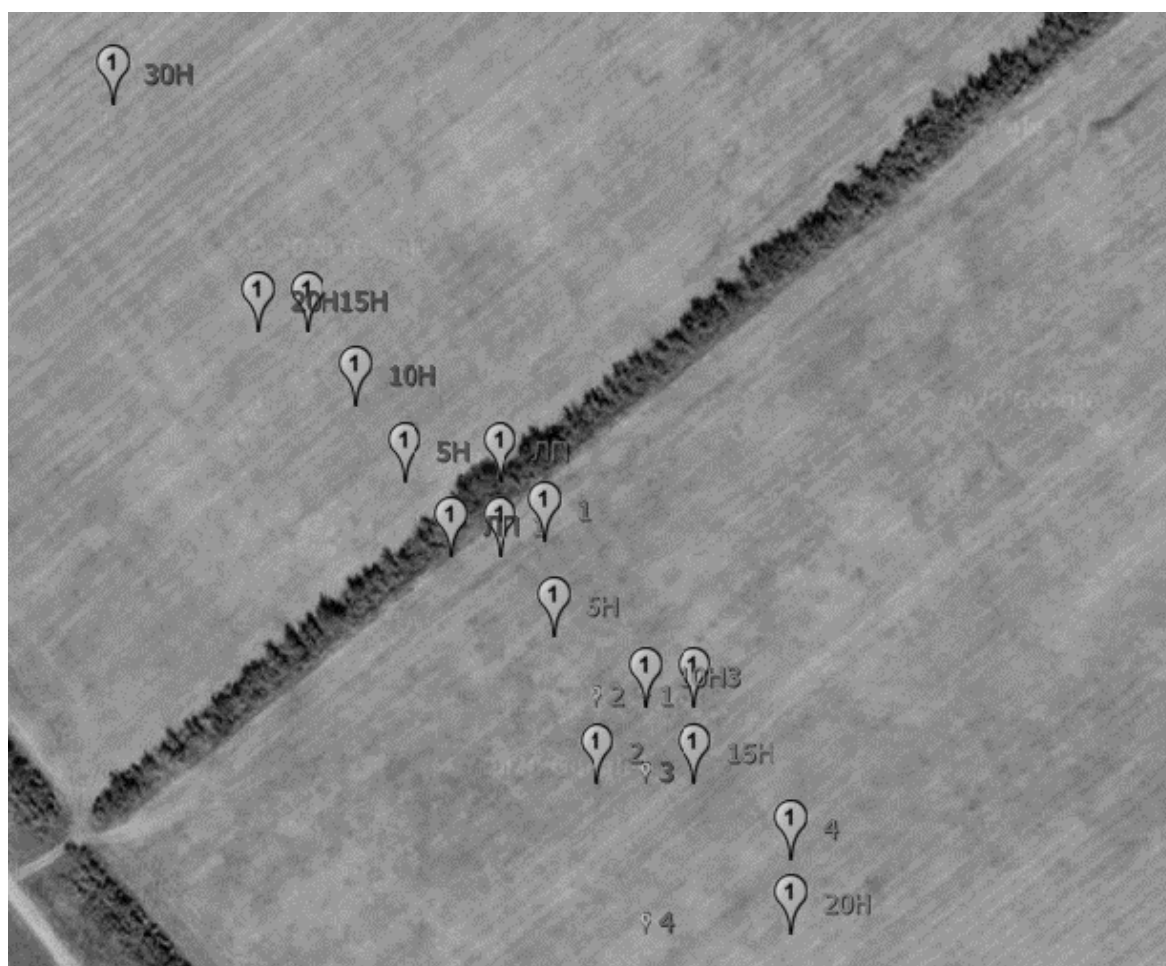


Рис. 1. Схема отбора образцов на экологической трансекте

Аналогичные трансекты заложены в защитных лесных насаждениях из *Robinia pseudoacacia* L. и *Quercus robur* L. на опытных участках.

Почва светло-каштановая среднесуглинистая, имеет низкую обеспеченность основными элементами питания растений и органическим веществом. Содержание гумуса 1,7–2,1%, а в комплексах с солонцами 1,3–1,6%.

Для исследования влажности и фитосанитарного состояния отобраны почвенные образцы в профиле до глубины 1 м через каждые 10 см. Влажность почвы измеряли термостатно-весовым методом в лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН по ГОСТ 28268-89. Исследование патогенных грибов в почвенных образцах проводили в Центре коллективного пользования «Государственная коллекция патогенных организмов и растений идентификаторов» Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии. Данные полевых исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985).

Результаты и обсуждение

Комплексы светло-каштановых почв на модельном полигоне относятся к средним и тяжёлым суглинкам. Пахотный горизонт имеет призмовидно-комковатую структуру, которая на поверхности разрушается после обработки сельскохозяйственными орудиями. Исследования показали, что комплексность связана, прежде всего, с солонцеватостью. Лабораторными анализами установлено, что почвы имеют сульфатно-хлоридный тип засоления. На глубине 1.0–1.2 м содержание токсичных для корневых систем растений соединений увеличивается до критических значений. Сухой остаток почвенной вытяжки составляет 0.63%, доля хлоридов – 0.012%, а сульфатов – 0.52%. На глубине 0.60–1.00 м выявлены щелочные соединения карбонатов (в пересчёте на воздушно-сухую почву 0.001%). Доля бикарбонатов незначительно варьирует от 0.023 до 0.026%. С глубиной до 1 м в почвенном профиле возрастает доля щелочноземельных элементов: натрия до 0.039%, магния до 0.021% и кальция до 0.093%. Щелочность увеличивается с глубиной от 7.6 до 7.8 рН. По агрохимическим показателям почва типичная для аридного региона.

В июне 2020 г. влажность почвы определялась по пару, где лесополоса также показала положительное влияние на сохранение влаги в почве. Было установлено, что в 2020 г. была влажность заметно выше, чем на в июне 2019 г. Это обусловлено тем, что в мае 2020 г. выпало много осадков – 73 мм, и температура воздуха составляла +24.1 °С. По распределению влажности по глубине выявлено, что самая продуктивная влага для благоприятного ведения сельского хозяйства находится в зонах от 50 до 200 м, и составляет на 50 м – 130.00 мм, 100 м – 119.10 мм, 150 м – 126.09 мм, 200 м – 139.37 мм, 300 м – 114.19 мм (рис. 2).

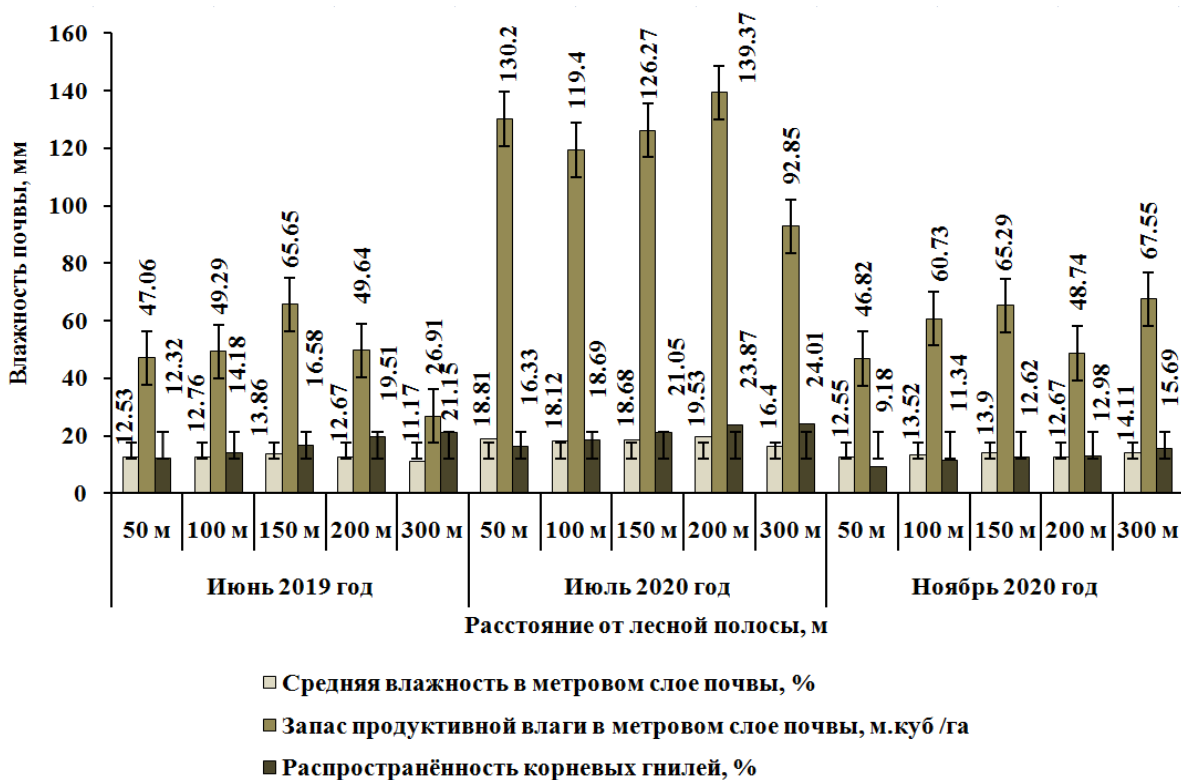


Рис. 2. Диаграмма распределения влажности почвы

Установлено, что защитные лесные насаждения показывают положительную динамику влажности в зонах до 200 м, которая дает благоприятный рост сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы). Запас продуктивной влаги в метровом слое светло-каштановой почвы на этом опытном участке составил на удалении 50 м – 46.48 мм, 100 м – 48.92 мм, 150 м – 65.91 мм, 200 м – 50.97 мм, 300 м – 26.80 мм, несмотря на то, что в июне 2019 г. количество осадков выпало только 15 мм, и была отмечена засушливая жаркая погода (+34.0°C).

В ноябре 2020 г. в зоне 300 м получен высокий результат, но в целом на всем диапазоне влажности получился более равномерный результат (см. рис. 2), это положительно сказывается на накоплении влаги в зимний период. Запас продуктивной влаги имел значения на 50 м – 46.56 мм, 100 м – 60.66 мм, 150 м – 65.54 мм, 200 м – 48.74 мм, 300 м – 67.55 мм.

Установлено, что на полях, не занятых посевами, почва с июля по сентябрь под защитой древесных насаждений имела влажность выше, чем на участках без защиты. Аналогичная закономерность выявлена на полях, занятых выращиванием сельскохозяйственных культур. Влажность почвы на разном удалении от защитных лесных насаждений в течение вегетационного периода уменьшается. К периоду уборки урожая (июль-август) она выравнивалась и понижалась до критических значений (влажность завядания) там, где в весенний период была самой высокой.

Исследования показали, что в системе защитных насаждений на полях формируется неоднородный режим влажности почвы. Установлено, что на расстоянии от 50 до 200 м влажность почвы в течение вегетационного периода была выше, чем на удалении 300 м и на других контрольных точках, а также на открытых участках без лесных насаждений.

В агроландшафте защитные лесные насаждения являются мощным фактором изменения условий выращивания сельскохозяйственных культур. Их мелиоративная роль доказана в трудах ведущих учёных (Кулик, Кошелев, 2017; Кретинин, Кошелев, 2017; Рулев, Пугачёва, 2019). Формирование благоприятных для сельскохозяйственных культур условий выращивания в системах защитных насаждений обеспечивает повышение урожайности. Однако переход сельскохозяйственных предприятий на интенсивное производство продукции растениеводства спровоцировал распространение болезней растений (Соколов и др., 2017). Исследование фитосанитарного влияния защитных лесных насаждений в интенсивном земледелии является новым актуальным направлением.

Полевые опыты на стационарных участках позволили выявить фитосанитарный потенциал защитных лесных насаждений в снижении распространённости болезней растений при возделывании сельскохозяйственных культур (таблица).

Установлено, что в зонах влияния защитных лесных насаждений в период распространения инфекции в апреле древесные виды по-разному влияют на скорость ветра и влажность почвы прилегающей территории. Облиствление деревьев робинии лжеакации происходит на 5–7 дней позже в сравнении с деревьями вяза приземистого и дуба черешчатого. Следовательно, активное влияние этой породы на почвы и посеы озимой пшеницы наступает позже. Оно проявляется в непосредственной близости к опушкам посаженных деревьев и связано со снижением скорости ветра, подсушиванием корнеобитаемого слоя почвы. Корневые системы деревьев вяза приземистого и дуба черешчатого в весенний период активно растут в направлении полей, перехватывают почвенную влагу, тем самым препятствуют распространению патогенных грибов внутри почвы.

Лабораторный анализ образцов растений озимой пшеницы показал наличие следующих возбудителей корневых гнилей: *Alternaria alternariae* (Cooke) Woudenb. & Crous., *Fusarium oxysporum* Schlecht, *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker. Данные виды грибов встречаются повсеместно и на разных зерновых культурах, обладают высокой патогенностью и вредоносностью, снижая урожайность и качество озимой пшеницы.

В начале вегетационного сезона (апрель – май) распространённость болезней в посевах озимой пшеницы была сравнительно невысокой на всех учётных трансектах (не превышала 10.12%). Установлено, что наибольшие показатели распространённости и развития возбудителей корневых гнилей получены в посевах, примыкающих к насаждениям *Robinia pseudoacacia* L. Учёт поражения растений озимой пшеницы корневыми гнилями на опытных участках показал, что распространённость болезни в первой декаде мая составила 7.32 и 10.12%, а в третьей декаде июня – 32.95 и 37.01%. В связи с этим данная порода была выбрана в качестве эталона при расчёте биологической эффективности. На полях, примыкающих к насаждениям *Ulmus pumila* L. в

непосредственной близости к опушкам, распространённость корневых гнилей в первой декаде мая не превышала 4.81 и 5.70%, а в последних числах месяца – 23.12 и 30.06% (см. таблицу).

Таблица. Биологическая эффективность лесных насаждений в защите посевов озимой пшеницы от болезней в период вегетации (2019-2020 гг.).

Древесные растения в защитных насаждениях	Среднеголетние дата облиствления кроны/скорость ветра в период облиствления, м/с	Распространённость корневых гнилей, %				Развитие патогенных грибов, %	Урожайность пшеницы, т/га БЭ, %
		БЭ, %					
		1–10 мая	20–31 мая	1–10 июня	20–30 июня		
ОПХ «Качалино»							
Робиния лжеакация (эталон)	Апрель, 27–30/6–11	7.32 ± 0.21 –	11.08 ± 1.15 –	18.30 ± 1.61 –	32.95 ± 1.19 –	17.61	2.32 ± 0.07 100.0
Вяз приземистый	Апрель, 17–27/5–7	4.81 ± 0.52 34.28	7.22 ± 0.75 34.83	13.23 ± 0.84 27.7	23.12 ± 0.76 29.83	11.08	2.56 ± 0.08 109.4
Дуб черешчатый	Апрель, 23–27/6–8	6.11 ± 0.28 16.53	9.56 ± 0.62 13.71	14.84 ± 0.78 18.91	28.03 ± 1.34 14.93	15.32	2.28 ± 0.09 101.7
НСР ₀₅		0.79	1.11	1.73	1.65		0.29
ОПХ «Горная поляна»							
Робиния лжеакация (эталон)	Апрель, 28–30/6–11	10.12 ± 0.74 –	14.08 ± 0.49 –	22.52 ± 1.63 –	37.01 ± 1.48 –	22.13	2.03 ± 0.12 100.0
Вяз приземистый	Апрель, 19–28/5–9	5.70 ± 0.39 43.67	7.89 ± 0.46 43.96	19.14 ± 1.42 15.00	30.06 ± 1.51 18.78	14.61	2.58 ± 0.10 121.3
НСР ₀₅		1.14	1.23	1.51	1.59		0.27

Однако к фазе молочной спелости доля больных растений на участках полей в зоне 50 м, примыкающих к робиниевым насаждениям, увеличилась до 18.30 и 22.52%. Наименьшие значения этого показателя выявлены на полях, прилегающих к ильмовым защитным насаждениям (распространённость корневых гнилей составляла 13.23 и 19.14%). Дубовые лесные полосы по влиянию на распространённость корневых гнилей оказались менее эффективными (распространённость 14.84%). На разных опытных участках на каштановых почвах были получены аналогичные результаты, что, по-видимому, связано с особенностями почвенных условий и климата, которые способствуют физиологическим нарушениям роста и развития у растений в период выращивания и, как следствие, ослаблению иммунитета и поражению патогенными грибами.

Развитие возбудителей болезней на растениях в период вегетации хлебных злаков – важный показатель, который связан с распространённостью. Наблюдения показали, что на опытных участках он находился в интервале от 11.08 до 22.13%. Его максимальные значения отмечены у растений озимой пшеницы под защитой насаждений *Robinia pseudoacacia* L. (17.61 и 22.13%). Минимальное развитие возбудителей корневых гнилей пшеницы установлено в зонах до 100 м под защитой насаждений *Ulmus pumila* L. (11.08 и 14.61%). Участки, прилегающие к посадкам *Quercus robur* L. по развитию патогенных грибов в посевах пшеницы занимали промежуточное положение (15.32%).

Для выявления факторов, влияющих на фитосанитарную эффективность защитных лесных насаждений, был проведён корреляционный анализ. Выявлена тесная связь между скоростью ветра и распространённостью корневых гнилей в период облиствления защитных лесных насаждений из разных древесных пород. Для *Robinia pseudoacacia* L. коэффициент корреляции составил 0.73, что

связано с аэродинамическими особенностями кроны деревьев в лесных насаждениях полосного типа. Робиния имеет ажурную крону, хорошо пропускающую ветровой поток весной. Скорость ветра при этом была в 1.2–1.5 раза выше (6–11 м/с), чем в период облиствления деревьев *Ulmus pumila* L. У ильмовых защитных насаждений коэффициент связи был ниже и составил 0.51. Выявлена связь между распространенностью корневых гнилей и температурой воздуха в период облиствления крон. Коэффициенты корреляции (r), установленные на основании данных измерений, на участках робиниевых лесных насаждений равны 0.85–0.98, ильмовых – 0.89–0.99, дубовых – 0.82–0.98. Связь показателей распространенности корневых гнилей в посевах пшеницы с месячным количеством осадков выражается средней степенью тесноты для исследованных насаждений (робиниевые: $r = 0.46–0.53$, ильмовые: $r = 0.54–0.89$, дубовые: $r = 0.56–0.61$).

Наблюдения показали, что в зоне каштановых почв деревья *Robinia pseudoacacia* L. облиствляются сравнительно поздно (в конце апреля – мае). Корневая система этой породы в весенний период также начинает работать (активно поглощать влагу из почвы) сравнительно поздно, в отличие от деревьев *Quercus robur* L. и *Ulmus pumila* L., у которых этот процесс начинается в первой декаде апреля, когда распускаются почки. В этот период изменяются и аэродинамические свойства крон деревьев. В безлиственном состоянии защитные лесные насаждения робинии, вяза и дуба имеют ажурную конструкцию. Она слабо снижает энергию ветрового потока, который несёт пыль и споры возбудителей болезней над поверхностью почвы. После облиствления ажурность кроны снижается, что приводит к более эффективной работе защитных лесных насаждений. Деревья *Quercus robur* L. и *Ulmus pumila* L. после облиствления имеют более плотные кроны, которые эффективно снижают скорость и интенсивность ветра и более эффективно сдерживают распространенность возбудителей болезней на поле.

Выявлено, что увеличение распространённости возбудителей корневых гнилей в почве и на растениях (с апреля по июнь) отрицательно повлияло на урожайность пшеницы. Наибольшее защитное действие в предотвращении распространённости болезней показали насаждения *Ulmus pumila* L. На расстоянии до 100 м от опушки урожайность пшеницы была выше на 9.4–21.3% в сравнении с эталоном.

Биологическая эффективность деревьев *Ulmus pumila* L. по отношению к *Robinia pseudoacacia* L. была сравнительно выше. Максимальные значения этого показателя выявлены во время майских учётов и находились в интервале 34.83–43.96%. В фазы цветения, колошения и молочной спелости пшеницы биологическая эффективность снижалась и составила в зоне влияния ильмовых насаждений 18.78–29.83%, дубовых 14.93–18.91%. Биологическая эффективность в снижении распространения корневых гнилей дуба черешчатого ниже, чем вяза приземистого на 2–4%. Также можно отметить, что у деревьев *Quercus robur* L. в начале вегетационного периода этот показатель низкий (13.71–18.91%) в сравнении с деревьями *Ulmus pumila* L., у которых он стабильно высокий (более 27.7%).

Установлено, что ильмовые и дубовые защитные насаждения эффективно снижают распространенность корневых гнилей в посевах озимой пшеницы (биологическая эффективность 13.71–43.96%). Также снижается развитие возбудителей болезней на 5–7%. Продуктивность растений озимой пшеницы под защитой ильмовых насаждений возрастает на 9.4–21.3%. Это связано с их биологическими особенностями – ранним распусканием листьев весной, более плотными кронами, эффективно снижающими интенсивность ветра.

Выводы

Таким образом, исследования показали, что в современных условиях ведения сельскохозяйственного производства защитные лесные насаждения являются одним из факторов, обеспечивающих мелиоративную и фитосанитарную защиту посевов в аридных условиях. На каштановых почвах наибольшая эффективность в снижении распространённости болезней озимой пшеницы достигнута в начале вегетационного периода (в мае), когда происходит активное инфицирование растений патогенными грибами. Выявлено влияние на этот процесс температуры воздуха, скорости ветра и влажности почвы. Связь между распространенностью корневых гнилей в посевах и количеством осадков за месяц средней степени: для участков робиниевых насаждений $r = 0.46–0.53$, ильмовых $r = 0.54–0.89$, дубовых $r = 0.56–0.61$. Наибольшей фитосанитарной эффективностью отличаются ильмовые защитные лесные насаждения в сравнении с дубовыми и

робиниевыми. Их биологическая эффективность в обеспечении здоровья почвы и растений составила в опытах от 15.0 до 43.96%.

Финансирование. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексной мелиорации и защитного лесоразведения Российской академии наук FNFE-2022-0007 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Доспехов Б.А.* 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат. 351 с.
- Захаренко В.А.* 2011. Продовольственная программа России и фитосанитарная безопасность агроценозов // Защита и карантин растений. № 9. С. 7-9.
- Захаренко В.А.* 2013. Оценка потенциала фитосанитарии в зерновом производстве России // Защита и карантин растений. №10. С.3-7.
- Кретинин В.М., Кошелев А.В.* 2017. Проблемы агролесоводства в Волгоградской области// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 3 (47). С. 73-78.
- Крюкова Е.А., Колмукиди С.В.* 2015. Влияние параметров защитных лесных насаждений на патологическое состояние фитоценозов лесоаграрного ландшафта // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 6 (56). С. 47-50.
- Кулик К.Н., Кошелев А.В.* 2017. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 3 (27). С. 107-114.
- Куликов И.М.* 2014. О рационализации социальной аграрной структуры: взгляд сквозь призму отношений собственности // Вестник Института экономики Российской академии наук. № 6. С. 51-64.
- Подковыров И.Ю.* 2015. Адаптивный потенциал видов рода *Ulmus* L. в условиях агроурбосистем // Плодоводство и ягодоводство России. Т. 42. С. 351-354.
- Рулев А.С., Пугачёва А.М.* 2019. Формирование новой агролесомелиоративной парадигмы // Вестник Российской академии наук. Т. 89. № 10. С. 1044-1051.
- Санин С.С.* 2016. Проблемы фитосанитарии России на современном этапе // Защита и карантин растений. №4. С.3-6.
- Санин С.С.* 2020. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии // Защита и карантин растений. № 4. С. 9-16.
- Семенов А.М., Глинушкин А.П., Соколов М.С.* 2016. Органическое земледелие и здоровье почвенной экосистемы // Достижения науки и техники АПК. Т. 30. № 8. С. 5-8.
- Соколов М.С., Санин С.С., Долженко В.И., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д., Надыкта В.Д.* 2017. Концепция фундаментально-прикладных исследований защиты растений и урожая // Агротехника. № 4. С. 3-9.
- Черкашин В.Н., Черкашин Г.В., Коломыцева В.А.* 2020. Проблемы фитосанитарии при освоении технологии no-till в Ставропольском крае // Аграрная наука. 2020. № 10. С. 77-82.
- Boulanger Y., Taylor A.R., Price D.T., Cyr D., McGarrigle E., Rammer W., Sainte-Marie G., Beaudoin A., Guindon L., Mansuy N.* 2016. Climate change impacts on forest landscapes along the Canadian southern boreal forest transition zone // Landsc. Ecol. Vol. 32. P. 1415-1431.
- Podkovyrov I.Y., Kimsanbaev O.H., Zhemchuzhina N.S., Ermak D.Y., Ilyusina L.S., Nasonova T.V.* 2020. The emergence and development of mycoses in short-day plants under conditions of long day light hours. E3S Web of Conferences. Vol. 203. 02009.

**НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ
ПО БОРЬБЕ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ ТЕРРИТОРИИ ЧЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ
И КИЗЛЯРСКИХ ПАСТБИЩ**

© 2023 г. Н.Л. Цаган-Манджиев*, Н.В. Тютюма**

*Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Б. Нармаева – филиал
Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН

Россия, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, пл. Городовикова, д. 1. E-mail: zaganm@mail.ru

**Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН

Россия, 416251, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8.

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Западный Прикаспий – традиционная зона пастбищного животноводства, базирующегося на естественных кормовых угодьях. Интенсивное и бессистемное использование биоресурсов песчаных пастбищ в 80-х годах XX в. привело к формированию первой антропогенной пустыни в Европе. Более 35-лет на территории Республики Калмыкия претворяются в жизнь программы, направленные на сдерживание процессов опустынивания территории. В статье рассматриваются некоторые итоги реализации программ по борьбе с опустыниванием. Приводятся данные о масштабах фитомелиоративных мероприятий, выполненных за истекший 35 летний период по трем субъектам Российской Федерации. Анализируются достигнутые результаты, отмечены недостатки. Предлагаются меры, которые будут способствовать преодолению дальнейшей деградации территории и оздоровлению пастбищного хозяйства Калмыкии.

Ключевые слова: опустынивание, деградация, пастбища, фитомелиорация, закрепление песков.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-92-95

EDN: BNXZWT

Западный Прикаспий – традиционная зона отгонного животноводства, базирующегося на естественных кормовых угодьях. В силу скудного водоснабжения и недостатка кормов в летний засушливый период этот регион определялся, как зона отгонного животноводства в зимний период. Оптимальным для содержания скота на Чёрных землях считался период с 15 октября по 1 апреля. Однако многие годы землепользователи нарушали эти сроки, ежегодно скот передерживался на пастбищах, а поголовье намного превышало допустимые нагрузки на них. Интенсивное и продолжительное стравливание пастбищ, особенно в периоды весенней и ранневесенней вегетации при несоблюдении рациональной системы использования пастбищ привело к резкому ухудшению их хозяйственного состояния. Основные растительные группировки с хорошо поедаемыми многолетниками уступили место однолетним солянкам и эфемерам. Функциональное экологическое равновесие живой природы было нарушено и, как результат, широкое развитие получили процессы деградации и опустынивания территории. Бессистемное использование биоресурсов песчаных пастбищ привело к формированию первой антропогенной пустыни в Европе. По данным сплошных почвенно-геоботанических обследований в 1956–1959 г. на Чёрных землях опустыниванием было охвачено 3.5%, в 1971–1972 гг. 37.2%, в 1984–1986 гг. 94.6% территории. Площадь развеваемых песков к этому времени достигла в Республике Калмыкия 561 тыс. га. Процесс опустынивания приобрел спонтанное развитие, и ситуация стала оцениваться как экологическое бедствие. Ежегодный прирост барханных песков составлял 60.0 тыс. га.

Именно тогда пришло понимание, что необходимо принятие неотложных мер, направленных на предотвращение процессов дальнейшего опустынивания.

Материалы и методы исследования

Район исследования – Северо-Западный Прикаспий, который включает территорию нескольких субъектов РФ (Астраханская область, Республика Калмыкия, Республика Дагестан). Регион Черных земель и Кизлярских пастбищ представлен естественными кормовыми угодьями различной степени сбитости – от деградированных пастбищ до открытых барханных песков.

Сбор материалов по выполненным объемам фитомелиоративных мероприятий производился на основании отчетов ФГУП «Фитомелиорация» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Результаты и обсуждение

Естественный процесс восстановления растительности на барханных песках длителен. Работы, направленные на реставрацию деградированных территорий путем посева кормовых трав и посадки кустарниковой растительности, позволяют существенно сократить время восстановления песчаных пастбищ и достичь высокой продуктивности формируемых фитоценозов (Цаган-Манджиев, 2015; Шамсутдинов и др., 2016).

Сложившиеся экстремальные условия в пастбищной зоне Западного Прикаспия привели специалистов и учёных к выводу о необходимости решения проблем с опустыниванием на основе системного комплексного подхода с разработкой научно обоснованных мероприятий на принципах экологической безопасности и экономической целесообразности.

Минуло более 35 лет со времени разработки и начала реализации первой программы, предусматривающей меры подавления процессов опустынивания под названием «Генеральная схема по борьбе с опустыниванием Чёрных земель и Кизлярских пастбищ».

В связи с разработкой Генеральной схемы в 1986 г. Главное производственное управление по восстановлению Чёрных земель и Кизлярских пастбищ при Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации было перепрофилировано на работы по закреплению песков и коренное улучшение пастбищ. Было проведено технологическое перевооружение предприятий по фитомелиорации (машинно-животноводческих станций, лугомелиоративных станций, совхозов), налажено семеноводство аридных кормовых трав, заложены питомники по выращиванию посадочного материала кустарников. Было организовано стабильное финансирование фитомелиоративных работ.

Результаты реализации этой программы позволяют утверждать, что разработанная концепция была жизнеспособна и эффективна, экологически безопасна. На деградированных землях были практически реставрированы и сформированы высокопродуктивные пастбища. Ежегодные объемы работ по фитомелиорации кормовых угодий и закреплению открытых песков на Черных землях в 1991–1993 г. составляли 76.0–84.2 тыс. га, что позволило приостановить процессы опустынивания и вернуть землепользователям в эксплуатацию 174 тыс. га восстановленных пастбищ с урожайностью фитомассы 12.5–21.0 ц/га (Гольдварг и др., 2017).

В середине 90-х годов прошлого века, когда поголовье животных резко снизилось из-за отсутствия спроса на шерсть и низких цен на мясо, продуктивность пастбищ Калмыкии заметно улучшилась. Снижение нагрузки на пастбища создавало благоприятные условия для их восстановления (Тютюма и др., 2017). Так, к примеру, если в 1990 г. поголовье овец в республике составляло 3150.6 тыс. голов, к 1995 г. оно снизилось до 1400.9 тыс. голов (Цаган-Манджиев, 2022). Одновременно в этот период выполнялись самые большие объемы работ по восстановлению пастбищ и закреплению песков.

Постановлением научно-практического совещания «Итоги и проблемы борьбы с опустыниванием в Северо-Западном Прикаспии», состоявшегося 12–15 августа 1997 г., в г. Нефтекумске Ставропольского края было отмечено, что оперативная реализация Генсхемы при ее постоянном научном обеспечении позволили производственным предприятиям выполнить уникальную по масштабам и условиям проведения операцию – подавить методами комплексной фитомелиорации лавинообразное (до 60 тыс.год) опустынивание, значительно сократив площадь затронутых им земель и тем самым спасти регион от полной деградации.

К сожалению, сокращение объемов работ в связи с недофинансированием мероприятий

Генсхемы в 1994–1996 г. и особенно почти полное отсутствие средств в 1996–1998 г. не позволили довести ее реализацию до конца, что привело к обострению экологической обстановки в регионе.

В дальнейшем была разработана Федеральная целевая программа «Плодородие почв России на 2002–2005 г.». В рамках реализации данной программы на площади 18.7 тыс. га были проведены фитомелиоративные мероприятия по закреплению открытых песков.

В рамках реализации ФЦП «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 г. и на период до 2013 г.» мероприятия по закреплению открытых песков выполнены на площади 52.7 га.

В настоящее время действует ФЦП «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы».

Таким образом, всего за истекший период на территории Черных земель было выполнено фитомелиоративных работ на площади 592.3 тыс. га, на Кизлярских пастбищах – на площади 154.01 тыс.га и в Астраханской области на площади более 113 тыс. га(таблица).

Таблица. Объемы фитомелиоративных работ, выполненных в регионе Черные земли и Кизлярские пастбища в 1986–2021 гг., тыс. га.

Год	Регион		
	Республика Калмыкия	Республика Дагестан	Астраханская область
1	2	3	4
1986	7.8	4.20	1.10
1987	12.7	7.10	7.60
1988	25.2	11.50	12.20
1989	46.4	9.10	14.20
1990	45.8	31.75	21.66
1991	77.5	6.60	9.50
1992	84.2	4,80	7.30
1993	76.0	11.30	13.70
1994	50.5	11.70	6.10
1995	27.0	5.00	3.70
1996	5.4	3.60	1.00
1997	9.1	4,80	0.10
1998	1.7	1.20	-
1999	13.1	2.40	1.40
2000	6.3	1.20	1.00
2001	4.6	2.60	1.40
2002	4.3	1.40	0.70
2003	1.4	1.20	0.60
2004	2.5	1.20	0.40
2005	3.4	1.60	-
2006	1.9	0.40	0.50
2007	2.0	1.00	0.70
2008	0.7	0.90	0.60
2009	6.7	1,90	1.40
2010	4.4	1.10	1.80
2011	6.5	0.90	2.70
2012	6.9	1.10	1.50
2013	5.3	0.90	0.40

Продолжение таблицы.

1	2	3	4
2014	2.4	1.43	-
2015	3.5	0.94	0.48
2016	9.9	Нет данных	Нет данных
2017	11.7	0.95	Нет данных
2018	7.4	2.85	Нет данных
2019	8.3	4.08	Нет данных
2020	7.0	4.02	Нет данных
2021	2.8	7.29	Нет данных
Итого	592.3	154.01	113.74

Несмотря на то, что приведенные выше показатели объемов фитомелиоративных мероприятий свидетельствуют об их масштабности, задача продолжения активной борьбы с опустыниванием актуальна и по сей день.

Выводы

Для эффективного решения вопросов борьбы с опустыниванием необходимо:

- оптимизировать нагрузку скота на территории Черных земель и Кизлярских пастбищ;
- разработать мероприятия по увеличению производства семян аридных кормовых культур, сеянцев и саженцев культур – закрепителей песков в необходимых объемах для выполнения фитомелиоративных работ в регионе;
- совершенствовать технологии залужения деградированных пастбищ и закрепления открытых песчаных массивов;
- решить социально-экономические проблемы по ликвидации очагов опустынивания на землях сельских муниципальных образований и припоселковых территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л., Цыгаменко И.Ф. 2017. Итоги реализации Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ за период 1986-2016 годы и предстоящие задачи // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России: материалы науч.-практ. конф. Элиста. С. 42-45.
- Тютюма Н.В., Егорова Г.С., Булахтина Г.К. 2017. Прием биологической рекультивации деградированных естественных пастбищ в аридной зоне Северного Прикаспия. Волгоград. 96 с.
- Цаган-Манджиев Н.Л. 2015. Новый способ закрепления песков // Проблемы рационального использования природохозяйственных комплексов засушливых территорий: сб. науч. трудов Международ. науч.-практ. конф. Волгоград. С. 328-329.
- Цаган-Манджиев Н.Л. 2022. Некоторые итоги реализации программы по борьбе с опустыниванием Черных земель // Мировые научные исследования современности: возможности и перспективы развития: материалы XVI Международ. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону. Ч. 2. С. 392-395.
- Шамсутдинов З.Ш., Косолапов В.М., Шамсутдинова Э.З., Савченко И.В., Зволинский В.П., Гунин П.Д., Шамсутдинов Н.З., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. 2016. Инновационные технологии экологической реставрации деградированных пастбищных экосистем на основе новых сортов кормовых галофитов в аридных районах России // Российская сельскохозяйственная наука. № 4. С. 49-53.

**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ РАЗМНОЖЕНИЯ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L.
ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ
И ОПУСТЫНИВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ**

© 2023 г. С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева О.О. Жолобова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, 97. E-mail: alexis2425@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Проведены наблюдения влияния минеральных удобрений и биостимулятора роста на развитие и плодоношение вида робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.). Работа по введению робинии в состав насаждений различного типа ведется с 1904 г. и продолжается в настоящее время. Установлено, что этот североамериканский вид прекрасно растет и развивается в аридных условиях Волгоградской области, адаптирован к местным почвенно-климатическим условиям, долговечен и устойчив. Наблюдения проводились в Кировском лесничестве Волгоградской области и производственном питомнике ФГУП «Волгоградское» Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного РАН. Проведенные авторами исследования позволили установить влияние обработки препаратами «Биостим» и «Агровит» на репродуктивную способность, биометрические показатели не только молодых, но и возрастных растений робинии, а также на прорастание и всхожесть семян. Потребность в семенах робинии лжеакация в Волгоградской области составляет 2633 га, полупустынной зоне требуется 192 га. Потребность в семенах на всю площадь защитных лесонасаждений в Астраханской области и Республике Калмыкия составляет 333 и 2594 кг соответственно. При испытании биостимулятора роста «Биостим старт» выявлена оптимальная доза обработки семян робинии в 15 мл/л. При увеличении дозы наблюдалось снижение жизнеспособности и плесневение семян. Внесение препарата «Агровит» показало увеличение приростов и диаметра растений в существующих насаждениях в 10-летнем возрасте. При внесении препарата в сочетании с минеральными удобрениями у молодых растений морозостойкой формы наблюдался прирост – до 40 см, у мачтовой формы – до 60 см. Диаметр кроны растений морозостойкой формы увеличивался – до 6.2 см. В результате исследований определена возможность высева семян робинии с применением удобрения «Агровит», с нормой высева в 2 кг/га, с расстоянием между рядами 2.5 м.

Ключевые слова: *Robinia pseudoacacia* L., рост, развитие, устойчивость, аридные условия, размножение, защитное лесоразведение.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-96-104

EDN: MKKKAW

Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) является одной из самых ценных и быстрорастущих пород в условиях полупустыни. В лесных насаждениях данный вид может использоваться как главная порода (Седой и др., 2019; Vítková et al., 2019; Knoche et al., 2018; Бабошко, Тянукевич, 2015; Иванисова и др., 2021; Kharugin, 2019). По биологическим особенностям – засухоустойчивости, солестойкости и скорости роста – расценивается как одна из главных лесообразующих пород (Gritsan et al., 2019; Yudaev et al., 2019; Киселева, Чиндяева, 2010; Xi et al., 2018; Yan et al., 2017; Noh et al., 2010; Vuzhdygan et al., 2016; Fan, Chen, 2010).

Однако выращивание ее без учета условий произрастания ведет к ослаблению роста и низкой продуктивности (Bessonova, Ivanchenko, 2014; Toillon et al., 2021). В связи с этим разработка технологии выращивания и размножения данного вида является особенно актуальной (Морозова и др., 2018). Робиния подходит для полезащитных лесных насаждений, поглощает сток воды с межполосного пространства, препятствует концентрации стока в потоки, способные вызывать эрозию

почв ниже по склону, кольматирует твердый сток и регулирует распределение снеговых наносов; для овражно-балочных насаждений, поглощает ливневые воды и препятствует размыву балок и лощин, превращает в полезные угодья склоны балок и лощин; для озеленительных насаждений, улучшает эстетическую привлекательность территорий; для пастбищных насаждений, повышая их продуктивность. Может использоваться в создании насаждений на песчаных землях (Рыбашлыкова и др., 2021). В экстремальных условиях является одним из главных видов, используемых в рекультивации земель (Трещевская и др., 2017; Zheng, Shangguan, 2007). По данным наблюдений, в условиях, отличных от ареала произрастания, показывает низкий процент всхожести семян (Кузнецова, Игошкина, 2017). Использование робинии в озеленительных насаждениях улучшает экологические условия местной флоры и состояние древостоев (Лысыков, 2018; Ловинська, Ситник, 2014; Танюкевич и др., 2020; Шелепова и др., 2015; Захарова, 2019). Является отличным медоносом (Самсонова и др., 2021; Самсонова и др., 2022; Samsonova et al., 2020).

Материалы и методы

Объектами исследований являлись популяции робинии лжеакации – *Robinia pseudoacacia* L. Изучение растений проводилось на территории Волгоградской области в Кировском лесничестве (кадастровый номер 34:26:050301:104) и производственном питомнике ФГУП «Волгоградское» (кадастровый номер 34:34:000000:122; рис. 1).



Рис. 1. Местоположение объектов исследований: а – Кировское лесничество, б – ФГУП «Волгоградское»

Наиболее часто и ощутимо проявляющиеся неблагоприятные факторы окружающей среды в засушливой зоне – засухи, суховейные ветры, ветровая и водная эрозия почвы, высокие летние температуры воздуха. Суховеи вызывают у древесно-кустарниковых видов чрезмерно высокую интенсивность транспирации, а также увеличивают испарение с поверхности почвы, что вызывает уменьшение запасов доступной для растений почвенной влаги. Температура воздуха летом достигает +42°C.

Для замачивания семян робинии при исследовании прорастания в лабораторных условиях использовали препарат фирмы Щелково Агрохим «Биостим Старт». Сбор плодов велся с октября по март. Выход чистых семян составил 15%. В опыте использовались стратифицированные семена робинии, предварительно ошпаренные горячей водой 70 °С, выдержанные в остывающей воде в течение 6 часов. Дозировка биостимулятора составила 10, 15 и 20 мл/л. Замеры вели каждые 5 дней с

оценкой изменения визуального состояния семян. Каждый вариант опыта включал 30 растений.

При высадке в питомник использовали органоминеральное удобрение «Агровит» и следующие варианты опыта: 1) контроль, без применения удобрений, 2) азот 80, фосфор 150, калий 80, 3) контроль, 4) азот 80, фосфор 150, калий 80+ «Агровит». Почвы опытного участка светло-каштановые с содержанием гумуса 1.5%. Посевы в питомнике проводились осенью с нормой высева 3 г/м. Глубина заделки 2–3 см. Способ высева четырехстрочный ленточный. Гранулы препарата вносили непосредственно в посадочные ямы (0.3 кг сухой смеси). Препарат также вносился на существующие участки робинии в Кировском лесничестве.

Для оценки влияния препарата вели наблюдения за ростом и развитием сеянцев, диаметром кроны и ствола, жизненностью и плодоношением.

Математическая обработка осуществлялась в программах Excel, Fractan 4.4 и Statistica 12.

Результаты и обсуждение

Робиния псевдоакация – североамериканский вид, способный доживать до 200-летнего возраста (рис. 2).

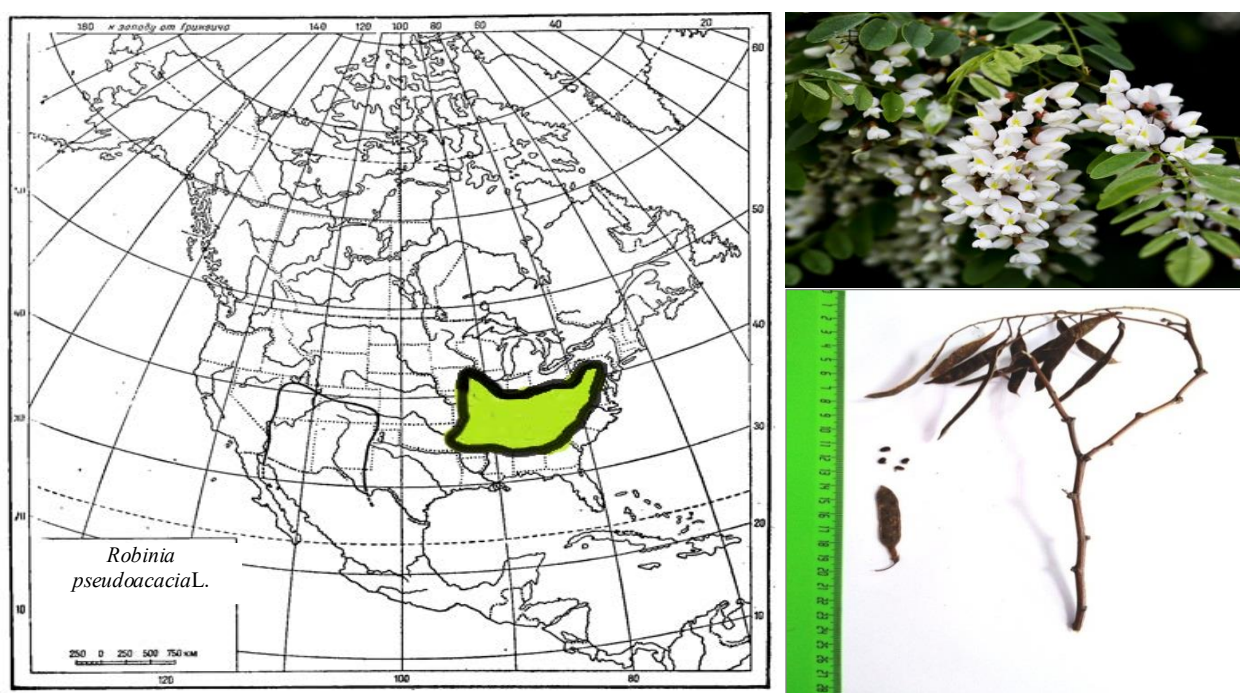


Рис. 2. Ареал вида *Robinia pseudoacacia* L. и морфологический вид растения (Соколов и др., 1986)

Впервые в опытной сети Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (ранее ВНИАЛМИ) робиния стала изучаться еще с 1950–1951 гг. На Терско-Кумских песках лесоразведение имело важное значение для обеспечения высокой производительности. Высокополнотные насаждения робинии в смешении с кустарниками и чистые насаждения произрастали на заросших влагоемких гумусированных песчаных почвах. Робиния имела высокую производительность и уже с 10-летнего возраста давала 40 м³ древесины с 1 га. Данные анализов стволов средних моделей показали, что робиния на заросших песках интенсивно росла до 12 лет, прирост в высоту составлял 0.50 м и по диаметру 0.47 см. С 18 лет энергия роста робинии уменьшалась и затем резко падала. В этом же возрасте количество сухих и усыхающих деревьев в чистых насаждениях увеличивалось до 63%. Долговечность вида в данных условиях была выше, чем у других пород, кроме дуба.

На территории Нижневолжской станции по селекции древесных пород робиния выращивается с 1904 г. Посадки производились по крутым откосам путем террасирования. В Клетском опорном пункте данный вид использовался для создания противоэрозионных насаждений и показал

наибольшую устойчивость.

По данным С.Н. Крючкова, доля участия робинии в насаждениях сухой степи составляет 10%, или 1549 га, потребность в семенах – 1.7 кг/га защитных лесонасаждений, на всю площадь – 2633 га, урожайность семян на лесосеменной плантации – 50 кг/га с расчётной площадью 52.7 га. Полупустынная зона Волгоградской области содержит всего 4% насаждений с участием робинии (113 га), потребность в семенах составляет 1.7 кг/га, на всю лесозащитную площадь 192 га. Урожайность робинии составляет 50 кг/га. В более суровых условиях Астраханской области и Республики Калмыкия (для сравнения) доля насаждений с участием робинии составляет 10% (1593 га и 196 га соответственно). Урожайность семян в обоих регионах 50 кг/га, потребность в семенах на всю площадь защитных лесонасаждений 333 кг и 2594 кг.

Главной особенностью робинии считается ее возможность давать корневые отпрыски и пневую поросль. Корневая система акации состоит из скелетных корней горизонтальной ориентации, расположенных в слое почвы 0–40 см, при этом длина корней может иметь длину 20–40 м. В более глубоких слоях почвы находятся вертикальные ответвления от горизонтальных корней, проникающие на глубину до 4 м (рис. 3).



Рис. 3. Крона (а), сеянец (б) и корневая система (в) взрослой робинии в питомнике

Робиния исключительно декоративна в цветении. Она считается отличным медоносом. За начало фазы цветения при наблюдениях берется дата, на которую распустилось от 5 до 10% цветков на растении. Конец цветения робинии определяется датой, когда отцвело 90% цветов, или у 75% цветов осыпались (завяли) лепестки. Каждая фенологическая фаза зависит от погодных условий региона исследований. Если температура воздуха понижена, то фенофаза может удлиниться, а при повышенных температурах – уменьшиться.

Также на период цветения и образования плодов на растение оказывает влияние густота посадки, содержание полезных элементов в почве и количество подкормок, влаги и осадков за вегетационный период. Наблюдения показали, что в более теплых регионах растения робинии зацветают значительно раньше (рис. 4).

Наши наблюдения показали, что плодоносить в условиях опустынивания робиния лжеакация начинает с 4–5 лет, плоды созревают в октябре и могут оставаться на дереве всю зиму, не растрескиваясь. В молодом возрасте способна давать прирост 80–120 см/год. Робиния относится к светолюбивым видам, имеющим ажурную крону, вызывающую задержание почвы в чистых насаждениях, что требует обязательного введения в посадки кустарников.

При разработке посадочных технологий в питомниководстве от количества питательных элементов зависят репродуктивные способности растения. Проведение опытов и обработка семян робинии препаратом «Биостим Старт» показало, что за недельный период на дату окончания опыта у

семян робинии (доза препарата 15 мл/л) наблюдался прирост до 7 см. Всхожесть за 2 дня у не проросших семян составила 52%. Общая всхожесть в варианте опыта – 78%. С дозировкой препарата 10 мл/л отмечалось прорастание до 6 см за 2 дня, за неделю всхожесть составила 74%. В дозировке препарата 20 мл/л прорастание было несколько слабее, до 4.5 см за 2 дня, всхожесть за неделю составила 70%. Однако в данном варианте было отмечено весьма интенсивное плесневение. Таким образом, наилучшим вариантом обработки оказалась дозировка 15 мл/л (рис. 5).

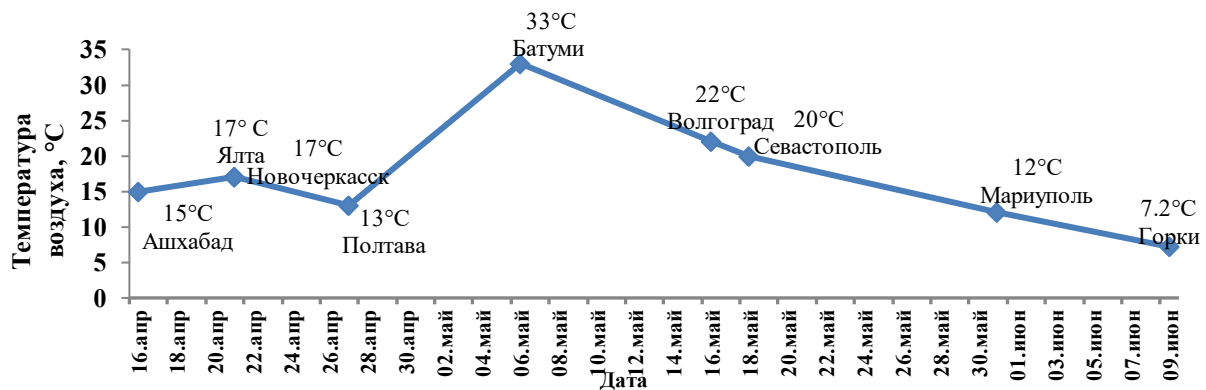


Рис. 4. Зависимость даты зацветания робинии от температуры воздуха в различных пунктах наблюдения



Рис. 5. Интенсивность прорастания семян робинии под действием препарата «Биостим»

В условиях сухой степи и полупустыни робиния достигает фазы максимального плодоношения в возрасте 10 лет, семенная продуктивность с одного растения в среднем возрасте составляет 0.40 кг,

максимальная продуктивность – до 80 кг.

Данные трехлетних наблюдений действия препарата «Агровит» показывают, что робиния на второй год своего развития имеет больший прирост по высоте по сравнению с контрольными вариантами опыта и в конце третьего года превышает на 47 см культуры, созданные посадкой однолетними сеянцами в ту же весну. В результате этого определена возможность высева семян робинии с применением удобрения «Агровит», с нормой высева в 2 кг/га, с расстоянием между рядами 2.5 м.

При внесении «Агровита» на существующие посадки робинии было отмечено увеличение текущего прироста побегов, который был выше, чем на контрольном варианте, а также изменение морфологических признаков семян и плодов (табл. 1, 2).

Таблица 1. Биометрические показатели опытных растений робинии.

Возраст растений, лет	Количество растений	Высота, см			Прирост, см (сред.)	Диаметр на высоте 1.3 м, см (сред.)
		макс.	сред.	мин.		
5	77	453	438	423	125	4.4
4	52	326	297	235	81	2.3
8	7	557	492	383	73	2.9
10	12	399	384	342	105	3.4

Таблица 2. Влияние препарата «Агровит» на рост и развитие робинии.

Номер повторности	Диаметр кроны, см	Текущий прирост побега, см	Жизненность
Морозостойкая форма			
Контроль, без применения удобрений	6.0×6.1	17–22	Отличная
Азот 80, фосфор 150, калий 80	6.3×6.1	37–42	Отличная
Контроль, без применения удобрений	5.6×5.7	8–12	Хорошая
Азот 80, фосфор 150, калий 80+ «Агровит»	6.2×6.0	22–40	Отличная
Мачтовая форма			
Контроль, без применения удобрений	5.0×5.3	20–31	Отличная
Азот 80, фосфор 150, калий 80	4.8×5.2	17–22	Отличная
Контроль, без применения удобрений	5.2×5.1	25–35	Хорошая
Азот 80, фосфор 150, калий 80+ «Агровит»	5.5×5.3	25–65	Отличная

В острозасушливые годы внесение препарата лучше сочетается с поливом приствольных кругов, а также с внесением его в почву с помощью гидробура в концентрированном виде.

Наибольшая полнозернистость семян составила почти 100% в варианте с применением препарата «Агровит» у растений мачтовой формы. В вариантах с внесением азота, фосфора и калия также была отмечена высокая полнозернистость и заметное увеличение длины и ширины плодов (табл. 3).

Таблица 3. Влияние препарата «Агровит» на плодоношение робинии.

Номер повторности	Длина и ширина плода (L/D)	Количество семян на 1 плод, шт.	Полнозернистость семян, %
Морозостойкая форма			
Контроль, без применения удобрений	7.1/1.0	4.9	55.4
Азот 80, фосфор 150, калий 80	7.4/0.9	5.1	78.1
Контроль, без применения удобрений	6.7/0.8	4.8	66.2
Азот 80, фосфор 150, калий 80+ «Агровит»	7.8/1.0	6.3	84.1
Мачтовая форма			
Контроль, без применения удобрений	6.8/1.0	5.4	61.5
Азот 80, фосфор 150, калий 80	7.0/1.0	6.6	81.5
Контроль, без применения удобрений	5.3/0.9	5.1	67.4
Азот 80, фосфор 150, калий 80+ «Агровит»	7.2/1.0	6.7	97.1

При правильной обрезке и агротехническом уходе возможно увеличение долговечности насаждений с участием робинии в аридном регионе на различных категориях лесопригодности почв. Так, в 1 категории долговечность робинии достигает 22 лет, а возраст рубок – 26 лет. На лесопригодных землях 3 категории максимальная долговечность робинии составляет 12 лет, возраст рубок 16 лет (рис. 6).

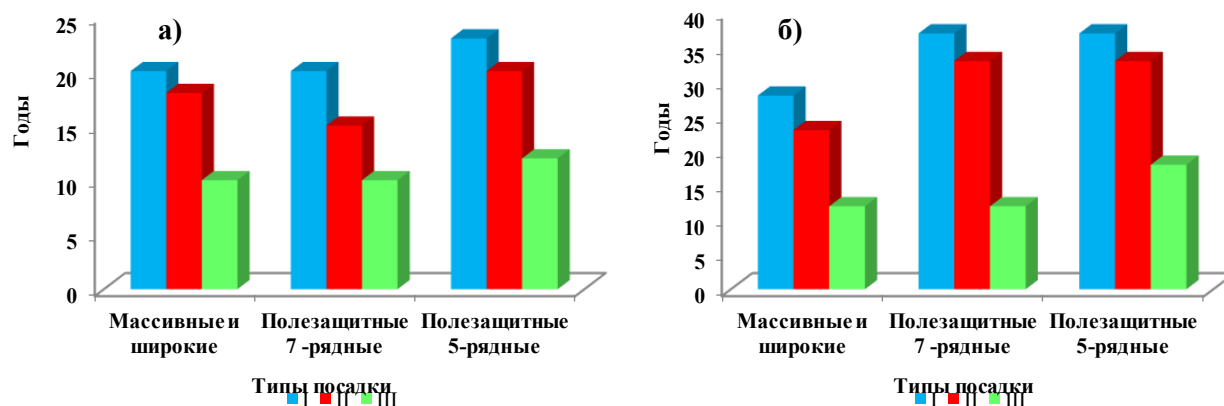


Рис. 6. Долговечность поросли (а) и возраст рубок (б) робинии в аридной зоне

Выводы

Эффективность селекции, семеноводства и разработка технологии размножения робинии лжеакации в аридной зоне выражается в повышении долговечности и качественного состава будущих защитных насаждений, качественном уходе и рубках, применении минеральных удобрений и биостимуляторов роста для получения ценного семенного материала для репродукции. Установлено, что робиния прекрасно адаптировалась к аридным условиям Нижнего Поволжья, ее прирост в молодом возрасте достигает 80–120 см в год. В зависимости от температуры воздуха, самое раннее цветение наблюдается в г. Ашхабад и г. Ялта, позднее – в г. Горки. Плодоношение в условиях опустынивания начинается в возрасте 4–5 лет.

Повышение устойчивости и долговечности насаждений различного типа с участием робинии

скажется на увеличении лесомелиоративного и экологического эффекта, который выразится в прибавке сельскохозяйственной продукции, полученной под их защитой. Вариабельность изменчивости биометрических и репродуктивных показателей определяет зависимость от способов обработки семян и почвы, лимитирующих факторов природной среды, естественного ареала и географического местоположения произрастания вида. Выявлено, что наиболее оптимальной дозировкой препарата «Биостим старт» для семян робинии является 15 мл/л. После применения препарата «Агровит» увеличивались приросты и диаметр ствола десятилетних растений робинии, плодоношение и полнозернистость семян в следующей дозировке: Агровит + азот 80 + фосфор 150 + калий 80. Наилучшим вариантом опыта с внесением «Агровита» при высева семян робинии и наблюдением за сеянцами стал вариант в 2 кг/га, с междурядьями по 2.5 м.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы государственного задания FNFE-2022-0010 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабошко О.И., Танюкевич В.В. 2015. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос с участием *Robinia pseudoacacia* L. в степной зоне. Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия. 108 с.
- Захарова Е.И. 2019. Глубины зимнего покоя древесных представителей семейства *Fabaceae* Lindl., интродуцированных в Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 1 (367). С. 87-95.
- Иванисова Н.В., Седой Р.Г., Бабошко О.И., Куринская Л.В. 2021. Особенности роста робинии псевдоакация в условиях степной зоны // Лесоведение. № 3. С. 240-249.
- Киселева Т.И., Чиндяева Л.Н. 2010. Оценка устойчивости и перспективности *Robinia pseudoacacia* L. на юге Западной Сибири // Проблемы региональной экологии. № 3. С. 176-181.
- Кузнецова Д.А., Игошкина И.Ю. 2017. Первые результаты размножения робинии ложноакациевой в лаборатории дендропарк Омского ГАУ // Разнообразие и устойчивое развитие агробиоценозов Омского Прииртышья: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ботанического сада Омского ГАУ, Омск, 25 сентября 2017 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина. С. 87-92.
- Лысыков А.Б. 2018. Специфика ассортимента посадочного материала для озеленения садов и лесопарков и поддержание экологической безопасности в озеленительной практике // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 8. С. 100-104.
- Ловинська В.М., Ситник С.А. 2014. Состояние и производительность древостоев *Pinussylvestris* L. и *Robinia pseudoacacia* L. Природного заповедника «Днепровско-Орельский» // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. № 1 (33). С. 191-195.
- Морозова Е.В., Иозус А.П., Крючков С.Н. 2018. Основные итоги селекции робинии лжеакация в Нижнем Поволжье // Успехи современного естествознания. № 12-2. С. 290-295.
- Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. 2021. Роль защитных лесных насаждений разных типов в кормовой продуктивности пастбищных угодий Западного Прикаспия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. Т. 16. № 4. С. 389-399.
- Самсонова И.Д., Маннапов А.Г., Сидаренко П.В. 2021. Медовая продуктивность насаждений робинии псевдоакация // Пчеловодство. № 7. С. 24-26.
- Самсонова И.Д., Сидаренко П.В. 2022. Ресурсный потенциал лесных полос агроландшафтов степного Придонья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 1(93). С. 59-65.
- Седой Р.Г., Иванисова Н.В., Куринская Л.В. 2019. Приживаемость *Robinia pseudoacacia* L в условия степной зоны Ставропольского края // Проблемы и мониторинг природных экосистем: Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 21-22 октября 2019 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. С. 125-128.
- Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. 1986. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Ленинград: Изд-во «Наука», Ленинградское отделение. Т. 3. 182 с.

- Танюкевич В.В., Рулев А.С., Бородычев В.В., Тюрин С.В., Хмелева Д.В., Кваша А.А. 2020. Продуктивность и природоохранная роль полезащитных лесонасаждений *Robinia pseudoacacia* L. Прикубанской равнины // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 6 (378). С. 88-97.
- Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н., Малинина Т.А., Навалихин С.В. 2017. Использование робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) для облесения техногенно нарушенных земель // Лесотехнический журнал. Т. 7. № 3 (27). С. 151-157.
- Шелепова О.В., Куклина А.Г., Виноградова Ю.К. 2015. Перспективы использования в фитотерапии некоторых инвазионных видов семейства бобовые // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 114. С. 415-430.
- Bessonova V.P., Ivanchenko O.E. 2014. Analysis of seminal production and seed quality *Robinia pseudoacacia* L. in the parks Dnepropetrovsk // Питання біоіндикації та екології. No 19-1. P. 92-106.
- Buzhdygan O.Y., Rudenko S.S., Kazanci C., Patten B.C. 2016. Effect of invasive black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) on nitrogen cycle in floodplain ecosystem // Ecological Modelling. Vol. 319. P. 170-177.
- Fan Y.Y., Chen J. 2010. Gao Colour responses of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) to solvent extraction and heat treatment // Wood Science and Technology. Vol. 44. No 4. P. 667-678.
- Gritsan Y.I., Sytnyk S.A., Lovynska V.M., Tkalič I.I. 2019. Climatogenic reaction of *Robinia pseudoacacia* and *Pinus sylvestris* within Northern Steppe of Ukraine // Biosystems Diversity. Vol. 27. No 1. P. 16-20.
- Khapugin A.A. 2019. Global systematic review of publications concerning the invasion biology of four tree species // Hacquetia. Vol. 18. No 2. P. 233-270.
- Knoche D., Lange Ch.A., Engel Ja. 2018. Short-rotation management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Federal state of Brandenburg, Germany // 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 имени Д.Н. Прянишникова. Т. 5. P. 101-104.
- Kun L., Ruiqiang N., Chaofan L., Lingyu X., Caihong Z., Chuanrong L., Weixing S. H. G., Yikun Z. 2022. The effect of *Robinia pseudoacacia* expansion on the soil particle size distribution on Mount Tai, China // Catena. Vol. 208. P. 105774.
- Noh N.J., Son Y., Koo J.W. 2010. Comparison of Nitrogen Fixation for North- and South-facing *Robinia pseudoacacia* Stands in Central Korea // Journal of Plant Biology. Vol. 53. No 1. P. 61-69.
- Samsonova I., Mannapov A., Khisamov R., Plakhova A., Sattarov V. 2020. Analysis of honey productivity of robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in forest vegetation conditions of the steppe don region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 5. Policy, Industry, Science and Education. Saint Petersburg, 16-18 June 2020. Saint Petersburg. P. 012071.
- Toillon J., Priault P., Dallé E. 2021. Early effects of two planting densities on growth dynamics and water-use efficiency in *Robinia pseudoacacia* (L.) and *Populus deltoides* (Bartr. ex Marsh.) × *P. nigra* (L.) short rotation plantations // Annals of Forest Science. Vol. 78. No 3. P. 1-17
- Vitková M., Sádlo J., Roleček J., Petřík P., Sítzia T., Müllerová J., Pyšek P. 2019. *Robinia pseudoacacia*-dominated vegetation types of Southern Europe: Species composition, history, distribution and management // The Science of the Total Environment. Vol. 707. P. 134857.
- Xi Wei, Huaxing B., Wenjun L., Guirong H., Lingxiao K., Qiaozhi Z. 2018. Relationship between Soil Characteristics and stand structure of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. mixed plantations in the Caijiachuan watershed: an application of structural equation modeling // Forests. Vol. 9. No. 124. P. 1-15.
- Yan W., Shangguan Z., Zhong Y. 2017. Rapid response of the carbon balance strategy in *Robinia pseudoacacia* and *Amorpha fruticosa* to recurrent drought // Environmental and Experimental Botany. Vol. 138. P. 46-56.
- Yudaev I., Ivushkin D., Belitskaya M., Gribust I. 2019. Pre-sowing treatment of *Robinia pseudoacacia* L. seeds with electric field of high voltage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash, Rostov-on-Don, 10-13 2019. Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing. P. 012078.
- Zheng S.X., Shangguan Z.P. 2007. Photosynthetic physiological adaptabilities of *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau // Chinese Journal of Applied Ecology. Vol. 18. No 1. P. 16-22.

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 630*232.22:551.583

**ПОВЫШЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПОЛОС
В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ**

© 2023 г. А.В. Кулик, А.Т. Барабанов, О.А. Гордиенко, М.Р. Шайфуллин

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: kulik-a@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Протекающая аридизация климата в зоне степей вынуждает разрабатывать и внедрять более устойчивые лесомелиоративные насаждения. Изучаемая комбинированная конструкция лесополос отличается от существующих степенью ажурности вертикального профиля, чередуясь от плотного, продуваемого до ажурного. Ее исследование осуществлялось в степных условиях г. Волгограда и Клетского района Волгоградской области. Показателями мелиоративной эффективности являлись характер распределения снега, влажность почвы и глубина промерзания. Изучение параметров осуществлялось по профилям, перпендикулярно к лесной полосе. Установлено, что снегоотложение в агролесоландшафте под ее влиянием происходило наиболее оптимально. Снег сохранялся в насаждении без образования высоких сугробов в зоне нижнего шлейфа. Низкорослый кустарник препятствовал выдуванию снега из лесополосы и сохранял снег в поле. Комбинированная конструкция лесополосы обеспечила дополнительное накопление почвенной влаги в слое 0–50 см в среднем за пять лет за зимний период в поле 52 мм, в лесополосе – 90 мм. Под ее влиянием происходило сокращение глубины промерзания почвы. Проведенные исследования доказывают мелиоративную эффективность лесополос комбинированной конструкции в степных условиях.

Ключевые слова: лесополоса, низкорослый кустарник, промерзание почв, снежный покров, снегозапасы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-105-112

EDN: MYFYWO

В настоящее время при усилении интенсификации земледелия и развитии деградационных процессов, связанных с эрозией и дефляцией почв, необходимость в сохранении и повышении их плодородия путем применения лесомелиоративных мероприятий приобретает все большую актуальность. В течение последних лет прослеживается тренд к снижению осадков, учащению засух и суховеев (Оценочный доклад об изменениях климата ..., 2008; Пугачёва, 2020). Нарастают темпы аридизации. В таких условиях необходима разработка новых конструкций лесонасаждений, устойчивых к стрессовым факторам окружающей среды.

Мелиоративная роль лесных полос хорошо изучена (Барабанов, 2017; Бодров, 1951; Комиссаров, Габбасова, 2014; Лисенков, 1971). Они позволяют зарегулировать сток, способствуя дополнительному увлажнению почвы в весенний период, снижают риск развития дефляции, а также защищают от пыльных бурь (Беляков и др., 2019; Рулев и др., 2016). Наибольшее мелиорирующее влияние проявляется при системном пространственном размещении лесополос. Они способствуют расчленению склонов на гидрологически короткие отрезки, что обеспечивает поглощение талой воды, распыление и распределение больших масс вод поверхностного стока на этих рубежах. Насаждения также уменьшают скорость ветра, снижая количество переносимых почвенных частиц (Васильев, 2003). Влияя на характер снегоотложения, лесополосы обеспечивают не только оптимальное его накопление на межполосном пространстве, но и дополнительное отложение снега в самих насаждениях, что обуславливает хороший рост и развитие древесной растительности в засушливых условиях.

Перераспределение снега по Дюнину А.К. (Дюнин, 1963) происходит путем его сдувания с наветренной части склона и отложения на подветренном. Ширина зоны осадения меньше, так как в ней происходит снижение скорости ветрового потока. Наличие системы стокорегулирующих

защитных лесонасаждений меняет характер его перераспределения, снижая скорость ветрового потока с наветренной стороны в пределах 5 высот лесополос (H) и с подветренной до $10H$ в зависимости от их конструкции. Чем шире и плотнее лесополоса, тем мощнее сугробы. Так в лесополосе плотной конструкции с наветренной стороны накопление снега происходит более интенсивно в отличие от продуваемой, в которой снижение скорости ветра не способствует осаждению снежных частиц. Переотложение его с подветренной стороны тоже имеет свои особенности. После лесополосы образуется зона разгона, где скорость ветра постепенно увеличивается и в зависимости от силы способствует выдуванию снега (местами до почвы, а иногда и вместе с ней). Дальность влияния лесополос на снижение скорости ветрового потока простирается на величину до $14-15H$, при этом скорость ветра снижается на $25-30\%$, что достаточно для снижения интенсивности переноса снега в несколько раз (Дюнин, 1963).

Большое влияние на характер снегоотложения оказывает конструкция лесополосы. В лесомелиоративной практике существует три главных конструкции: продуваемая, ажурная и плотная, которые в зависимости от аэродинамических особенностей по-разному влияют на снегоотложение.

Лесополосы плотной конструкции способствуют накоплению снега (высотой до 200 см) в самих лесополосах и в их приопушечных частях (шлейфах), предотвращая промерзание почвы и снижая сток, а в поле его откладывается мало. Из-за позднего схода снежного покрова в весенний период на полях создаются трудности в проведении полевых работ.

Лесополосы продуваемой конструкции не способствуют накоплению снега внутри насаждения, а обуславливают его выдувание. При этом почва не предохраняется от глубокого промерзания, что может повлиять на уменьшение впитывающей способности и увеличение поверхностного стока и эрозии.

Лесополосы ажурной конструкции занимают промежуточное положение: иногда они накапливают снег в шлейфах, а иногда он может из них выдуться. В целом такие насаждения обеспечивают предохранение почвы от глубокого промерзания, но не способствуют оптимальному снегоотложению в поле.

Системы лесополос играют важную роль в накоплении и сбережении влаги, ее рациональном сохранении и использовании, переводе поверхностного стока во внутрпочвенный, так как в условиях пересеченного эрозионного рельефа на сельскохозяйственных землях (приводораздельные и присетевые земли) они размещаются контурно (по горизонталям). Однако потенциал их еще полностью не реализован, в частности необходимо исследование их конструктивных особенностей, поскольку они определяют не только эффективность влияния на прилегающие мелиорируемые земли, но и устойчивость самих насаждений, их долговечность и способность адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. То есть ставится задача – создать такую конструкцию лесополос, которая способствовала бы равномерному распределению снега на межполосном пространстве и накоплению его в лесополосе в таком количестве, которое необходимо для предотвращения глубокого промерзания почвы и обеспечения деревьев дополнительными влагозапасами за счет накопления зимних осадков.

Согласно литературным данным (Барабанов, 2017; Рихтер, 1953; Сурмач, 1976; Iwataetal., 2008, 2018), для снижения глубины промерзания почвы достаточно сформировать снежный покров мощностью не менее 30–50 см. Если путем регулирования снегоотложения удастся накопить его в насаждении, а остальной распределить по межполосному пространству, то это приведет к снижению потери талой воды и сокращению стока талых вод.

Целью работы являлось определение мелиоративной эффективности новой конструкции защитных лесных полос.

Материалы и методы

Исследования проводились на территории г. Волгограда и в Клетском районе Волгоградской области. В пределах города изучаемая лесополоса располагалась на территории стоково-эрозионного стационара Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук «Амфитеатр» на склоне восточной экспозиции крутизной $3-4^\circ$. Базис эрозии 58 м. Здесь получили развитие светлокаштановые почвы разной степени смытости. По международной классификации почвы относятся к реферативно-почвенным группам *Kastanozems*, *Cambisols*, *Regosols*. Насаждения состоят из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata*) и смородины золотистой (*Ribes aureum*) в верхнем опушечном ряду. Лесная полоса четырехрядная с размещением посадочных мест у древесной породы 3×1 м, у

кустарника шаг посадки 0.5 м. Средняя высота древостоя – 6.8 м, средний диаметр ствола – 9.8 см. Возраст насаждения 41 год.

В Клетском районе исследования проводились в стокорегулирующей лесополосе на северо-восточном склоне крутизной 2–3° в 3 км на юго-восток от ст. Клетская. Базис эрозии 47 м. Почвенный покров представлен темно-каштановыми почвами средней степени смытости средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. По международной классификации они относятся к реферативно-почвенной группе *Kastanozems*. Лесополоса трехрядная, в породном составе преобладают робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*) и ясень зеленый (*Fraxinus pennsylvanica*) со смородиной золотистой в верхнем опушечном ряду. Схема посадки 3×1 м. Средняя высота древостоя – 8.5 м, средний диаметр ствола – 15.0 см. Возраст насаждения 46 лет.

На обоих объектах в лесополосе были заложены опытные участки шириной 20 м, на которых представлены разные типы конструкций. Наличие схожих геоморфологических, почвенных и микроклиматических условий в рамках одного объекта позволили сопоставить полученные данные.

Влияние на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса изучалось с использованием методических разработок Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации, Всесоюзного научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии, Государственного гидрологического института и др. Полученные данные статистически обработаны с помощью XLstat. В опытах определялись следующие показатели: высота снега, снеготолщина, глубина промерзания и влажность почвы. Высота снега измерялась при помощи снегомерной рейки в трехкратной повторности. На поле она фиксировалась каждые 4 м, в шлейфовых зонах – 2 м, в лесной полосе через 1 м. Особое внимание уделялось распределению снега внутри насаждения. Промерзание почв изучалось с использованием мерзлотометров Данилина, установленных в поле и в лесной полосе. Мониторинг изменения показателей осуществлялся с периодичностью 1–2 раза в неделю. Влажность почв определялась термостатно-весовым методом в три периода: до формирования снежного покрова, после снегомерных исследований перед снеготаянием, после полного схода снега. Образцы отбирали в полевой и лесной части опытных участков.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что если снег рыхлый, то низовая метель может начаться и без снегопада при скорости ветра 3–4 м/с. Подавляющая часть снега при ней переносится в приземном слое (Бодров, 1951). На этом принципе А.Т. Барабанов, Е.А. Гаршинов и М.М. Кочкарь разработали комбинированную конструкцию лесополосы (Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах: пат. 2248116 Рос.Федерация, 2005). Особенность ее в формировании особого вертикального профиля, отличающегося различиями в ветропроницаемости на разной высоте. В нижней части лесополосы (до 0.3–0.5 м) она соответствует плотной конструкции, от 0.5 до 1.5–2.0 м – продуваемой, выше – ажурной. Плотная часть создается методом подбора низкорослого кустарника при посадке или путем его подрезки в существующих лесополосах. Продуваемая формируется подбором пород при посадке или путем обрезки сучьев. Выше 2 м ажурность формируется кроной деревьев. При этом продуваемость лесополос должна быть в нижней части 10–30%, в средней – свыше 60%, в верхней до 15–35%. Насаждение рекомендуется создавать из 2–3 рядов деревьев и 1–2 рядов низкорослых кустарников (рис. 1).

Представленная конструкция способствует делению ветрового потока пополам: первый – обтекает кроны деревьев сверху; второй – проходит между верхушками кустарника через продуваемый участок (по вертикальному профилю) насаждения. Максимальная высота снега в зоне верхнего шлейфа ограничивается высотой кустарника. Скорость нижнего потока в зоне лесополосы снижается, что приводит к дополнительному накоплению снега. Остальной снег переносится через преграду и перераспределяется в лесополосе, обеспечивая дополнительный запас влаги. Исследование характера снегоотложения под влиянием лесополосы комбинированной конструкции показало, что он отличается оптимальным снегоотложением, как в самом насаждении, так и в поле (табл. 1).

Лесополоса плотной конструкции обеспечивает лесонасаждение дополнительной влагой, забирая ее у поля. В свою очередь, комбинированная конструкция позволяет наиболее эффективно распределить снег в зоне своего влияния. За счет наличия низкорослого кустарника в крайнем верхнем ряду она способствовала большому накоплению снега в лесополосе. Скорость метели при подходе к лесополосе плотной конструкции начинает снижаться на расстоянии 3Н, что способствует

увеличению осаднения снежных частиц в зоне верхнего шлейфа. С заветренной стороны скорость также снижается, но дополнительно образуются завихрения ветровых потоков, огибающие лесополосу сверху, приводя к усиленному турбулентному перемешиванию частиц и образованию в зоне нижнего шлейфа больших сугробов. Обладая такими аэродинамическими свойствами, лесонасаждение теряет дополнительный запас влаги в виде снега (табл. 2).

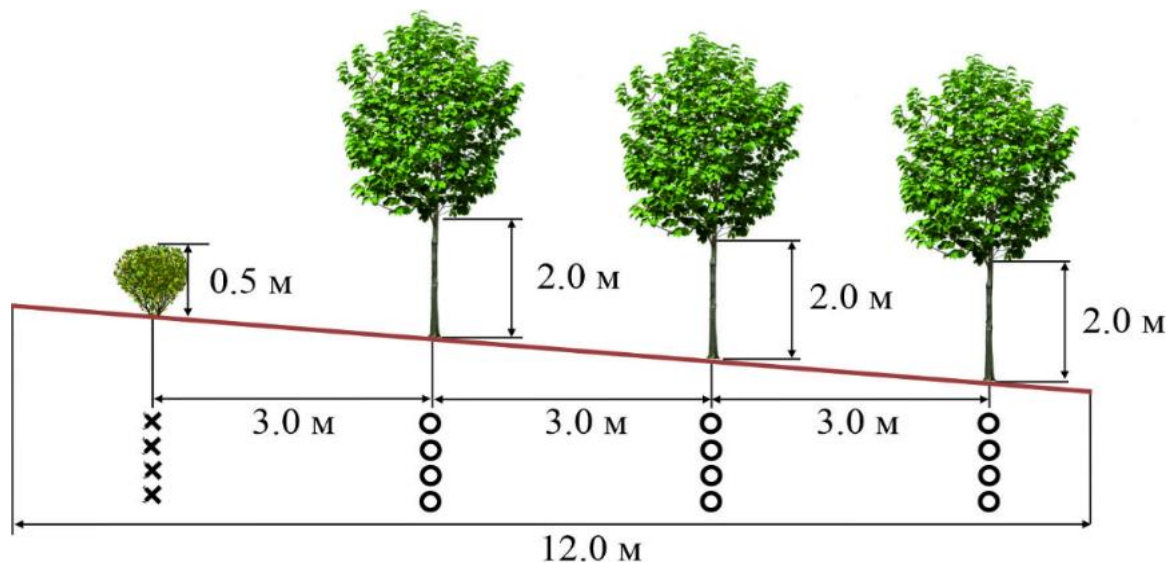


Рис. 1. Общая схема создания лесополос комбинированной конструкции.

Таблица 1. Средняя высота снега в поле/насаждении под влиянием лесополос различных конструкций перед снеготаянием, см.

Конструкция	Год исследования				
	2016	2017	2018	2019	2020
г. Волгоград					
Комбинированная	$\frac{14}{20}$	$\frac{11}{42}$	$\frac{24}{22}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{14}{16}$
Продуваемая	$\frac{13}{11}$	$\frac{11}{17}$	$\frac{15}{25}$	$\frac{13}{11}$	$\frac{13}{13}$
Клетский р-н, Волгоградская обл.					
Комбинированная	$\frac{5}{18}$	$\frac{16}{73}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{12}{54}$	$\frac{17}{27}$
Продуваемая	$\frac{3}{13}$	$\frac{13}{23}$	$\frac{11}{21}$	$\frac{11}{21}$	$\frac{14}{21}$
Плотная	$\frac{4}{19}$	$\frac{12}{29}$	$\frac{11}{25}$	$\frac{12}{43}$	$\frac{16}{25}$

Продуваемая лесополоса благодаря своей конструкции способствует разделению метелевого потока на две части: верхняя обтекает лесонасаждение сверху; нижняя проходит между стволами деревьев, приводя к выдуванию снега из лесной полосы и отложению его в зону нижнего шлейфа. Скорость метелевого потока по направлению к лесополосе постепенно снижается, как и осаднение снега. Зона наветренного влияния составляет 2Н. При этом отмечается потеря снеготаяния по всему пространству. Для условий сухой степи подобная конструкция неэффективна и ее применение в агролесоландшафтах нецелесообразно. Наибольшим снегонакопительным эффектом обладает лесополоса комбинированной конструкции. С наветренной стороны зона влияния составляет 5Н. В этой зоне, благодаря наличию в первом ряду низкорослого кустарника, происходит накопление снега.

Лесополоса комбинированной конструкции показывает стабильные результаты, характер

снегоотложения под ее влиянием подчинен определенным закономерностям, согласно которым возможно построить модель распределения снега в агроландшафте. Для наиболее адекватного ее описания выделены четыре основные зоны влияния (рис. 2), и для каждой из них установлена взаимосвязь величины снегонакопления и удаленности от лесополосы. При обобщении полученных ранее данных установлено, что лесополоса такой конструкции обеспечивает дополнительную среднегодовую прибавку влаги в виде снеготопивых запасов в поле 4 мм, в зоне верхнего шлейфа – 12 мм, в самой лесополосе – до 40 мм. В зоне верхнего шлейфа изменения могут носить и отрицательный характер. Снегоотложение в этой зоне зависит от направления метельных ветров, при которых снег может как откладываться, так и выноситься в сторону насаждения.

Таблица 2. Статистические показатели снеготопивых запасов под влиянием лесополос различных конструкций, мм.

Место определения	Статистические показатели							
	max	min	mean	Q1	median	Q3	S	V
Плотная								
Поле	38	19	30	24	31	34	5.6	0.2
Верхний шлейф	148	43	74	48	59	78	35.1	0.5
Лесополоса	128	85	107	101	113	119	14.6	0.1
Нижний шлейф	235	31	121	53	99	196	74.9	0.6
Продуваемая								
Поле	43	17	27	23	26	31	6.6	0.2
Верхний шлейф	54	33	44	41	44	49	6.8	0.1
Лесополоса	61	44	52	47	51	57	6.2	0.1
Нижний шлейф	152	22	75	37	82	100	39.2	0.5
Комбинированная								
Поле	41	17	30	27	29	34	6.4	0.2
Верхний шлейф	116	41	79	65	79	98	23.7	0.3
Лесополоса	189	103	146	132	151	156	26.7	0.2
Нижний шлейф	106	29	77	57	89	94	24.4	0.3

Примечание: max и min – максимум и минимум; mean – среднее арифметическое; Q1 и Q3 – квартили, median – медиана; S – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

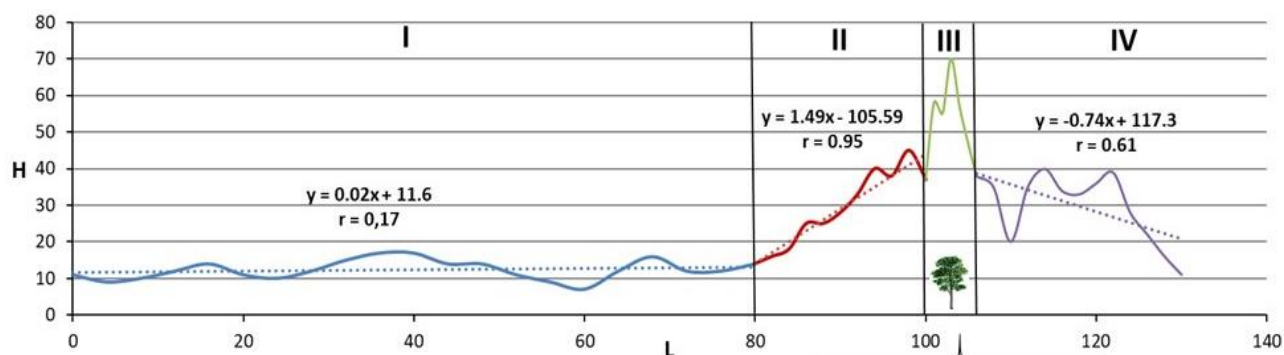


Рис. 2. Характер снеготопивых запасов под влиянием лесополосы комбинированной конструкции. Условные обозначения: Н – средняя высота снежного покрова, см; L – расстояние, м; зоны влияния лесополосы: I – полевая часть, II – верхний шлейф, III – лесополоса, IV – нижний шлейф.

Лесополосы оказывают влияние и на изменение влажности почвы, которая является очень изменчивой величиной, варьируясь в различных пределах. Для оценки эффективности лесополос комбинированной конструкции в накоплении влаги была определена разница значений влажности почв в период до выпадения первого снега (декабрь) до полного его схода на примере объекта, АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2023, том. 29, № 1(94)

расположенного в Клетском районе (табл. 3). При анализе данных установлено, что прибавка влаги в слое 0–50 см в поле в среднем за пять лет составила 52 мм, в самом насаждении 90 мм. Различия в накоплении почвенной влаги по сравнению с другими конструкциями достигает в поле 15–28 мм, в насаждении 27–30 мм. Не в каждый год комбинированная лесополоса имела лучшие показатели. Это объясняется большой изменчивостью показателя влажности и фильтрационной способности почв. Недостаток в накоплении влаги в почве комбинированная лесополоса компенсирует дополнительным снегонакоплением в зоне своего влияния. В периоды зимних оттепелей при снеготаянии талая вода стекает вниз по склону. При этом она не теряется, а аккумулируется в лесополосе, где поглощается снежным покровом и сохраняется до весны.

Таблица 3. Изменение запаса влаги почв в слое 0–50 см за период от начала выпадения снежного покрова до его полного схода (декабрь–март) (%/мм).

Конструкция		Год исследования					В среднем за 5 лет
		2016	2017	2018	2019	2020	
Комбинированная	поле	<u>+2.2</u> +16	<u>0</u> 0	<u>+7.9</u> +56	<u>+10.0</u> +71	<u>+17.0</u> +119	<u>+7.4</u> +52.4
	лесополоса	<u>+4.5</u> +32	<u>+16.0</u> +112	<u>+12.6</u> +88	<u>+13.0</u> +91	<u>+17.9</u> +126	<u>+12.8</u> +89.8
Продуваемая	поле	<u>+0.6</u> +4	<u>-9.0</u> -63	<u>+7.6</u> +53	<u>+9.1</u> +63	<u>+18.3</u> +128	<u>+5.3</u> +37.0
	лесополоса	<u>+10.4</u> +73	<u>+3.0</u> +21	<u>+3.1</u> +22	<u>+6.5</u> +46	<u>+19.8</u> +139	<u>+8.6</u> +60.2
Плотная	поле	<u>+1.4</u> +10	<u>-4.0</u> -28	<u>-2.0</u> -14	<u>+6.4</u> +45	<u>+15.5</u> +108	<u>+3.5</u> +24.2
	лесополоса	<u>+8.6</u> +60	<u>0</u> 0	<u>+15.8</u> +110	<u>+2.5</u> +17	<u>+17.8</u> +125	<u>+8.9</u> +62.4

Примечание: в числителе – влажность почв, %; в знаменателе – в мм.

Лесополоса комбинированной конструкции влияет на глубину промерзания почвы через снеготложение. Снег обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, поэтому, выпадая на талую почву, способствует сохранению тепла и препятствует глубокому ее промерзанию. В Волгоградской области зимы в последнее время отличаются малоснежностью и мягкостью, поэтому в 2016 и 2017 гг. отличий в глубине промерзания по конструкциям не наблюдалось. С 2018 по 2020 гг. прослеживается уменьшение промерзания почв под влиянием лесополосы комбинированной конструкции в поле до 10 см, в самом насаждении – до 15 см. По результатам исследований на территории Клетского р-на за последние пять лет комбинированная конструкция лесополосы способствовала снижению глубины промерзания в полевой части на 2–4 см, в зоне верхнего шлейфа до 4 см, в лесополосе до 9 см (рис. 3). В среднем наибольшее промерзание наблюдается в конце зимы в продуваемой лесополосе, где высота снега также существенно ниже. По своим показателям комбинированная лесная полоса близка к плотной. Уменьшение промерзания в поле и в лесополосе в период снеготаяния повышает впитывание в почву талых вод и снижает потери влаги, препятствуя формированию поверхностного стока.

Выводы

Комбинированная конструкция лесополос по сравнению с плотной и продуваемой обладает наилучшими мелиоративными свойствами. Она позволяет оптимизировать снеготложение в агролесоландшафте, обеспечивая накопление снега в поле и аккумулируя его в самом насаждении, что приводит к предотвращению глубокого промерзания почвы, повышению водопоглощения, уменьшению потерь на поверхностный сток, дополнительно обеспечивая влагой древесную растительность в засушливых условиях степной зоны.

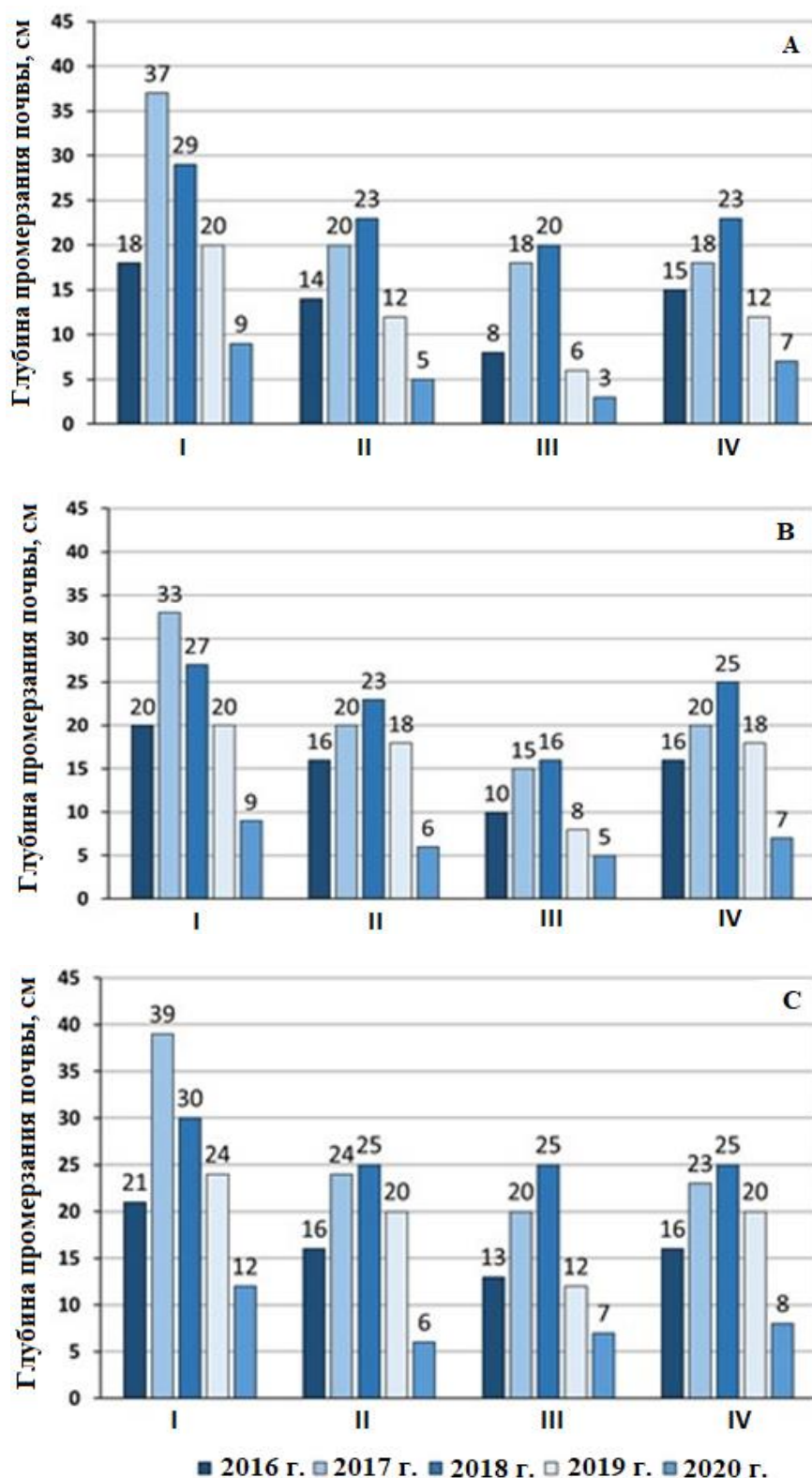


Рис. 3. Изменение глубины промерзания почвы под влиянием лесополос различных конструкций за последние пять лет (Клетский р-н, Волгоградская обл.). Условные обозначения: зоны влияния лесополос: I – поле; II – верхний шлейф; III – лесополоса; IV – нижний шлейф; конструкции лесных полос: А – плотная; В – продуваемая; С – комбинированная.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № FNFE-2022-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабанов А.Т.* 2017. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 188 с.
- Беляков А.М., Васильев Ю.И., Турко С.Ю.* 2019. Пыльные бури в Волгоградской области. Их проявление и борьба с ними // *Нива Поволжья*. № 2 (51). С. 2-8.
- Бодров В.А.* 1951. Лесная мелиорация. М. – Л.: Гослесбумиздат. 460 с.
- Васильев Ю.И.* Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2003. 176 с.
- Дюнин А.К.* 1963. Механика метелей: вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств. Новосибирск: изд-во Сибирского отделения АН СССР. 380 с.
- Комиссаров М.А., Габбасова И.М.* 2014. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // *Почвоведение*. № 6. С. 734-743.
- Лисенков А.Ф.* 1971. Лесные мелиорации. М.: Лесн. пром-сть. 160 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. 2008. М.: Росгидромет. 228 с.
- Пугачёва А.М.* 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутации // *Аридные экосистемы*. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22.
- Рихтер Г.Д.* 1953. Использование снега и снежного покрова в целях борьбы за высокий урожай // *Роль снежного покрова в земледелии*. М.: Изд-во АН СССР. С. 6-61.
- Рулев А.С., Беляков А.М., Сарычев А.Н.* 2016. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // *Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. № 2 (42). С. 101-107.
- Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах: пат. 2248116 Рос. Федерация. № 2003122810/12; заявл. 21.07.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8. 3 с.
- Сурмач Г.П.* 1976. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат. 254 с.
- Iwata Yu., Hayashi M., Hirota T.* 2008. Comparison of snowmelt infiltration under different soil-freezing conditions influenced by snow cover // *Vadose Zone Journal*. № 7.P. 79-86.
- Iwata Yu., Yanai Yo., Yazaki T., Hirota T.* 2018. Effects of a snow-compaction treatment on soil freezing, snowmelt runoff and soil nitrate movement: A field-scale paired-plot experiment // *Journal of Hydrology*. № 567. P. 280-289.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЛОВОГО ОСАДКА
С ЦЕЛЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОЧВЕННОГО МЕЛИОРАНТА
В ЗЕМЛЕДЕЛИИ АРИДНЫХ РЕГИОНОВ**

© 2023 г. А.С. Межевова, Ю.В. Берестнева

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук*

Россия, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский пр-т, д. 97. E-mail: asmezhevova@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

В работе проведены комплексные исследования структуры, минералогического состава и основных показателей илового осадка с очистных сооружений г. Волжского. Анализ данных показывает, что иловый осадок характеризуется сложным минералогическим составом и высокими удобрительными качествами, содержит в своем составе азот, фосфор и калий (3.30; 4.27; 0.31% соответственно), а также органическое вещество (32%). С помощью методов сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа у исследуемого илового осадка обнаружена способность сорбировать и удерживать воду, что является важным свойством для удобрений, применяемых на участках, где отсутствует искусственное орошение. В статье рассмотрены особенности использования илового осадка в качестве почвенного мелиоранта в сухом земледелии Волгоградской области на примере культивирования сафлора красильного. Для увеличения микробиологической активности почвы, а также урожайности сафлора красильного рекомендуется вносить иловый осадок в качестве мелиоранта в дозе 10 т·га⁻¹ на фоне применения глубокой чизельной обработки почвы рабочим органом Ранчо.

Ключевые слова: иловый осадок, почвенный мелиорант, химический состав, структура, переходная пористость.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-113-119

EDN: OJOKRX

Одним из основных способов регулирования водного режима почв в зонах гидротермической напряженности климата считается искусственное орошение. Но необходимо отметить, что при научно необоснованном применении орошения могут проявляться и негативные последствия, в том числе деградационные процессы. Решение обозначенных проблем возможно при использовании хозяйственно-бытовых сточных вод, которые накапливаются в огромных количествах на станциях очистки практически в каждом крупном городе. Состав и свойства илового осадка зависят от способов очистки, хранения и от источника сточных вод.

В качестве органического удобрения в сельском хозяйстве можно использовать повторно переработанные бытовые сточные воды (Renaud et al., 2017; Ильинский и др., 2020; Касатиков, 2020; Рабинович и др., 2020; Стельмах, 2020).

Использование переработанных осадков сточных вод в качестве мелиоранта может дать некоторые положительные результаты, такие как: улучшение структуры почвы, увеличение количества питательных веществ в почве, сокращение потребности в минеральных удобрениях (Renaud et al., 2017; Kumaret al., 2017). Подобные отходы представляют собой потенциальный источник органических веществ и питательных элементов, таких как азот, фосфор, калий, и могут быть использованы с целью увеличения плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

В данной работе представлены результаты комплексного исследования осадка хозяйственно-бытовых сточных вод г. Волжского, в частности, его химического состава, структуры и морфологии, а также показано его практическое применение в качестве почвенного мелиоранта в условиях отсутствия орошения.

Материалы и методы

Для проведения исследований использовали иловый осадок, полученный с очистных сооружений г. Волжского. Иловый осадок предварительно подвергали биологической очистке ферментно-кавитационным методом, разработанным компанией ЗАО «Эктор» и рядом ученых (Пындак и др., 2013; Степкина, 2009).

Содержание катионов тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Hg, As) в иловом осадке определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Остаточное количество пестицидов определяли методом газовой хроматографии на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000-М» согласно ГОСТ ISO 10382-2020.

Особенности структуры илового осадка исследовали методом рентгенофазового анализа (РФА) с помощью дифрактометра «ДРОН-3» (излучение $\text{CuK}\alpha$, длина волны $\lambda = 1.54181 \text{ \AA}$). Дифрактограммы записывали в диапазоне углов $2\theta = 10-70^\circ$ со скоростью сканирования $1^\circ/\text{мин}$. Положения пиков на дифрактограммах определяли с точностью до 0.02° . На основе полученной дифрактограммы переработанного илового осадка для идентификации минералов в его составе определены межплоскостные расстояния ($d, \text{ \AA}$), которые рассчитывали в соответствии с уравнением Вульфа-Брэгга:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \Theta_i}, \quad (1)$$

где λ – длина волны монохроматических, рентгеновских лучей, падающих на кристалл, \AA ; Θ_i – угол скольжения, $^\circ$.

Для идентификации состава переработанного илового осадка был использован ИК-спектр, записанный для воздушно-сухого образца на ИК-спектрометре «Nicolet IS 10» с фурье-преобразованием, оснащенный приставкой Smart iTR, в диапазоне $600-4000 \text{ см}^{-1}$ с разрешением 2 см^{-1} . Образец вносили непосредственно на кристалл приставки Smart iTR. Морфологию поверхности частиц переработанного илового осадка определяли методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью микроскопа «JSM-6490LV».

Микробиологическую активность почвы вычисляли с помощью льянных полотен методом «аппликаций» (Мишустин, Емцев, 1987).

Полевые исследования проводили с 2016 по 2018 гг. на светло-каштановых солонцеватых почвах тяжелосуглинистого гранулометрического состава.

Иловый осадок вносили весной 2016 г. перед посевом сафлора красильного на поверхность поля в виде мульчирующего слоя в дозах 5 и 10 т/га^{-1} , которые рассчитывали в соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001.

Результаты и обсуждение

Иловый осадок – это отходы, остающиеся после очистки бытовых сточных вод на очистных сооружениях. На большинстве отечественных станциях очистки количество иловых осадков достигло критических масс, и утилизация таких отходов стала важной экологической проблемой. Переработка илового осадка и использование для сельскохозяйственных целей является экономически эффективным способом его утилизации (McGrath et al., 1999; Balík et al., 2002). Поскольку иловый осадок характеризуется большим количеством органических веществ, а также вредных веществ (микроорганизмы, тяжелые металлы и другие токсиканты), перед использованием его нужно подвергать очистке и переработке. После биологической очистки иловый осадок исследовали на наличие тяжелых металлов и пестицидов. Было установлено, что исследуемый иловый осадок содержит следующие металлы: Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Hg, Cs и As в количестве 131.0 мг/кг^{-1} ; 135.0 ; 1.33 ; 24.0 ; 22.4 ; 1.9 ; 0 и 0.5 мг/кг^{-1} , соответственно. Такое содержание тяжелых металлов в осадке допустимо согласно техническим требованиям для осадков сточных вод (ГОСТ Р 54651-2011), гексахлорциклогексан-изомеры, 4,4'-дихлордифенилтрихлорэтан и его метаболиты обнаружены не были. Полученные данные свидетельствуют о том, что исследуемый осадок является экологически безопасным.

Ранее нами было показано (Межевова и др., 2021; Mezheva, 2020), что имеющиеся в иловом осадке в значительном количестве органическое вещество (32%), общий азот (3.3%), аммиачный азот

(0.19%), общий фосфор (4.27%), общий калий (0.31%) и другие макро- и микроэлементы, свидетельствуют о его высокой удобрительной ценности. В связи с этим переработанный осадок сточных вод может использоваться в качестве удобрения-мелиоранта при возделывании сельскохозяйственных культур.

Методом РФА исследованы структурные особенности илового осадка. РФА был выполнен для идентификации кристаллических минеральных фаз исследуемого образца. Рис. 1 иллюстрирует дифрактограмму исследуемого илового осадка в координатах $I-2\theta$. Исследуемый образец илового осадка является аморфным с кристаллическими включениями, так как дифрактограмма содержит как узкие пики (кристаллические фазы), так и нелинейный фон (аморфная фаза). Для индирования дифрактограммы илового осадка экспериментальные данные сравнивали с литературными (Бегларян и др., 2019; Мечай и др., 2019; Wei, 2012; Кошелев и др., 2019; Белоусов, 2015; МИНКРИСТ..., 2022).

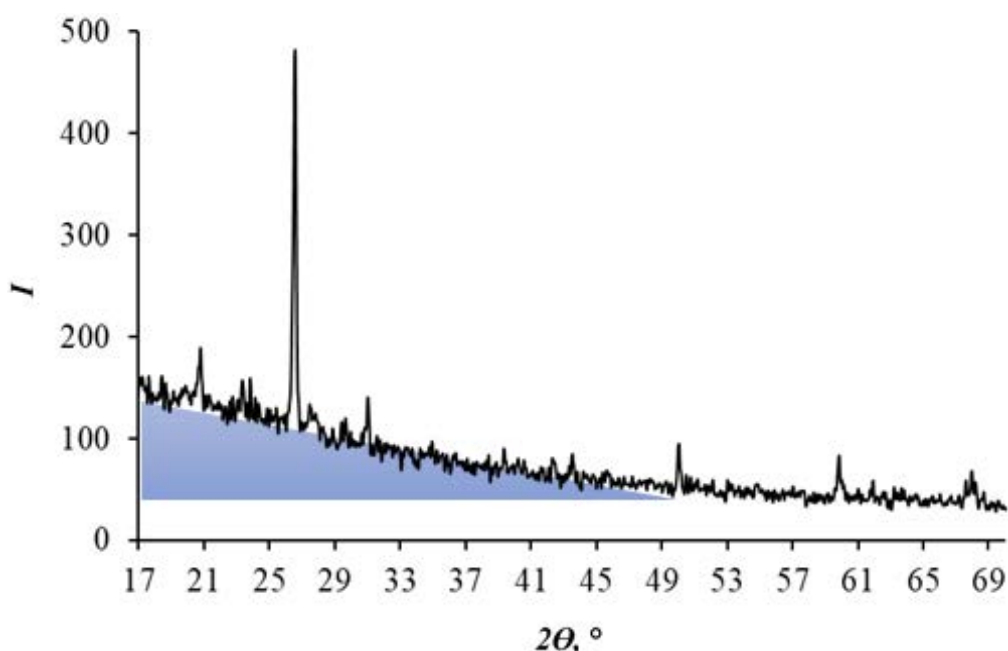


Рис. 1. Дифрактограмма илового осадка (цветом выделена аморфная фаза)

Первичный анализ полученной дифрактограммы подтвердил, что осадок имеет сложный минералогический состав. На основе полученной дифрактограммы для идентификации минералов определены межплоскостные расстояния (d , Å), которые рассчитывали в соответствии с уравнением Вульфа-Брэгга (1). В состав илового осадка входят такие минералы как ангидрит (d , Å: 3.739, 3.250, 3.209, 2.797, 2.569, 2.291, 2.138, 2.079, 1.988), гидросиликат кальция (d , Å: 2.903, 2.885, 2.569, 1.823, 1.379), сульфосиликат кальция (d , Å: 3.356, 2.291), сульфалюминат кальция (d , Å: 3.356, 2.292, 2.243, 1.546, 1.503), этtringит (d , Å: 4.279, 3.814, 2.885, 2.291), гидроксид кальция (d , Å: 4.475, 2.835, 2.797, 2.689, 1.988), бентонит (d , Å: 5.039, 4.475, 4.279, 4.033, 3.860, 3.356, 2.471, 2.481). Полученная дифрактограмма содержит и другие дифракционные отражения, однозначная идентификация которых затруднена.

В иловом осадке сложно определить идентификацию минералов из-за их количества, разнообразия и дисперсности частиц. Для более полного и точного изучения илового осадка были проведены ИК-спектроскопические исследования, которые подтвердили наличие бентонита в составе изучаемого илового осадка. ИК-спектр илового осадка представлен на рис. 2.

Основным компонентом глинистого минерала бентонита является монтмориллонит. Спектры инфракрасного поглощения минералов группы монтмориллонита (Коровкин, Ананьева, 2016) характеризуются двойным пиком поглощения при 3620 и 3400 см^{-1} , интенсивным пиком около 1032 см^{-1} (наблюдается слабое расщепление пика) и слабыми пиками при 920 и 842 см^{-1} . Из-за наличия в образце и других минералов двойной пик поглощения при 3620 и 3400 см^{-1} выражен слабо (см. рис. 2).

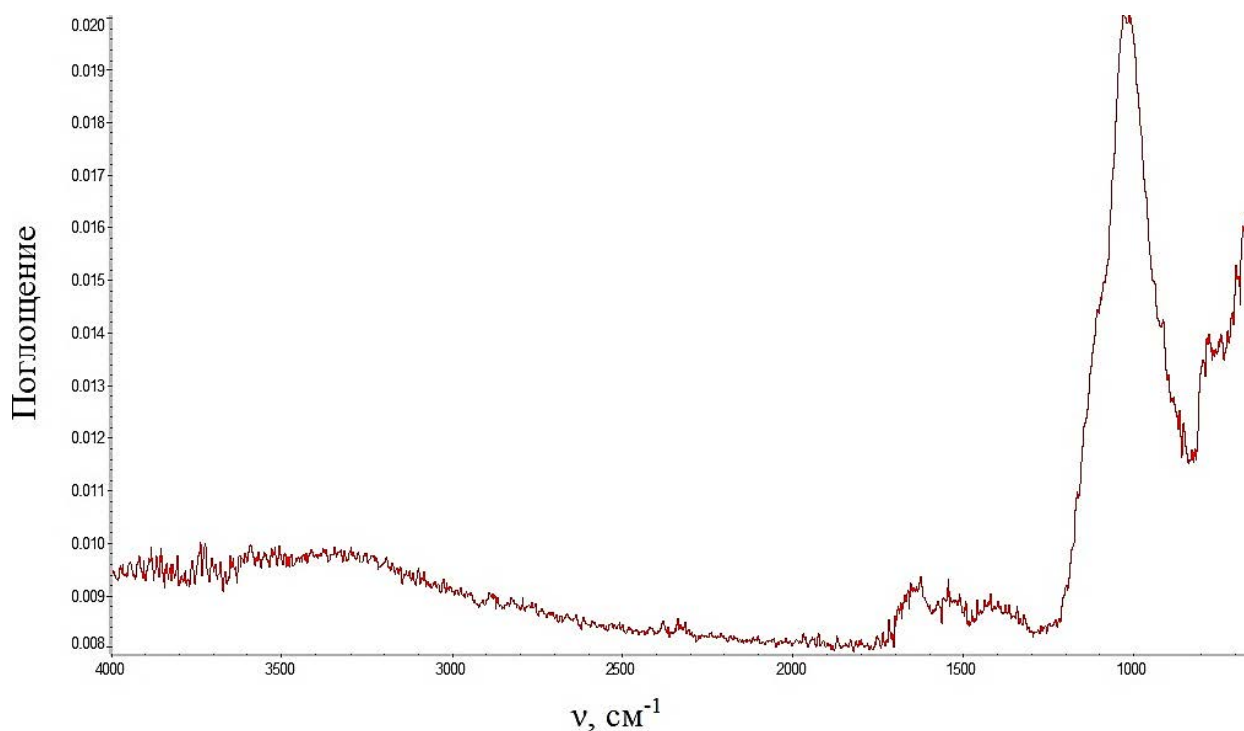


Рис. 2. ИК-спектр илового осадка

Способность к набуханию, то есть способность поглощать воду, является одним из основных свойств бентонита (Горюшкин, 2005). При взаимодействии с водой молекулы воды могут входить в промежутки между слоями кристаллической решетки и существенно раздвигать их (Кошелев и др., 2019). Бентонитовые глины способны как к ионному обмену, так и к физической и молекулярной сорбции (Кошелев и др., 2019).

Наличие сорбционных и влагоудерживающих свойств у исследуемого илового осадка также подтверждают данные, полученные методом СЭМ. Типичные микрофотографии илового осадка при разном увеличении представлены на рис. 3. Образец имеет шероховатую неоднородную пористую структуру. Размер частиц в образце варьирует от 0.1 до 800 мкм, наблюдается множество агрегированных частиц. Ширина видимых пор варьирует от 4 нм до 6 мкм, что согласуется с литературными данными (Dong et al., 2015).

Развитая переходная пористость образца позволяет предположить, что иловый осадок обладает сорбционными свойствами и может поглощать, а также удерживать воду, что весьма важно для аридных регионов в условиях отсутствия орошения. Способность удерживать влагу в почве позволит пролонгировать её продуктивное использование растениями.

Апробация илового осадка в качестве почвенного мелиоранта.

В аридных регионах для возделывания сафлора красильного обычно используют традиционные минеральные удобрения. Однако в условиях с гидротермической напряженностью климата и отсутствием орошения такие удобрения слабо влияют на структуру и влажность почвы, что приводит к закономерному снижению урожая. За счет использования илового осадка можно потенциально повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить плодородие почвы, так как он обладает высокими удобрительными и влагоудерживающими свойствами.

Одним из главных показателей уровня плодородия почвы является микробиологическая активность. Внесение удобрений оказывает положительное влияние на развитие микроорганизмов в почве и является важнейшим фактором, определяющим биологическую активность. Микробиологическая активность почвы имеет большое значение для питания растений, произрастающих на ней (Сао et al., 2016; Иванайская, 2009).

Микробиологическую активность изучали в активные фазы роста сафлора. Почву подвергали глубокой чизельной обработке ресурсосберегающим рабочим органом Ранчо. Глубокая чизельная

обработка почвы позволяет заделывать вглубь почвы большую часть растительных остатков, где и происходит их разложение, что способствует дополнительной аккумуляции микроорганизмов. Иловый осадок вносили в качестве почвенного мелиоранта в дозах 5 и 10 т/га⁻¹.

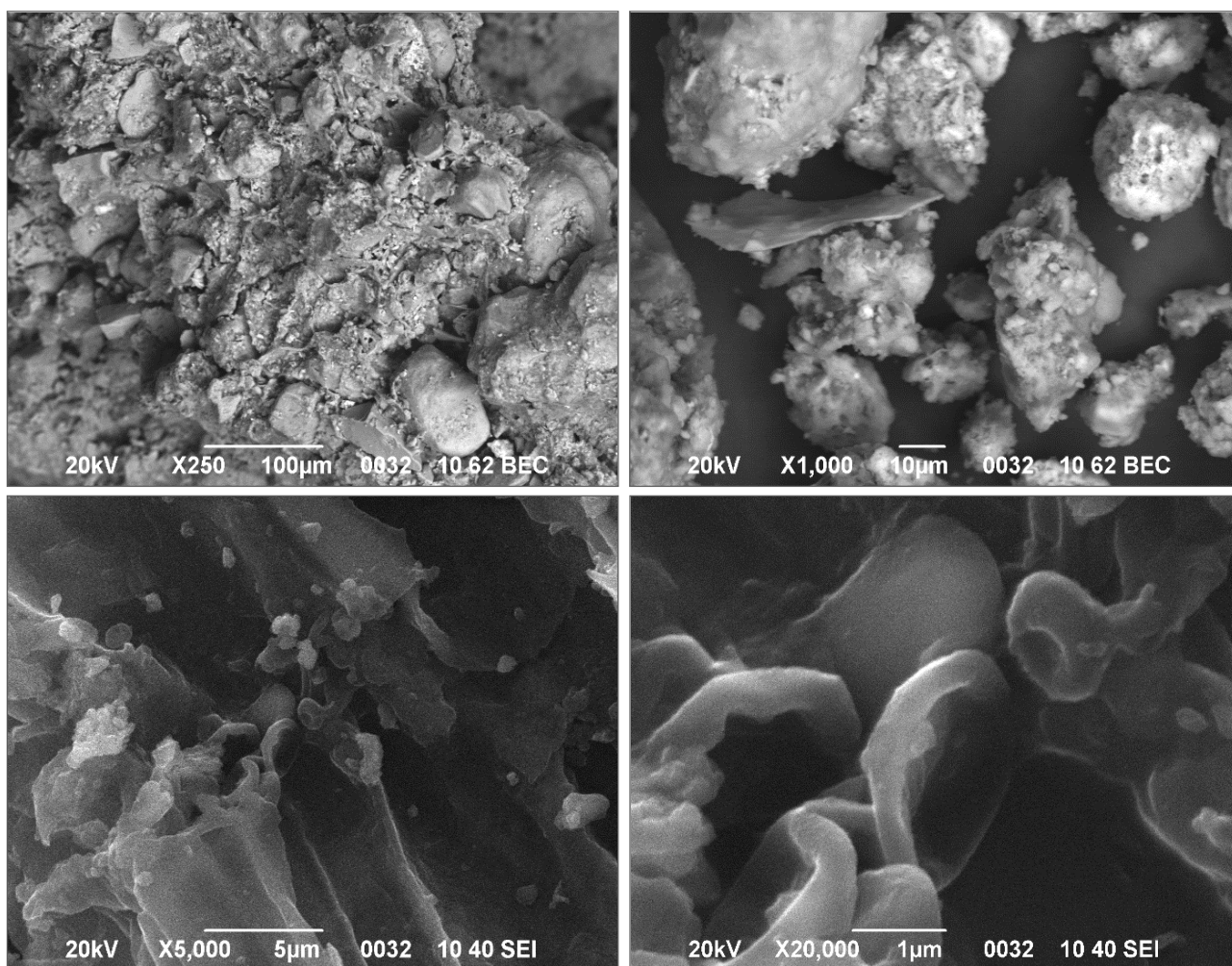


Рис. 3. Микрофотографии илового осадка после биологической очистки при разном увеличении.

Диаграмма на рис. 4 наглядно демонстрирует влияние илового осадка на микробиологические процессы в почве.

Наибольший показатель микробиологической активности почвы наблюдался в фазу 5–6 листьев по всем вариантам опыта. Внесение осадка в дозе 5 т/га⁻¹ привело к увеличению микробиологической активности с 348 до 357 мкг_{амин.}/Г_{полотна}⁻¹. Внесение илового осадка в дозе 10 т/га⁻¹ увеличило микробиологическую активность до 372 мкг_{амин.}/Г_{полотна}⁻¹. Вариант с внесением осадка в дозе 10 т/га⁻¹ оказался самым предпочтительным. Микробиологическая активность почвы по всем вариантам опыта снижалась к фазе полной спелости, что связано с иссушением почвы. Однако сохранялась положительная динамика от внесения илового осадка в качестве мелиоранта в дозах 5 и 10 т/га⁻¹. Также было изучено влияние илового осадка на урожайность сафлора красильного. При внесении осадка в дозе 5 т/га⁻¹ урожайность сафлора увеличивалась до 1,42 т/га⁻¹, в дозе 10 т/га⁻¹ до 1,51 т/га⁻¹ (среднее за 2016–2018 гг.). На контрольном варианте, где не использовали осадок, урожайность составила 1,31 т/га⁻¹. Разница в урожайности обусловлена внесением илового осадка, который содержит основные элементы питания и органическое вещество, что приводит к улучшению структурных показателей почвы, улучшает водный режим и, как следствие, приводит к увеличению урожайности культуры. Опыты показали, что наилучшие результаты были достигнуты при увеличении дозы илового осадка до 10 т/га⁻¹.

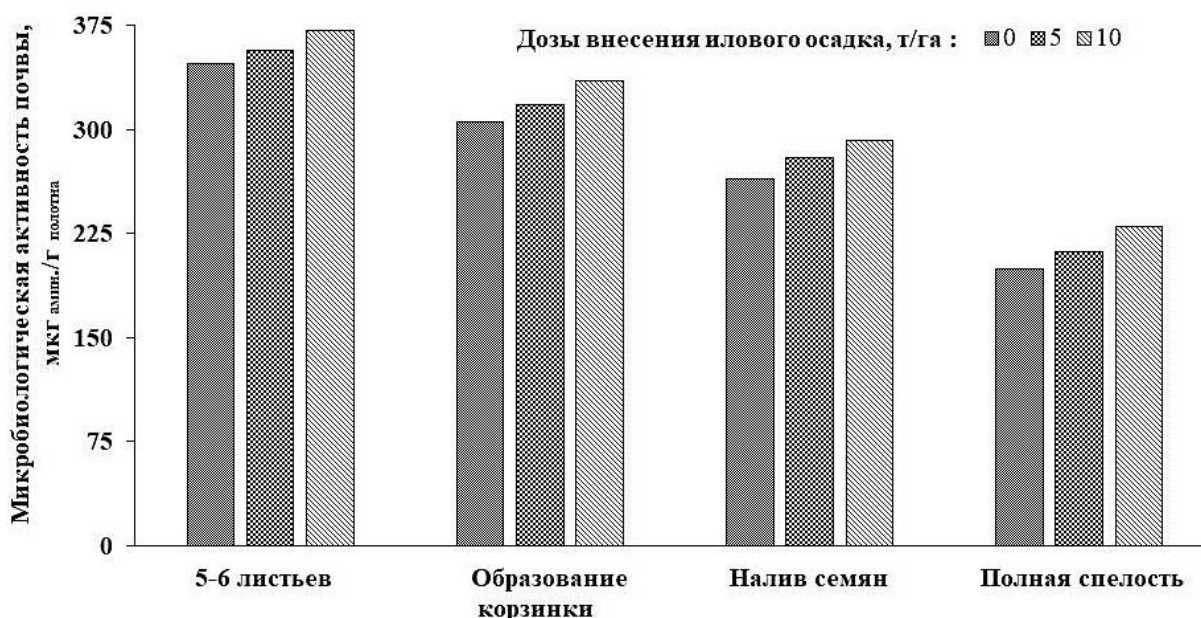


Рис. 4. Микробиологическая активность почвы в слое 0-0.3 м (среднее за 2016-2018 гг.)

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что иловый осадок полностью соответствует техническим требованиям, предъявляемым к удобрениям на основе осадка сточных вод, содержит в своем составе широкий ряд минералов, имеет развитую пористую структуру, является экологически чистым и пригодным для применения в качестве почвенного мелиоранта. Внесение в почву такого мелиоранта в дозах 5 и 10 т/га¹ оказало положительное влияние на активность микроорганизмов и урожайность. Увеличение дозы внесения осадка до 10 т/га¹ позволило получить наилучшие результаты: микробиологическая активность возросла на 7%, а урожайность – на 15%.

Использование илового осадка в сельском хозяйстве может быть одним из способов решения проблем плодородия почв, дефицита влаги в зонах с гидротермической напряженностью климата, использования дорогостоящих минеральных удобрений.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН №FNFE-2022-0007 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бегларян А.А., Зулумян Н.О., Исаакян А.Р., Меликян С.А., Терзян А.М. 2019. Взаимодействие гидроксида кальция с аморфным кремнеземом, полученным из серпентинитов // Журнал физической химии. Т. 93. С. 730-737.
- Белюсов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М. 2015. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. № 4. С. 94-101.
- Горюшкин В.В. 2005. Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской антеклизы и возможности их изменения // Вестник Воронежского университета. Геология. №1. С. 166-177.
- Иванайская Н.С. 2009. Влияние минеральных удобрений и предшественников на численность микроорганизмов в почве под зернобобовыми смесями // Достижения науки и техники АПК. № 3. С. 17-18.
- Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Нефедов А.В. 2020. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // Агрехимический вестник. № 1. С. 60-64.
- Касатиков В.А. 2020. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // Агрехимия. №6. С. 64-68.
- Коровкин М.В., Ананьева Л.Г. 2016. Инфракрасная спектроскопия карбонатных минералов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 96 с.

- Кошелев А.В., Тихомирова Е.И., Атаманова О.В.* 2019. Влияние модифицирования бентонитового адсорбента глицерином на его структуру и физико-химические свойства // *Химическая физика*. Т. 38. С. 85-90.
- Межевова А.С., Берестнева Ю.В., Пугачёва А.М.* 2021. Вторичное использование осадка сточных вод, исследование его морфологии и физико-химических свойств // *Экология и промышленность России*. Т. 25. С. 14-20.
- Мечай А.А., Барановская Е.И., Климош Ю.А., Ковалёнок М.П.* 2019. Влияние состава сульфоминеральных добавок на структуру и свойства автоклавного ячеистого бетона // *Труды БГТУ*. № 2. С. 155-165.
- МИНКРИСТ. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов. [Электронный ресурс: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/> (дата обращения 20.04.2022)].
- Мишустин Е.Н., Емцев В.Т.* 1987. *Микробиология*. М.: Агропромиздат. 371 с.
- Пындак В.И., Степкина Ю.А., Степкин А.А.* 2013. Обоснование ферментно-кавитационного метода переработки хозяйственно-бытовых стоков с получением удобрений-мелиорантов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. № 3. С. 183-189.
- Рабинович Г.Ю., Подольян Е.А., Зинковская Т.С.* 2020. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. № 4. С. 37-41.
- Стельмах К.Н.* 2020. Влияние осадков сточных вод в комплексе с цеолитсодержащей породой на физико-химические свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*. № 3. С. 67-70.
- Степкина Ю.А.* 2009. Совершенствование технологий и систем обработки осадка при очистке сточных вод, получение и апробация комплексного удобрения. Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. Волгоград: ВГСХА. 22 с.
- Balik J., Tlustoš P., Száková J., Pavlíková D., Černý J.* 2002. The accumulation of zinc in oat grown in soils treated by incubated sewage sludge with peat and straw // *Plant Soil and Environment*. Vol.48.P. 548-555.
- Cao X., Ma Q., Wu L., Zhu L., Jin Q.* 2016. Effects of ammonium application rate on uptake of soil adsorbed amino acids by rice. *Journal of Zhejiang University Science B*. Vol. 17. P. 294-302.
- Dong Y., Lu H., Li J., Wang Ch.* The Leachate Release and Microstructure of the Sewage Sludge under the Anaerobic Fermentation // *Journal of Chemistry*. 2015. Vol. Article ID 901021: 1-9.
- Kumar A., Chopra A.K., Kumar V.A.* 2017. Review on Sewage Sludge (Biosolids) a Resource for Sustainable Agriculture // *Archives of Agriculture and Environmental Science*. Vol. 2.P. 340-347.
- McGrath S.P., Knight B., Killham K., Preston S., Paton G.I.* 1999. Assessment of the toxicity of metals in soils amended with sewage sludge using a chemical speciation technique and a lux-based biosensor // *Environmental Toxicology and Chemistry*. Vol. 18. P. 659-663.
- Mezhevova A.S.* 2020. Wastewater silt sludge application in case of *Carthamus tinctorius* cultivation on light chestnut soils of the Volgograd region, Russia // *South of Russia: ecology, development*. Vol. 15. P. 43-52.
- Renaud M., Chelinho S., Alvarenga P., Mourinha C., Palma P., Sousa J.P., Natal-da-Luz T.* 2017. Organic wastes as soil amendments – effects assessment towards soil invertebrates // *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 330. P. 149-156.
- Wei N.* 2012. Municipal Sewage Sludge Drying Treatment by an Composite Modifier // *Mathematical Problems in Engineering*. V. Article ID 979764: 1-10.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В АГРОЛАНДШАФТАХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

© 2023 г. А.М. Беляков, А.В. Кошелев

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: alexkosh@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Интенсификация земледелия в зонах недостаточного увлажнения без должного научного обеспечения вызывает деградационные процессы в почве, что приводит к снижению продуктивности пашни. Исследование агротехнологических особенностей возделывания сельскохозяйственных культур и выявление причин проявления процессов деградации почв сухостепной зоны Волгоградской области с целью разработки мер их предотвращения и восстановления нарушенных агроландшафтов является актуальным. Рассмотрены природные и антропогенные факторы, оказывающие воздействие на развитие деградационных процессов в агроландшафтах. К природным факторам нами отнесены атмосферные осадки, засухи, суховеи, которые при определенных условиях провоцируют развитие дефляции и эрозии. Климатический фактор остается ведущей причиной деградационных процессов в агроландшафтах. Проведена группировка условий увлажнения по годовой сумме осадков за 64 года, из которых к острозасушливым годам отнесены 13 лет, засушливым – 14 лет, средним – 26 лет и 11 лет приходилось на влажные годы. Из антропогенных факторов существенное влияние на деградацию почв и агроландшафтов оказывают агротехнологические приемы возделывания культур и технологии в целом. В условиях каштановых почв по биоэнергетической эффективности преимущество имела технология no-till с коэффициентами по яровой пшенице – 3.36 и ячменю – 4.65. Безотвальная обработка почвы имела преимущество среди основных обработок, коэффициент биоэнергетической эффективности для яровой пшеницы составил 1.81 и для ячменя – 3.41. На отвальном и поверхностном фоне коэффициент для яровой пшеницы на 35% и ячменя на 17% был ниже, чем на безотвальной. Комплексная оценка влияния антропогенного фактора на деградацию почв и агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв показала, что эрозионные и дефляционные процессы значительно выше при отвальной обработке и классической технологии, чем при комбинированной технологии и прямом посеве, и устойчивость агроландшафта возрастает от неустойчивого уровня до устойчивого.

Ключевые слова: сухостепная зона, агроландшафты, климат, почвы, эрозия, дефляция, агротехнологии, деградация почв, продуктивность культур.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-120-130

EDN: FLJZKI

За последние 50 лет интенсивной антропогенной деятельности в сочетании с нарастающими климатическими изменениями деградация земель сельскохозяйственного назначения приобрела катастрофический характер (Деградация земель..., 2019; Национальный доклад, 2019; Borrelli et al., 2017; Gupta, 2019; Scholten, Seitz, 2019). По данным Всемирного атласа опустынивания (Cherlet et al., 2018) к настоящему времени уже деградировано 75% наземного покрова, а по прогнозу к 2050 г. доля деградированных земель может достичь 90% (Куст, Андреева, Лобковский, 2018).

В целях борьбы с деградацией земель в масштабе территории России предлагается новая концепция нейтрального баланса деградации земель в рамках парадигмы устойчивого развития (Куст, Андреева, Лобковский, 2018; Андреева, Куст, 2020; Андреева и др., 2021), которая заключается в оценке трех глобальных индикаторов: состояние наземного покрова, продуктивность земель и запасы почвенного органического углерода. Нейтральный баланс деградации земель для

определенной территории за конкретный временной интервал достигается отсутствием ухудшения вышеприведенных показателей. Однако по утверждению самих авторов для разнородной территории России с целью реализации концепции нейтрального баланса деградации земель необходим учет региональных особенностей и разработка национальной классификации по принципам проявления и распространения причин деградации (Куст, Андреева, Лобковский, 2018; Куст, Андреева, Лобковский, 2020).

Волгоградская область по почвенно-климатическим характеристикам один из контрастных регионов юга России. Регион занимает 8.1 млн га земель сельскохозяйственного назначения и 5.6 млн га пашни находится в обработке. Отрасль сельского хозяйства специализируется на производстве зерна, подсолнечника и овощей. Валовые сборы последних лет стабильны и составляют 4.0–5.4 млн т зерна и более 1.0 млн т подсолнечника (Беляков, Назарова, 2020). Однако продуктивность гектара остается невысокой по причине ухудшающегося плодородия почв и засухливости климата.

По данным областной агрохимической службы за последние 20–30 лет содержание гумуса в почве упало на 0.08%, продуктивность 1 га в ряде хозяйств сухостепной и полупустынных зон каштановых почв не превышает 0.5 т/га в зерновых единицах, что свидетельствует о высокой степени деградации почвенного плодородия и агроландшафтов, так как пашня вне обработки в последние годы в Волгоградской области достигла 930 тыс. га (Кулик и др., 2017; Рулев, Пугачева, 2019). Наряду с этим дефицит увлажнения усугубляет деградационные процессы на обширных территориях семиаридной зоны.

В этой связи актуальными являются исследования по выявлению региональных особенностей и причин проявления процессов деградации в зонах недостаточного увлажнения с целью разработки мер их предотвращения и восстановления деградированных территорий с учетом концепции устойчивого землепользования (Dore et al., 2011; Hatt et al., 2016; Malezieux, 2012; Кирюшин, 2015).

Материалы и методы

Методика исследований базировалась на работах Каштанова А.Н. (Каштанов, 2005), Жученко А.А. (Жученко, 2009, 2010), Николаева В.А. (Николаев, 1992), Кирюшина В.И. (Кирюшин, 1996), Исаченко А.Г. (Исаченко, 1991), Лопырева М.И. (Лопырев, Линкина, 2012), Масютенко Н.П. и др. (Масютенко и др., 2000, 2004, 2005), и других ученых, также на методических подходах, разработанных Всероссийским научно-исследовательским институтом земледелия и защиты почв от эрозии, ФГБНУ «Росинформагротех» (Агроэкологическая оценка..., 2005; Булаткин, 2008; Гостев и др., 2017; Масютенко и др., 2013, 2015; Сухой и др., 2015; Кирюшин, 2015, 2020), и собственных исследованиях авторов с применением современных методов (Беляков, 2018; Беляков и др., 2022; Юферев и др., 2010).

Анализ основных метеорологических характеристик осуществлялся по данным метеопоста Нижне-Волжского научно-исследовательского института сельского хозяйства (НВНИИСХ) Городищенского района Волгоградской области (с 1956 по 2020 гг.).

Энергетическую эффективность вычисляли как отношение накопленной в урожае энергии к затратам совокупной энергии (Булаткин, 2008). Затраты определяли по технологическим картам возделывания сельскохозяйственных культур.

Комплексные ландшафтные исследования проводились с 2016 по 2020 гг. на тестовых полигонах землепользований: Акционерное общество (АО) «Усть-Медведицкое», Крестьянское (фермерское) хозяйство (КФХ) Исаева В.В. Серафимовичского района, Сельскохозяйственный производственный кооператив (СПК) «Черенский» Клетского района Волгоградской области, агроландшафты которых формировались в одной почвенно-климатической зоне под влиянием различных агротехнологий, а именно прямого посева, классической (отвальной) и комбинированной, и на опытных полях Федерального научного центра агроэкологии РАН: тестового полигона «Качалино» Иловлинского района, тестового полигона НВНИИСХ Городищенского района (рис. 1).

Климатический фактор был и остается ведущей причиной деградационных процессов в почве и на обширных территориях юга России (Сажин и др., 2017; Национальный доклад..., 2021; Кулик и др., 2020; Пугачева, 2020). Весеннее таяние снега и ливневые дожди являются источником водной эрозии почв. Скудный приход осадков, высокие температуры воздуха и ветер вызывает суховеи, а

установление обширного антициклона вызывает жесткие системные засухи, как в 2010 году. Частота засух в Волгоградской области составляет до 33% (Ткаченко, 2018; Сажин и др., 2017).

Если оценивать условия увлажнения по приходу годовой суммы осадков за период 65 лет, то можно выделить несколько групп (Беляков, Назарова, 2020). Группа 1 – острозасушливая с годовой суммой осадков менее 270 мм, группа 2 – засушливая, количество осадков 271–320 мм, группа 3 – средняя по увлажнению, количество осадков 321–370 мм, группа 4 – влажная, количество осадков 371–420 мм, группа 5 – очень влажная с количеством осадков более 420 мм.

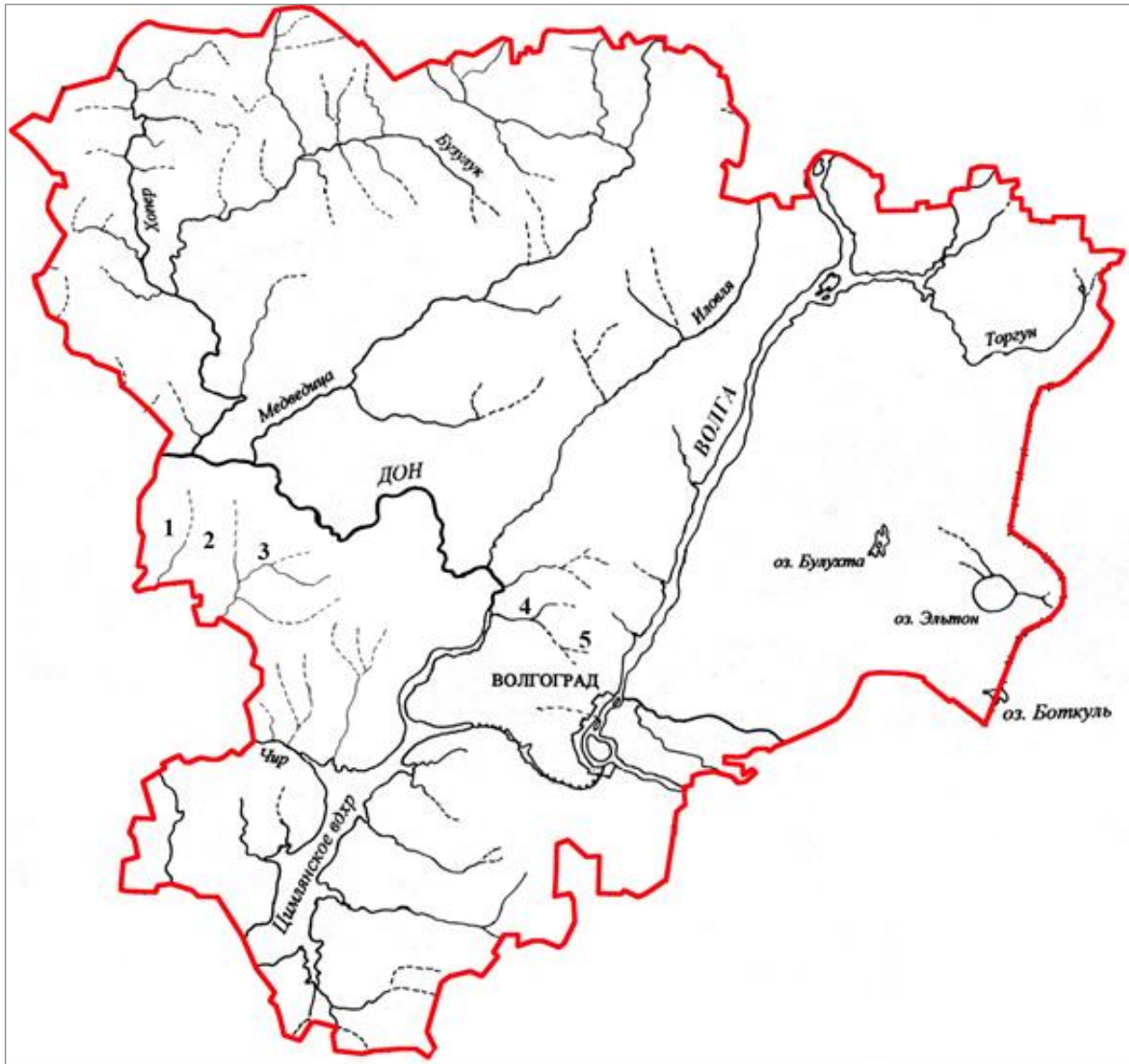


Рис. 1. Картограмма расположения объектов исследования. Условные обозначения: 1 – КФХ Исаев В.В., 2 – АО «Усть-Медведицкое», 3 – СПК «Черенский», 4 – полигон «Качалино», 5 – полигон НВНИИСХ.

Результаты и обсуждение

Согласно данной градации, доля острозасушливых лет или группа 1 составляет 14.5%, группа 2 – 27.4%, группа 3 – 27.4 %, группа 4 – 10.6 % и очень влажных лет, группа 5 – составляет 14.5 %. Число дней с осадками в первой группе составило 39, во второй – 53 дня, третьей – 67, четвертой – 81 и пятой – до 121 дня. Средний шаг между группами составил 11–17 дней. Установлено существенное

падение положительных температур от первой группы острозасушливых лет до влажных, когда общая разница температур составила 857 °С, с диапазоном от 3441 °С до 4298 °С. Анализ показывает, что данная оценочная система погодных условий не является достаточно объективной, так как урожайные годы 1976 г. и 1978 г. с рекордными валовыми сборами отнесены к 4-й, а не к 5-й. Кроме этого 2010 г., как самый засушливый, относится ко 2-й группе, а не к 1-й.

В этой связи нами была рассмотрена другая группировка условий увлажнения по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК), который представляет отношение суммы осадков к сумме положительных температур за теплый период – период вегетации культур, и это существенно меняет картину влагообеспеченности посевов, в том числе и более полную характеристику погодных условий.

Для условий Волгоградской области по значениям ГТК условно выделили следующие диапазоны: до 0.3 – острозасушливые годы, 0.31–0.45 – засушливые, 0.46–0.60 – средние по увлажнению, более 0.60 – влажные.

Данная градация условий увлажнения позволяет достаточно объективно характеризовать погодные условия года и вегетационного периода. Так, пример 1956 г. свидетельствует, что погодные условия года были сложными по количеству осадков, засухи проявились в июне и августе, где ГТК снижался до значений 0.04–0.05, однако приход дождей в мае и июле способствовал резкому росту ГТК – 0.58.

Анализируя длинную цепочку погодных условий по показателям ГТК менее 0.3 в течение 3-х и более месяцев и периодом времени без дождей более 40 дней, к острозасушливым годам с характеристикой системной засухи можно отнести 13 лет из 64, а именно 1957, 1959, 1963, 1971, 1972, 1975, 1979, 1986, 1998, 2002, 2010, 2012, 2014 гг., при ГТК 0.31–0.45 годы 1965, 1981, 1985, 1991, 1996, 1999, 2001, 2006, 2008, 2011, 2013, 2015, 2017, 2018 гг. являются засушливыми. Наиболее засушливые были годы 1959, 1963, 1971, 1972, 1986, 1998, 2002, 2010, 2014 гг., которые характеризовались низким урожаем сельскохозяйственных культур, где особо выделялись 1972, 1986, 2010 гг.

На территории Волгоградской области влажными являются 1961, 1973, 1976, 1978, 1983, 1988, 1989, 1990, 2000, 2005, 2016 гг. Они характеризовались высоким сбором зерна. Среди них особо можно выделить 1976, 1978, 2016 гг. Остальные годы с ГТК 0.46–0.60 можно отнести к средним по увлажнению.

Водная эрозия почв проявляется ежегодно на пашне во время весеннего таяния снега и ливневых осадков свыше 18 мм, потеря верхнего плодородного слоя достигает 30–40 т/га (Национальный доклад, 2019; Барабанов и др., 2018).

Сильные весенние ветры в 1969, 1972, 1975, 1984, 2015, 2020 гг. спровоцировали пыльные бури, которые привели к полной гибели посевов сельскохозяйственных культур на больших площадях. Верхний плодородный слой почвы в 2–5 см был полностью утрачен, в целом потери почвы достигали 20–50 т/га, а потери гумуса до 5–6 т/га (Васильев, 2003; Волошенкова, 2001; Шинкаренко и др., 2020). Так, 28–31 марта 2015 г. скорость ветра достигала 24 м/с и при подсыхании верхнего слоя почвы 0.04–0.06 м привело к выносу мелкозема с полей южных районов Волгоградской области и отложению его в оврагах и лесополосах (Рулев и др., 2016; Кулик, Дубенок, 2016). Высота отложенного слоя в результате дефляции составила в лесополосах 0.36–1.10 м (рис. 2). По экспертной оценке, ущерб составил около 5 млрд руб.

К природным факторам, способствующим деградации почвы и агроландшафтов, также следует отнести засухи и суховеи, когда рост и развитие культурных посевов на пашне и естественной растительности на природных ландшафтах существенно замедляется, а в отдельных случаях наступает полная гибель. Ветровая эрозия (дефляция) является разновидностью деградационных процессов почвы, проявляется в условиях Волгоградской области не системно, но с четким обозначением своей значимости по размерам наносимого ущерба. Выдувание плодородного слоя почвы всегда существенно: от 10–15 до 30–40 т/га (Беляков и др., 2019), а иногда и более. В случаях засух и дефляции приход органики в почву падает до 60–70%, что, несомненно, отражается на плодородии почвы.

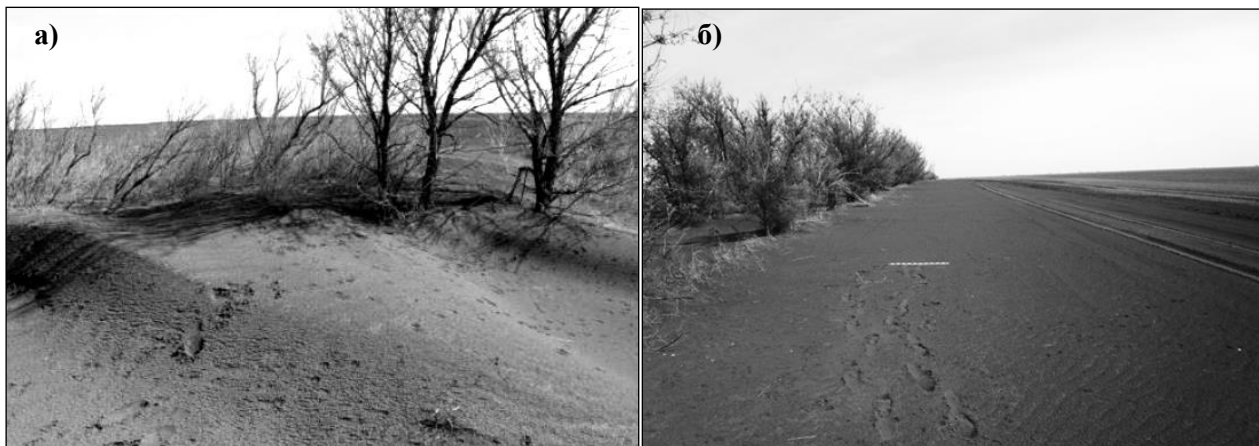


Рис. 2. Последствия пыльной бури в 2015 г. в Волгоградской области. Условные обозначения: отложения мелкозема: а – Октябрьский район, б – Котельниковский район.

В развитие деградационных процессов вносят большой вклад различные эпизоотии: нашествие саранчовых, лугового мотылька, других вредителей и заболеваний, которые могут не только снижать продуктивность культур, но и полностью лишать урожая и отчуждать биомассу растений на поле и значительных территорий агроландшафтов.

К важным факторам снижения плодородия почвы и ее деградации относится также истощение и загрязнение почвы.

Из антропогенных факторов существенное влияние на деградацию почв и агроландшафтов оказывают агротехнологические приемы возделывания культур и технологии в целом (Беляков, Назарова, 2018; Сухов и др., 2007; Трофимов и др., 2014, 2017).

В табл. 1 приводятся технико-экономические показатели способов обработки почвы. Анализ данных показывает, что энергоёмкость и затраты труда при мелкой обработке почвы являются минимальными относительно отвальной и поверхностной обработок.

Таблица 1. Сравнительные технико-экономические показатели способов обработки почвы.

Показатель	Единица измерения	Способ обработки почвы		
		отвальная	мелкая	поверхностная
Энергоёмкость	кВт-ч/га	237.00	89.00	128.0
Затраты труда	чел.-ч/га	2.38	0.39	0.5
Удельный расход топлива	кг/га	26.50	5.20	5.9
Производительность	га/ч	0.83	2.60	2.0
Количество условных агрегатов	усл. ед.	12.10	4.00	5.1

Запасы продуктивной влаги на стационаре в паровых полях (табл. 2) по различным обработкам почвы была ниже, чем на опыте с no-till. Влагозапасы в метровом слое почвы с наибольшим показателем были у безотвальной обработки, где она составила 78.5 мм, по отвальному фону – 72.6 мм и на поверхностном фоне – 66.8 мм. На поле без обработки содержание продуктивной влаги в почве на начало периода составило 90.2 мм, а к концу периода вегетации – 85.7 мм (табл. 3). Эффект достигается за счет накопленной растительной массы предшествующей культуры, которая сдерживала испарение влаги из почвы.

В посевах яровых культур наибольшее количество влаги в метровом слое на момент посева наблюдалось на безотвальном фоне, чуть меньше запас на отвальной и поверхностной обработке – на 7.5 и 15.0% соответственно.

Наибольшую корреляционную зависимость от такого показателя как запас влаги в продуктивном слое почвы 0–30 см имеют посеги яровых культур при традиционной технологии возделывания (отвальная, безотвальная и поверхностная обработка) с коэффициентом детерминации 0.921. Менее

зависимы от запаса влаги в продуктивном слое почвы яровые культуры при возделывании по no-till, с коэффициентом детерминации 0.710 (рис. 3).

Таблица 2. Запасы продуктивной влаги парового поля в зависимости от обработок почвы, мм.

Горизонт, см	Вид обработки	Время отбора продуктивной влаги, месяц					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
0–30	Отвальная обработка (пар)	28.6	15.8	4.9	0.6	15.4	9.6
30–50		26.4	13.3	11.1	8.9	11.6	10.9
50–100		17.6	27.2	16.4	11.4	18.7	19.6
0–100		72.6	56.3	32.4	21.1	45.6	40.1
0–30	Безотвальная обработка (пар)	30.1	20.0	8.6	2.2	12.6	10.2
30–50		28.8	10.7	12.7	9.9	17.2	15.4
50–100		19.6	20.9	16.5	14.7	28.7	27.6
0–100		78.5	51.6	37.9	26.8	58.6	53.3
0–30	Поверхностная обработка (пар)	26.2	9.3	3.0	0.2	10.8	7.1
30–50		24.8	10.4	6.1	4.3	9.5	11.1
50–100		15.8	14.0	13.8	11.1	18.8	16.1
0–100		66.8	33.7	23.0	15.5	39.2	34.4
0–30	Без обработки, (пар химический)	58.4	17.5	11.0	8.1	24.5	16.9
30–50		20.8	16.6	15.0	14.7	19.9	22.6
50–100		11.0	32.6	32.6	30.1	42.2	46.2
0–100		90.2	66.7	58.6	52.9	86.6	85.7

Таблица 3. Запасы продуктивной влаги на яровых культурах в зависимости от обработок почвы, мм.

Горизонт, см	Вид обработки, культура	Время отбора продуктивной влаги, месяц			
		IV	V	VI	VII
0–30	Отвальная обработка (яровые культуры)	28.6	9.9	0	-
30–50		26.4	10.3	1.1	-
50–100		17.6	8.9	0.2	-
0–100		72.6	29.1	1.3	0
0–30	Безотвальная обработка (яровые культуры)	30.1	11.2	0.3	-
30–50		28.8	8.9	1.6	-
50–100		19.6	12.0	0.9	-
0–100		78.5	32.2	2.7	0
0–30	Поверхностная обработка (яровые культуры)	26.2	7.1	-	-
30–50		24.8	11.6	0.2	-
50–100		15.8	4.1	-	-
0–100		66.8	22.8	0.2	0
0–30	Без обработки (яровые культуры)	58.4	5.6	-	-
30–50		20.8	10.0	1.1	-
50–100		11.0	33.2	4.2	-
0–100		90.2	48.8	5.3	0

Самая высокая плотность сложения почвы весной была на варианте с поверхностной обработкой агрегатом БДМ-4,2 по парам, которая имела в среднем в слое 0–30 см значения 1.14 г/см³, что выше, чем на вариантах глубоких обработок орудиями ПН-4-35 и «Ранчо» на 0.02–0.03 г/см³. В период полной спелости культур по технологии прямого посева плотность сложения почвы в среднем

составляла 1.30 г/см^3 , или на $0.02\text{--}0.07 \text{ г/см}^3$ больше чем при основных глубоких и мелких обработках, несмотря на выпадающие осадки.

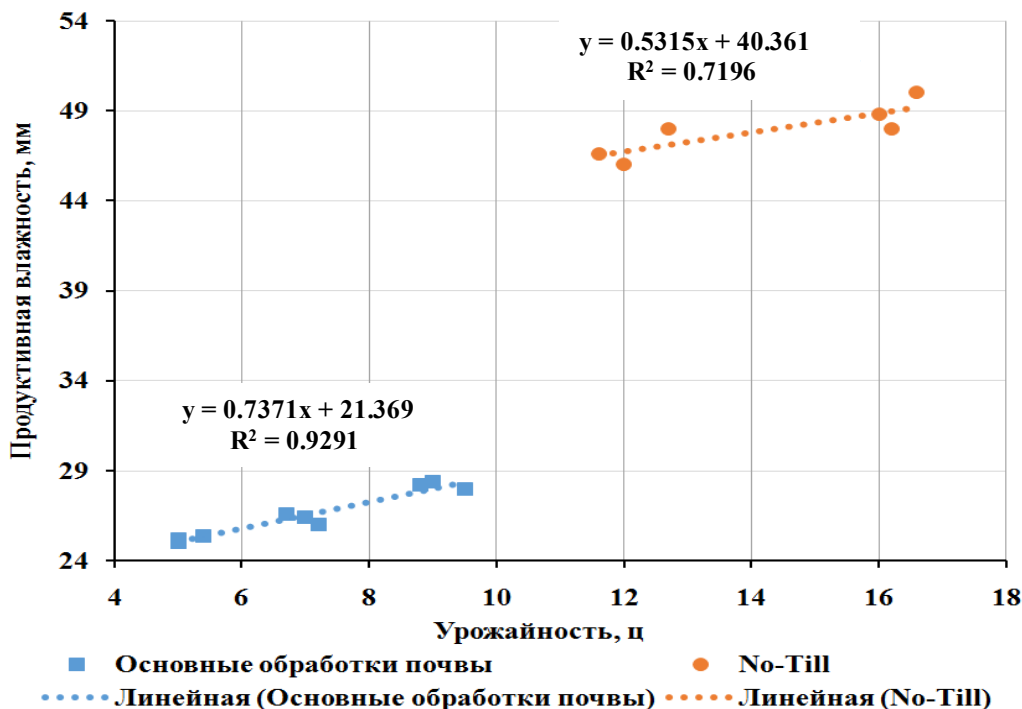


Рис. 3. Корреляционная зависимость урожая яровых культур от запасов влаги в продуктивном слое почвы 0–30 см на момент посева при возделывании по основным обработкам почвы и no-till.

Следует также отметить, что плотность почвы на варианте с химическим паром оставалась более равновесной за весь цикл обработки и составляла в начальный период 1.19 г/см^3 и в конце 1.22 г/см^3 , тогда как на основных обработках в процессе ухода за парами она увеличивалась на $0.12\text{--}0.08 \text{ г/см}^3$.

Анализ биоэнергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур за 2018–2021 гг. показал, что наибольшая урожайность культур достигается при возделывании по глубокой безотвальной обработке и прямом посеве (табл. 4).

Таблица 4. Оценка биоэнергетической эффективности возделывания яровых культур в зависимости от обработок почвы.

Культура	Вид обработки	Средняя урожайность, т/га	Валовый выход энергии 1 га, МДж	Затраты совокупной энергии на 1 га, МДж	Коэффициент энергетической эффективности
Яровая пшеница	Отвальная	0.7	13643	10435	1.31
	Безотвальная	0.9	17541	9706	1.81
	Поверхностная	0.5	9745	8585	1.14
	no-till	1.2	23388	6958	3.36
Ячмень	Отвальная	1.6	30608	10814	2.83
	Безотвальная	1.8	34434	10088	3.41
	Поверхностная	1.4	36782	8967	2.98
	no-till	1.6	30608	6576	4.65

Данные биоэнергетической эффективности показали, что коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) по основным обработкам почвы у яровой пшеницы самый высокий на

безотвальном фоне и составляет 1.81, а на отвальном и поверхностном фонах он меньше на 30–37%. На no-till этот коэффициент оказался в 2 раза выше безотвального фона, что обусловлено меньшими затратами на обработку почвы.

На посевах ярового ячменя сложилась схожая градация эффективности. Самый высокий КЭЭ был на no-till и составил 4.65, на 26.0% меньше у безотвальной обработки. Отвальная и поверхностная обработки на ячмене находятся практически на одинаковом уровне 2.83 и 2.98 соответственно.

Урожайность ячменя по no-till и отвальной обработке имела одинаковые значения и составила 1.6 т/га, однако затраты совокупной энергии в 1.6 раза различались и составили 6576 МДЖ/га и 10814 МДЖ/га, соответственно, что объясняет высокий коэффициент (4.65) на no-till.

На основании вышеизложенного следует, что в условиях каштановых почв по биоэнергетической эффективности преимущество имела технология no-till с коэффициентами 3.36 и 4.65 по яровой пшенице и ячменю, соответственно. Среди основных обработок почвы преимущество имела безотвальная обработка, где коэффициент составил 1.81 и 3.41, а в энергетическом выражении для яровой пшеницы составил 17541 МДЖ/га и ячменя – 34434 МДЖ/га, соответственно. На отвальном и поверхностном фоне показатели для яровой пшеницы были ниже на 35%, для ячменя ниже на 17% по отношению к безотвальному фону.

Мы попытались дать комплексную оценку влияния антропогенного фактора на деградацию почв и агроландшафтов сухостепной зоны. Исследования показали, что эрозионные и дефляционные процессы значительно выше при отвальной обработке и классической технологии, чем при комбинированной технологии и прямом посеве (табл. 5). Устойчивость агроландшафта возрастает от неустойчивого уровня до устойчивого. Данные свидетельствуют, что самое низкое проявление дефляции (8%) наблюдалось в 2015 г. на технологии прямого посева, на классике – 31% и комбинированной технологии – 24%. Доля деградированной пашни по технологии прямого посева составила 12.8%, 15.4% на классике и 14.5% при комбинированной технологии. Высокая интенсивность использования пашни была выявлена на классической и комбинированной технологиях, а средняя и низкая на прямом посеве. В итоге высокая экологическая устойчивость агроландшафта была установлена на прямом посеве, а низкая – на классической.

Таблица 5. Оценка влияния агротехнологий на агроландшафты сухостепной зоны каштановых почв.

Основные критерии оценки	Объект		
	СПК «Черенский»	АО «Усть- Медведицкое»	КФХ Исаева В.В.
Агротехнологии	Классика	Прямой посев	Комбинированная
Площадь пашни, га	15600	10137	13500
Доля пашни от площади сельхозугодий, %	71	66	67
Содержание органического вещества (гумуса), %	3.6	3.6	3.7
Доля деградированной пашни, % (га)	15.4 (1801)	12.8 (1300)	14.5 (1960)
Средняя урожайность за 3 года, т/га в зерн. ед.	3.3	2.1	4.2
Изменение продуктивности, т/га	+2.1	-4.2	+4.4
Дефляция по отношению к 2015 г., % (га)	31 (3844)	8 (811)	24 (1377)
Интенсивность хозяйственного использования, шкала	Высокая	Средняя	Высокая
Устойчивость агроландшафта, шкала	Низкая	Высокая	Средняя

Выводы

Нами рассмотрены природные и антропогенные факторы, влияющие на развитие деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области. К основным природным факторам были отнесены: атмосферные осадки, засухи, суховеи, также различные эпизоотии, которые могут не только снижать продуктивность культур, но и полностью лишать урожая

и отчуждать биомассу растений на значительных территориях агроландшафтов.

Климатический фактор остается ведущей причиной деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны каштановых почв. Проведена группировка условий увлажнения по годовой сумме осадков за 64 года, из которых к осторожасушливым годам отнесены 13 лет, засушливым – 14 лет, средним – 26 лет и 11 лет приходилось на влажные годы.

Проявление пыльных бурь в марте 2015 г. привело к выносу мелкозема с полей южных районов Волгоградской области и отложению его в оврагах и лесополосах на высоту 0.36–1.10 м.

Из антропогенных факторов существенное влияние на деградацию почв и агроландшафтов оказывают агротехнологические приемы возделывания культур и технологии в целом.

Агрофизические показатели каштановых почв в значительной степени определяются видами обработки почвы. Динамика сложения пахотного слоя находилась в пределах оптимальной величины с незначительным преимуществом данного показателя на варианте безотвальной обработки. Запасы влаги в метровом слое почвы с наибольшим показателем были у безотвальной обработки, где она составила 78.5 мм, на пару по отвальному фону – 72.6 мм и на поверхностном фоне – 66.8 мм. Лучшие показатели продуктивной влаги – 90.2 мм на начало периода и 85.7 мм на конец вегетации, были получены на варианте прямого посева, где растительная масса предшествующей культуры сдерживала испарение влаги из почвы.

Наибольшую корреляционную зависимость показателя запаса влаги в слое почвы 0–30 см с продуктивностью яровых культур имел вариант при традиционной технологии возделывания (отвальная, безотвальная и поверхностная обработка) с коэффициентом детерминации 0.921. Менее зависимы от запаса влаги в продуктивном слое почвы яровые культуры при возделывании по no-till, с коэффициентом детерминации 0.710.

Самый высокий КЭЭ по основным обработкам почвы у яровой пшеницы был на безотвальном фоне и составил 1.81. КЭЭ на отвальном и поверхностном фонах меньше на 30–37% соответственно. Однако на варианте no-till коэффициент вырос в два раза по отношению к безотвальной обработке.

В условиях каштановых почв высокая биоэнергетическая эффективность проявилась на технологии no-till с коэффициентами 3.36 и 4.65 по яровой пшенице и ячменю соответственно.

Данные комплексной оценки влияния антропогенного фактора на деградацию почв и сбалансированность агроландшафтов сухостепной зоны свидетельствуют, что эрозионные и дефляционные процессы при отвальной обработке и классической технологии значительно выше, чем при комбинированной технологии и прямом посева, где устойчивость агроландшафта возрастает от неустойчивого уровня до устойчивого.

Финансирование. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексной мелиорации и защитного лесоразведения Российской академии наук № 122020100312-0 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство. 2005 / Ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ Росинформагротех. 794 с.
- Андреева О.В., Куст Г.С. 2020. Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Известия РАН. Серия: Географическая. Т. 84. №5. С. 737-749.
- Андреева О.В., Лобковский В.А., Куст Г.С., Зонн И.С. 2021. Современное состояние концепции и разработка типологии моделей устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. Т. 27. № 1(86). С. 3-14.
- Барabanов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. 2018. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. № 1. С. 62-69.
- Беляков А.М. 2018. Методы исследования и оценка состояния агроландшафтов сухостепной зоны Волгоградской области // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. Т. 4(70). №3. С. 102-108.
- Беляков А.М., Назарова М.В. 2018. Влияние приемов и агротехнологий на водный режим почвы и продуктивность сельскохозяйственных в агролесоландшафтах сухостепной зоны Нижнего Поволжья //

- Научно-агрономический журнал. №2 (103) С. 44-47.
- Беляков А.М., Васильев Ю.И., Турко С.Ю., Назарова М.В. 2019. Пыльные бури в Волгоградской области, их проявление и борьба с ними // Нива Поволжья. № 2(51). С. 2-8.
- Беляков А.М., Назарова М.В. 2020 Анализ погоды в Волгоградской области за длительный период времени и урожай зерновых культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 3(59). С. 71-79.
- Беляков А.М., Кошелев А.В., Назарова М.В. 2022. Методика оценки экологической сбалансированности агроландшафтов сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области // Аридные экосистемы. Т. 28. № 1(90). С. 124-130.
- Булаткин Г.А. 2008. Эколого-энергетические основы оптимизации продуктивности агроэкосистем. М.: НИИ-Природа. 366 с.
- Васильев Ю.И. 2003. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: Изд. ВНИАЛМИ. 176 с.
- Волошенкова Т.В. 2001. Значение лесных полос и агроприемов в борьбе с дефляцией каштановых почв // Вестник РАСХН. №6. С. 53-55.
- Гостев А.В., Пыхтин И.Г., Нитченко Л.Б., Плотников В.А., Пыхтин А.И. 2017. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия // Земледелие. №8. С. 3-7.
- Деградация земель и опустынивание в России: новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. 2019 / Ред. Г.С. Куст. М.: изд-во Перо. 235 с.
- Жученко А.А. 2009. Приоритеты в адаптации и научном обеспечении отечественного сельского хозяйства // Нива Татарстана. № 1. С. 6-9.
- Жученко А.А. 2010. Смена парадигм и методологии сельскохозяйственного природопользования как основа перехода к адаптивной системе земледелия // Адаптивное кормопроизводство. № 1. С. 5-15.
- Исаченко А.Г. 1991. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: учебник для вузов. М.: Высшая школа. 366 с.
- Каштанов А.Н. 2005 .От пропашной системы земледелия к контурно-мелиоративной и адаптивно-ландшафтной // Земледелие. № 5. С. 44-46.
- Кирюшин В.И. 1996. Экологические основы земледелия. М.: Колос. 367 с.
- Кирюшин В.И. 2015. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. № 80. С. 16-25.
- Кирюшин В.И. 2020. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. № 7. С. 871-879.
- Кулик К.Н., Дубенок Н.Н. 2016. Пыльные бури на Нижней Волге весной 2015 года // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. № 1. С. 4-7.
- Кулик К.Н., Кретинин В.М., Рулев А.В., Шишкунов В.М. 2017. Красная книга почв Волгоградской области. Волгоград. 224 с.
- Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. 2020. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-западного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2(83). С. 16-24.
- Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А. 2018. Нейтральный баланс деградации земель – новейший подход для принятия решений в области землепользования и земельной политики. Проблемы постсоветского пространства. 5(4):369-389.
- 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(83). С. 3-9.
- Лопырев М.И. Линкина А.В. 2012. Модернизация систем земледелия на эколого-ландшафтной основе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. № 3. С 49-56.
- Масютенко Н.П., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В., Чуян Н.А., Брескина Г.М., Дубовик Е.В., Масютенко М.Н., Припутнева М.А. 2015. Усовершенствованные теоретические основы формирования экологически сбалансированных агроландшафтов Курск: ФГБНУ ВНИИЗ и ЗПЭ. 63 с
- Масютенко Н.П., Володин В.М., Гатилова С.Я., Шеховцова В.В., Чуян О.Г., Болотских Г.А. 2000. Методика оптимизации структуры угодий в агроландшафте на биоэнергетической основе. Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН. 52 с.
- Масютенко Н.П., Шеховцова В.В., Шеховцов А.И., Леонтьева Е.В. 2004. Научные основы и методы оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах. Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН. 61 с.
- Масютенко Н.П., Еремина Р.Ф., Чуян Н.А., Мащенко С.С. 2005. Методика определения оптимального соотношения земельных угодий для агроландшафтов лесостепи ЦЧЗ на биоэнергетической основе. Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН. 39 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.
- Национальный доклад. Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство). 2019 / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 2. М.: Изд-во МБА. 476 с.
- Национальный доклад. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). 2021 / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 3. М.: Изд-во МБА. 820 с.
- Николаев В.А.* 1992. Основы учения об агроландшафте // Агроландшафтные исследования. Методология, методика, региональные проблемы. М.: МГУ. С. 4-57.
- Панкова Т.И., Калужский А.Г.* 2013. Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Курск: ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ, РАСХН. 50 с.
- Пугачёва А.М.* 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демуляции // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3(84). С. 14-22.
- Рулев А.С., Беляков А.М., Сарычев А.Н.* 2016. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 2 (42). С. 101-107.
- Рулев А.С., Пугачёва А.М.* 2019. Развитие растениеводства на региональном уровне (на примере Волгоградской области) // Проблемы прогнозирования. № 5 (176). С. 112-119.
- Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* 2017. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ. 333 с.
- Сухов А.Н., Балашов В.В., Филлин В.И., Москвичев А.Ю., Зеленев А.В., Левкин В.Н.* 2007. Системы земледелия Нижнего Поволжья: учебное пособие. Волгоград: Изд-во ВГСХА «НИВА». 344 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.
- Ткаченко Н.А.* 2018. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 4 (52). С. 171-178.
- Трофимов И.А., Косолапов В.М., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.* 2014. Проблемы земледелия и управления агроландшафтами // Земледелие. № 7. С. 3-5.
- Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П.* 2017. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. № 1. С. 103-109.
- 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 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17. № 5. С. 291-296.
- Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю.* 2010. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., Panagos P.* 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion // Nature Communications. Vol. 8. № 1. P. 1-13.
- Cherlet M., Hutchinson C., Reynolds J., Hill J., Sommer S., Von Maltitz G.* 2018. World Atlas of Desertification. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Dore T., Makowski E., Munier-Jolain, Tchamitchian M., Tittonell P.* 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge // European Journal of Agronomy. Vol. 34. Is. 4. P. 197-210.
- Gupta G.S.* 2019. Land degradation and challenges of food security // Review of European Studies. Vol. 11. №. 1. P. 63-72.
- Hatt S., Artu S., Brédart D., Lassois L., Francis F., Haubruge É., Garré S., Stassart P.M., Dufrêne M., Monty A., Boeraeve F.* 2016. Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review // Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 20. Is. 1. P. 215-224.
- Malezieux E.* 2012. Designing cropping systems from nature // Agronomy for Sustainable Development. № 32. P. 15-29.
- Scholten T., Seitz S.* 2019. Soil erosion and land degradation // Soil Systems. Vol. 3. Is. 4. P. 68.

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.432

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД
ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ ПРИДОНЬЯ
(НА ПРИМЕРЕ ЕТЕРЕВСКОГО ПЕСЧАНОГО МАССИВА)**

© 2023 г. А.Н. Салугин, А.К. Кулик, Р.Н. Балкушкин

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, 97. E-mail: balkuskin_r@yrfanc.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Исследовано влияние гидрогеологических, агроэкологических и почвенно-гидрофизических факторов на формирование вертикального почвенного стока в зоне аэрации и пополнение грунтовых вод (ГВ) на песчаных массивах Придонья. Рассмотрены вопросы адаптации лизиметрических измерений к натурным наблюдениям при изучении динамики влагопереноса в почвах легкого гранулометрического состава. Методы восстановления основной гидрофизической характеристики почв и масштабирования использовались при моделировании влагопереноса с различными начальными и краевыми условиями. Лабораторные исследования осуществлялись на базе Гидрологического комплекса Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук, натурные исследования проводились на территории Етеревского песчаного массива Волгоградской области. С помощью восстановленных гидрофизических параметров и программы HYDRUS-1D выявлено влияние различных почвенно-растительных условий на пополнение ГВ. Открытые пески подпитывают грунтовые воды в течение всего года, обеспечивая стабильное питание речных систем. Разнотравные угодья и сосновые насаждения на низковлагодоемких почвах являются дополнительным фактором пополнения ГВ. Установлено, что объем стока из зоны аэрации к ГВ всецело зависит от биомассы травянистой растительности на песках и бонитета лесных насаждений.

Ключевые слова: песчаные массивы, грунтовые воды, внутрипочвенный сток, HYDRUS-1D, водный режим, лизиметры, травянистая и древесная растительность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-131-145

EDN: ECQSIU

Исследование передвижения влаги в зоне аэрации, отделяющей ГВ от дневной поверхности, представляет особый научный и практический интерес. Законы передвижения влаги в ненасыщенной зоне определяют динамику формирования ГВ. Изменение уровня ГВ под воздействием атмосферных осадков, испарения, транспирации имеет на практике важное значение для почвенно-растительных систем. Изучение законов передвижения влаги в зоне аэрации необходимо для оценки восполнения запасов ГВ, управления режимом водопотребления в корнеобитаемом слое, для обоснования искусственного повышения ГВ, для разработки мероприятий по их охране от загрязнения. В бассейне реки Дон песчаные массивы играют существенную роль в формировании опреснённых чистых грунтовых вод.

Цель исследований – математическое моделирование процессов перемещения влаги в зоне аэрации для оценки потенциального пополнения ГВ на песчаных массивах Придонья.

Описание объекта исследований

В качестве объекта исследований авторами выбран Етеревский песчаный массив. Проведенные в 60-е годы почвенно-гидрологические исследования требуют актуализации с применением новых методов (Светлицев, 1964). На территории проведено маршрутное исследование с закладкой водно-режимных площадок. Проводилось бурение до уровня грунтовых вод. Отбор образцов осуществлялся буровым методом послойно через каждые 20 см. Гранулометрический состав определялся по

методике Н.А. Качинского. Лизиметрические исследования проводились на базе гидрологического комплекса Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук. Лизиметры насыпные, объемом 20 м³.

Етеревский песчаный массив расположен в междуречье рек Медведицы и Тишанки. Протяженность вдоль поймы составляет 30 км, ширина – 8–14 км. Площадь песчаного массива, включая древнюю ложбину стока, расположенную на левом берегу реки Тишанка, составляет 18.5 тыс. га. Бугристые и грядовые пески занимают площадь 15.5 тыс. га.

Зонально Етеревский песчаный массив расположен на границе каштановых почв и черноземов текстурно-карбонатных. Почвенный покров массива представлен светло-гумусовыми почвами, псаммоземами гумусовыми, темно-гумусовыми и аллювиальными темно-гумусовыми почвами. Почвенный профиль, как правило, слабо дифференцирован. Встречаются участки открытых песков (887 га). По гранулометрическому составу наиболее распространены почвы мелко-тонкозернистые с преобладанием фракции 0.05–0.25 мм (50–70%). Местами наблюдается утяжеление гранулометрического состава гумусово-аккумулятивного горизонта до супесчаного. Почвы древних водотоков и гидроморфные почвы микроразнообразий и заливных лугов имеют наибольшее содержание физической глины.

Горизонт грунтовых вод на Етеревских песках имеет пологую куполообразную форму. Внутригрунтовый подток со стороны водораздела почти отсутствует из-за «островного» положения песчаного массива, ограниченного двумя реками. Такое расположение горизонта ГВ указывает на то, что главным источником их питания является инфильтрация атмосферных осадков через зону аэрации.

На исследуемой территории уровень грунтовых вод изменяется от 0.5 до 20.0 м (рис. 1). В районе Рахинской лесной дачи ГВ залегают наиболее глубоко (свыше 20 м) и участие в водном балансе растений не принимают. В юго-западной части песчаного массива на второй террасе уровень ГВ колеблется в пределах 10–17 м. На бугристых песках, расположенных к востоку от поселка Моховский, ГВ залегают на глубине от 2 м и являются дополнительным источником водопитания древостоя. Плоские луговые понижения наиболее высоководны (менее 1 м).

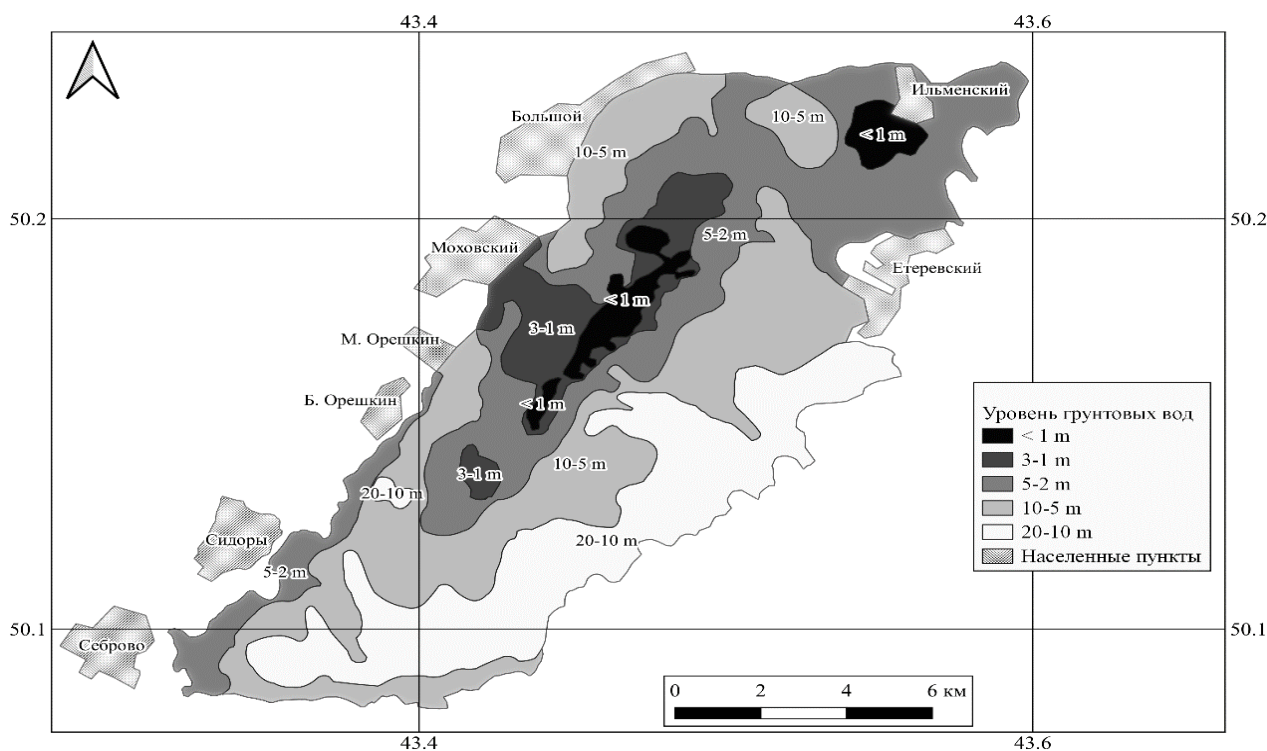


Рис. 1. Карта-схема уровня грунтовых вод Етеревского песчаного массива

На Етеревском песчаном массиве основной породой при лесоразведении является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Сосновые насаждения занимают площадь порядка 3400 га. На участках с близким залеганием ГВ, как и на всем степном Придонье (Турчин, Турчина, 2005),

распространена естественная древесная растительность: ольха, осина, береза (300 га). Типичными представителями заросших песков являются типчак желобчатый (*Festuca valesiaca*), ковыль волосатик (*Stipa capillata*), ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*), келерия узкая (*Koeleria cristata*), полынь Лерха (*Artemisia lercheana*), грудница мохнатая (*Linosyris villosa*), кермексарептский (*Limonium sareptanum*), прутняк (*Vitex ágnus-cástus*), ромашник (*Tripleurospérmum inodórum*), эбелек (*Ceratocarpus arenarius*), песчаный овёс (*Avéna satíva*), песчаная полынь (*Artemisia arenaria*). Площадь заросших песков составляет 10855 га.

Таким образом, на территории песчаного массива формируются различные условия при передвижении влаги в зоне аэрации и подпитки ГВ, которые необходимо учитывать при моделировании влагопереноса.

Гидрофизические характеристики почв: моделирование восстановления водоудерживающей способности

Почвенные гидрофизические характеристики являются исходными данными в моделях вертикального влагопереноса, используемыми в данной статье. В расчетах водного баланса требуется оценивать запас воды в зоне аэрации в процессе ее передвижения к грунтовым водам. Значительное число работ, как экспериментальных, так и теоретических (Аверьянов, 1949; Качинский, 1979; Van Genuchten, 1980; Глобус, 1987; Воронин, 1990; Simunek et al., 2007; Шеин, 2005; Кулик и др., 2012; Смагин, 2012; Лихацевич, 2013; Салугин и др., 2017; Манаенков, 2018; Кулик, 1979) посвящено этой проблеме. Методы их исследования разнообразны. Сложность описания перемещения воды в зоне аэрации и за ее пределами сопряжена с неоднородностью почвенной среды, представляющей собой гетерогенную пористую систему с логнормальным распределением почвенных частиц по размеру (от 2000 до 0.1 мкм). На практике оценка пополнения ГВ из зоны аэрации затруднена рядом причин. Гидрофизические константы – наименьшая влагоемкость (НВ), максимальная гигроскопичность (МГ), влажность завядания (ВЗ) – не отражают динамику гидрологических процессов: скорость инфильтрации к грунтовым водам, транспирацию, физическое испарение и т.д. При этом вводится понятие критической влажности, определяющей границу между «связанной» и «свободной» водой в зоне аэрации и отражающей ее перемещение с «защемлённым воздухом» (Лихацевич, 2013).

В общем анализе и оценке потока влаги используют уравнение (1):

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right], \quad (1)$$

где $\theta(h)$ – влажность, $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$; $K(\theta)$ – влагопроводность в ненасыщенной зоне аэрации, мм/сут.; h – всасывающее давление, мм; t – время, с; z – пространственная координата.

Поскольку зависимость влагопроводности и влажности почв от капиллярно-сорбционного давления h позволяют разрабатывать модели вертикального движения влаги, их восстановление необходимо при моделировании водного баланса и динамики пополнения грунтовых вод. При этом важную информацию об основной гидрофизической характеристике (ОГХ) дает гранулометрический состав (ГС). С помощью педотрансферных функций ГС связывает водоудерживающую способность почв с их физическими свойствами (Van Genuchten, 1980; Simunek et al., 2007; Смагин, 2012). В работе (Van Genuchten, 1980) на основе базы данных и физических («текстурных») свойств почв представлен достаточно полный анализ различных сочетаний педотрансферных функций восстановления ОГХ. Способы определения кривой ОГХ различны и их условно можно разделить на три группы: регрессионный анализ, полуэмпирические модели с вектором почвенных предикторов и искусственные нейронные сети.

Связь ГС с гидрофизическими характеристиками, установленную в общей теории влагопроводности почв (Аверьянов, 1949; Van Genuchten, 1980; Глобус, 1987; Воронин, 1990; Simunek et al., 2007; Лихацевич, 2013), мы определяли в виде функций М. ван Генухтена (2) и (3). Исследования влагопроводности почв на лизиметрах Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук как функции от приведенной почвенной влажности (S_e) осуществлялись с использованием аналитической модели:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{\text{ост}}}{\theta_{\text{нас}} - \theta_{\text{ост}}}, \quad (2)$$

где θ – объемная влажность при заданном потенциале (давлении), $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$; $\theta_{\text{ост}}$ – остаточная влажность, $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$; $\theta_{\text{нас}}$ – влажность насыщения, $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$.

$$K(S_e) = K_0 S_e^\lambda \left\{ 1 - \left[1 - S_e^{1/m} \right]^m \right\}^2, \quad (3)$$

где K_0 – коэффициент фильтрации в условии насыщения, λ – показатель содержания воздуха в зоне аэрации, m – эмпирический параметр, связанный с формой кумулятивной кривой ГС.

В настоящей работе данные по гравитационному стоку (зависимость влагопроводности от влажности) были использованы в процедуре восстановления ОГХ. С этой целью проводились лизиметрические измерения влагопроводности. На рис. 2 показаны зависимости влагопроводности от влажности для разных гранулометрических составов субстратов. Аппроксимация кривых степенной функцией указывает на адекватность теории С.Ф.Аверьянова (Аверьянов, 1949) и А.П. Лихацевича (Лихацевич, 2013). Вместе с тем в нашем случае замечен разброс показателя степени (от 4.89 до 10.73). В связи с этим, уточняя концепцию авторов, подобные расхождения мы объясняем различным механизмом перемещения влаги в лизиметрах при изменении содержания илистой фракции. Это обстоятельство объясняется в работе (Салугин и др., 2017) переходом воды в другое энергетическое состояние через некоторое критическое значение влагопроводности $W_{кр}$.

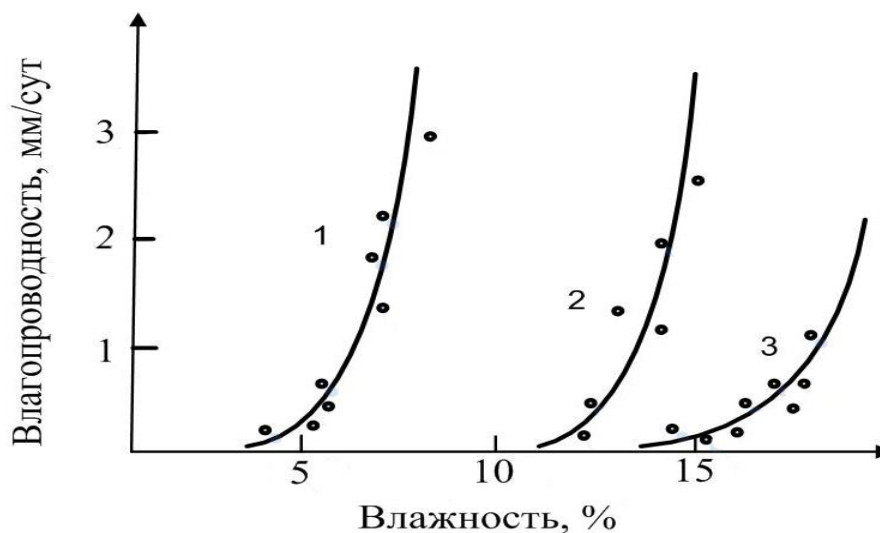


Рис. 2. Влагопроводность как функция объемной влажности почв: кривые 1, 2, 3 – лизиметры с песчаным, супесчаным и суглинистым наполнением соответственно.

Полученные данные использовались для восстановления ОГХ (рис. 3) по формуле:

$$\theta(h) = \theta_{\text{нас}} + \frac{\theta_{\text{нас}} - \theta_{\text{ост}}}{(1 + |ah|^n)^m}, \quad m = 1 - \frac{1}{n}, \quad (4)$$

где $\theta(h)$ – влажность как функция почвенного потенциала h , $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$; a – коэффициент, характеризующий долю порового пространства, занятого воздухом, $1/\text{см}$; n – эмпирический коэффициент, отражающий гранулометрический состав почвы.

Эта формула получила широкое распространение в физике почв и агроэкологии и послужила базой для разработки пакетов программ этого направления (Смагин, 2012; Салугин, 2015).

Восстановление ОГХ осуществлялось с помощью программы RETC 6.2. Все ОГХ качественно сходны между собой. Количественное различие связано с изменением почвенного давления для разных ГС: влагоудержание возрастает при утяжелении почвы.

В работах (Кулик, Салугин, 2003; Салугин и др., 2017; Kosugi, Normans, 1998) была отмечена целесообразность «восстановления» водоудерживающей способности почв для дальнейшего использования в расчетах водного баланса и определения условий устойчивости функционирования аридных агроландшафтов. Очевидное преимущество этого метода перед полевыми и/или лабораторными измерениями стимулирует его дальнейшее совершенствование и внедрение в практику математического моделирования влагопереноса.

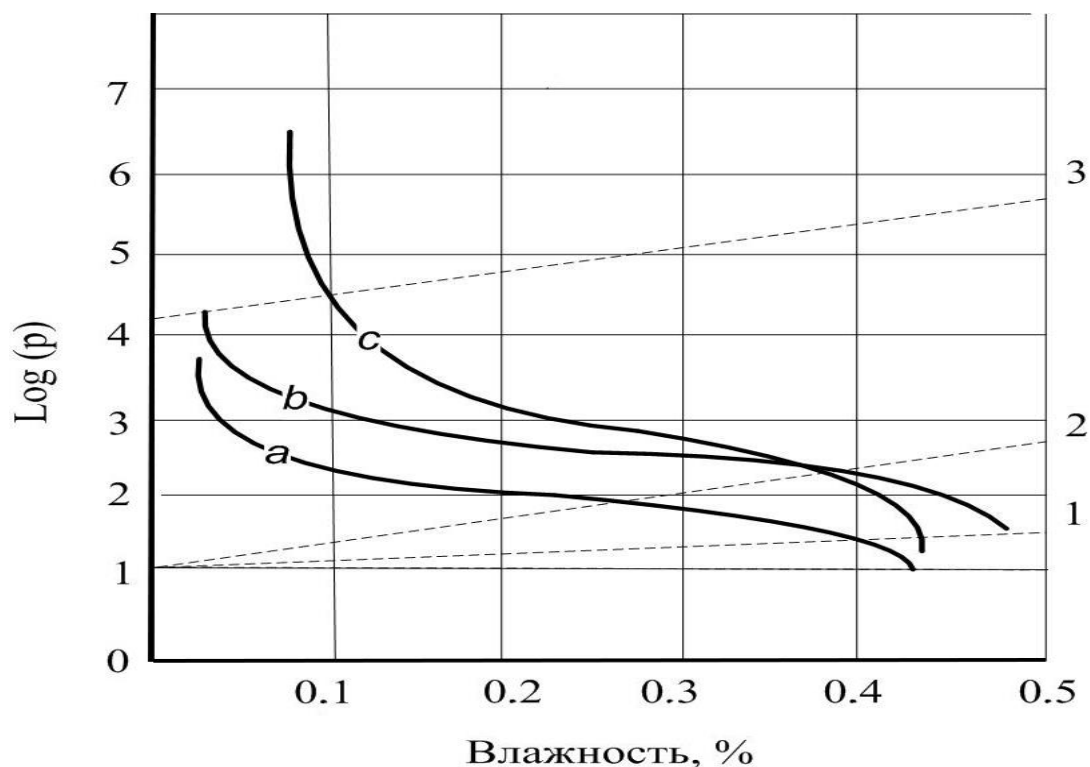


Рис. 3. Восстановленные в программе RETC 6.2 кривые ОГХ. Условные обозначения: штриховые линии 1, 2, 3 разделяют критические области, а – песок, b – супесь, c – суглинок.

Масштабирование гидрофизических характеристик почвогрунтов

Неоднородность почв исследуемых территорий затрудняет моделирование вертикального передвижения влаги. Для описания пространственной неоднородности традиционно используется метод масштабирования (скейлинг), позволяющий усреднять почвенные характеристики по данным ГС. Моделирование внутрипочвенного перемещения влаги при формировании грунтовых вод требует знаний об изменении гидрофизики почв по профилю зоны аэрации (НВ, ВЗ, МГ). Данные параметры распределены по агроландшафту случайно, что приводит к необходимости учитывать неоднородность профиля почвы как по глубине, так и по горизонту (Miller E. E., Miller R. D., 1956; Kosugi, 1994, 1996; Kosugi, Normans, 1998; Дмитриев, 2001; Nasta et al., 2013; Мелихова, 2016; Шеин, 2016). Гидрофизические свойства почв напрямую зависят от гранулометрического состава (Russo, Bresler, 1980; Van Genuchten, 1980; Шеин, 2005, 2016; Терлеев и др., 2014, 2021; Салугин, Кулик, 2017; Салугин, 2017, 2018;). Влагоудерживающая способность $\theta(h)$ и влагопроводность $K(\theta)$ могут быть получены полуэмпирически (Gardner, 1956; Van Genuchten, 1980; Clapp, Hornberger, 1983; Jury, Russo, 1987; Green, Constantz, 1996; Терлеев и др., 2014, 2021; Салугин, Кулик, 2017; Салугин, 2017, 2018;). Гарднер (Gardner, Constantz, 1996) обосновал описание структуры почвы логнормальным распределением, предполагая прямую связь между размером почвенных частиц и размером пор. Ниммо (Nimmo, 1997) предложил аналогичную концепцию влияния ГС на ОГХ.

Моделирование передвижения влаги в зоне аэрации затруднено численной реализацией уравнения (1), которое содержит большое число почвенных параметров. Сократить это число можно за счет данных из ГС. Авторами Kosugi, Normans (1998) были определены подгоночные параметры, обеспечивающие более адекватное описание ОГХ с использованием ГС в виде логнормального распределения (Kosugi, Normans, 1998).

Приведенный в настоящей статье физический метод масштабирования был основан на методе, используемом в работе Kosugi, Normans (1998). Этот метод позволяет определять коэффициенты масштабирования и базовую ОГХ непосредственно из ГС с использованием обобщенной линейной регрессии (Kosugi, Normans, 1998). В отличие от обычного скейлинга физическое масштабирование обеспечивает теоретически понятную интерпретацию масштабных коэффициентов с учетом того, что

радиусы пор распределены логнормально и однозначно связаны с почвенным давлением. Отдельные образцы выборки при случайном отборе проб образуют опорную (базовую) кривую, соответствующую осредненным гидрофизическим свойствам тех почв, где взяты образцы. Осредненная ОГХ (базовая кривая) связывает данную выборку масштабными коэффициентами и адекватно моделирует гидрофизику почвенного горизонта исследуемой территории. Подобное масштабирование позволяет физически обосновать параметры базовой ОГХ. Это обстоятельство весьма важно в практическом аспекте, особенно для задач мелиорации, изучения динамики водного баланса, пополнения ГВ.

Процедура масштабирования осуществлялась для лизиметров с различным гранулометрическим составом (табл. 1). Коэффициенты масштабирования α_i определялись по формуле:

$$\alpha_i = r_i/r^* \text{ или } \ln\alpha_i = \ln r_i - \ln r^*, \text{ взятых из кривых логнормального распределения.}$$

Здесь r_i – средний размер радиуса поры того образца, r^* – среднее значение.

Таким образом, изомерность гетерогенного строения почв позволяет уменьшить число параметров ОГХ, увеличив при этом адекватность моделирования за счет учета неоднородности почвенного профиля.

Таблица 1. Результаты моделирования и статистические данные масштабирования.

Параметры модели	Песок (sand)	Суглинистый песок (loamly sand)	Суглинок (loam)
α_i	0.8302	0.8933	1.0695
$\alpha_i - \text{Mean } \alpha_i$	-0.1698	-0.1067	0.0695
σ_i	0.5695	1.2120	1.2517
$\ln h_i$	2.8117	3.3913	3.7748
Результаты масштабирования; параметры базовой кривой водоудержания			
	α	σ^2	$\ln h_{m,i}$
Дисперсия	0.0184	0.1222	0.4443
Стандартное отклонение	0.1358	0.3496	0.6665
Среднее значение	1	2.9879	3.8427

Примечание: α_i – коэффициент масштабирования, σ_i – дисперсия, h_i – среднее почвенное давление, соответствующее среднему значению кривой ОГХ.

Изучение влагопереноса в HYDRUS-1D

Для изучения влагопереноса в почве часто используют специальные компьютерные программы, предоставляющие детальную информацию о массо- и энергопереносе. Одной из таких программ является пакет HYDRUS-1D (Rassam et al., 2018; Simunek et al., 2013). На основе проведенных натурных и лабораторных исследований в программе HYDRUS-1D нами были разработаны модели для изучения влагопереноса в зоне аэрации и оценки пополнения ГВ. Гидрофизические характеристики вводились в программу в качестве начальных и краевых условий с учетом лизиметрических измерений влагопроводности и масштабирования ОГХ. Модели описывают наиболее типичные почвенные и растительные условия с различными уровнями залегания грунтовых вод.

Нами были изучены особенности передвижения влаги на открытых песках, участках, занятых травянистой растительностью и древостоем, на песчаных и супесчаных почвах с различным залеганием ГВ: < 1, 2, 4, 7, 15 м. Основные почвенно-гидрофизические характеристики представлены в табл. 2.

Срок моделирования был ограничен теплым периодом (апрель – октябрь) 2021 г. (214 дней). Физическое испарение и транспирация рассчитывались по метеорологическим данным с использованием комбинированного уравнения Пенмана-Монтейта (Allan et al., 1998) и объединяющего радиационные и аэродинамические параметры следующим образом:

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta \times (R_n - G)}{\Delta + \gamma \times (1 + r_c/r_a)} + \frac{\rho \times c_p \times (e_a - e_d)/r_a}{\Delta + \gamma \times (1 + r_c/r_a)} \right], \quad (5)$$

где ET_0 – эталонная эвапотранспирация, мм/сут.; λ – скрытая теплота парообразования, МДж/кг; R_n – чистая радиация на поверхности, МДж/м²сут.; G – поток тепла почвы, МДж/м²сут.; ρ – плотность атмосферы, кг/м³; c_p – удельная теплоемкость влажного воздуха, т. е. 1.013 кДж/кг°C; $(e_a - e_d)$ – дефицит

давления пара, кПа; e_a – давление насыщенного пара при температуре T , кПа; e_d – фактическое давление пара, кПа; r_c – сопротивление растительного покрова, с/м; r_a – аэродинамическое сопротивление, с/м; Δ – градиент кривой давления пара, кПа/°C; γ – психрометрическая постоянная, кПа/°C.

Таблица 2. Почвенно-гидрофизические характеристики, используемые в качестве начальных данных в программе HYDRUS-1D.

Почва	Профиль	Начальная влажность (объемная), %	Параметры Ван-Генухтена				
			θ_r	θ_s	α , 1/см	n	K_s , см/сут.
Открытые пески	C	6.5	0.0528	0.3855	0.0317	3.9826	1063.61
Песчаные почвы	A-C	7.0	A				
			0.0515	0.4169	0.0349	3.1872	794.66
		6.5	C				
			0.0528	0.3855	0.0317	3.9826	1063.61
Супесчаные почвы	A-A/C-C	15.0	A				
			0.0422	0.4367	0.041	1.6708	206.81
		7.7	A/C				
			0.0467	0.4138	0.0386	2.5995	497.4
		6.5	C				
			0.0528	0.3855	0.0317	3.9826	1063.61

В качестве начальных условий использовались следующие параметры: минимальная и максимальная температура воздуха, скорость ветра, осадки, относительная влажность воздуха, облачность. При этом также учитываются высота над уровнем моря, географическая широта, высота, на которой измерялись температура и скорость ветра. Данные о погодных условиях были получены на ближайшей к объекту исследования метеостанции в г. Михайловке.

Разделение потенциальной транспирации и потенциального испарения осуществлялось по формулам:

$$E_i = ET_0 \times SCF, \quad (6)$$

$$E_s = ET_0 \times (1 - SCF), \quad (7)$$

где E_i – потенциальная транспирация, мм/сут; E_s – потенциальное испарение, мм/сут.; SCF – проективное покрытие:

$$SCF = 1 - \exp(-k \times LAI), \quad (8)$$

где k – константа, определяющая ослабление излучения в зависимости от угла наклона солнца, распределения растений и расположения листьев; LAI – индекс листовой поверхности.

Потенциальное испарение используется как входной параметр для расчета фактического испарения с учетом предельного почвенного давления, при котором фактическое испарение прекращается.

Поглощение воды корнями $S(h)$ определялось функцией дефицита воды $\alpha(h)$ и потенциальным потреблением S_p (Feddes et al., 1978):

$$S(h) = \alpha(h)S_p \quad (9)$$

Поглощение воды предполагается равным нулю в зоне насыщения h_1 и при давлении, ориентировочно равном влажности завядания h_4 . Водопоглощение считается оптимальным между давлением в точках h_2 и h_3 , тогда как для давлений между h_3 и h_4 (или h_1 и h_2) водопоглощение уменьшается (или увеличивается) линейно с h . Переменная S_p равна скорости поглощения воды в периоды отсутствия дефицита влаги, когда $\alpha(h) = 1$. Давление задавалось нами из базы данных HYDRUS-1D.

Модельная растительность, имитирующая разнотравные угодья, имела высоту 30 см, глубину корней 120 см и проективное покрытие 70%. На участках с ГВ на 0.5 м проективное покрытие было нами увеличено до 90%, а глубина корней сокращена до 50 см. Растительность, имитирующая

древостой, на песчаных почвах имела высоту 6 м, глубину корней 2 м, проективное покрытие 70%; на супесчаных почвах высота составляла 8 м, глубина корней – 4 м или ограничивалась уровнем Гв, проективное покрытие 70%.

По результатам моделирования было выявлено влияние различных начальных и краевых условий на элементы водного баланса почв. Наибольший сток атмосферных осадков к ГВ наблюдается на открытых песках. При уровне грунтовых вод 2 м он оценивается в 229.1 мм (70% от общей суммы осадков 325.6 мм). По мере увеличения глубины ГВ объем внутрипочвенного стока за период наблюдения сокращается, поскольку наблюдается запаздывание просачивания атмосферных осадков. Почвенный профиль при этом насыщается водой, что отражается на общих влагозапасах, а кривая стока сглаживается и сдвигается по времени на более поздний срок (рис. 4). Таким образом, открытые пески не только активно инфильтруют атмосферные осадки к грунтовым водам, но и аккумулируют их, обеспечивая стабильное питание речных систем. За период моделирования объем стока на открытых песках площадью 887 га превысил 2 млн м³. Часть из них поступит в грунтовые воды в течение теплого периода года, другая в течение осени и зимы. Внутрипочвенный сток и пополнение грунтовых вод на открытых песках наблюдается в течение всего года, что подтверждается лизиметрическими исследованиями.

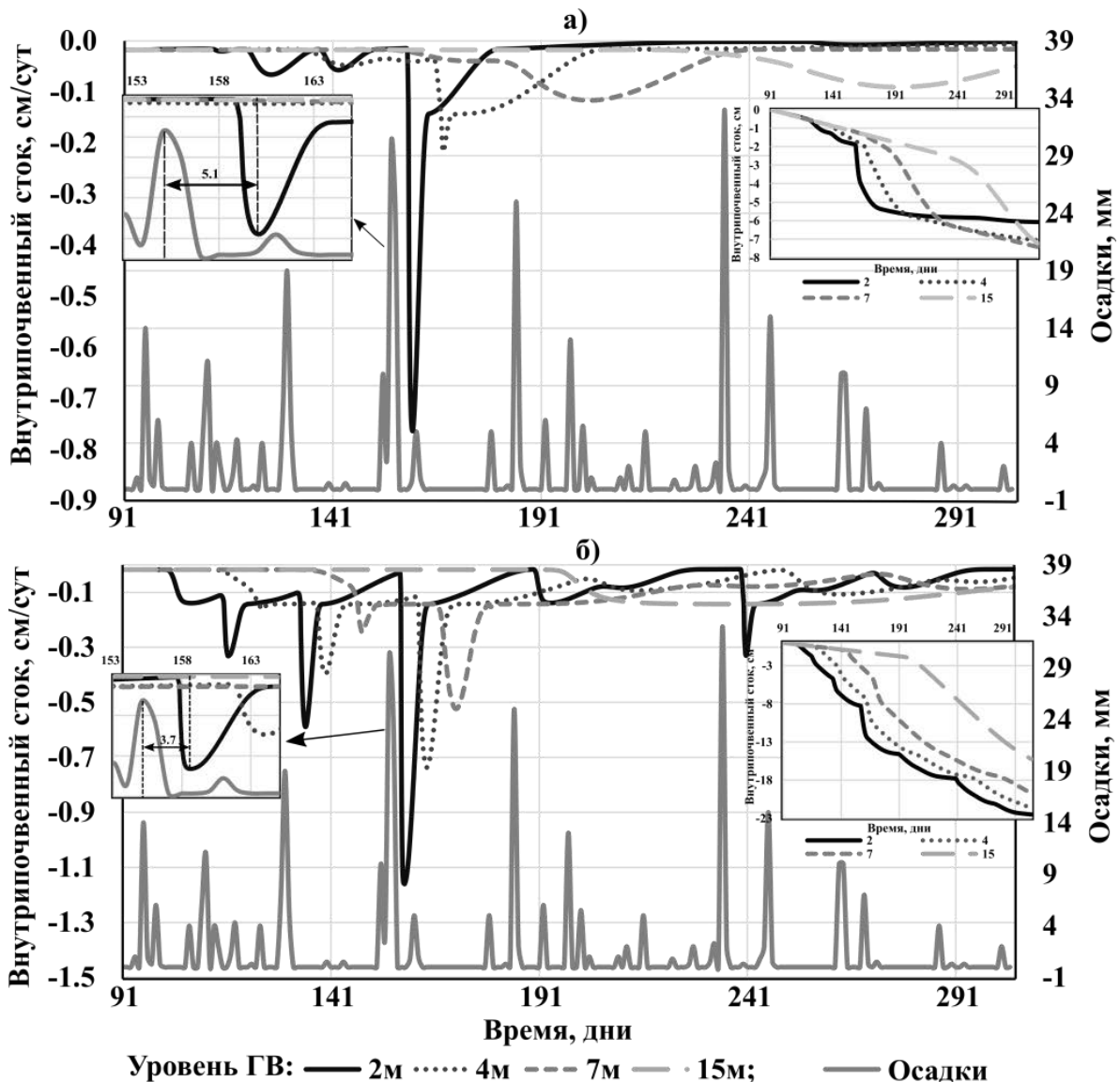


Рис. 4. Внутрипочвенный сток. Условные обозначения: а) разнотравные угодья, б) открытые пески.

По мере зарастания территории объем стока сокращается. На песчаных почвах с проективным покрытием травянистой растительностью 70% внутрипочвенный сток сокращается в 3–4 раза и составляет 50–65 мм. Значение транспирации находится в пределах 184–192 мм. Пологом растений перехватывается около 8% осадков. Почвенный профиль к концу срока моделирования иссушается на 22–36 мм. Проникновение атмосферных осадков запаздывает еще больше, поскольку часть влаги задерживается пологом или поглощается корнями. Это также влияет на интенсивность внутрипочвенного стока. На заросших травянистой растительностью песках максимальная интенсивность стока по сравнению с открытыми песками сокращается в 1.5–4.5 раза. Грунтовые воды на уровне 0.5 м являются дополнительным источником водопитания растений. Разнотравные угодья в таких условиях потребляют на транспирацию 390 мм воды. Уровень грунтовых вод при этом падает на 63 см.

Сосновые насаждения, произрастающие на низковлагодомных кварцевых песках по IV–V классу бонитета, потребляют воду на транспирацию в количестве 215–220 мм. Объем внутрипочвенного стока по сравнению с открытыми песками сокращается на 90%. Если сосна произрастает по III классу бонитета, сток при заданных начальных и метеорологических условиях отсутствует.

На заросших супесчаных почвах внутрипочвенный сток к грунтовым водам практически отсутствует. На глубину 2 м смогло проникнуть лишь 3 мм атмосферных осадков. Транспирационный расход на супесчаных почвах возрастает: на разнотравных угодьях – 218–221 мм (на близководных участках 445 мм), в сосновых насаждениях до 275 мм. Испарение также возросло на 50–80 мм. Таким образом, на супесчаных почвах за счет большей водоудерживающей способности, меньшей влагопроводности эвапотранспирация существенно возрастает (рис. 5). Однако наблюдаются периоды, в которые интенсивность эвапотранспирации на песчаных почвах выше, чем на супесчаных. Как правило, таким периодам предшествуют несколько дней без дождя. Супесчаным почвам, что и следовало ожидать, необходимо больше влаги, чтобы насытить почву до влажности, оптимальной для поглощения корней.

Таким образом, наибольшее пополнение грунтовых вод происходит за счет открытых песков. Разнотравные угодья и сосновые насаждения на низковлагодомных песчаных почвах также являются источником подпитки ГВ. При этом объем стока напрямую зависит от проективного покрытия травянистой растительности и класса бонитета леса.

Выводы

При моделировании вертикального влагопереноса для оценки пополнения грунтовых вод главными факторами являются почвенные гидрофизические характеристики и почвенно-растительное покрытие территории. Важнейшим параметром при этом является гранулометрический состав, связывающий водоудерживающую способность почв и их физические свойства. Восстановление водоудерживающей способности эффективно применяется в расчетах водного баланса и определения условий устойчивости функционирования экосистем аридных агроландшафтов.

Неоднородность почв на территориях агроландшафтов моделируется масштабированием, позволяющим усреднять почвенные характеристики на всей исследуемой территории. Физическое масштабирование, основанное на логнормальном распределении пор по размерам, по отдельным образцам выборки образует опорную (базовую) кривую. Такое масштабирование позволяет физически обосновать параметры ОГХ, обеспечивая исследуемую территорию гидрофизическими данными.

Результаты математического моделирования выявили существенное влияние различных начальных и краевых условий на элементы водного баланса почв. Наибольший сток атмосферных осадков к грунтовым водам наблюдается на открытых песках. Они инфильтруют и аккумулируют атмосферные осадки, обеспечивая стабильное питание родников и речных систем, особенно в меженный период. При зарастании территории растительностью объем внутрипочвенного стока резко сокращается. На песчаных почвах с проективным покрытием травянистой растительностью 70% внутрипочвенный сток сокращается на 70–75%. Сосновые насаждения, произрастающие на низковлагодомных песках, потребляют большой объем воды, сокращая сток по сравнению с открытыми песками на 90%. На заросших супесчаных почвах подпитка ГВ практически отсутствует.

Моделирование вертикального движения влаги с использованием процедур восстановления водоудерживающей способности почв и их осреднения с помощью масштабирования позволяет получать ценные данные о подпитке грунтовых вод. Эти данные могут быть использованы в задачах рационального управления водными ресурсами.

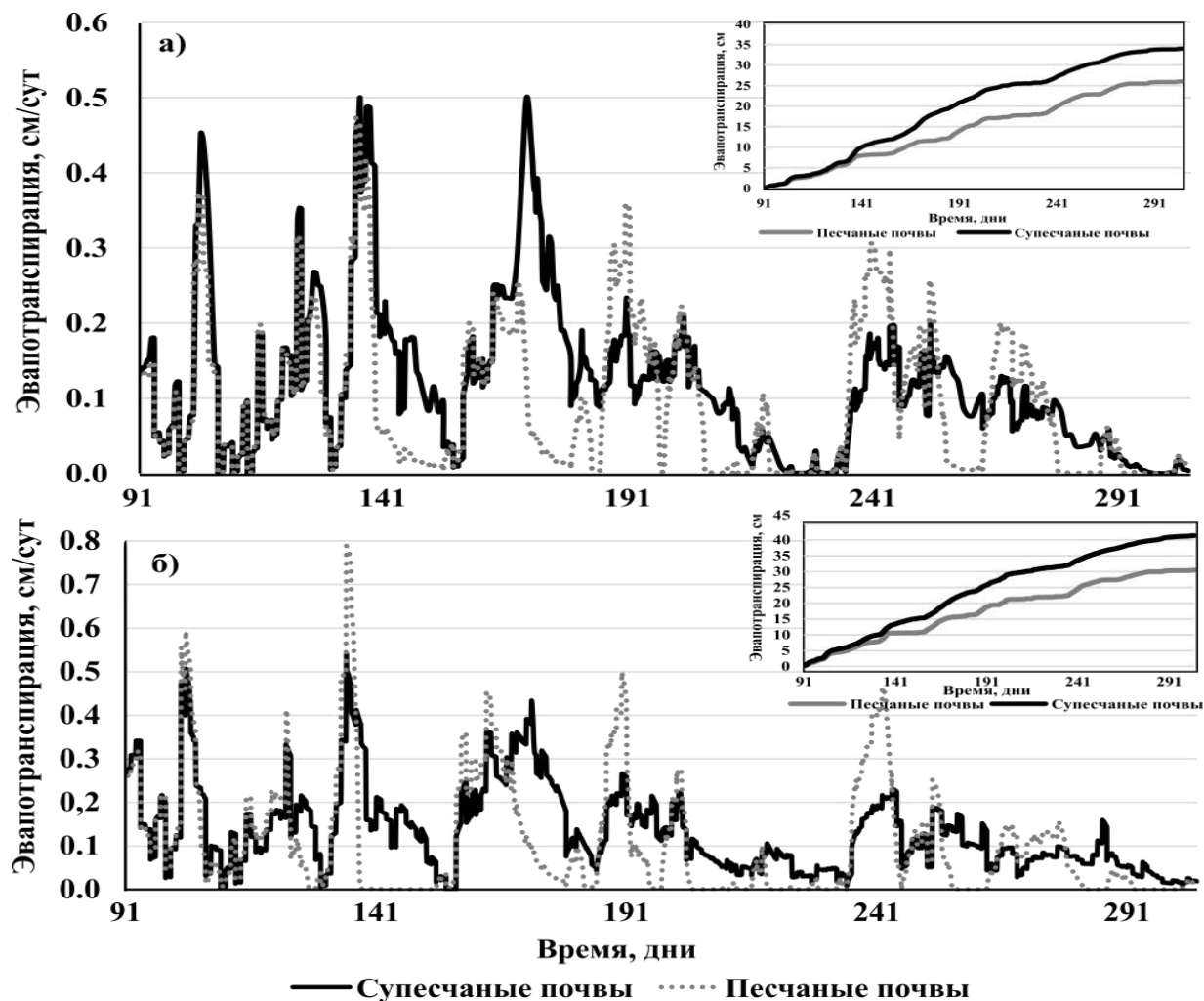


Рис. 5. Эвапотранспирация (без учета перехвата). Условные обозначения: а) разнотравные угодья, б) сосновые насаждения.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания 122020100450-9 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверьянов С.Ф. 1949. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от содержания воздуха // Доклады АН СССР. Т. 69. № 2. С. 142-144.
- Воронин А.Д. 1990. Энергетическая концепция физического состояния почв // Почвоведение. № 5. С. 7-19.
- Глобус А.М. 1987. Почвенно-гидравлическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л.: Гидрометиздат. 1987. 427 с.
- Дмитриев Е.А. 2001. Понятие о неоднородности почв // Масштабные эффекты при исследовании почв: сб. ст. М.: МГУ. С. 8-39.
- Качинский Н.А. 1979. Физика почвы. М.: Высшая школа. 357 с.
- Кулик К.Н., Салугин А.Н. 2003. Марковские цепи дефляции почвенно-растительного покрова пастбищ Черных земель // Российская сельскохозяйственная наука. № 5. С. 34-37.
- Кулик К.Н., Кулик А.К., Кулик Н.Ф. 2012. Водный баланс почв песчаных массивов (на примере Усть-Кундрюченского массива) // Почвоведение. № 88. С. 846-854.
- Кулик Н.Ф. 1979. Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеиздат. 280 с.
- Лихацевич А.П. 2013. Исследование гидрофизических свойств почвогрунтов // Вести национальной академии

наук. № 4. С. 40-45.

- Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 428 с.
- Мелихова Е.В. 2016. Математическое моделирование процессов влагопереноса при капельном и внутритпочвенном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 1(41). С. 228-234.
- Салугин А.Н. 2006. Динамическое моделирование деградационных процессов в агроэкологии: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра с.-х. наук: Волгоград, 2006. 40 с.
- Салугин А.Н. 2015. Структурная модель водного баланса региона // Вестник ВолгГАСУ. № 33 (52). С. 216-223.
- Салугин А.Н. 2017. Восстановление гидрофизических характеристик почв с помощью математического моделирования // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 66(2). С. 205-209.
- Салугин А.Н. 2018. Применение основных гидрофизических характеристик для моделирования вертикального движения влаги в зоне аэрации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. № 2(49). С. 58-65.
- Салугин А.Н., Кулик А.К., Власенко М.В. 2017. Водопроницаемость ненасыщенных почвогрунтов аридной зоны // Российская сельскохозяйственная наука. № 1. С. 21-24.
- Светлицев Н.М. 1964. Водный и температурный режим почвогрунтов под культурами сосны Етеревского песчаного массива. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград. 23 с.
- Смагин А.В. 2012. Теория и практика конструирования почв. М.: МГУ. 544 с.
- Терлеев В.В., Нарбут М.А., Топаж А.Г., Миришель В. 2014. Моделирование гидрофизических свойств почвы как капиллярно-пористого тела и усовершенствование метода Муалема-Ван Генухтена: теория // Агрофизика. № 2(14). С. 35-44.
- Терлеев В.В., Дунаева Е.А., Гиневский Р.С., Лазарев В.А., Топаж А.Г. 2021. Почвенно-гидрофизическое информационное обеспечение прецизионного ирригационного земледелия // Таврический вестник аграрной науки. № 2(26). С. 244-260.
- Турчин Т. Я., Турчина Т. А. 2005. Леса степного Придонья. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та. 240 с.
- Шеин Е.В. 2005. Курс физики почв. М.: МГУ. 2005. 432 с.
- Шеин Е.В. 2009. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретация результатов и классификаций // Почвоведение. № 3. С. 309-317.
- Шеин Е.В. 2016. Теоретические основы гидрологии почв в трудах А.А. Роде и современные подходы к описанию движения и равновесия влаги в почвах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. № 83. С. 11-21.
- Allan R., Pereira L., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. P. 300.
- Clapp, R.B., Hornberger G.M., Cosby B.J. 1983. Estimating spatial variability in soil moisture with a simplified dynamic model // Water Resour. Res. Vol. 19. P. 739-745.
- Feddes, R.A., Kowalik P.J., Zaradny H. 1978. Simulation of Field Water Use and Crop Yield. New York: John Wiley & Sons. 188 p.
- Gardner W.R. 1956. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution // Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 20. P. 151-153.
- Green T.R., Constantz J.E., Freyberg D.L. 1996. Upscaled soil-water retention using van Genuchten's function // J. Hydrol. Eng. Vol. 1(3). P. 123-130.
- Jury W.A., Russo D., Sposito G. 1987. The spatial variability of water and solute transport properties in unsaturated soil: II. Scaling models of water transport // Hilgardia Vol. 55(4). P. 33-56.
- Kosugi, K. 1994. Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention // Water Resour. Res. Vol. 30. P. 891-901.
- Kosugi K. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties // Water Resour. Res. Vol. 32. P. 2697-2703.
- Kosugi K., Hopmans J.W. 1998. Scaling water retention curves for soils with lognormal pore-size distribution // Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 62. P. 1496-1505.
- Miller, E.E., Miller R.D. 1956. Physical theory for capillary flow phenomena // J. Appl. Phys. Vol. 27. P. 324-332.
- Nasta P., Romano N., Assouline S., Vrugt J. A., Hopmans J.W. 2013. Prediction of spatially variable unsaturated hydraulic conductivity using scaled particle-size distribution functions // Water Resour. Res. Vol. 49. P. 4219-4229.
- Nimmo J.R. 1997. Modeling structural influences on soil water retention // Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 32. P. 2697-2703
- Rassam D., Simunek J., Mallants D., van Genuchten M. Th. 2018. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media: Tutorial. Adelaide: CSIRO Land and Water. P. 183.
- Russo D., Bresler E. 1980. Scaling soil hydraulic properties of a heterogeneous field // Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 44. P. 681-684.
- Simunek J., van Genuchten M.Th., Sejna M. 2007. Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD

Software Packages and Related Codes // *Vadose Zone Journal*. Vol. 7. P. 587-600.

Simunek J., Sejna M., Saito H., Sakai M., van Genuchten M. Th. 2013. The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.17, HYDRUS Software Series 3. Riverside: Department of Environmental Sciences, University of California Riverside. P. 342.

Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 44. P. 892-898.

Gardner W.R. 1956. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: P. 151-153.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2023. Т. 29. № 1 (94)

Учредители: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем РАН (ИВП 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 16 марта 2023 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ЖМК

Формат 60x 90 ¹/₈

Объем 17.75 п.л.

Тираж 200 экз.

Отпечатано в ООО «Таллея-Принт»
Москва, ул. 5-я Кабельная, д.2б

Распространяется только по подписке

Индекс Э39775 (интернет каталог «Пресса России»)

<https://www.ppressa-rf.ru/>

Подписка на газеты и журналы на 2023 год Почта России

Оформить подписку онлайн на журнал «Аридные экосистемы». Цена подписки на издание за минимальный подписной период — **1177.99** руб. 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.