

ISSN 1993-3916

Том 26 Номер 2 (83) Июнь 2020

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

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

МОСКВА: Товарищество научных изданий КМК



2020

© Журнал основан в 1995 г.
Издается при поддержке
Прикаспийского института биологических ресурсов и
Института геологии Дагестанского научного центра Российской академии наук,
Института водных проблем Российской академии наук,
Товарищества научных изданий КМК
и содействии региональных отделений секции
"Проблемы изучения аридных экосистем и борьбы с опустыниванием"
Научного совета "Проблемы экологии биологических систем"
отделения биологических наук Российской академии наук.
Подписной индекс русской версии журнала 39775 в 1 томе каталога «Пресса России»

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) ELIBRARY.ru, в базу научной электронной библиотеки “КИБЕРЛЕНИНКА” CYBERLENINCA.ru, в базу Российской государственной библиотеки (РГБ) rsl.ru, в базу данных Библиотеки по естественным наукам Российской академии наук (БЕН РАН), в базу данных Russian Science Citation Index, размещенную на платформе Web of Science, входит в число реферируемых журналов и Базы данных Scopus, ВИНИТИ, Google Scholar, AGRICOLA, EBSCO Discovery Service, OCLC, Summon by 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
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН
ПРИКАСПИЙСКИЙ ИНСТИТУТ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ ДАГЕСТАНСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

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

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Том 26, № 2 (83), 2020, июнь

Журнал основан в январе 1995 г.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор

доктор биологических наук, профессор

З.Г. Залибеков**

Заместитель главного редактора

доктор географических наук

Ж.В. Кузьмина*

Редакционная коллегия:

Б.Д. Абатуров, С.-В. Брекле (Германия), К.Б. Гонгальский, 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:

Г.С. Куст, О.С. Гринченко*(*Ответственный секретарь*)

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, 367025, г. Махачкала, ул. Гаджиева, д. 45, ПИБР ДНЦ РАН

Телефон: (872-2) 67-09-83

E-mail: arid_journal@mail.ru

Москва: Товарищество научных изданий КМК

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Том 26, номер 2 (83), 2020 июнь

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

- Нейтральный Баланс Деградации Земель – современный подход к исследованию засушливых регионов на национальном уровне
Г.С. Куст, О.В. Андреева, В.А. Лобковский 3-9
- Динамика деградации земель в Ростовской области
О.С. Безуглова, О.Г. Назаренко, И.Н. Ильинская 10-15
- Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия
К.Н. Кулик, В.И. Петров, В.Г. Юферев, Н.А. Ткаченко, С.С. Шинкаренко 16-24
- Изменение землепользования в Алтайском крае: проблемы и перспективы достижения Нейтрального Баланса Деградации Земель
Д.В. Золотов, Д.В. Черных, Р.Ю. Бирюков, Д.К. Першин, Н.С. Малыгина, А.В. Грибков 25-33
- Оценка пространственно – временной изменчивости засушливых экосистем республики Бурятия
Е.Ж. Гармаев, А.А. Аюржанаев, Б.З. Цыдыпов, Ж.Б. Алымбаева, Б.В. Содномов, С.Г. Андреев, М.А. Жарникова, В.С. Батомункуев, Н. Мандах, Т.К. Салихов, А.К. Тулохонов 34-42
- Оценка и адаптация подхода НБДЗ к классификации земельных ресурсов в Кыргызской Республике
Т.С. Бобушев, К.Э. Султаналиев 43-47
- Об адаптации международных индикаторов оценки Нейтрального Баланса Деградации Земель для лесных экосистем в засушливых условиях России
А.В. Птичников, А.А. Мартынюк 48-56
-

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

- Экологические проблемы сельскохозяйственного землепользования в Ставропольском крае
Д.А. Шаповалов, П.В. Ключин, С.В. Савинова 57-62
- Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления
Э.Б. Дедова, Б.А. Гольдварг, Н.Л. Цаган-Манджиев 63-71
- Климатообусловленные изменения запасов органического углерода в пахотных черноземах Курской области
О.Э. Суховеева, А.Н. Золотухин, Д.В. Карелин 72-79
- Атмосферное увлажнение как фактор нейтрального баланса деградации земель лесостепных ландшафтов
Т.М. Кудерина, С.Б. Сулова, В.Н. Лунин, А.В. Кудиков 80-85
- Микроэлементный состав почв степных фитоценозов Западного Забайкалья
В.К. Кашин, Л.Л. Убугунов 86-95

**НЕЙТРАЛЬНЫЙ БАЛАНС ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ – СОВРЕМЕННЫЙ
ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНОВ
НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ¹**

© 2020 г. Г.С. Куст, О.В. Андреева, В.А. Лобковский

Институт географии РАН

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29. E-mail: kust@igras.ru

Поступила в редакцию 06.05.2019. После доработки 15.06.2019. Принята к публикации 28.06.2109.

Впервые приводятся результаты применения концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) и методологии оценки индикаторов НБДЗ для засушливых регионов России. Показано, что ни в одной из засушливых областей нашей страны не достигнуто состояние НБДЗ, поскольку доля деградированных земель повсюду положительна и составляет от 9 до 67%. Вводится понятие «Индекса НБДЗ», на основании которого удобно проводить сравнение и ранжирование отдельных территорий, и приведена оценка некоторых засушливых регионов России по данному показателю. Одновременно делается вывод, что полученные результаты носят предварительный характер и нуждаются в валидации и уточнении на основе сравнения с имеющимися национальными данными, получаемыми традиционными методами.

Ключевые слова: нейтральный баланс деградации земель, опустынивание, засушливые регионы, деградация земель.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10089

**Достижение нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) –
новейшая глобальная инициатива**

Нарастающее внимание человечества к земельным ресурсам планеты (Почвы в биосфере ..., 2012) связано прежде всего с увеличивающимися масштабами их деградации. По глобальной оценке, к 2018 году деградировало уже 75% наземного покрова (World Atlas ..., 2018), и, учитывая ежегодную деградацию как минимум 12 млн. га продуктивных земель, к 2050 году эта цифра может вырасти до 90% и более. Понимание необходимости разработки более эффективных стратегий, направленных на ответственное управление земельными ресурсами и снижения риска возникновения серьезных угроз для жизнеобеспечения населения на глобальном уровне, привело к разработке Целей Устойчивого Развития (ЦУР) ООН на период до 2030 года (Повестка ..., 2015); в частности, постановка Задачи 15.3 прямо формулирует: «К 2030 году бороться с опустыниванием, восстанавливать деградированные земли и почвы, в том числе земли, затронутые опустыниванием, засухой и наводнениями, и стремиться к достижению нейтрального баланса деградации земель». «Куратором» достижения ЦУР 15.3 в глобальном масштабе от имени ООН определена Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО; Cowie et al., 2016), утвержден глобальный индикатор для мониторинга этой задачи, рекомендованный для всех стран: доля деградированных земель от их общей площади, ниже «Индикатор I» (UNSD, 2016), принято согласованное международное определение НБДЗ: «Нейтральный баланс деградации земель – это 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» (UNCCD, 2016).

¹ Статья подготовлена на основании анализа и обработки материалов исследований по гранту РНФ 18-17-00178 «Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата». Сбор материалов выполнялся в рамках темы Государственного задания ФГБУН ИГ РАН № 0127-2019-0010 «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования».

Таким образом, с появлением и развитием концепции НБДЗ «классическая» парадигма опустынивания приобретает более оформленные черты, меняясь от неопределенностей вроде «борьбы с опустыниванием» или «устойчивого землепользования» к конкретным показателям достижения НБДЗ. Для этого КБО утвердила минимальный набор из трех основных глобальных индикаторов достижения НБДЗ: изменения в наземном покрове (П-1), динамика продуктивности земель (П-2), динамика запасов почвенного углерода (П-3). С целью их дальнейшего мониторинга устанавливается «базовая линия» для сравнения изменений, за которую для глобальных целей рекомендовано принимать состояние земель в период около 2000-2005 годов (в зависимости от имеющихся данных). В настоящее время многие страны уже установили целевые национальные показатели, а другие, включая Россию, работают над установлением этих показателей (Национальный доклад ..., 2018). Очень важно при этом отметить, что НБДЗ не ставится как цель, которая требует нового международного соглашения. Для мониторинга целей устойчивого развития на национальном уровне можно использовать с учетом национальной специфики, опыта, социально-экономических особенностей и традиций указанные четыре индикатора (I, П-1, П-2, П-3), устанавливать их аналоги, а также дополнять их индикаторами третьего уровня, исходя из национальных и региональных особенностей.

Россия располагает обширными землями, которые являются одним из главнейших суверенных ресурсов России и одновременно важнейшей частью глобального фонда природных земель, не подверженных прямым антропогенным воздействиям, и поэтому привлекающих особое мировое внимание. Тем не менее, это не должно наводить на мысль о том, что наши земли неисчерпаемы. При кажущемся земельном богатстве и (сравнительно с другими странами) относительно низкой общей доле деградированных земель Россия имеет высокую долю деградированных земель именно в южных регионах, где сосредоточены наиболее продуктивные земельные ресурсы с высоким биоклиматическим потенциалом (около 8% от общей площади страны). Кроме того, помимо деградации земель в основных сельскохозяйственных регионах, в лесном поясе все больше проявляется процесс обезлесения и снижения доли малонарушенных лесов – как своеобразная форма «опустынивания» бореальных ландшафтов.

Таким образом, Россия, с одной стороны, входит в число стран с активным проявлением процессов, связанных с ухудшением качества земель, и ей близки проблемы и вызовы, имеющие глобальный характер, а с другой стороны – является страной с высоким земельным потенциалом, что играет огромную роль в сохранении и поддержании нейтрального баланса деградации земель на глобальном уровне. В этом смысле Россия выступает в роли своеобразного донора для сохранения глобального потенциала НБДЗ.

Объекты и методы исследования

Оценка деградации земель в России с использованием концепции НБДЗ. Для обеспечения сравнимости результатов на глобальном уровне и в помощь отдельным странам КБО ООН при поддержке Глобального экологического фонда инициировала разработку специальных расчетных модулей «Trends.Earth» (TE), использующих материалы глобальных баз данных, включая данные постоянного мониторинга Земли из космоса (Trends.Earth, 2018). Принцип работы системы TE заключается в анализе множества спутниковых данных и может включать данные глобального и национального уровня, после чего эти данные можно интегрировать в удобный для пользователя интерфейс, имеющий ГИС-подоснову.

Преимуществами использования единой международной методологии для оценки НБДЗ является: а) использование минимального набора индикаторов для отслеживания динамики НБДЗ; б) применение данных из глобальных источников; в) возможность расширять и заменять суб-индикаторы НБДЗ национальными данными; г) возможность сравнения состояния земель, различных по физико-географическим и социально-экономическим показателям регионов на единой методологической основе; д) доступность используемого программного обеспечения.

В данной работе рассматриваются первые результаты, полученные при использовании глобальных источников данных для оценки НБДЗ «по умолчанию», без детальной проработки возможности замены на национальные индикаторы и использования национальных данных. Для оценки динамики наземного покрова использован набор данных Инициативы Европейского

Космического Агентства по изменению климата (European Space ..., 2016), охватывающий несколько временных периодов начиная с 2000 года и использующий иерархическую классификацию наземного покрова, специально созданную в целях определения базового состояния наземного покрова на глобальном уровне. Для этого 37 классов наземного покрова (по классификации Всемирной продовольственной организации (ФАО)), объединены в 6 укрупненных типов землепользования (табл. 1) таким образом, чтобы согласовать их с категориями земель, рекомендованными Межправительственной группой экспертов по изменению климата для оценки запасов органического углерода (IPCC, 2006). Данные о состоянии наземного покрова имеют пространственное разрешение 300 метров и являются на сегодняшний день единственным продуктом в мире, созданным по методологии, позволяющей проводить сопоставимый количественный анализ динамики наземного покрова на глобальном и региональном уровнях (Trends.Earth, 2018).

Таблица 1. Трансформация наземного покрова в Ставропольском крае в 2000-2015 гг., км².

		Типы наземного покрова* в целевом (2015) году (км ²)					
		1	2	3	4	5	6
Типы наземного покрова* в базовом (2000) году (км ²)	1	728.13	0.99	1.17	0.00	7.87	0.00
	2	3.07	10417.48	5940.58	0.00	26.44	0.26
	3	9.43	58.14	47805.31	0.00	304.53	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	310.62	1.01	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	399.75	0.00
	6	0.00	5.81	1.27	0.00	0.04	17.23

Примечания к таблице 1-3: *Типы наземного покрова: 1) лесопокрытая площадь (tree-covered), 2) травянистые сообщества и пастбища (grasslands), 3) пахотные земли (croplands), 4) водно-болотные угодья (wetlands), 5) искусственные поверхности (artificial areas), 6) другие земли (other lands).

Для оценки динамики продуктивности земель используются данные Единого европейского исследовательского центра (Gio Global Land ..., 2015). Набор данных получен из многолетних временных рядов глобальных наблюдений вегетационного спутникового индекса NDVI, составленных в 10-дневные композиты с пространственным разрешением 1 км. Выделяется 5 классов (трендов) динамики продуктивности земель (табл. 2).

Таблица 2. Динамика продуктивности земель в Республике Калмыкия в 2001-2015 гг., км².

Типы наземного покрова	Классы (тренды) динамики продуктивности земель*					
	5	4	3	2	1	Нет данных
1	0.52	8.77	0.13	4.48	9.01	0.57
2	7490.94	45 864.22	84.41	2965.74	6864.95	81.95
3	188.33	4545.22	4.74	817.97	1378.81	16.54
4	23.55	180.94	4.03	45.81	89.53	16.58
5	3.16	17.27	0.00	9.67	9.03	0.09
6	214.78	1057.08	29.08	59.98	156.49	9.35
7	32.20	116.07	25.08	13.83	35.29	913.31
Всего:	7953.49	51 789.56	147.46	3917.49	8543.11	1038.38

Примечания к таблице 2: *Классы (тренды) динамики продуктивности земель: 1 – снижение продуктивности (declining), 2 – умеренное снижение продуктивности (moderate decline), 3 – стабильное состояние, подверженное риску (stressed), 4 – стабильное состояние, не подверженное риску (stable), 5 – повышение продуктивности (increasing).

Глобальные данные по динамике запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в расчете на

30-сантиметровый слой агрегированы на базе исходных сведений, содержащихся в базе данных SoilGrids Международного информационного центра по почвам (ISRIC, 2017), собранных для слоя 0-30 см по 6 обобщенным классам наземного покрова.

Совместное использование трех показателей, представленных в международных базах данных, и современные возможности их интегрального анализа с помощью ГИС-модулей расчета и наложения картографических слоев позволяют дать актуальную и комплексную оценку состояния наземных экосистем и экосистемных услуг. Оценка и мониторинг основных показателей проводится с использованием специального тематического модуля TE геоинформационной системы QGIS (Trends.Earth, 2018).

Результаты и обсуждение

Возможности сравнительной оценки состояния земель субъектов Российской Федерации по индикаторам НБДЗ. Данные по наземному покрову позволяют составлять обзоры по состоянию и динамике шести укрупненных категорий земель. В качестве примера приведен такой анализ для Ставропольского края (рис. 1).

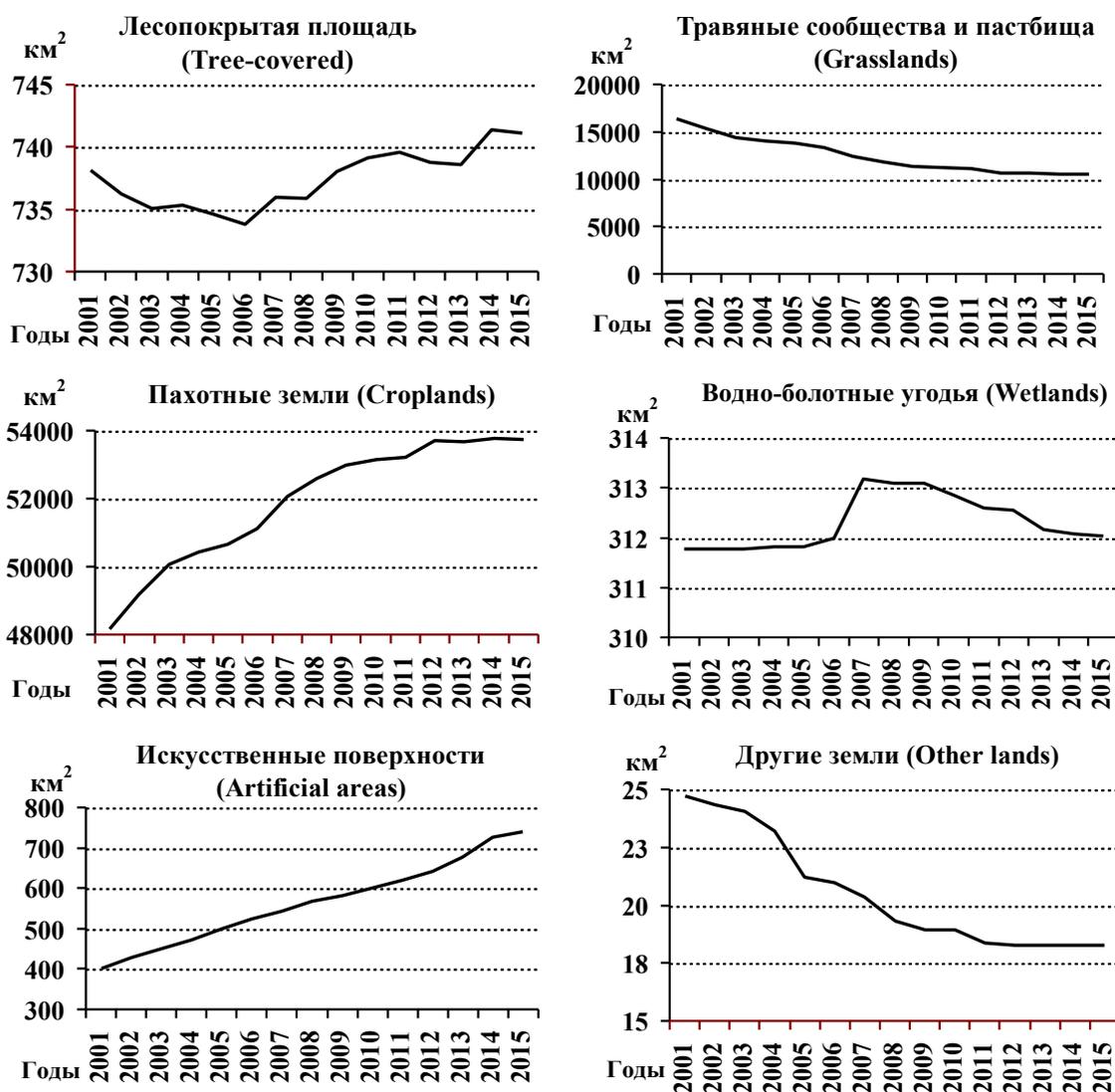


Рис. 1. Динамика наземного покрова Ставропольского края в 2001-2015 гг., км².

Из результатов видно, что за 2001-2015 гг. в регионе наблюдался постепенный рост пахотных угодий при одновременном сокращении пастбищ. В то же время росла площадь застройки и других

искусственных поверхностей, в последнее десятилетие также увеличивалась лесопокрытая площадь. Материалы анализа интересны тем, что позволяют более детально, чем данные национальной статистики, проследить взаимные переходы земель (табл. 1). Из таблицы видно, что основной прирост пашни произошел за счет земель, занятых травяными сообществами (вероятно, в результате возвращения в использование залежных земель), но в незначительной степени наблюдаются и обратные процессы, а также переход достаточно большого количества пахотных земель в урбанизированные.

Данные, получаемые по этой методике, могут отличаться от официальных данных национальной статистики, а также материалов, имеющих в специальной литературе. Это обстоятельство детально проанализировано в «Деградация земель ...» (2019). Вместе с тем представленные на глобальной методологической основе, эти данные оказываются сопоставимы с другими странами и регионами. Таким образом, на следующем этапе развития данной методологии стоит задача гармонизации получаемых с ее помощью данных с материалами, получаемыми традиционными способами.

Пример анализа динамики продуктивности земель для Республики Калмыкия (табл. 2) показывает, что изменения одинаковых типов землепользования могут быть разнонаправлены. Например, для пастбищных земель площади снижения и повышения продуктивности примерно сопоставимы, а вот для пахотных и лесопокрытых земель преобладают тренды снижения продуктивности, хотя общая ситуация в целом более-менее стабильна. Так же как и для индикатора динамики наземного покрова, динамику продуктивности можно проследить по отдельным годам.

Проведенная нами ранее валидация результатов анализа динамики запасов ПОУ, получаемых по методике ТЕ, показывает, что они пока не выдерживают серьезной критики (Kust et al., 2018; Деградация земель ..., 2019), поскольку расчет динамики ведется не по фактическому содержанию гумуса в почвах, а на основании усредненных данных для отдельных типов землепользования. Для России такой подход является очень грубым допущением, поскольку географическое разнообразие почв, занятых однотипным наземным покровом, чрезвычайно велико и трудно проводить корректное сравнение, например, динамики запасов почвенного углерода в травяных экосистемах лесостепей и полупустынь. Тем не менее, в пределах отдельно взятых субъектов РФ это может быть оправданным, так как позволяет выявлять «горячие точки», требующие особого внимания в отношении мероприятий по поддержанию устойчивого баланса органического вещества почв.

На примере Астраханской области (табл. 3) видно, что максимальная эффективность накопления ПОУ характерна для переходов любых типов землепользования в пахотные земли, а потери в основном связаны с преобразованием природных систем в искусственные (застройка, дорожное строительство).

Таблица 3. Изменение запасов почвенного органического углерода в Астраханской области с 2000 по 2015 гг., % к исходному базовому уровню.

		Типы наземного покрова в 2015 году, %					
		1	2	3	4	5	6
Типы наземного покрова в базовом (2000) году, %	1	1.84	11.45	241.45	-0.46	-18.75	–
	2	-0.70	0.37	22.05	–	-31.09	-20.23
	3	1.64	8.44	0.23	–	-29.46	–
	4	0.40	0.00	0.00	0.03	-19.88	–
	5	–	–	–	–	-2.66	–
	6	–	50.27	36.03	–	0.00	0.09

Сравнительная характеристика регионов субъектов Российской Федерации по показателям НБДЗ. Неоспоримым достоинством данного метода является возможность проводить на единой методологической основе сравнение состояния деградации земель разных регионов России. Индикатор I – доля деградированных земель от общей площади анализируемой территории – рассчитывается исходя из индикаторов II-1, II-2 и II-3 с применением принципа «полного охвата» (“one out, all out”), то есть если хотя бы один из этих трех показателей на конкретной территории ухудшается, то вся территория считается деградированной.

Из данных таблицы 4 видно, что ни в одной из засушливых областей нашей страны не достигнут

показатель НБДЗ, поскольку доля деградированных земель повсюду положительна и составляет от 9 до 67%. Вместе с тем регионы России неодинаковы по состоянию земель и их удобно ранжировать по введенному нами показателю «Индекса НБДЗ», представляющего собой разницу между улучшенными и ухудшенными землями в пределах определенной территориальной единицы (табл. 4). По этому показателю наихудшая ситуация характерна для Волгоградской и Ростовской областей, где велика (более 60%) доля деградированных земель и ничтожно мала (всего около 10%) доля улучшенных земель. В Республиках Калмыкия и Бурятия показатели деградации земель сопоставимы с показателями улучшения, а в Самарской области, Республиках Хакассия и Дагестан доля улучшенных земель примерно в три раза превышает долю деградированных.

Полученные результаты, очевидно, не являются абсолютно достоверными, и как отмечалось выше, их необходимо валидировать по данным, собираемым традиционным путем. Однако уже из первого анализа этих материалов можно сделать вывод, что они в целом достаточно адекватно позволяют сравнивать регионы России между собой, а также планировать решения, целевым образом направленные на принятие мер по сохранению земельных ресурсов в «горячих точках» тех или иных регионов.

Таблица 4. Расчет доли деградированных земель в засушливых регионах России, в % от общей площади субъекта РФ за период 2001-2015 гг.

Регион	Баланс деградации земель в Российской Федерации (за период 2000-2015), %			Индекс НБДЗ, %
	Улучшенные земли	Стабильные земли	Ухудшенные земли	
Ростовская область	9.7	22.8	66.9	-57.3
Волгоградская область	11.1	25.9	62.5	-51.5
Республика Крым	9.1	43.8	43.9	-34.9
Краснодарский край	28.0	17.1	50.9	-22.9
Саратовская область	24.5	33.7	41.2	-16.7
Оренбургская область	18.3	48.9	32.5	-14.2
Астраханская область	15.9	55.5	26.3	-10.3
Республика Калмыкия	20.5	58.7	20.4	0.0
Республика Бурятия	21.2	57.8	20.3	0.9
Воронежская область	42.1	22.9	34.7	7.4
Республика Тыва	26.2	58.0	14.8	11.4
Республика Адыгея	43.9	23.0	31.7	12.2
Белгородская область	49.9	15.4	34.4	15.5
Забайкальский край	31.5	53.7	14.4	17.1
Алтайский край	27.6	62.1	9.6	18.0
Самарская область	42.5	41.9	14.8	27.8
Республика Хакассия	37.5	52.3	9.6	28.0
Республика Дагестан	42.9	43.6	10.8	32.2

Заключение

Понимание того, что количество земельных ресурсов, имеющих в распоряжении человечества ограничено, а также повышение осведомленности о темпах, с которыми мы их истощаем и уничтожаем, сформировало абсолютно новую парадигму в публичном дискурсе: деградация земель является сложной глобальной проблемой, однако существуют закономерности, благодаря которым организованное мышление и новые творческие решения смогут обеспечить более эффективное

использование земельных ресурсов в будущем.

В настоящее время подходы к оценке и мониторингу деградации земель и опустынивания вышли за рамки субъективных обзорных исследований. В наши дни стало возможным с использованием современных средств дистанционного зондирования Земли и применения стандартизированных индексов получать независимые комплексные оценки состояния природных экосистем и их динамики. Эти возможности, реализованные в формате расчетного модуля для получения информации о динамике доли деградированных земель, использованы для оценки обширной и географически разнообразной территории Российской Федерации и сравнения состояния ее засушливых регионов на единой методологической основе.

Для развития этого метода и получения адекватных и точных оценок показатели динамики состояния земель должны быть рассчитаны в максимально возможной степени с использованием сопоставимых и стандартизированных национальных источников данных. Только при их отсутствии или в качестве дополнения к национальным данным рекомендуется использовать глобальные источники данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. 2019 / Ред. Г.С. Куст. М: Перо. 235 с.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)». 2018 / Ред. А.И. Бедрицкий. М.: ГЕОС. 285 с.
- Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция A/RES/70/1., принятая ГА ООН 25 сентября 2015 года. 2019 [Электронный ресурс https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf (дата обращения 26.01.2019)].
- Почвы в биосфере и жизни человек. 2012 / Ред. Г.В. Добровольский, Г.С. Куст, В.Г. Санаев. М: Московский государственный университет леса. 584 с.
- Cowie A.L., Orr B.J., Castillo V.M., Chasek S.P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maronh M., Metternicht G.I., Minelli S., Tengberg A.E., Walter S., Welton S. 2018. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality // *Environmental Science & Policy*. Vol. 79. P. 25-35.
- European Space Agency's Climate Change Initiative Land Cover. 2015. European Space Agency. [Электронный ресурс <http://www.esa-landcover-cci.org> (дата обращения 21.02.2019)].
- Gio Global Land Component. 2015. Lot I «Operation of the Global Land Component». JRC Contract. Product user manual. Leaf Area Index. Issue I2.2 [Электронный ресурс http://icdc.cen.uni-hamburg.de/fileadmin/user_upload/icdc_Dokumente/COPERNICUS_LAND/GIOGL1_PUM_LAIV1_I2.20.pdf (дата обращения 21.02.2019)].
- IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (5 Volumes). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme / Eds. H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe. Japan: IGES [Электронный ресурс <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> (дата обращения 07.02.2019)].
- ISRIC. 2017. International Soil Reference and Information Centre [Электронный ресурс <http://www.isric.org> (дата обращения 21.02.2019)].
- Kust G., Andreeva O., Lobkovskiy V., Telnova N. 2018. Uncertainties and policy challenges in Implementing Land Degradation Neutrality in Russia // *Environmental Science & Policy*. Vol. 89. P. 348-356.
- Orr B.J., A.L. Cowie, V.M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G.I. Metternicht, S. Minelli, A.E. Tengberg, S. Walter, and S. Welton. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn. Germany. 129 p.
- Trends.Earth. 2018. Conservation International [Электронный ресурс <http://trends.earth/docs/en> (дата обращения 21.02.2019)].
- UNCCD. 2016. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 20 p.
- UNSD. 2016. E/CN.3/2016/2/Rev.1. Report of the Inter-Agency Expert Group on Indicators of the achievement of the Sustainable Development Goals [Электронный ресурс <http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2015/03/150320-SDSN-Indicator-Report.pdf> (дата обращения 21.02.2019)].
- World Atlas of Desertification. 2018 / Eds. M. Cherlet, C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer, G. von Maltitz. Luxembourg Publication Office of the European Union. 256 p.

ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2020 г. О.С. Безуглова*, О.Г. Назаренко**, И.Н. Ильинская***

*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1. E-mail: lola314@mail.ru

**Государственный центр агрохимической службы «Ростовский»
Россия, 346735, Ростовская обл., Аксайский р-н, пос. Рассвет, ул. Институтская, д. 2
E-mail: nazarenkoo@mail.ru

***Федеральный Ростовский аграрный научный центр
Россия, 346735, Ростовская обл., Аксайский р-н, пос. Рассвет, ул. Институтская, д. 1
E-mail: izidaar1@mail.ru

Поступила в редакцию 06.05.2019. После доработки 26.05.2019. Принята к публикации 15.06.2019.

Ростовская область, расположенная на юго-западе Европейской части Российской Федерации, характеризуется умеренно-континентальным климатом с неустойчивым характером увлажнения, сухим и жарким летом, сравнительно малоснежной зимой, постоянными ветрами. Климатические и геоморфологические особенности территории, а также высокая сельскохозяйственная освоенность земельных ресурсов определяют развитие ряда деградационных процессов. Цель исследований – произвести сравнительную пространственно-временную оценку деградационных процессов, способствующих развитию процесса опустынивания в Ростовской области. Основу исследований составил анализ литературных и архивных данных в ретроспективе, использование расчетных природно-экологических показателей, дифференцированных с учетом преобладающих в почвенном покрове типов почв и степени природной увлажнённости агроландшафта в соответствии с экологической устойчивостью и гидротермическим режимом территории. Установлено, что для Ростовской области характерны следующие процессы: аридизация климата, агроистощение, развитие эрозии. Это позволяет оценить ее как территорию с риском потенциального опустынивания.

Ключевые слова: дегумификация, агроистощение, эрозия, аридизация, опустынивание.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10090

Ростовская область расположена на юго-западе Европейской части Российской Федерации, и занимает обширную территорию в речном бассейне Нижнего Дона, ее площадь составляет 100.9 тыс. км². Она расположена преимущественно в двух почвенных зонах – степной зоне обыкновенных и южных черноземов и сухостепной зоне темно-каштановых и каштановых почв. Область в целом характеризуется относительно благоприятным умеренно-континентальным климатом, но с неустойчивым режимом увлажнения и ветрами, господствующими на всей территории как зимой, так и летом. Среднегодовое количество осадков составляет 424 мм. Их количество уменьшается в направлении с запада (650 мм) на восток (400 мм). Однако для сухостепной зоны, занимающей восточную часть области, характерен очень засушливый и жаркий климат. Осадков здесь выпадает 415-320 мм в год, годовой гидротермический коэффициент составляет 0.55-0.65. Сумма активных температур – 3200-3400°, продолжительность безморозного периода – 175-185 дней. Зима, как правило, малоснежная, умеренно холодная, лето жаркое. С апреля по октябрь бывает 90-100 дней с суховеями. Геоморфологически территория области представляет собой равнину, расчлененную долинами рек и балками. Максимальная высота над уровнем моря – 253 м БС. С севера на территорию области заходит Среднерусская возвышенность, на западе возвышаются восточные отроги Донецкого кряжа, в юго-восточной части области степной ландшафт оживляют Сальско-Манычская гряда и Ергенинская возвышенность. Все это определяет простор для развития эрозионных процессов и дефляции. Таким образом, основные предпосылки опустынивания в Ростовской области – аридизация климата, устройство поверхности и

нерациональное природопользование.

Цель исследований – произвести в Ростовской области сравнительную пространственно-временную оценку деградационных процессов, способствующих развитию процесса опустынивания.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – почвенный покров Ростовской области. Методы исследования: анализ литературных и архивных данных в ретроспективе с использованием расчетных природно-экологических показателей, дифференцированных с учетом преобладающих в почвенном покрове типов почв и степени природной увлажнённости агроландшафта в соответствии с экологической устойчивостью и гидротермическим режимом территории.

При расчете биоклиматического потенциала мы учитывали комплекс климатических факторов, определяющих возможную биологическую продуктивность (Шашко, 1985), в расчете почвенно-экологических индексов и коэффициентов экологической стабильности ландшафта использовали ряд параметров, учитывающих дополнительные факторы, влияющие на состояние почвенного покрова: сумму активных температур, коэффициент увлажнения, коэффициент континентальности, плотность почвы (Карманов, 1985; Агроэкологическая оценка ..., 2005; Масютенко и др., 2013).

Результаты и их обсуждение

С учетом приоритетности причин развития опасных видов деградации акцент сделан на анализе изменений климатических показателей в сторону аридизации и на элементах нерационального использования почв.

Аридизация климата. Климатические изменения в сторону усиления аридности характерны для Северо-Восточной и Восточной природно-сельскохозяйственных зон (ПСЗ). За 50 лет (с 1961 по 2010 гг.) в изменениях годовых минимумов температуры приземного воздуха, как и годовых максимумов, выявлена тенденция к их увеличению: общее потепление составило 0.34°C в среднем за год. Наиболее существенным оно было в холодный период (Комплексная оценка ..., 2012). Преобладала тенденция к уменьшению числа морозных дней (в среднем около 4 дней/10 лет) и числа дней с аномально низкими температурами. Число же дней с аномально высокими температурами увеличивается в среднем на 2 дня за 10 лет, достигая максимума на юго-востоке – 4 дня/10 лет. Анализ изменения количества осадков за 1966-2009 гг. показал, что наряду со значительной межгодовой изменчивостью на территории Ростовской области наблюдается небольшое увеличение годовых сумм осадков. Мониторинг состояния почв на основе почвенно-экологических индексов дает возможность осуществлять количественную оценку почвенно-экологических условий территорий (табл. 1).

Величина K_u свидетельствует, что все ПСЗ области характеризуются недостаточным увлажнением, Восточная зона по величине этого показателя близка к оценке «скудное увлажнение». Условия – засушливые и очень засушливые. Биоклиматический потенциал – высокий, а для двух зон – Приазовской и Южной – очень высокий. Но по величине КЭСЛ состояние всех ПСЗ области оценивается как нестабильное. Наиболее явно нестабильность выражена в Южной и Приазовской зонах. Восточная зона – наиболее неблагоприятная в Ростовской области по опустыниванию и имеет самый высокий КЭСЛ (0.82), хотя и в пределах той же нестабильной градации. Обусловлено это тем, что при расчете КЭСЛ пастбища относят к средостабилизирующим угодьям, именно поэтому в Восточной зоне, где сосредоточено 42% естественных пастбищ, получено наивысшее значение. Но, как известно, в аридных условиях деградационные процессы на пастбищах выражены даже в большей степени, чем в пахотных угодьях (Сушко, 2014). Оценка по величине почвенно-экологического индекса (Карманов, 1985) показала, что только две зоны – Приазовская и Южная – имеют удовлетворительное экологическое состояние территорий, остальные четыре ПСЗ, где преобладают эрозионные процессы, характеризуются как территории с напряженным экологическим состоянием. Бонитет почв в различных ПСЗ изменяется от 32 в Восточной зоне до 67 в Южной. Наибольшая цена балла бонитета почв за 10 лет (76.8 кг) отмечена в Восточной зоне и характеризуется как очень высокая, что свидетельствует о её потенциальных возможностях. Корреляционно-регрессионный анализ показал, что как почвенно-экологический индекс, так и цена балла почвенного бонитета зависят от коэффициента экологической стабильности ландшафта, с

повышением которого возрастают их значения, достоверность аппроксимации составила 0.927 и 0.795 соответственно.

Таблица 1. Почвенно-экологические параметры природно-сельскохозяйственных зон (ПСЗ) Ростовской области, среднемноголетние данные.

ПСЗ	Преобладающий тип почвы, индексы	Показатели среднемноголетние					
		Ку	БКП	ПЭИ	КЭСЛ	Б	Цб
Северо-Западная	Ч _ю	0.52	3.16	43.6	0.58	54	48.7
Северо-Восточная	Ч _ю , К ₃	0.49	3.24	40.5	0.53	49	54.7
Приазовская	Ч _о ^к	0.52	3.46	49.7	0.38	62	59.3
Центральная орошаемая	Ч _ю , Ч _о	0.43	3.12	41.0	0.68	53	64.3
Южная	Ч _о ^к	0.52	3.57	55.2	0.20	67	61.2
Восточная	К ₂ , К ₁ с С _н	0.39	2.96	29.5	0.82	32	76.8

Примечания к таблице 1: Ку – годовой коэффициент увлажнения, БКП – биоклиматический потенциал территории, ПЭИ – почвенно-экологический индекс, КЭСЛ – коэффициент экологической стабильности ландшафта, Б – бонитет почвы, Цб – цена балла бонитета (кг), Ч_ю – черноземы южные, Ч_о – черноземы обыкновенные, Ч_о^к – черноземы обыкновенные карбонатные, К₃ – темно-каштановые; К₂ – каштановые, К₁ – светло-каштановые почвы, С_н – солонцы.

Элементы нерационального использования почв. Наиболее общий показатель антропогенного воздействия на агроландшафты – распаханность территории. Доля природных ландшафтов в общей площади территории является одной из важных экологических характеристик сбалансированной территориальной организации. В степной зоне она должна составлять не менее 35-40%, в оптимуме – до 60%, в Ростовской области этот показатель равен 25.6% (Шишкина, 2017).

Из основных потенциальных рисков деградации земель и опустынивания для Ростовской области наиболее опасными являются нерациональное землепользование, ирригация и использование пастбищ, эрозия и дефляция. Наиболее общий характер имеет нерациональное землепользование, выражающееся через уменьшение продуктивности почвы. При этом сам факт снижения урожайности может отсутствовать, иметь неявный характер или даже может наблюдаться рост урожайности отдельных культур (рис. 1а). Прямая корреляция с внесением минеральных удобрений и содержанием элементов питания в почве может отсутствовать или носить непостоянный характер (рис. 1б).

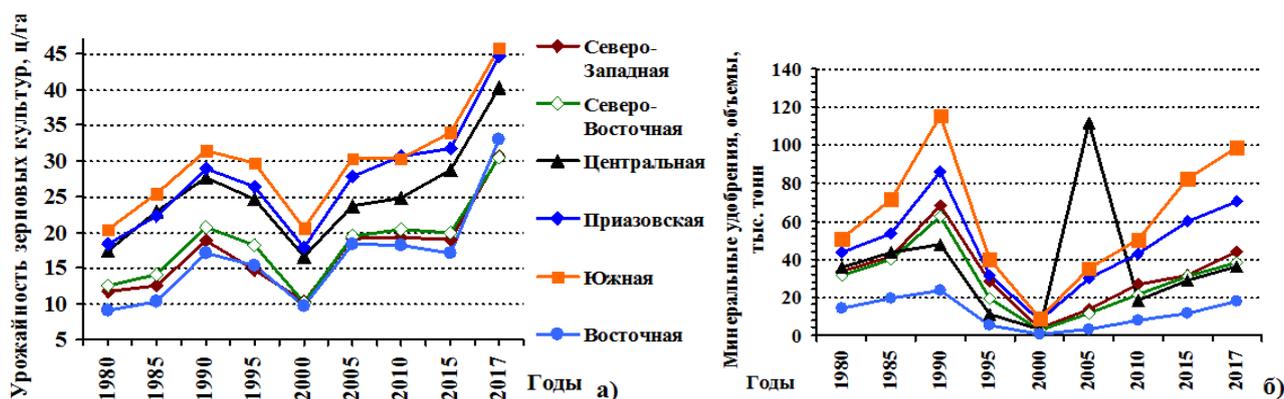


Рис. 1. Урожайность зерновых культур (а) и динамика внесения минеральных удобрений (б) по ПСЗ Ростовской области.

Происходит это из-за введения в сельскохозяйственную практику сортов новой селекции, отличающихся более высокой продуктивностью. Так, на рисунке 1б отражена динамика внесения минеральных удобрений по ПСЗ Ростовской области. Четко видна зависимость урожайности зерновых от объема внесенных удобрений с 1980 по 2000 годы. В последующие годы корреляция

между этими показателями отсутствует по причине появления новых высокоурожайных сортов. В связи с этим актуальность комплексной оценки агроистощения почв даже возрастает, так как с повышением урожайности растёт и вынос питательных элементов из почвы. Как следствие, нерациональное землепользование сопровождается дегумификацией, агроистощением (снижением содержания доступных элементов питания), деградацией физических свойств почв. Необходимы критерии оценки для каждого из этих видов деградации.

Дегумификация. Гумус является интегральным показателем плодородия почв, отсюда правомерность использования его содержания в бонитировочных и мониторинговых работах. Материалы восьми туров агрохимического обследования (1976-2017 гг.) показали, что среднее содержание гумуса в почвах Ростовской области составляет 3.1%, что соответствует градации слабогумусированных почв (рис. 2а). Чётко прослеживается динамика снижения содержания гумуса за последние 40 лет в Северо-Западной, Восточной, Северо-Восточной сельскохозяйственных зонах на 16.21 и 13% соответственно. Однако, начиная с 2000-х годов, содержание гумуса в пахотном слое находится в определённом равновесии, характерном для биоклиматических и производственных условий Ростовской области. Поэтому содержание гумуса в пахотном слое почв не может быть использовано как надёжный индикатор деградации, так как на определенном этапе он не меняется. Есть ещё один аспект. Методика подготовки образца к определению содержания органического вещества (ГОСТ 26213-91, 1993) предписывает удаление неразложившихся корней, однако активное введение поверхностных технологий обработки почвы обуславливает формирование неглубокой корневой системы, тончайшие волоски которой не видны невооруженным глазом. И вся эта масса с непрогнозируемым участием в гумусообразовании попадает в результат аналитического определения. Этот факт ставит под сомнение итоги оценки масштабов дегумификации и обязывает искать другие индикаторы процесса агроистощения.

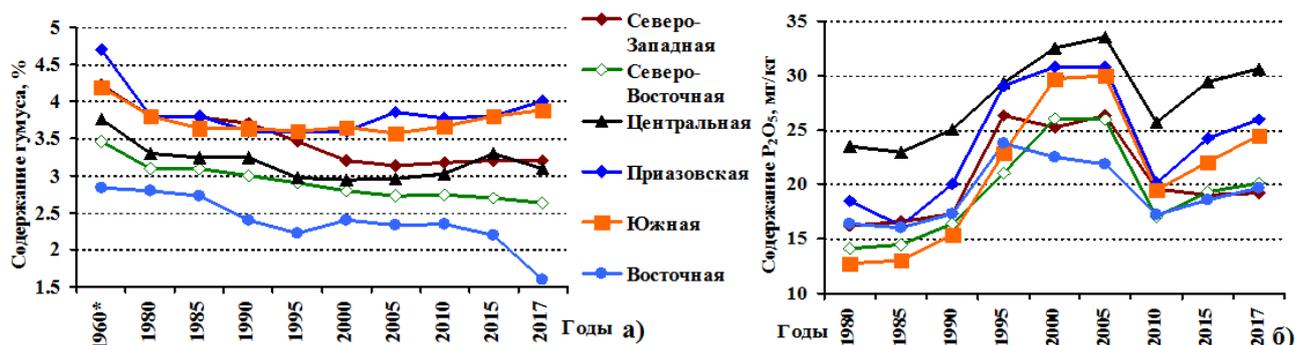


Рис. 2. Динамика содержания гумуса (а) и подвижного фосфора (б) в пахотном слое почв по ПСЗ Ростовской области.

Для Ростовской области надёжным индикатором агроистощения почв является средневзвешенное содержание подвижного фосфора в пахотном слое (рис. 2б). Агроистощение как фактор опустынивания активно прогрессировало после экономического спада начала 90-х годов, что и отражают кривые динамики фосфора в пахотном слое по ПСЗ. При этом следует учитывать, что активное пополнение запасов подвижного фосфора в почве следовало за равномерным по всем зонам наращиванием применения минеральных удобрений в 80-е годы прошлого столетия (рис. 2б). При резком снижении объемов применения минеральных удобрений первой отреагировала Восточная зона, что обусловлено относительно более низким природным уровнем плодородия каштановых почв по сравнению с черноземами. Если для других зон еще на протяжении 10 лет до 2005 года содержание подвижного фосфора увеличивалось, то для Восточной зоны снижение этого показателя началось уже в 1996 году.

В полном соответствии с ростом внесения минеральных удобрений начиная с 2000 года наблюдается восстановление обеспеченности почв подвижным фосфором. Скорость восстановления разная и напрямую зависит от объемов применения минеральных удобрений: процесс идет медленнее в Восточной, Северо-Восточной и Северо-Западной ПСЗ Ростовской области. По данным агрохимического обследования, проведенного в Ростовской области в 2018 году, площадь

агроистощенных почв с очень низкой и низкой обеспеченностью подвижным фосфором достигает 1154.8 тыс. га, что составляет 20% от площади пашни. Средневзвешенное содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте, определяемое с периодичностью один раз в пять лет, дополненное информацией о площадях с очень низкой и низкой обеспеченностью этим элементом, можно использовать для объективной оценки процессов агроистощения почв сельскохозяйственных угодий.

Следующим фактором, снижающим продуктивность почв, является *физическая деградация*, являющаяся следствием побочных явлений и нарушений земледельческих технологий: разрушения структуры и сложения почв, ухудшения водно-физических свойств. Эти явления наиболее развиты в Северо-Восточной и Восточной ПСЗ, в целом можно констатировать, что физическая деградация обусловлена низкой культурой земледелия. Площадь переуплотненных почв, по данным корректировочных почвенных обследований, проводившихся Южным научно-исследовательским и проектно-изыскательским институтом по землеустройству до 1992 года, когда в состав работ в обязательном порядке включался такой показатель, как определение равновесной плотности почв, составляла в конце прошлого столетия от 0.258 млн. до 0.3 млн. га (Агеев и др., 1996). В дальнейшем масштабные исследования для оценки развития процесса переуплотнения на территории Ростовской области не проводились. Необходимо возобновление этих работ, причем не только на полигонах, но и при сплошном обследовании.

Огромные риски деградации почвенного покрова в Ростовской области несет *водная эрозия* (плоскостная и линейная) и *дефляция*. Ветровой перенос почвенных частиц характерен для Южной и Восточной ПСЗ, водная эрозия весьма развита в Приазовской, Северо-Западной и Северо-Восточной природно-сельскохозяйственных зонах. И эрозия, и дефляция усиливаются на фоне низкой культуры земледелия и в связи с нарастанием аридности климата. Однако масштаб и динамику развития этих деградационных процессов невозможно отследить без сплошного корректировочного почвенного обследования. Для территории Ростовской области такое обследование абсолютно необходимо, так как доля эродированных в той или иной степени почв на начало 90-х годов уже составляла 4.5 млн. га (Агеев и др., 1996). В современных источниках фигурируют различные цифры: от 9.2 млн. (Доклад ..., 2010) до 5.05 млн. га (Доклад ..., 2016). Понятно, что за 6 лет территории, подверженные процессам эрозии, к тому же при отсутствии каких-либо мероприятий по устранению последствий деградации, не могли уменьшиться, следовательно, ни объективной оценки масштабов явления, ни прогноза его развития на этих данных строить невозможно. До 2002 года наблюдения за развитием деградационных процессов вели на постоянно действующих полигонах, заложенных во всех почвенно-климатических зонах Ростовской области (Экологический вестник ..., 2003). Эти исследования показали, что за период с 1996 по 2002 год интенсивность роста овражно-балочных систем значительно возросла. Подъем уровня грунтовых вод составил в среднем 8 см или 5.3% от исходного значения, наблюдалось увеличение степени минерализации, количество гумуса уменьшилось по всему профилю от 2.5 до 14.7 относительных процентов. Однако по окончании Программы в 2002 году финансирование мониторинговых работ на полигонах было прекращено.

Еще один мощный фактор деградации – *нерациональная ирригация*, сопровождающаяся потерей ирригационных вод из коллекторно-дренажной сети и подъемом уровня грунтовых вод, что в свою очередь вызывает подтопление и заболачивание, вторичное засоление, вторичное осолонцевание, вторичное ощелачивание, а при крайней степени проявления этих процессов – опустынивание. Корректность этих показателей также зависит от системы наблюдений, ее периодичности, объема, методического единства. Наиболее уязвимая по этому виду деградации территория – Центральная орошаемая ПСЗ.

В Восточной ПСЗ развивается еще один вид деградации, являющийся прямым предшественником опустынивания территории. Это *нерациональное использование пастбищ*, проявляющееся снижением продуктивности сбитых пастбищ. В 2013 году вышло постановление Правительства Ростовской области № 55 «Об установлении нормативов (норм) нагрузки сельскохозяйственных животных на единицу пастбищ на территории Ростовской области» (2013), которое регламентировало нагрузку сельскохозяйственных животных на 1 га площади пастбищ в размере 0.2 (условных голов). Реальная нагрузка в 2018 году составила от 0.25 до 0.66 условных голов на гектар в зависимости от административного района. Величина нормализованного индекса аридности (NIA), рассчитанного по данным за 2005-2015 гг., позволяет оценить крайние восточные

районы области – Заветинский и Ремонтненский – как среднеаридные ($NIA=0.62-0.65$), остальные районы этой зоны относятся к умеренно аридным (Абдуллаева, Безуглова, 2016). За период 1975-2000 гг. вся Восточная ПСЗ оценивалась как умеренно аридная (Землякова, 2003), что свидетельствует о нарастании засушливости по сравнению с последней четвертью прошлого века. На таком фоне превышение нагрузки сельскохозяйственных животных на 1 га пастбищ является прямым доказательством их нерационального использования.

Заключение

Реальность угрозы опустынивания в Ростовской области доказывается изменением ряда показателей, традиционно используемых с целью диагностики деградационных процессов. В частности, величина Ку свидетельствует, что все ПСЗ области характеризуются недостаточным увлажнением, Восточная зона по величине этого показателя близка к оценке «скудное увлажнение», и ряд ее территорий оценивается по индексу аридности как среднеаридные, остальные – как умеренно аридные. Аридизация климата, выражающаяся в увеличении числа дней с аномально высокими температурами, отмечается и в других природно-сельскохозяйственных зонах. Агроистощение, диагностируемое по общему снижению содержания гумуса, уменьшению содержания подвижного фосфора и высокому проценту сельскохозяйственных площадей с низкой и очень низкой обеспеченностью фосфором и высокая эрозионноопасность рельефа Ростовской области позволяют оценить ее как территорию с риском потенциального опустынивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдуллаева Р.З., Безуглова О.С. 2016. Изменение климата как фактор опустынивания на юго-востоке Ростовской области. Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием // Труды института геологии Дагестанского НЦ РАН. Вып. 67. С. 29-31.
- Агеев В.Н., Вальков В.Ф., Чешев А.С., Цвылев Е.М. 1996. Экологические аспекты плодородия почв Ростовской области. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ. 199 с.
- Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. 2005. Методическое руководство / Ред. В.И. Кирюшин, А.Л. Иванов. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 784 с.
- ГОСТ 26213-91. 1993. Почвы. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс <http://docs.cntd.ru/document/1200023481> (дата обращения 10.03.2019)].
- Доклад о состоянии и использовании земель в Ростовской области в 2009 году. 2010. Ростов-на-Дону: Управление ФСГРКиК по Ростовской области. 49 с.
- Доклад о состоянии и использовании земельных ресурсов в 2015 году. 2016. Ростов-на-Дону: Управление ФСГРКиК по Ростовской области. 51 с.
- Землякова Е.В. 2003. Экономико-географические аспекты аридизации территории (на материалах Юга России). Дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону. 188 с.
- Карманов И.И. 1985. Оценка плодородия почв // Методика комплексной агрономической характеристики почв. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева. 74 с.
- Комплексная оценка тенденций изменения климатических условий на среднесрочный (до 2020 года) и долгосрочный (до 2050 года) периоды для предупреждения возможных негативных последствий для окружающей среды и экономики области. Итоговый отчет о выполнении работ по госконтракту. 2012. Ростов-на-Дону – СПб.: Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Воейкова. 58 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 ВНИИЗиЗПЭ РАСХН. 50 с.
- Постановление Правительства Ростовской области № 55 «Об установлении нормативов (норм) нагрузки сельскохозяйственных животных на единицу пастбищ на территории Ростовской области». 2013 [Электронный ресурс <https://www.donland.ru/documents/5680> (дата обращения 15.03.2019)].
- Сушко К.С. 2014. Эколого-экономические последствия антропогенных трансформаций пастбищных почв юго-востока Ростовской области // Управление экономическими системами. № 2 [Электронный ресурс <http://uecs.ru/uecs62-622014/item/2783-2014-02-25-07-22-46> (дата обращения 07.03.2019)].
- Шашко Д.И. 1985. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат. 247 с.
- Шишкина Д.Ю. 2017. Экологическая оценка динамики сельскохозяйственных земель Ростовской области // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Серия: Естественные науки. № 3-1. С. 122-128.
- Экологический вестник Дона. 2003. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2002 году. Ростов-на-Дону. 291 с.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ОПУСТЫНИВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ¹

© 2020 г. К.Н. Кулик, В.И. Петров, В.Г. Юферев, Н.А. Ткаченко, С.С. Шинкаренко

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97.

E-mail: natulyat@mail.ru, kulikkn@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 01.07.2019. Принята к публикации 04.07.2019.

Анализ динамики современного опустынивания Северо-Западного Прикаспия с использованием геоинформационных технологий и аэрокосмических данных показал, что площадь деградированных и опустыненных земель в регионе увеличивается за счет усиления антропогенного фактора (пастбищная нагрузка). При относительно стабильном количестве животных возрастает роль климатических факторов, что приводит к увеличению скорости и амплитуды изменений площади очагов опустынивания, как в сторону уменьшения, при достаточном увлажнении, так и увеличения в засушливые годы. Значительное влияние оказывают пожары, которые приводят не только к снижению проективного покрытия, но и к обеднению видового состава растительности. Изучение и картографирование рельефа позволило установить пространственно определенные геоморфологические особенности территории как фактора, влияющего на локальное увлажнение, и соответственно на устойчивость экосистем и возможность фитомелиорации.

Ключевые слова: геоинформационные системы, анализ, опустынивание, деградация, картографирование, моделирование, космические снимки, очаги, площадь, корреляция, регрессия, фитомелиорация.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10091

За исторический период опустынивание Северо-Западного Прикаспия имело несколько всплесков, вызванных как климатогенными, так и антропогенными факторами (Гаель, 1973). Особенно сильное развитие антропогенное опустынивание получило в 60-80-х годах XX века. В 1986 г. здесь имелось свыше 700 тыс. га подвижных песков, возникших в основном за счет перевыпаса и распашки легких почв под посевы сельскохозяйственных культур, что привело к катастрофическому положению социально экономической сферы региона (Кулик, Петров, 2016; Генеральная схема ..., 1986; Национальная программа ..., 1995; Субрегиональная национальная ..., 1999).

В результате нерационального использования территории увеличивается площадь открытых, лишенных полностью растительности участков, что усугубляется неравномерностью и недостаточным количеством осадков для восстановления фитоценозов (Виноградов и др., 2000; Золотокрылин и др., 2016; Деградация земель и опустынивание ..., 2019). Геоинформационный анализ пространственно-временного развития опустынивания ландшафтов является современным инструментом сбора координатно-определенной (геокодированной) информации о площади и скорости такого процесса (Kulik et al., 2013).

Территория Северо-Западного Прикаспия относится к молодой морской равнине, с относительно

¹ Работа выполнена в рамках Госзадания НИР № 0713-2019-0001 «Провести теоретическое и геоинформационное моделирование, мониторинг, прогноз процессов деградации компонентов агролесоландшафтов на основе аэрокосмических исследований в лесостепной, степной и пустынной зонах и разработать способы управления противодеградационными агролесомелиоративными технологиями предотвращения опустынивания земель, повышения их плодородия и формирования экологического каркаса» и при финансовой поддержке РФФИ и Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-340003 "Научное обоснование и закономерности изменения состояния ландшафтов экотона Малый Сырт – Прикаспийская низменность в Волгоградском Заволжье".

маломощными почвами. Толщина гумусированного слоя не превышает 30 см на каштановых и светло-каштановых почвах, значительно меньше на бурых полупустынных почвах и практически отсутствует на песках. Гранулометрический состав в основном песчаный и супесчаный, в северной части территории исследований до тяжелосуглинистого, с преобладанием по площади песков, что позволяет отнести ландшафты Северо-Западного Прикаспия к категории неустойчивых. Любое экстремальное воздействие на почвенный покров может привести к нарастанию процессов деградации и к опустыниванию территорий (Zanozin et al., 2014; Kulik et al., 2013, Ткаченко, 2014).

В связи с этим геоинформационный анализ процессов деградации и опустынивания в Северо-Западном Прикаспии, использование моделирования и картографирования для оценки связи этих процессов с величиной и типом воздействия является актуальным (Виноградов, 1998; Kulik et al., 2013; Шинкаренко, 2019).

Материалы и методы

Методика исследования деградации и опустынивания ландшафтов Северо-Западного Прикаспия основана на разработанных способах оценки состояния компонентов ландшафтов (Патент RU № 2327107 ..., 2008; Патент № 2265839 ..., 2005). Особое значение для исследований имеют геоинформационные методы, обеспечивающие возможность выявления деградации и опустынивания в пространственно-временном аспекте, с учетом природных и антропогенных воздействий (Saparov et al., 2015; Виноградов и др., 2000; Pernaг, Klobucar, 2003). Процессы деградации и опустынивания, изменения состояния ландшафтных объектов Северо-Западного Прикаспия обусловлены сезонной сменой климатических условий, годовой цикличностью увлажнения, изменением среднегодовой и сезонной суммы температур, а также антропогенным воздействием, связанным как с использованием естественных ресурсов, так и с трансформацией территории. Выявление уровня деградации базируется на анализе изображения аэро- и космоснимков и последующем сравнении изменений состояния рельефа, почв и растительности с фотозталонами, получаемыми при фотографировании участков с уровнем деградации, установленных при полевых исследованиях. Математическое описание основано на геоинформационном анализе пространственно-временных изменений объектов исследований. Регрессионный анализ динамических процессов изменения состояния ландшафтов обеспечивает разработку уравнений по адекватной математической функции с определенным уровнем доверительной вероятности и, соответственно, определение коэффициентов аппроксимации. Моделирование пространственного изменения площади деградированных и опустыненных участков осуществляется с использованием полученных уравнений, при этом разрабатывают геоинформационные картографические слои, отражающие прогноз состояния ландшафтов. Составление прогноза деградации ландшафтов основано на методах пространственно-временного подобия, экологических рядов и др. Прогноз деградации сложных ландшафтных систем основан на изучении пространственно-временной статистики, выявлении закономерностей и установлении динамики изменений их компонентов (Виноградов, 1998; Салугин, Кулик, 2006).

Объекты исследований выбираются в соответствии с поставленной задачей: выявление закономерностей деградации и опустынивания ландшафтов на территории Республики Калмыкия, Волгоградской и Астраханской областей. При камеральных исследованиях проводится дешифрирование и анализ изображений ландшафтов, при этом территории, занятые природными засоленными почвами и солончаками, считаются ограниченно используемыми и отнесены к классу сильно деградированных пастбищ (Дворкин, 2011).

Источниками данных дистанционного зондирования для анализа ландшафтов являются мультиспектральные снимки, получаемые со спутников Ресурс П, Канопус, Spot 6, Worldview 3, Sentinel 2, Landsat-8, и данные глобальных цифровых моделей рельефа (Центр научных данных ..., 2018; SRTM ..., 2018).

Опустынивание территории Северо-Западного Прикаспия проявляется как в уменьшении проективного покрытия, так и в снижении видового разнообразия травяной растительности, в том числе деструкции почвенного покрова и образовании очагов открытых, подвижных песков. Установлено, что проективное покрытие определенного фитоценоза с достаточной вероятностью определяет его продуктивность, что дает возможность применять аэрокосмоснимки для оценки продуктивности пастбищ. Ошибка определения проективного покрытия при этом не превышает 5% (Виноградов, 1998).

Исходные показатели деградации земель, выраженные в гектарах, были преобразованы в форму индексов деградации (ИД), отражающих по 100-бальной шкале пораженность территории с той или иной формой деградации. Каждой форме деградации соответствует свой индекс деградационной опасности: эродированность – ИДэ, дефлированность – ИДд, засоление – ИДз. Индексы деградации рассчитывались по следующей формуле В.И. Петрова (Генеральная схема ..., 1986; Национальная программа ..., 1995; Субрегиональная национальная ..., 1999):

$$ИД = 100 \cdot \frac{\text{пораженная часть территории, га}}{\text{общая площадь территории, га}} \quad (1),$$

Суммарный ИД территориальной единицы (поля, хозяйства, района и т.д.) является средневзвешенной суммой ИД пашни, пастбищ, сенокосов и других входящих в нее угодий. В свою очередь ИД каждого вида угодий складывается из индексов их деградации от дефляции, эрозии и засоления. При совместном проявлении нескольких форм деградации (например, дефляция+засоление) состояние угодий отражается суммарным индексом, значение которого может превышать 100 баллов.

Для биоклиматической оценки аридности засушливого пояса России использован нормализованный индекс аридности NIA, позволяющий соотносить его возрастание по мере усиления засушливости территорий и определяющийся по формуле:

$$NIA = 1 - \frac{\sum_{I-IX} P}{5.12 \sum_{IV-X} t + 306} \quad (2),$$

где $\sum_{I-XII} P$ – годовая сумма атмосферных осадков, $\sum_{IV-X} t$ – сумма среднемесячных температур с апреля по октябрь (Агролесомелиорация, 2006).

Обсуждение и результаты

Картографирование опустынивания с целью определения ареалов распространения деградации земель, форм и степени его проявления, а также оценки последствий необходимо для визуализации и обоснования основных направлений и выбора путей последующей реализации мер в генеральных схемах и проектах, ориентированных на нейтрализацию опустынивания.

Территория Северо-Западного Прикаспия относится к Восточно-Европейско-Прикаспийской провинции северной зональной катены опустынивания (Виноградов, 1998). Это наиболее крупная (общая площадь 657.9 тыс. км²) и самая опустыненная часть аридного пояса России, а также самая опустыненная территория России и Европы. Здесь сосредоточено около 13 млн. га сельскохозяйственных угодий со средневзвешенным средним индексом суммарной деградации, составляющим 54.5 балла. В таблице 1 приведены площадь и средневзвешенные средние индексы суммарной деградации территории Республики Калмыкии, Астраханской и Волгоградской областей. Меридиональный градиент суммарного индекса деградации сельскохозяйственных угодий в европейской части аридного пояса составляет 2 балла на 100 км.

Таблица 1. Площадь и средневзвешенные средние индексы суммарной деградации сельхозугодий.

Административная географическая единица	Площадь угодий, тыс. га		ИДс
	общая	опустыненная	
1. Средне и сильно аридные территории (NIA>0.60)			
Республика Калмыкия	5659.4	4867.1	86.0
Астраханская область	2807.7	1374.9	49.0
2. Умеренно аридные территории (NIA=0.40-0.60)			
Волгоградская область	7308.4	3797.0	52.0

В Республике Калмыкия и Астраханской области (NIA>0.60) сосредоточены земли сильного и среднего природного и вторичного засоления, приуроченные к Прикаспийской низменности – равнинам с абсолютными отметками местности ниже 30 м, почвами преимущественно легкого

гранулометрического состава, а также к берегам рек и водохранилищ, освоенным под орошение. Дефляцией охвачены главным образом юго-восточные районы Калмыкии и Астраханской области. Средневзвешенные индексы деградации сельхозугодий в Калмыкии 86.0 балла, а в Астраханской области всего лишь 49.0 балла, что объясняется огромной демпфирующей ролью Волго-Ахтубинской поймы, принимающей и гасящей избыточную антропогенную нагрузку с прилегающих земель области. В районах Калмыкии (Лаганском, Черноземельском и Яшкульском) на площади около 3.2 млн. га индекс суммарного опустынивания изменяется от 120 до 160 баллов, а на долю сильно и средне деградированных угодий приходится 46-69% затронутой опустыниванием территории. В Волгоградской области (NIA=0.40-0.60) индекс суммарной деградации 52 балла.

Современное состояние земель на этой территории свидетельствует о снижении устойчивости экосистем к деградации по мере аридизации климата. Меридиональный градиент суммарного индекса деградации сельскохозяйственных угодий в европейской части аридного пояса составляет 2 балла на 100 км.

Формы деградации, такие как засоление, эрозия и дефляция, определяются комплексом природных и антропогенных факторов. Для аридных территорий особенно важными из числа природных факторов являются соотношение среднегодовых осадков с годовой эвапотранспирацией, гранулометрический состав почвогрунтов, рельеф местности. К важнейшим антропогенным факторам относятся характер и интенсивность аграрной деятельности. Сочетание этих факторов определило довольно четкую дифференциацию сельскохозяйственных угодий аридного пояса по основным формам деградации земель в пространственной динамике.

На долю земель, затронутых засолением, эрозией и дефляцией, приходится 38.5, 21.6 и 39.9% сельхозугодий соответственно (табл. 2). Астраханская область практически не затронута эрозией, но здесь нет недефлированных территорий. На рассматриваемой территории дефляцией затронута более 3 млн. га сельхозугодий, что составляет 28.6% площади деградированных земель. Крупный ареал современного опустынивания сформировался в начале 70-х годов XX века на пастбищах в Республике Калмыкия. В 1976-1986 гг. скорость дефляционного опустынивания там достигала 40-60 тыс. га/год. В настоящее время лавинообразная деградация подавлена методами комплексной фитомелиорации, но влияние экологической катастрофы неблагоприятно отразилось на агроэкологии и социально-экономической сфере прилегающих маргинальных земель (Петров, Власенко, 2017).

Состояние каждого вида угодий определяется многими природными и антропогенными факторами и изменяется в обширном диапазоне, о чем свидетельствует значительное варьирование (от 19 до 101.5 балла) суммарных индексов их деградации (табл. 3, рис. 1).

Таблица 2. Формы и площадь деградации сельхозугодий.

Административная географическая единица	Засоление	Эрозия	Дефляция	Всего
	тыс. га			
Республика Калмыкия	2423.5	516.1	2469.8	5409.4
Астраханская область	1012.4	0.7	498.3	1511.4
Волгоградская область	1436.4	2220.5	87.3	3744.2
Итого:	4872.3	2737.3	3055.4	10665.0

Таблица 3. Средние средневзвешенные суммарные ИД основных видов сельхозугодий.

Административная единица	Пашня	Пастбища	Сенокосы
	балл		
Республика Калмыкия	35.7	101.5	29.8
Астраханская область	46.0	77.2	45.8
Волгоградская область	35.8	61.7	19.0

При геоинформационном анализе особенностей рельефа определены пространственные данные, представленные на рисунке 2.

Для изучения особенностей изменения абсолютных высот рельефа, связанных с изменением литологических и почвенных условий в ландшафтах исследуемой территории, на основе цифровой модели местности SRTM 3 была выбрана линия основного направления и построен профиль (рис. 3). Характеристики профиля: координаты начальной точки – 50° 11' 20" с.ш., 46° 30' 24" в.д., начальная высота – 18 м н.у.м. БС; координаты конечной точки – 45° 01' 55" с.ш., 46° 58' 37" в.д., конечная высота – -28 м н.у.м. БС; длина профиля – 600.6 км; перепад высот от начальной до конечной точки – 46.5 м, минимальная высота – -30.2 м н.у.м. БС; максимальная высота – 30 м н.у.м. БС, азимут – 176° 17' 41", средний угол склона – 0°, максимальный угол склона – 6.4°.

В результате анализа изменения высот (Н, м) по длине профиля (х, км) было разработано уравнение регрессии (3) и получены коэффициенты аппроксимации:

$$H = \frac{65.3}{e^{(x+7.87)^2/261121}} - 40.8 \quad (3),$$

коэффициент $R^2=0.989$.

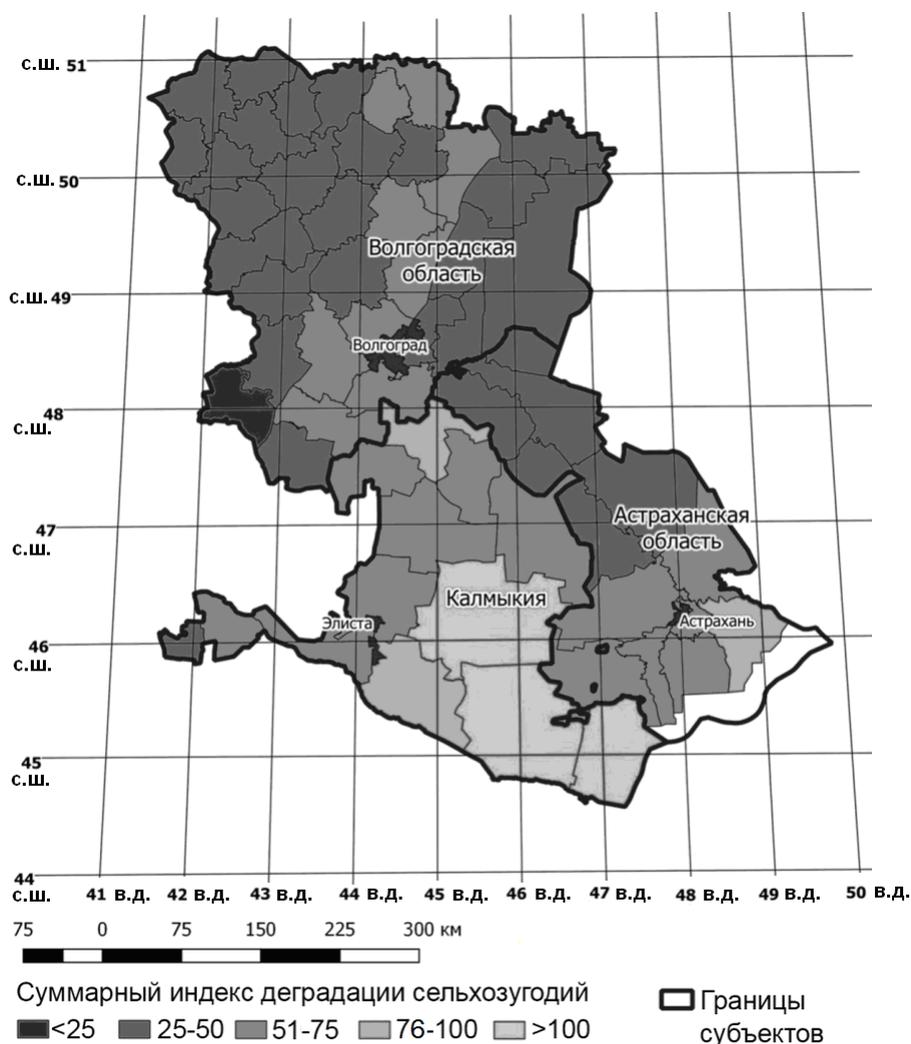


Рис. 1. Суммарные индексы деградации сельхозугодий.

Полученная модель показывает меридиональное изменение абсолютной высоты с севера на юг и дает возможность установить связанное с этой высотой изменение стандартных значений атмосферного давления и температуры, геоморфологические особенности территории как фактора, влияющего на локальное увлажнение и, соответственно, на устойчивость экосистем.

Результаты исследования по цифровой модели рельефа пространственного распределения

понижений от западин до лиманов обеспечивают возможность реализации фитомелиорации как каркаса восстановления растительных сообществ на опустыненных землях.

Карты пространственного распределения и площади деградированных земель составлялись с использованием различных тематических модулей на платформе геоинформационного программного комплекса QGIS путем классификации изображений разновременных космоснимков с учетом почвенных и геоморфологических условий и типов ландшафтов.

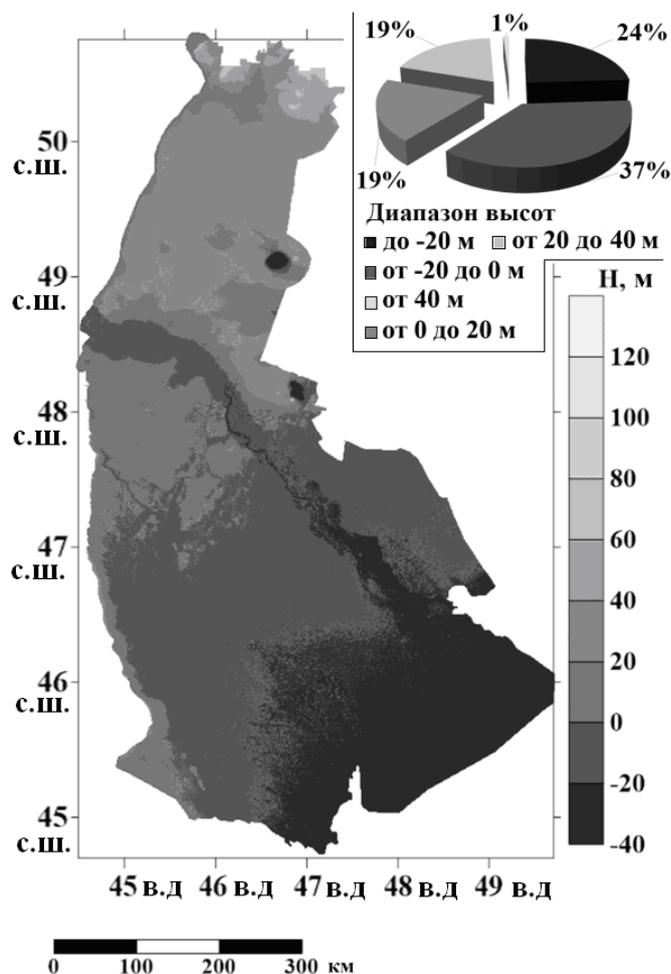


Рис. 2. Изолинейная карта диапазонов высот и распределение площади на территории исследований по диапазонам высот.

распространяется на значительные пространства. Замещение сообществ полукустарничков (*Artemisia* spp., *Kochia prostrata* (L.) Schrad. и др.) на выгоревших участках эфемерами (*Poa bulbosa* L., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski и др.) и дерновинными злаками (*Stipa* spp., *Agropyron* spp.) только способствует увеличению частоты пожаров. Эти растения заканчивают вегетацию в июне и к началу пожароопасного периода представляют собой легковоспламеняемый горючий материал (Шинкаренко, 2019).

Для примера рассмотрена территория Астраханской области. В результате проведенных полевых исследований, эталонирования почв и растительности по космическим снимкам были уточнены дешифровочные признаки деградации и опустынивания территории и актуализированы карты уровней деградации (рис. 4). Установлено, что площадь очагов опустынивания в 2018 году составила 1043 тыс. га.

На рисунке 5 приведены результаты многолетних наблюдений изменения площади очагов

Пожары являются одним из факторов, влияющих на функционирование аридных ландшафтов и опустынивание земель. Геоинформационный анализ пожаров в Северном Прикаспии в летний период 2018 года позволил установить (Шинкаренко, 2019) 171 степной пожар общей площадью 6.7 тыс. км², из которых 2.6 тыс. км² пришлось на Волгоградскую область (109 пожаров), 2.5 тыс. км² на Астраханскую (39 пожаров) и 1.6 тыс. км² на Калмыкию (27 пожаров). В Астраханской области, волгоградском Заволжье и Калмыкии большая часть выгоревших площадей затронута относительно небольшим количеством очень крупных пожаров (средняя площадь степных пожаров в 2017 году составила примерно 140 км²). Это связано со спецификой хозяйственного использования территории. Площадь очагов природных пожаров возрастает от степных к пустынным ландшафтам. В условиях тотальной распашки степей пожары на участках естественной растительности возникают только по различным неудобьям и имеют относительно небольшую площадь. В пустынных и полупустынных ландшафтах преобладает пастбищное природопользование, а на территориях с низкой плотностью населения и животноводческих хозяйств огонь

опустынивания и изменения поголовья овец и коз, установлена тенденция к дальнейшему увеличению площади очагов опустынивания: продолжается рост площадей с проективным покрытием менее 10%, а характер этого процесса соответствует прогнозной модели.

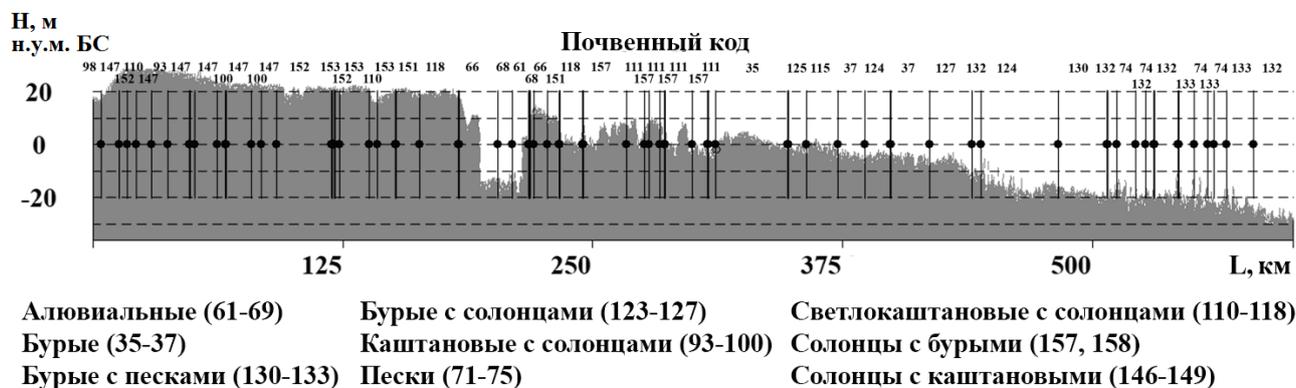


Рис. 3. Профиль рельефа на территории исследований и распределение почвенных контуров по профилю.

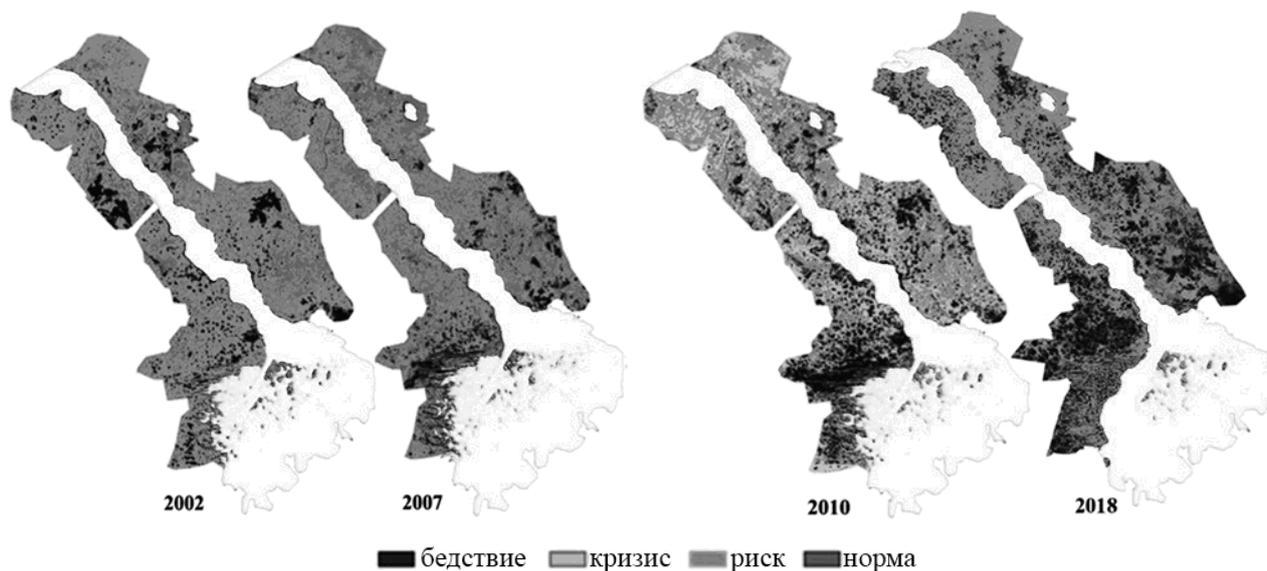


Рис. 4. Динамика деградации и опустынивания ландшафтов Астраханской области.

Разработанная в 2010 году модель, представленная уравнением (4), дает адекватные значения прогноза при описании изменения площади деградации и опустынивания ландшафтов. Вследствие этого разработанную модель можно использовать для прогноза деградации ландшафтов Астраханской области:

$$S_b = \frac{316000}{0.531 + 285 \cdot e^{-0.807t}} + 415882 \quad (4),$$

где S_b – площадь деградированных участков (Бедствие), га; t – время от начала исследований, год. Среднеквадратическая ошибка (RMSE) составляет 1441.

Динамику процесса можно оценить по скорости изменения площади опустынивания ($V_{сб}$) при дифференцировании уравнения (4):

$$V_{сб} = \frac{72678420}{(0.531 + 285 \cdot e^{-0.807t})^2} \quad (5).$$

Эти уравнения позволяют прогнозировать динамику опустынивания ландшафтов. Коэффициент корреляции $r=0.74$.

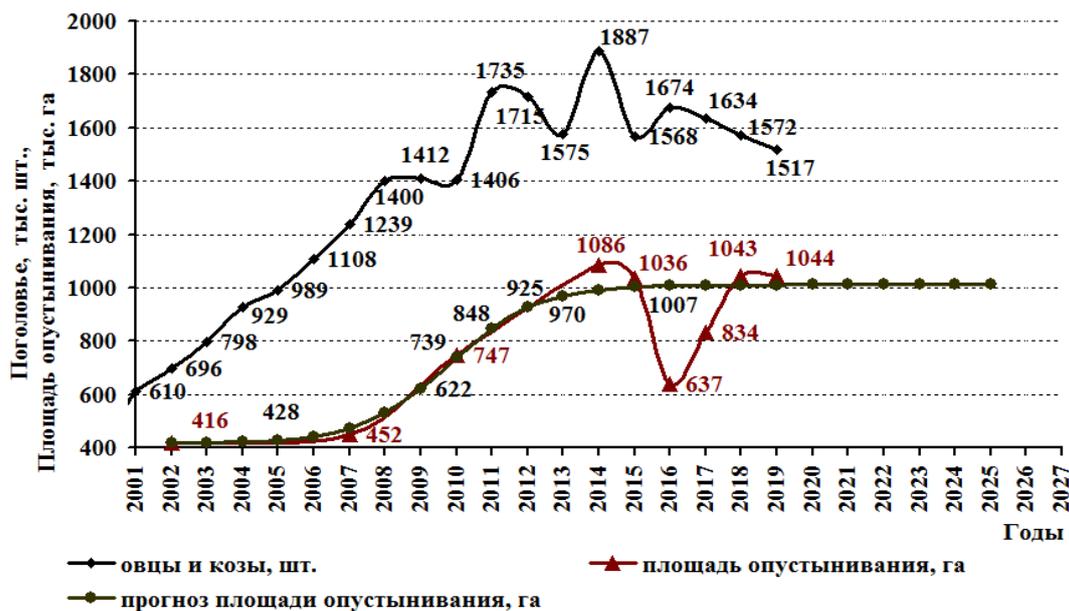


Рис. 5. Изменение площади опустынивания ландшафтов и поголовья скота в Астраханской области с 2002 по 2018 гг.

Заключение

Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия показал, что в современных условиях идет снижение устойчивости экосистем по мере аридизации климата. Меридиональный градиент суммарного индекса деградации сельскохозяйственных угодий в европейской части аридного пояса составляет 2 балла на 100 км. Формы деградации земель определяются комплексом природных и антропогенных факторов. Особенно важными из числа природных факторов являются соотношение среднегодовых осадков с годовой эвапотранспирацией, гранулометрический состав почв, рельеф местности, а к важнейшим антропогенным факторам относятся характер и интенсивность аграрной деятельности. Определение состояния ландшафтов с использованием геоинформационных технологий и аэрокосмических данных, выявление изменения площади очагов опустынивания на территории Астраханской области показало, что площадь деградированных и опустыненных земель увеличивается при росте поголовья овец и коз с 2002 по 2011 год. При относительно стабильном количестве животных в 2011-2018 годах (среднее количество 1670 тыс. шт., стандартное отклонение 109 тыс. шт.) возрастает роль климатических факторов, что приводит к увеличению скорости и амплитуды изменений площади очагов опустынивания как в сторону уменьшения при достаточном увлажнении, так и увеличения в засушливые годы. Значительное влияние оказывают пожары, которые приводят не только к снижению проективного покрытия, но и к обеднению видового состава растительности, доминированию рудеральных видов, а также формированию сообществ эфемеров (*Poa bulbosa* L., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski и др.) и дерновинных злаков (*Stipa* spp., *Agropyron* spp.), замещающих полукустарнички (*Artemisia* spp., *Kochia prostrata* (L.) Schrad. и др.). Для сохранения качественного состава биоценозов и проективного покрытия особенно в засушливые годы требуется как регулирование пастбищных нагрузок, так и проведение фитомелиоративных работ на территориях, подверженных деградации и опустыниванию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агролесомелиорация. 2006 / Ред. А.Л. Иванов, К.Н. Кулик. Волгоград: ВНИАЛМИ. 746 с.
 Виноградов Б.В. 1998. Основы ландшафтной экологии. М.: Геос. 418 с.
 Виноградов Б.В., Кошель С.М., Кулик К.Н. 2000. Прогнозирование пространственно-временной динамики экосистем методом универсального кригинга // Экология. № 5. С. 323-332.
 Гаяль 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: АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 2 (83)

- ЮжНИИгипрозем. 61 с.
- Дворкин Б.А. 2011. Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel // Геоматика. № 3 (12). С. 14-26.
- 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.
- Золотокрылин А.Н., Гунин П.Д., Титкова Т.Б., Бажга С.Н., Данжалова Е.В., Казанцева Т.И. 2016. Диагностика динамики опустынивания аридных пастбищ Монголии по наблюдениям на ключевых участках и MODIS-данным // Аридные экосистемы. Т. 22. № 3 (68). С. 9-19. [Zolotokrylin A.N., Gunin P.D., Titkova T.B., Bazha S.N., Danzhalova E.V., Kazantseva T.I. 2106. Diagnosis of the Dynamics of Desertification of Arid Pastures of Mongolia by Observation in Key Areas and Modis Data // Arid Ecosystems. Vol. 6. No. 3. P. 149-157].
- 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.
- Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) в Калмыкии. 1995. Элиста: ЮжНИИгипрозем. 179 с.
- Патент RU № 2265839. 2005. Способ определения состояния почвы, подверженной деградации / Ред. К.Н. Кулик, В.Г. Юферев, А.С. Рулев, К.Б. Бакурова. 2004111328/14. Заяв. 13.04.2004; опуб. 10.12.2005. Бюллетень № 34. 1 с.
- Патент RU № 2327107. 2008. Способ определения состояния пастбищ, подверженных деградации / Ред. В.Г. Юферев, К.Н. Кулик, А.С. Рулев, К.Б. Бакурова. 2006112379/28. Заяв. 13.04.2006; опуб. 20.06.2008. Бюллетень № 17.
- Петров В.И., Власенко М.В. 2017. Мелиоративные методы восстановления продуктивности земель Северо-Западного Прикаспия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. № 1 (65). С. 11-16.
- Салугин А.Н., Кулик К.Н. 2006. Математические модели динамики и прогноза эволюции аридных экосистем. Волгоград: ВНИАЛМИ. 180 с.
- Субрегиональная национальная программа действий по борьбе с опустыниванием (НПДБО) для юго-востока европейской части Российской Федерации. 1999. Волгоград: ВНИАЛМИ. 314 с.
- Ткаченко Н.А. 2014. Качественная оценка и картографирование деградации пахотных земель Волгоградского Заволжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 2 (46). С. 21-23.
- Центр научных данных Sentinels (ESA-COPERNICUS). 2018 [Электронный ресурс <https://scihub.copernicus.eu/dhus> (дата обращения 18.12. 2018)].
- 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.
- Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G. 2013. Geoinformation analysis of desertification hotspots in Astrakhan oblast // Arid Ecosystems. Vol. 19. No. 3 (56). P. 184-190. [Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. 2013. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. Т. 19. № 3 (56). С. 91-98.]
- 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. P. 81-113.
- Sapanov M.K., Sizemskaya M.L., Akhmedenov K.M. 2015. Reclamation stages and modern use of arid lands in the northern Caspian region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 188-193.
- SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. 2018 [Электронный ресурс <https://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения 05.12.2018)].
- Zanozin V.V., Iolin M.M., Buzyakova I.V., Zanozin Vic.V. 2014. Aspects of Morphological Structure of Zonal and Intrazone Landscapes of Northern Caspian Region // European Geographical Studies. Vol. 3. No. 3. P. 126-132.

УДК 502.11:911.9 (571.150)

ИЗМЕНЕНИЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОСТИЖЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ¹

© 2020 г. Д.В. Золотов*, Д.В. Черных** **, Р.Ю. Бирюков*, Д.К. Першин** **, Н.С. Малыгина*, А.В. Грибков***

*Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: zolotov@iwer.ru

**Алтайский государственный университет» (АлтГУ)
Россия, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 61. E-mail: chernykh@mail.ru

***Государственный природный заповедник «Тигирекский»
Россия, 656043, г. Барнаул, ул. Никитина, д. 111. E-mail: gribkov2005@list.ru

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 21.06.2019. Принята к публикации 02.07.2019.

В статье описаны существующие климатические тренды для Западной Сибири и Алтайского края; на основе двух глобальных климатических моделей сделаны прогнозы до 2030 г. Проанализирована динамика пахотных и лесопокрытых площадей в Алтайском крае в условиях иссушения климата с привлечением результатов обработки данных дистанционного зондирования и официальной статистики. Рассмотрены направления развития ситуации и меры по достижению нейтрального баланса деградации земель, включающие оптимизацию природопользования, организацию и реорганизацию ООПТ.

Ключевые слова: температура и осадки теплого периода, типы наземного покрова, категории земель, индикаторы нейтрального баланса деградации земель, пахотные земли, леса, особо охраняемые природные территории.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10092

Концепция нейтрального баланса деградации земель (Land Degradation Neutrality, LDN) предложена Конвенцией ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН с 1996 г.) в 2015 г. и включена в Цели устойчивого развития ООН до 2030 г. (задача 15.3). Согласно определению КБО, нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) – «это такое состояние (земель), когда объем и качество 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». Для глобального мониторинга НБДЗ рекомендованы КБО ООН индикаторы двух типов: обобщенный индикатор доли деградированных земель от общей площади страны и три прокси-индикатора – динамика наземного покрова (“land cover”), продуктивность земель (“land productivity”) и запасы органического углерода в почвах (“soil organic carbon”; Куст и др., 2018).

Перечисленные индикаторы весьма просты и удобны для использования неспециалистами в самых широких кругах и позволяют проводить эффективный мониторинг НБДЗ. Проблема применения этих индикаторов в России заключается в том, что в стране отсутствует понятие «деградированные земли» и не ведется их учет, поэтому весьма затруднительно определить основной международный индикатор НБДЗ (Лобковский и др., 2018). Три дополнительных индикатора также не используются официальной статистикой, поэтому имеет место нестыковка международных и российских подходов, связанная с различием традиций учета категорий земель. В России используется классификация земель по 7

¹ Исследование выполнено в рамках Госзадания ИВЭП СО РАН № 0383-2019-0004 «Формирование и развитие природных и природно-хозяйственных систем юга Западной Сибири в условиях глобальных и региональных климатических изменений, антропогенного воздействия», а также при частичной финансовой поддержке Гранта РФФИ №18-45-220001-р_а «Пространственно-временная динамика аквальных и сопряженных с ними геосистем как отражение климатических изменений и природопользования на водосборе (на примере равнинной части Алтайского края)».

основным категориям землепользования, подразделяющимся на подклассы – угодья, но большинство этих категорий неразличимы по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ), так как характеризуются принадлежностью и функциями, а не физиономичными признаками как типы наземного покрова. Наиболее приемлемый путь – это дополнение национальной системы учета земель глобальными индикаторами НБДЗ (Куст и др., 2018).

Кроме универсальных индикаторов каждая страна или регион могут использовать дополнительные с учетом традиций и специфики ситуации. В частности, Росстат предложил Национальный набор показателей, среди которых: лесистость территории, прирост площади особо охраняемых природных территорий (ООПТ) федерального, регионального и местного значения в отчетном году к 2018 году, доля ООПТ федерального, регионального и местного значения в общей площади территории, отношение фактического объема заготовки древесины к установленному допустимому объему изъятия древесины, сокращение объема незаконных рубок по отношению к объему таких рубок в предыдущем году и другие (Лобковский и др., 2018).

В Алтайском крае в настоящий момент концепция НБДЗ последовательно не реализуется и системно не осуществляется сбор информации по глобальным индикаторам, хотя Россия поддержала эту концепцию и является участницей КБО ООН. В настоящей работе мы попытаемся охарактеризовать некоторые проблемы и перспективы реализации концепции НБДЗ в крае с учетом имеющихся данных и климатических трендов.

Потепление на юге Западной Сибири и в Алтайском крае

Современные климатические изменения, ярко проявляющиеся на территории Евразии, в полной мере актуальны и для Западной Сибири. Большинство исследователей, особенно в южных районах, отмечает рост приземных температур воздуха (Shulgina et al., 2011; Degefie et al., 2014; Паромов и др., 2017). Так, по данным метеостанции Барнаул, расположенной на юге Западной Сибири и являющийся одной из старейших метеостанций в Азии (наблюдения ведутся с 1838 г.), был определен более интенсивный, чем в среднем по России, положительный тренд приземных температур воздуха, составивший $+2.86^{\circ}\text{C}/167$ лет или $+1.8^{\circ}\text{C}/100$ лет (Харламова, 2013). В то же время, по данным Росгидромета, в 1976-2018 гг. на этой территории наблюдается наиболее низкий темп роста приземных температур воздуха ($<+0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет) относительно среднего значения по России ($+0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет; Доклад ..., 2019). Существенный вклад в снижение темпов увеличений среднегодовых температур в регионе вносят отрицательные тренды зимнего периода (Доклад ..., 2019), которые отмечались и ранее (Харламова, 2010), а в последние годы тенденция годовых температурных изменений становится менее выраженной, так как большинство рассчитанных трендов является статистически не значимым (Доклад ..., 2019). Учитывая, что высокая изменчивость температур в годовом разрезе является важной особенностью климата в Сибири, есть обоснованные основания ожидать, что температурные аномалии в скором времени будут становиться более выраженными (Groisman et al., 2013).

Количество осадков на большей части Западной Сибири стабильно или характеризуется небольшим увеличением (Shulgina et al., 2011; Degefie et al., 2014; Паромов и др., 2017, Доклад ..., 2019). На юге Западной Сибири отмечается незначительный рост, составивший от 0 до 5% за 10 лет от значений нормы (1961-1990 гг.), тогда как в целом по России этот показатель составил 2.2% за 10 лет (Доклад ..., 2019).

Как отмечалось выше, температурные тренды холодного и теплого периодов на рассматриваемой территории разнонаправлены, а поскольку теплый период имеет большее значение для деградации земель, согласно основным индикаторам, мы остановимся на нем более подробно в пределах временных срезов 2000-2015 и 2015-2030 гг.

Ряд исследователей показал возможность эффективного использования данных реанализа ERA-Interim (Climate Change ..., 2014) для оценки региональных климатических изменений, в том числе и в Западной Сибири (Shulgina et al., 2011). Результаты расчетов изменений приземной температуры воздуха на основе ERA-Interim относительно рекомендованного ВМО (Бюллетень ..., 2018) обновленного базового периода 1981-2010 гг. показали следующее. Значительное увеличение температуры в теплый период (апрель-октябрь) на северо-западе Алтайского края, а именно $+5^{\circ}\text{C}/100$ лет (или $+0.75^{\circ}\text{C}$ за 2000-2015 гг.), в то время как в центральной части края рост не превысил $+1.5^{\circ}\text{C}/100$ лет (или $+0.23^{\circ}\text{C}$ за 2000-2015 гг.), а в южных, пограничных с Казахстаном

территориях вообще отмечалось снижение роста температур до $-1.5^{\circ}\text{C}/100$ лет (или -0.75°C за 2000-2015 гг.) относительно средних значений климатической нормы (1981-2010 гг.). Изменения в режиме осадков для всей территории края показали устойчивую тенденцию к снижению от -0.5 до -2 мм/день/100 лет (или от -0.075 до -0.3 мм/день для 2000-2015 гг.) относительно обновленного базового периода (рис. 1). Также за данный период был отмечен отрицательный тренд разности осадков и испарения (Р-Е), составивший $-50\%/100$ лет (или порядка -15% за 2000-2015 гг.) для большей части территории Алтайского края.

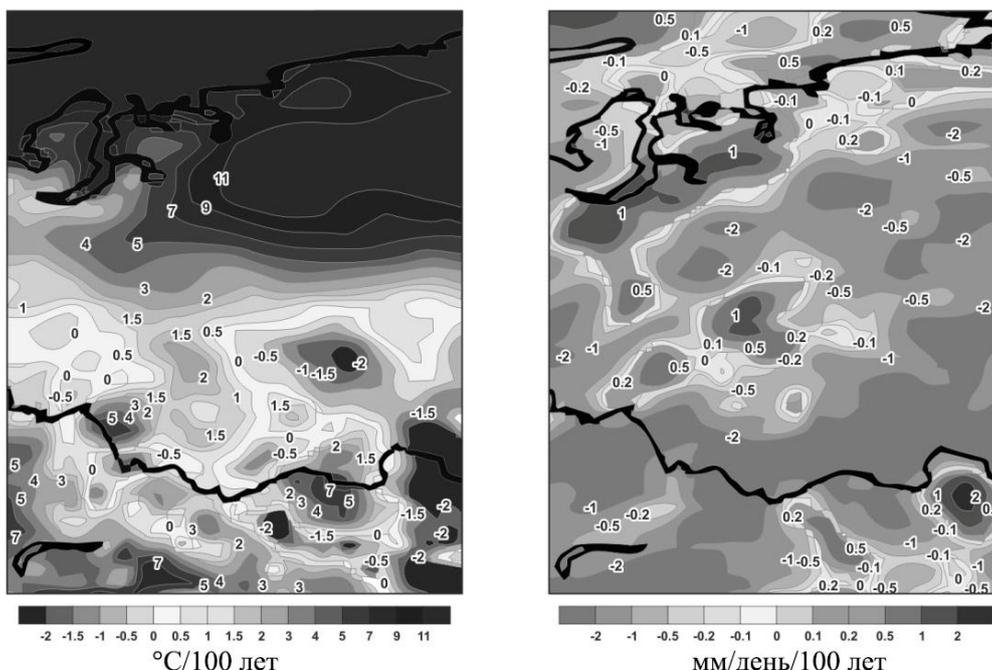


Рис. 1. Изменения температуры и осадков по данным реанализа ERA-Interim (апрель-октябрь 2000-2015 гг.) относительно климатической нормы (1981-2010 гг.).

Результаты расчетов климатических изменений с помощью ансамбля глобальных климатических моделей, включенных в 5-ю фазу международного проекта сравнения объединенных моделей (CMIP5), показали следующее (рис. 2). В рамках сценария изменения содержания парниковых газов и аэрозолей в атмосфере RCP2.6, который подразумевает, что пик выбросов парниковых газов придется на 2010-2020 гг., после чего произойдет спад, в Алтайском крае так же будут отмечаться положительные тренды температур теплого периода, как и для рассматриваемого временного интервала 2000-2015 гг., и составят до $+5^{\circ}\text{C}/100$ лет (или $+0.75^{\circ}\text{C}$ за 2015-2030 гг.). При реализации более «жесткого» сценария RCP8.5, в котором предполагается, что выбросы парниковых газов и аэрозолей продолжают расти в течение столетия, к 2030 г. для края показаны схожие результаты, что и при сценарии RCP2.6, а именно рост температур до $+5^{\circ}\text{C}/100$ лет относительно базового периода (1981-2010 гг.). При прогнозных расчетах изменений количества поступающих осадков, относительно климатической нормы по обоим сценариям наблюдается незначительный рост – до 0.5 мм/день/100 лет (или 0.075 мм/день за 2015-2030 гг.).

Таким образом, по данным реанализа ERA-Interim, в Алтайском крае в 2000-2015 гг. наблюдалось интенсивное повышение температуры теплого периода на фоне интенсивного снижения количества поступающих осадков относительно значений климатической нормы. При этом в ближайшей перспективе (2015-2030 гг.) в крае стоит ожидать рост температур на фоне возможного небольшого увеличения осадков.

Повышение температуры и продолжительности теплого периода увеличивает потребности в воде для эвапотранспирации. Все это в совокупности приводит к более сухим летним условиям, длительным периодам без дождей и повышенной вероятности проявления экстремальных событий, связанных с засухой (Groisman et al., 2013). Частота проявления этих событий в южных районах существенно выше. Это указывает на значительный уровень экологического стресса в степной и

лесостепной зонах (равнинная часть Алтайского края), а также на возможность широтного сдвига зон, что потребует адаптации систем землепользования и ведения хозяйственной деятельности (Degefe et al., 2014). Некоторые из стратегий подобной адаптации, в первую очередь для сельскохозяйственного производства в регионе, были разработаны в рамках ряда международных проектов (Novel methods ..., 2016; Griewald et al., 2017). Однако на данный момент вопрос систематического внедрения новых методов все еще стоит достаточно остро. Кроме того, остаются недостаточно изученными вопросы изменчивости конкретных ландшафтов и экосистем под воздействием климатических изменений, как и возможные тенденции изменений предоставления экосистемных услуг и функций.

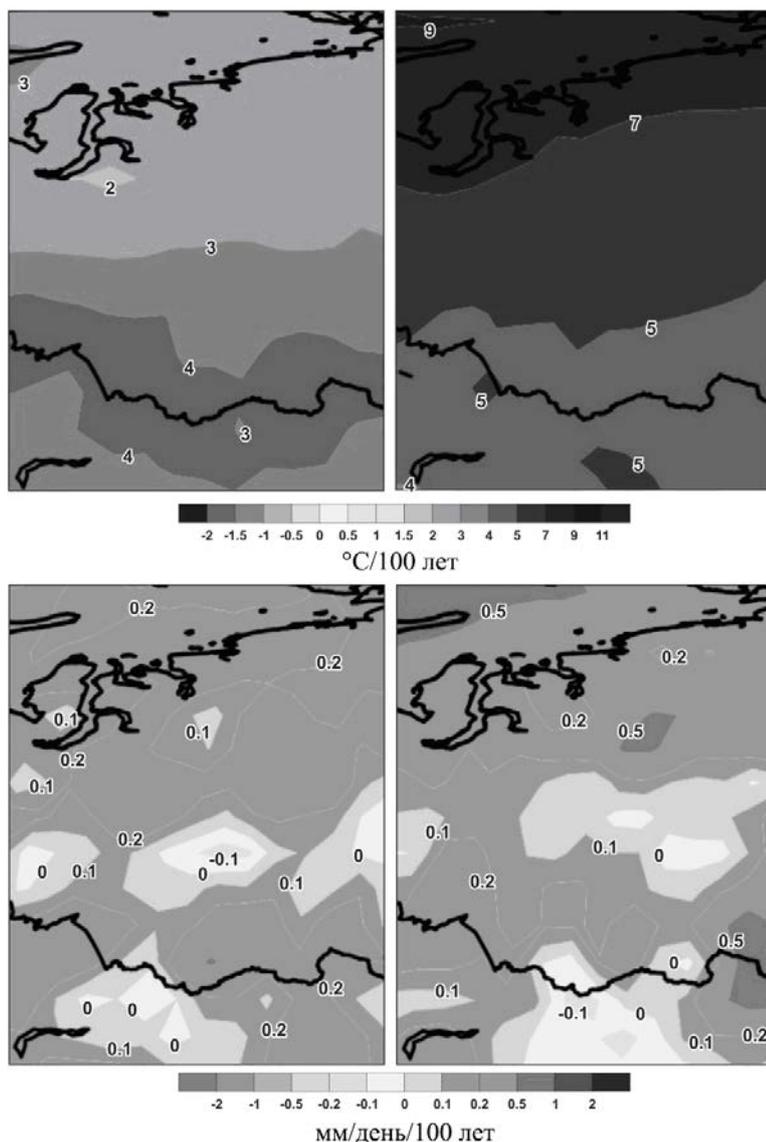


Рис. 2. Расчеты изменений температуры и осадков (CMIP5) для апреля-октября в 2015-2030 гг. относительно климатической нормы (1981-2010 гг.).

рассмотрены четыре типа наземного покрова (рис. 4): водная поверхность озер и прудов (W – от англ. “water body”), сельскохозяйственные угодья (пахотные земли) и населенные пункты (AS – “agriculture/settlement”), леса сомкнутые (F – “forest”), естественные травяные сообщества – луга, степи, водно-болотные угодья (GSW – “grassland, steppe, wetland”). Выбранные модельные объекты наглядно характеризуют ландшафтное разнообразие и различные режимы природопользования в

Тем не менее, следует отметить, что НБДЗ способен смягчить последствия климатических изменений и адаптацию к ним. Снижение темпов деградации земельных ресурсов и их восстановление позволит превратить земли из источника парниковых газов в поглотитель благодаря увеличению запасов углерода в почве и растительности.

Так, почвы способны поглощать 1-3 млрд. т CO₂ в год, а весь земельный сектор – 7-11 млрд. т в год, что составляет примерно одну треть всех выбросов CO₂ в результате использования ископаемого топлива (UNCCD, 2015).

Динамика наземного покрова в Алтайском крае и официальная статистика

На примере репрезентативных модельных объектов Алтайского края и пограничной части Республики Алтай (ключевая территория «Касмала-Барнаулка» – бассейны оз. Горькое, рр. Касмала, Барнаулка; бассейны рр. Большая Речка, Белая, Майма; рис. 3) на основе алгоритма количественного анализа динамики наземных покровов (“land use/land cover change”) за 1975-2016 гг. по разновременным снимкам серии Landsat выявлена пространственно-временная динамика ландшафтов в последние 40 лет (Черных и др., 2018).

регионе. Спецификой исследования, отличающей его от аналогичных зарубежных работ, является то, что пространственно-временная динамика наземных покровов в пределах бассейнов оценена по основным группам ландшафтов.

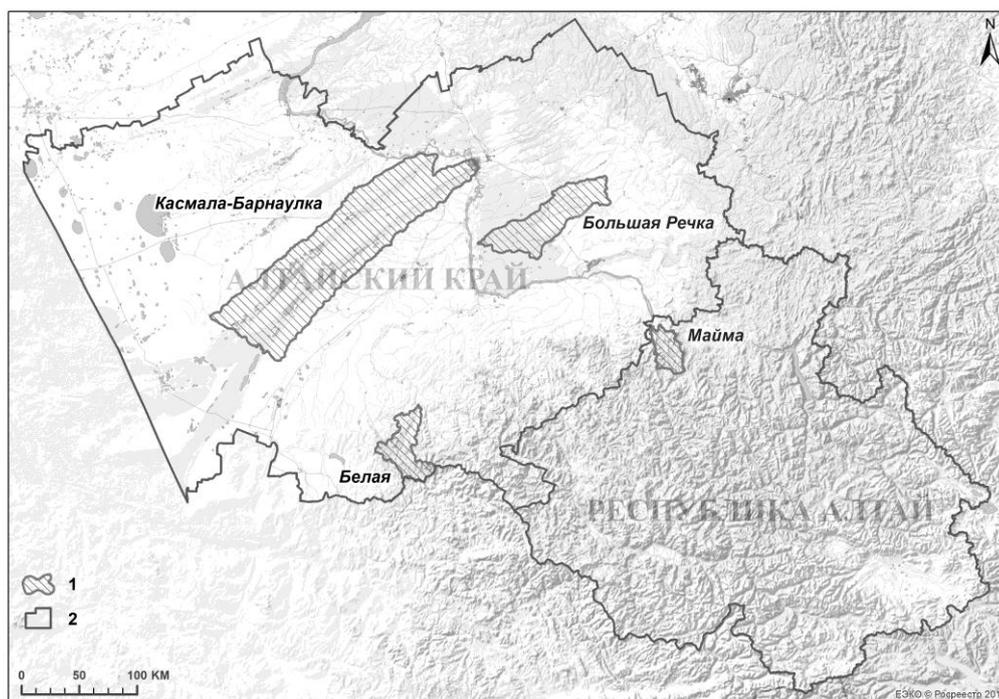


Рис. 3. Положение ключевых бассейнов в пределах Алтайского края и Республики Алтай. Условные обозначения: 1 – модельные бассейны; 2 – граница регионов.

Полученные результаты показали, что динамика ландшафтов за рассматриваемый период имеет специфику в различных природных зонах и подзонах, а также в пределах равнинных и горных территорий. Отмечено, что равнинные бассейны степной и лесостепной зон характеризуются меньшей амплитудой изменений наземных покровов (до 8%) по сравнению с горными (до 14%). Для степной зоны и южно-лесостепной подзоны левобережья р. Оби наиболее свойственно снижение доли пахотных угодий (на 8%) и замена их естественными травяными сообществами (залежами), высокая естественная динамика водных объектов и снижение лесных площадей на 1.5%. В лесостепной зоне правобережья р. Оби наблюдается наименьшая динамика всех типов наземных покровов (до 4%), в частности, пахотные земли здесь сократились на 3%. Горные бассейны с доминированием лесопокрываемых площадей (реки Майма и Белая) характеризуются значительным снижением их доли (до 14%), преимущественно в пользу естественных травяных сообществ в результате хозяйственной деятельности (рубки, пожары).

Согласно оценке (Куст и др., 2018), в России в целом для покрытой снимками территории в 2000-2015 гг. увеличилась лесопокрываемая площадь (“tree-covered areas”) на 40264 км², травяные сообщества и пастбища (“grassland”) на 10699 км², искусственные поверхности (“artificial surfaces”) на 10811 км², другие земли (“other land”) на 749 км²; уменьшились пахотные земли (“cropland”) на 13119 км² и водно-болотные угодья (“wetland”) на 35526 км². Ошибка метода при этом оставила 13878 км², поскольку на эту величину увеличилась покрытая космоснимками площадь России в процессе исследования. С учетом ошибки наиболее достоверно можно судить об увеличении лесопокрываемой площади и уменьшении водно-болотных угодий. По продуктивности для России в целом характерно устойчивое состояние или даже ее увеличение практически по всем типам земель.

Согласно официальной статистике (Единая ..., 2019) посевные площади в Алтайском крае (рис. 5) снизились с 6380 тыс. га в 1990 г. до 5112.14 тыс. га к 2004 г. (на 19.9%), а в 2018 г. они также были близки к минимуму (5134.7 тыс. га). Максимальные площади после 2004 г. наблюдались в 2011 г. – 5487.03 тыс. га или 86% от 1990 г., т.е. произошло устойчивое снижение на 14%, которое может быть

отнесено к деградированным пашням или залежам. Таким образом, данные по пахотным землям ключевых участков, полученные на основе ДЗЗ, отражают ситуацию в Алтайском крае и России в целом.

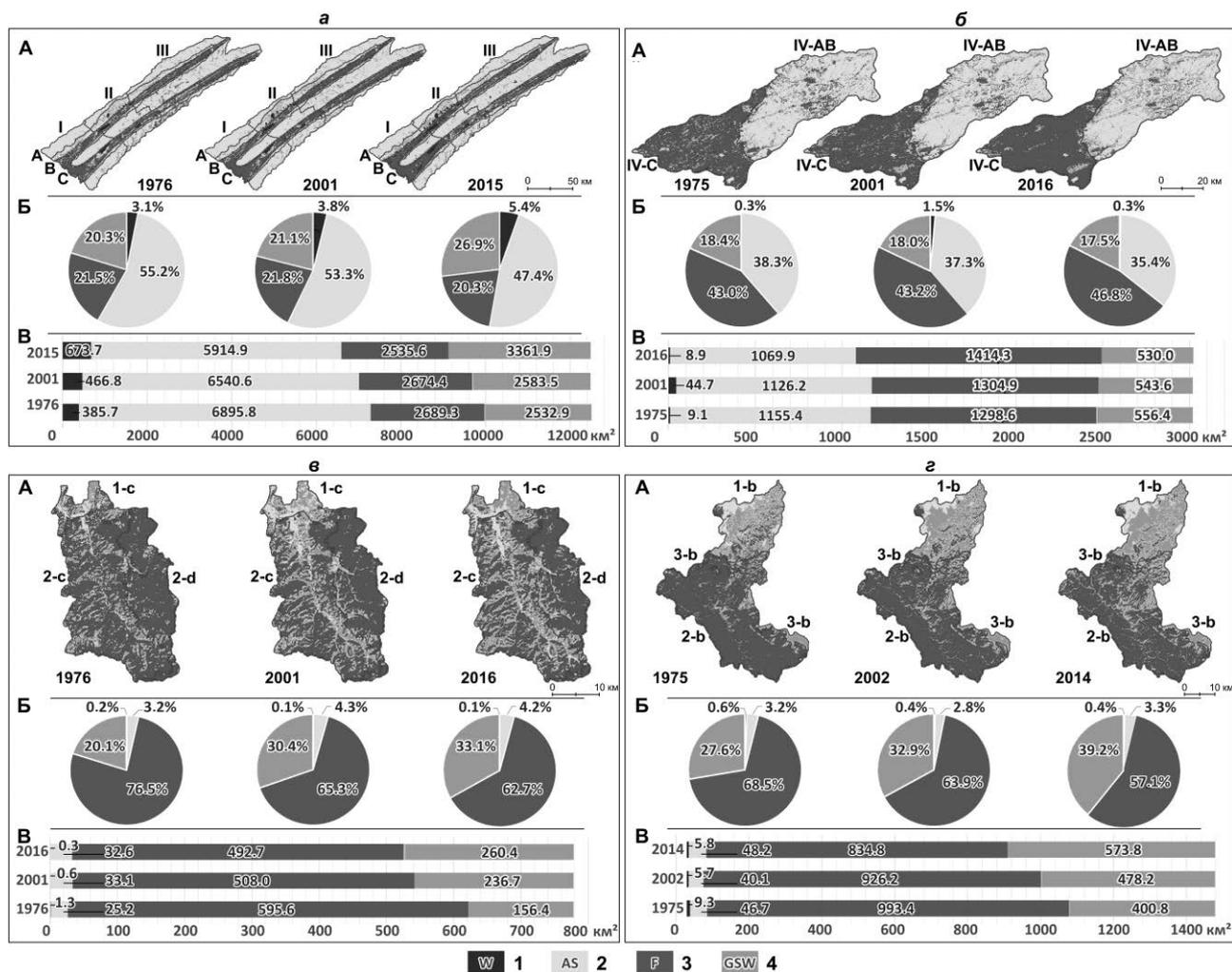


Рис. 4. Пространственное распределение типов наземного покрова (А), их соотношение (Б) и изменение их площадей (В) по ключевым водосборным бассейнам. *Условные обозначения.* Ключевые водосборные бассейны: а – Касмала–Барнаулка, б – Большая Речка, в – Майма, г – Белая. IV-AB, 1-b и т.п. – индекс группы ландшафтов.

Алтайский край относится к малолесным регионам России, лесные экосистемы занимают лишь 28% площади, средняя лесистость – 22.8% (Итоги использования ..., 2019; Лесной план ..., 2016). При этом роль лесов, особенно ленточных боров (например, ключевая территория «Касмала–Барнаулка»), в предотвращении деградации земель, регулировании климатических процессов, уровне поддержания благоприятной окружающей среды в регионе исключительно высока. Согласно официальной статистике, площадь лесов Алтайского края в целом и ленточных боров в частности не только не убывает, но напротив – увеличивается. Так, по данным Лесного плана Алтайского края, площадь земель лесного фонда увеличилась с 2008 года на 91.4 тыс. га за счет уточнения площадей при проведении государственного кадастрового учета земель. Площадь защитных лесов увеличилась в основном за счет перевода из эксплуатационных лесов (на 201.2 тыс. га) и за счет уточнения площадей при проведении кадастрового учета и лесоустройства – всего на 292.6 тыс. га (Лесной план ..., 2016). Следует отметить, что здесь имеет место отмеченная выше нестыковка официальной статистики и наблюдаемой динамики наземных покровов, поскольку лесные земли не на 100% покрыты лесами, а леса на землях сельскохозяйственного назначения не относятся к лесному фонду.

Необходимо отметить, что эксплуатационная нагрузка на ленточные боры в последнее время

возрастает. С принятием Лесного кодекса РФ (2006) и передачей боров в аренду ежегодные объемы рубок возросли за 2008-2009 гг. практически в 2 раза в сравнении с 1995-2000 гг. (Маленко и др., 2012). В настоящее время объемы лесозаготовок достигли 1.3 млн. м³ только по хвойной древесине (Итоги использования ..., 2018).

Одной из причин увеличения объемов рубок в ленточных борах стало снижение установленного возраста рубки для основной лесообразующей породы – сосны обыкновенной. Приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 19.02.2008 г. № 37 возраст рубки был снижен на один класс до 101 года. При этом никакого научного обоснования для такого снижения представлено не было (Эксперты ОНФ ..., 2019).

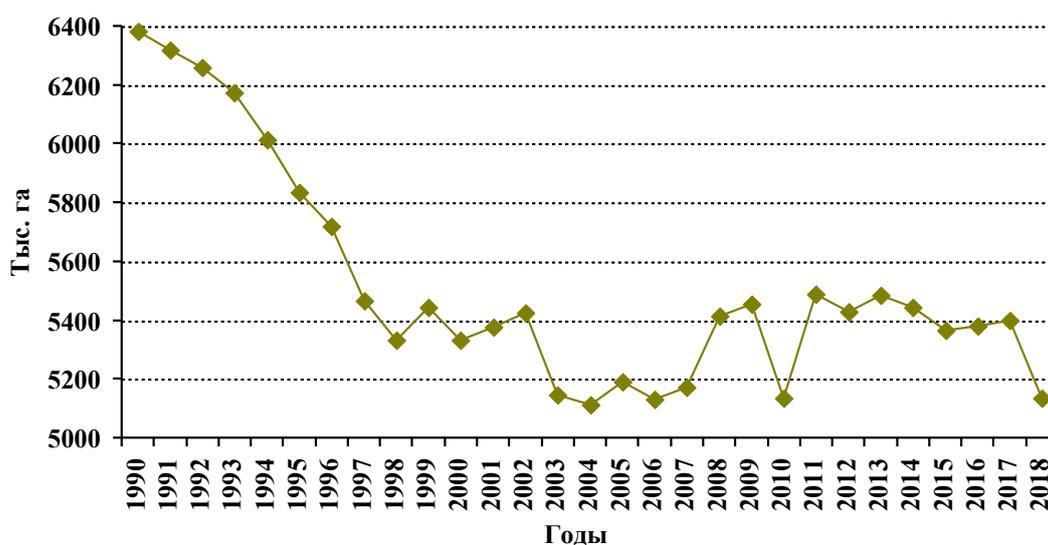


Рис. 5. Посевные площади всех сельскохозяйственных культур в Алтайском крае в 1990-2018 гг. (Единая ..., 2019).

Известно, что сосна обыкновенная живет до 400 лет, а в современных материалах лесоустройства некоторых ленточно-боровых лесничеств приводятся сведения о возрасте сосновых насаждений в 240-250 лет. В соответствии с результатами научных исследований (Бугаев, Косарев, 1988), возраст естественной спелости сосны в ленточных борах составляет 120-170 лет. Следовательно, возраст рубки должен быть установлен не ниже 121 года, и именно такое значение было определено для ленточных боров до 2008 года.

Динамика ООПТ как фактор противодействия деградации земель

Постановлением Администрации Алтайского края № 692 от 07.10.1999 г. было бессрочно продлено действие 26 охотничьих заказников, занимающих общую площадь около 680 тыс. га. С 1998 по 2003 г. в крае были созданы 146 памятников природы общей площадью около 61 тыс. га. В 1999 г. организован Тигирекский заповедник площадью 40.7 тыс. га. Таким образом, к 2003 г. общая площадь ООПТ Алтайского края составила 781.7 тыс. га или 4.65%.

В 2013 г. была принята Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 года (Схема развития ..., 2013). На момент принятия документа общая площадь ООПТ края составляла 795.55 тыс. га или 4.74% от территории края. Согласно схеме, на территории края до 2025 года необходима организация 8 заказников, 1 дендрологического, 1 природного и 2 национальных парков, 23 памятников природы, а также расширение площадей 4 существующих заказников и государственного природного заповедника «Тигирекский». Образование новых и расширение существующих ООПТ позволит увеличить их общую площадь до 1616.6 тыс. га (9.6% от площади края) и сохранить наиболее значимые ключевые природные комплексы (Скачко, 2018). Двукратное увеличение площади ООПТ несомненно будет способствовать реализации концепции НБДЗ в Алтайском крае.

Выводы

1. В Алтайском крае в последние десятилетия наблюдается повышение температуры теплого периода года, которое не компенсируется увеличением осадков, что приводит к иссушению территории (отрицательный тренд разности осадков и испаряемости -15% за 2000-2015 гг.).

2. Сокращение пахотных площадей и увеличение доли залежных земель в последние десятилетия в условиях иссушения климата требует адаптации сельского хозяйства, поскольку, согласно климатическим прогнозам, подобная ситуация сохранится к 2030 г. В частности, необходимо восстановление защитных лесных полос, задернение, подсев ценных кормовых трав и перевод залежей в посевы многолетних трав, сенокосы и пастбища, внедрение ресурсосберегающих технологий обработки почвы, засухоустойчивых сортов и культур.

3. Сокращение лесов в Алтайском крае по результатам обработки материалов ДЗЗ противоречит аналогичным данным по России в целом и официальной статистике Лесного хозяйства края. В условиях иссушения климата необходимо снижение хозяйственной нагрузки на леса, особенно ленточные боры, учет и восстановление всех их доступных площадей, улучшение возрастной структуры.

4. Единственным положительным вкладом в концепцию НБДЗ на территории края является происходящее и планируемое последовательное увеличение площади ООПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бугаев В.А., Косарев Н.Г.* 1988. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул: Алтайское книжное издательство. 311 с.
- Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара. Приземная температура. Разность климатических норм: 1981-2010 и 1961-1990. 2018. М. 6 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. 2019. М. 79 с.
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс <https://fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения 19.05.2019)].
- 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). С. 369-389.
- Лесной план Алтайского края (2019-2028 гг.) // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Алтайского края [Электронный ресурс http://altaipriroda.ru/files/incoming/files/documenti/33_%D1%871.pdf (дата обращения 19.05.2019)].
- Лобковский В.А., Куст Г.С., Андреева О.В.* 2018. Нейтральный баланс деградации земель: возможности интеграции глобальных и национальных индикаторов // Экология. № 3. С. 45-53.
- Маленко А.А., Семенов М.И., Елизаров В.А.* 2012. К вопросу о рубках ухода в ленточных борах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 12 (98). С. 54-57.
- Итоги использования лесов в 2018 году. 2019 // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Алтайского края [Электронный ресурс http://altaipriroda.ru/news/lesopolz/?/2019/01/25/8483_itogi_ispolzovaniya_lesov_v_2018_godu (дата обращения 19.05.2019)].
- Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г.* 2017. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986-2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021-2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 328. № 1. С. 62-74.
- Скачко Е.Ю.* 2018. Развитие сети ООПТ в Алтайском крае // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и техники: сборник научных статей Международной конференции, 13-16 ноября 2018 г. / Ред. Е.Д. Родионов. Барнаул: АлтГУ. С. 1158-1161 [Электронный ресурс <http://elibrary.asu.ru/handle/asu/6367> (дата обращения 19.05.2019)].
- Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий Алтайского края на период до 2025 года (утв. постановлением Администрации Алтайского края от 12.08.2013 № 418, в ред. 10.05.2018 № 158). 2013 // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Алтайского края [Электронный ресурс http://altaipriroda.ru/directions/prirodnye_resursy/oopt/ooptAK/ (дата обращения 19.05.2019)].
- Харламова Н.Ф.* 2010. Долговременные климатические изменения на внутриконтинентальной территории России (Алтайский регион) // Известия Алтайского государственного университета. № 3-1 (67). С. 133-140.
- Харламова Н.Ф.* 2013. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: издательство АлтГУ. 156 с.
- Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Золотов Д.В., Першин Д.К.* 2018. Пространственно-временная динамика ландшафтов водосборных бассейнов Алтайского региона в последние 40 лет // География и природные

ресурсы. № 3. С. 104-115.

- Эксперты ОНФ настаивают на увеличении возраста рубки в ленточных борях Алтайского края. 2019 // Официальный сайт Общероссийского общественного движения «Народный фронт «ЗА РОССИЮ» [Электронный ресурс <https://onf.ru/2019/04/17/eksperty-onf-nastaivayut-na-velichenii-vozhrasta-rubki-v-lentochnyh-borah-altayskogo/> (дата обращения 19.05.2019)].
- Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014 / Eds. R.K. Pachauri, L.A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
- Degefie D.T., Fleischer E., Klemm O., Soromotin A.V., Soromotina O.V., Tolstikov A.V., Abramov N.V.* 2014. Climate extremes in South Western Siberia: past and future // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. Vol. 28. No. 8. P. 2161-2173.
- Griewald Yu., Clemens G., Kamp J., Gladun E., Hölzel N., von Dressler H.* 2017. Developing land use scenarios for stakeholder participation in Russia // Land Use Policy. Vol. 68. P. 264-276.
- Groisman P.Ya., Blyakharchuk T.A., Chernokulsky A.V., Arzhanov M.M., Marchesini L.B., Bogdanova E.G., Borzenkova I.I., Bulygina O.N., Karpenko A.A., Karpenko L.V., Knight R.W., Khon V.Ch., Korovin G.N., Meshcherskaya A.V., Mokhov I.I., Parfenova E.I., Razuvaev V.N., Speranskaya N.A., Tchebakova N.M., Vygodskaya N.N.* 2013. Climate changes in Siberia // Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences / Eds. P.Ya. Groisman, G. Gutman. Dordrecht: Springer Environmental Science and Engineering. P. 57-109.
- Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. 2016 / Eds. L. Mueller, A.K. Sheudshen, F. Eulenstein. Series Title: Springer Water. 760 p.
- Shulgina T.M., Genin E.Yu., Gordov E.P.* 2011. Dynamics of climatic characteristics influencing vegetation in Siberia // Environmental Research Letters. Vol. 6. No. 4. P. 1-7.
- UNCCD. 2015. Land matters for Climate. Reducing the Gap and Approaching the Target. Bonn, Germany. [Электронный ресурс https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2015Nov_Land_matters_For_Climate_ENG_0.pdf (дата обращения 19.05.2019)].

УДК 528.852.8

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ЗАСУШЛИВЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ¹**

© 2020 г. Е.Ж. Гармаев^{**}, А.А. Аюржанаев*, Б.З. Цыдыпов*, Ж.Б. Алымбаева*,
Б.В. Содномов*, С.Г. Андреев*, М.А. Жарникова*, В.С. Батомункуев*, Н. Мандах^{***},
Т.К. Салихов^{****}, А.К. Тулохонов*

**Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 8. E-mail: aayurzhanayev@yandex.ru*

***Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а. E-mail: garend1@yandex.ru*

****Институт географии и геоэкологии АН Монголии
Монголия, 15170, г. Улаанбаатар, ул. Барун Сэлбэ, д. 15. E-mail: n.mandakh@gmail.com*

*****Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Казахстан, 010008, г. Нур-Султан, ул. К. Сатпаева, д. 2. E-mail: salikhov_tk@enu.kz*

******Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина
Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Победы, д. 62. E-mail: tuatai_76@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 15.06.2019. Принята к публикации 28.06.2019.

Изменение климата и антропогенная деятельность на территории Республики Бурятия усугубляют процессы опустынивания и деградации земель. Проведено зонирование территории Бурятии по индексу аридности с использованием климатических данных высокого пространственного разрешения ENVIREM. На основе сопряженного анализа временных серий вегетационного индекса NDVI AVHRR, метеорологических рядов реанализа NCEP/NCAR и натурных полевых исследований проведена количественная оценка долговременных изменений растительного покрова в засушливых и гумидных зонах. Получены карты пространственного распределения линейных трендов NDVI и осадков за 1982-2015 гг. с выделением влажного (1982-1999 гг.) и засушливого периодов (2000-2015 гг.). Во влажный период положительные тренды NDVI наблюдаются почти для всей территории республики, тогда как засушливый период характеризуется значительным ростом отрицательных трендов вегетационного индекса. Положительная корреляция гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова и NDVI наблюдается для межгорных остепненных котловин, отрицательная – для лесных ландшафтов. Динамика NDVI степной растительности в большей степени зависит от осадков, динамика NDVI лесов – от температуры. Лесовосстановление, постпирогенная сукцессия, закустаривание залежей и другие обуславливают рост NDVI. Отрицательные тренды NDVI характерны для остепненных экосистем в условиях снижения количества осадков и для лесной растительности, подверженной вырубкам и пожарам.

Ключевые слова: Бурятия, аридные территории, растительность, NDVI, ГТК, осадки, тренд, реанализ, дендрохронология.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10093

В России динамика климата последних десятилетий отражается в учащении экстремальных

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 17-05-01059 «Природно-климатические тренды Байкальского региона», № 17-29-05083 «Ретроспективная оценка водности бассейна озера Байкал по данным дендроклиматического анализа», № 18-55-91047 «Сравнительная оценка динамики и характера опустынивания на приграничной территории России и Монголии», № 19-55-53026 «Оценка экологических рисков и контрмеры по их преодолению для трансграничных районов России, Монголии и Китая») и Госзадания по теме НИР БИП СО РАН «Трансформация природной среды в зоне влияния Великого Шелкового и Чайного пути в условиях глобализации и изменения климата» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук IX.137.2.

явлений, таких как засухи, лесные и степные пожары, наводнения, селевые сходы и др. (Второй оценочный доклад ..., 2014). Наряду с перечисленными природными явлениями на опустынивание оказывает влияние деятельность человека, проявляющаяся, к примеру, в вырубке лесов, перевыпасе скота, заражении почв в результате техногенных аварий и т.д. Растительный покров является индикатором происходящих климатических сдвигов, и исследование его изменений – актуальная задача не только для оценки, но и прогнозирования ресурсного потенциала регионов России. Картографическое отображение этих изменений является необходимым информационным базисом при планировании и реализации мер по смягчению негативного воздействия климатических изменений на растительность.

Несмотря на большое количество публикаций по проблемам опустынивания, недостаточно полно представлены работы по количественной оценке процессов деградации ландшафтов с использованием методов и данных дистанционного зондирования Земли. В ряде исследований для оценки долговременной динамики растительного покрова используются спутниковые данные высокого временного разрешения. Наиболее часто применяются вегетационные индексы, получаемые с сенсоров MODIS, SPOT Vegetation и AVHRR с частотой съемки не менее 1 раза в сутки. Хотя изображения, получаемые с данных систем, имеют низкое пространственное разрешение, они пригодны для построения непрерывных временных рядов в отличие, например, от спутников серии Landsat, которые имеют на порядок более высокое пространственное разрешение, но весьма редкую периодичность съемки (1 раз в 16 суток). Эти временные серии используются для расчета трендов NDVI, определения фенологических дат, детектирования пожаров, рубок леса и др. Глобальные оценки тенденций растительного покрова по NDVI и их взаимосвязи с климатическими факторами приведены во множестве работ (Золотокрылин, 2003; De Jong et al., 2011; Fensholt, Proud, 2012; Zhao et al., 2018; Pan et al., 2018). Обширен географический охват и региональных исследований (Tulokhonov et al., 2014; Мандах и др., 2016). В России также немало работ посвящено анализу временных серий NDVI. К примеру, выявлены разнонаправленные тренды для горной тайги и хвойных лесов в Красноярском крае, которые имеют существенную связь с температурой поверхности (Шевырногов и др., 2012). Динамика тундровой растительности также имеет заметную связь с температурой воздуха и обусловлена локальными физико-географическими условиями (Варламова, Соловьев, 2014; Елсаков, 2017). Состояние степных сообществ засушливых зон России обусловлено в первую очередь вариациями увлажнения и антропогенными факторами (Золотокрылин и др., 2015; Zharnikova et al., 2016; Тельнова, 2017).

Негативной трансформации наземных геосистем Республики Бурятия (РБ) способствуют аридность, суровость и континентальность климата с высокими годовыми и суточными амплитудами температур с неравномерным по сезонам года характером ветрового режима и выпадения атмосферных осадков, преобладающий во многих местах региона легкий гранулометрический состав почв и подстилающих пород, большая расчлененность рельефа, наличие больших площадей оголенных и слабозакрепленных растительностью земель и т.д. Засушливость климата на рассматриваемой территории в совокупности с нерациональным природопользованием приводит к существенной уязвимости наземных экосистем к негативным природно-антропогенными процессам, таким как деградация почвенно-растительного покрова, эрозия и дефляция почв, вторичное засоление и т.п. Негативные процессы усиливаются в связи с периодическими тенденциями к аридизации в климатической системе, следствием чего является не только неблагоприятное изменение условий увлажнения, но и снижение продуктивности пашен и пастбищ, что в свою очередь отражается на и так достаточно слабой экономике республики.

Изучение негативной реакции наземных экосистем, проявляющейся в ухудшении их состояния, определение причин засух, опустынивания и деградации земель, а также их картографическое отображение является важным источником в планировании, реализации и оценке мер по борьбе с опустыниванием.

Целью работы является оценка и анализ долговременных изменений растительного покрова Республики Бурятия на основе вегетационного индекса NDVI и натурных полевых исследований.

Материалы и методы

Территория исследования. Республика Бурятия расположена в глубине азиатского материка. Она значительно приподнята над уровнем моря, имеет неоднородный рельеф, длительное историческое

развитие современных геосистем. Континентальность и суровость климата в Бурятии выражены гораздо резче, чем в одноширотной полосе территории России и соседних областях (кроме Забайкальского края). Характерны суровая продолжительная зима и короткое, но теплое лето. Территория относится к регионам распространения многолетней мерзлоты. В связи со сложной орографией и резко дифференцированными режимами и типами местных климатов предельно сгущены и сконцентрированы рубежи многих провинций (рис. 1) и секторов ботанико-географического районирования, зональность природных систем сnivelирована.

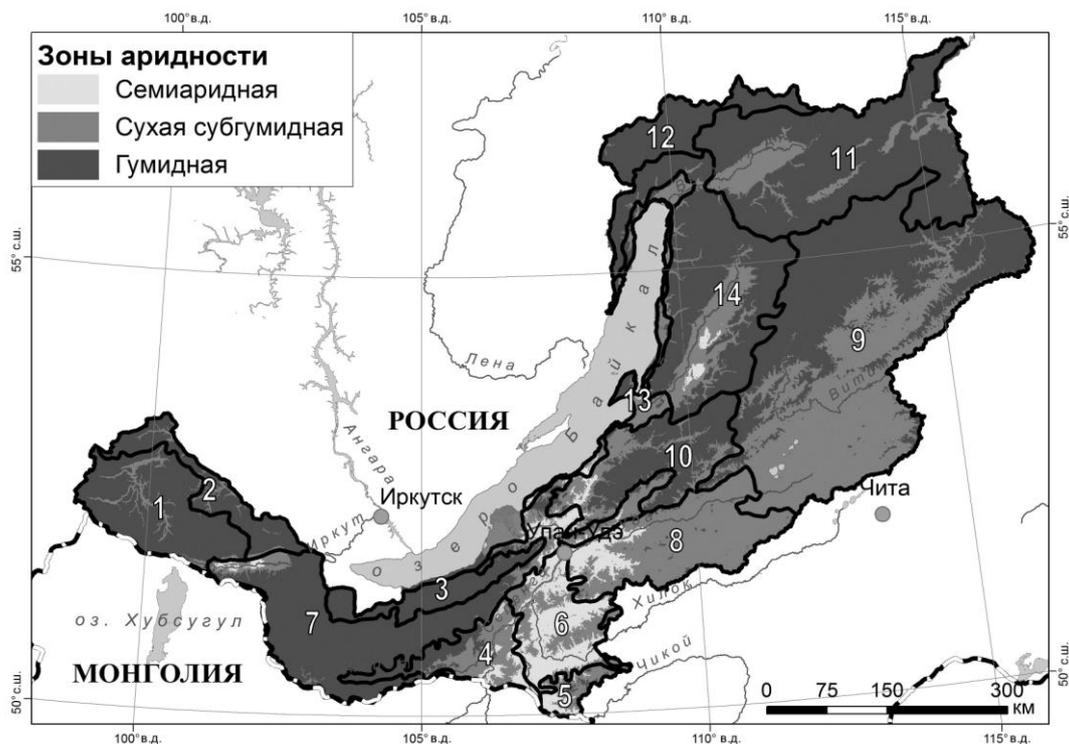


Рис. 1. Карта климатических зон РБ по индексу аридности и провинций физико-географических областей. Условные обозначения: пунктирная линия – государственная граница, сплошная линия – границы провинций. Провинции Южно-Сибирской горной области: 1 – Окинско-Тункинская горнотаежно-гольцовая, 2 – Окинско-Китайская гольцово-горнотаежная, 3 – Хамар-Дабанская гольцово-горнотаежная, 4 – Селенгинско-Орхонская остепненно-среднегорная, 5 – Чикойско-Ингодинская котловинно-горнотаежная, 6 – Селенгинско-Хилокская остепненно-среднегорная, 7 – Джидинско-Нижнеселенгинская котловинно-горнотаежная, 8 – Хилокско-Удинская остепненно-среднегорная. Провинции Байкало-Джугдзурской горнотаежной области: 9 – Витимская таежно-плоскогорная, 10 – Улан-Бургасская горнотаежная, 11 – Западно-Забайкальская горнотаежно-гольцовая, 12 – Северо-Байкальская таежно-нагорная, 13 – Байкальская озерная котловина, 14 – Прибайкальская гольцово-горнотаежная (Михеев, Ряшин, 1977).

Растительность – ключевой элемент в ландшафтной организации Бурятии, она представляет собой сложноустроенную систему, сформировавшуюся на протяжении длительного исторического развития. Долговременные климатические колебания (в сторону то потепления, то похолодания) приводили к изменению соотношения леса и степи: возрастание экстремальности природных условий вызывало сокращение площадей лесов. В котловинах, на их днищах и инсолируемых склонах, преобладающее развитие получили безлесные степные природные комплексы, перемежающиеся с лесными участками в условиях расчлененного рельефа. Межгорные понижения, выполненные рыхлыми четвертичными отложениями, находятся под влиянием засушливых условий полупустынного характера. Представлены все основные экосистемы Северного полушария: сообщества степей, лесов, болот, лугов, высокогорных тундр и альпийских пустошей с уникальными флористическими комплексами. Основные площади в республике занимают преимущественно

светлохвойные леса; там, где климат отличается высокой влажностью, распространены темнохвойные пихтовые и кедровые леса. В котловинах, вдоль долин крупных рек, располагаются небольшие по площади, но интересные по составу и генезису сообщества степей. Наиболее выражены настоящие (разнотравно-дерновинно-злаковые и сухие дерновинно-злаковые), криоксерофитные высокогорные, луговые, опустыненные, сазовые и псаммофитные степи, разнообразные по составу, структуре и строению (Дамбиев, Валова, 2015).

Территория Забайкалья (Республика Бурятия и Забайкальский край) по сравнению с Северным полушарием имеет существенно более высокие темпы роста (в 2.5 раза) приземной температуры воздуха (Обязов, 2015). Длительные вариации количества осадков имеют выраженную цикличность (Андреев и др., 2016), при этом последняя засушливая фаза началась в 1999 г. (Обязов, Смахтин, 2012). Изменение климата усугубляет процессы деградации земель, которые широко распространены в степных ландшафтах Бурятии (Дамбиев, Валова, 2015), где антропогенная составляющая опустынивания проявляется сильнее в силу большей хозяйственной освоенности территорий. Лесные экосистемы также подвержены природно-антропогенному воздействию – в регионе наблюдается высокая повторяемость лесных пожаров, вкуче с коммерческой деятельностью ведется незаконная вырубка леса. Необходимо отметить, что перечисленные факторы (в частности, засуха последних лет) привели к проблеме с нарушением уровня озона. Байкал, включенного в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (Гармаев и др., 2017; Dabaeva et al., 2016).

Данные дистанционного зондирования. Работа основана на анализе известного вегетационного индекса NDVI, который характеризует количество зеленой фитомассы и рассчитывается как отношение разности отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра к их сумме. Исходными данными послужили временные ряды NDVI спектро радиометра AVHRR серии спутников NOAA (Tucker et al., 2005). Низкое пространственное и высокое временное разрешение позволяют охватывать обширные площади и извлекать максимум информации для анализа динамики растительного покрова. Продукт сформирован из максимальных значений вегетационного индекса за 15-дневный период – таким образом минимизируется влияние атмосферы на качество снимка. Пространственное разрешение изображений – 8 км. В работе использованы снимки, полученные в период вегетации растительного покрова с 1985 по 2015 гг.

Климатические и метеорологические данные. Для пространственного сопоставления трендов NDVI и метеопараметров использованы данные реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Установление границ засушливых земель проведено по широко признанному индексу аридности, известному также как индекс влажности – отношение годового количества осадков к потенциальной эвапотранспирации (Золотокрылин, 2002). Для расчетов использован набор метеорологических данных ENVIREM с пространственным разрешением 1 км², усредненных за период с 1961 по 1990 гг. (Title, Vemmel, 2018).

Рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову – интегральный показатель влагообеспеченности территории, отношение десятикратной суммы осадков в миллиметрах за период с температурами выше 10°C к сумме температур в градусах за то же время. Данные о температуре и осадках представлены NOAA/Climate Prediction Center (Physical Sciences Division, 2019). Данные являются частью Глобальной телекоммуникационной системы и привязаны к регулярной сетке с размером ячейки 0.5 углового градуса. Рассчитаны годовые значения ГТК для периода с 1982 по 2015 гг., проведен корреляционный анализ временных рядов годовых ГТК и максимальных значений годовых NDVI (рис. 2).

Обработка данных. Проведена предварительная обработка данных, заключающаяся в восстановлении отсутствующих значений и сглаживании временного ряда NDVI (Sodnomov et al., 2018). Некорректные значения NDVI заменены его средним значением за весь период. Для сглаживания временных рядов использован фильтр Савицкого-Голея. Удаление сезонной компоненты временных рядов проведено с помощью скользящего среднего. Полученные после предварительной обработки данные использованы для построения линейной регрессионной модели и расчета тренда. Расчет трендов осадков и NDVI проведен для двух периодов: влажного – с 1982 по 1999 гг., засушливого – с 2000 по 2015 гг. Данное разделение проведено именно так, поскольку в Забайкалье смена с влажной на засушливую фазу увлажненности приходится на рубеж тысячелетия (Обязов, Смахтин, 2012).

Валидация спутниковых данных. При оценке изменений растительного покрова использованы данные полевых геоботанических и дендрохронологических исследований, снимки сверхвысокого разрешения сервиса Google Earth и данные аэрофотосъемки.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена полученная нами карта климатических зон РБ за действующий базовый климатический период. Выявлено, что общая площадь засушливых зон составляет 128358 км² или 38.6% площади РБ (без оз. Байкал). Площадь семиаридной зоны составляет 19823 км² (6%), сухой субгумидной – 108535 км² (32.6%). Семиаридная зона распространена в Селенгинско-Хилокской, Хилокско-Удинской, Селенгинско-Орхонской остепненно-среднегорных провинциях, с небольшими проявлениями в Джидинско-Нижнеселенгинской котловинно-горнотаежной, Улан-Бургасской горнотаежной, Прибайкальской гольцово-горнотаежной, в пределах межгорных котловин в долинах рек. В них же и в Витимской таежно-плоскогорной, Западно-Забайкальской горнотаежно-гольцовой провинциях, а также в Байкальской озерной котловине, окаймляющей восточное и северное побережья оз. Байкал, распространена сухая субгумидная зона. При этом даже наличие крупного водоема не оказывает большого влияния на климат региона – будучи орографически изолированным, побережье оз. Байкал теряет черты морского климата в удалении уже на несколько километров от уреза воды (рис. 1).

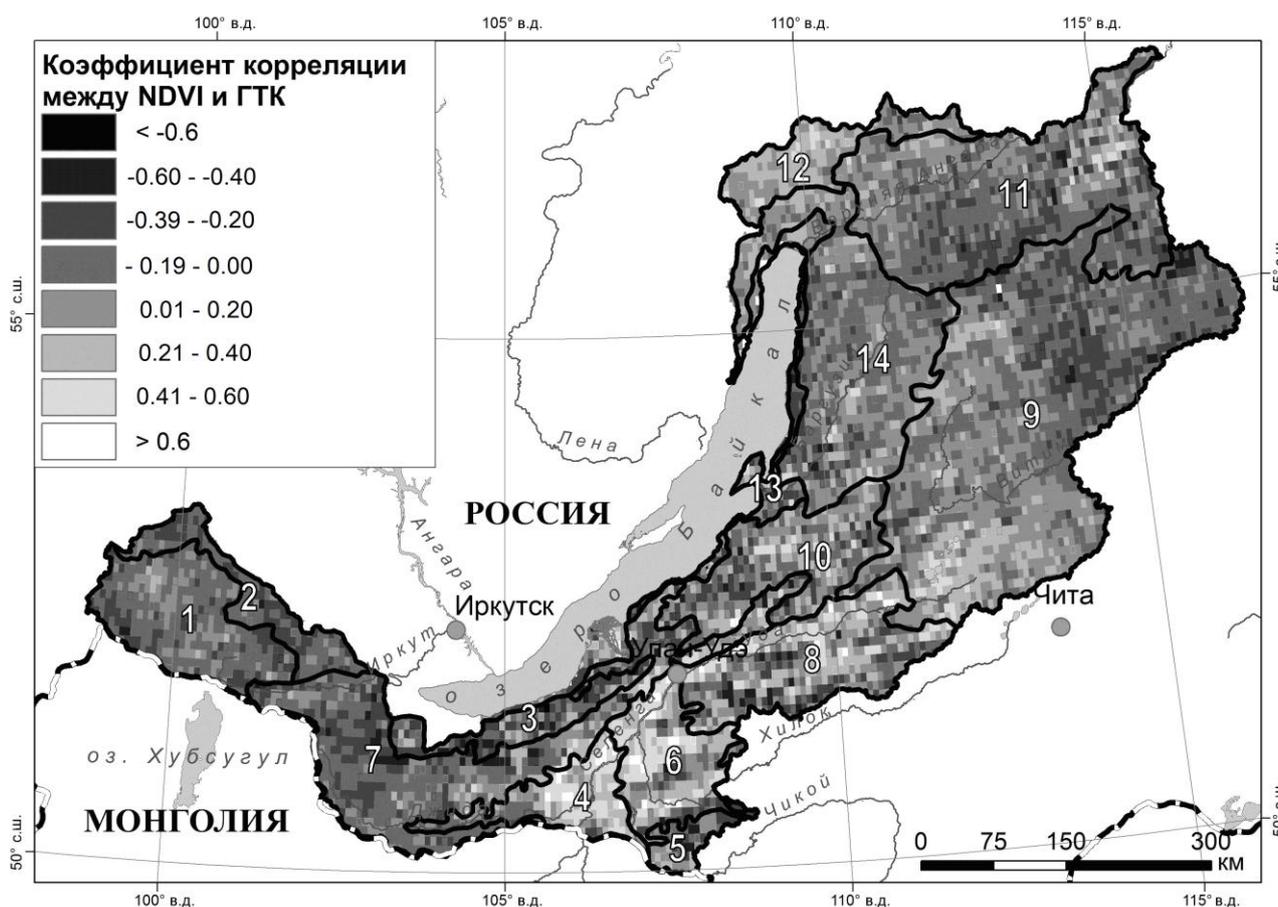


Рис. 2. Корреляция среднегодовых ГТК и NDVI.

В результате анализа пространственного распределения трендов NDVI в РБ выявлено, что во влажный период как для гумидной, так и для засушливых зон преобладают положительные значения трендов – до 98% (рис. 3а). В засушливый период высокие темпы роста отрицательных трендов NDVI выявлены в семиаридной и сухой субгумидной зонах (до 35 раз), что показывает их наибольшую чувствительность к режиму увлажнения. За весь период (с 1982 по 2015 гг.) наибольшие негативные трансформации растительного покрова характерны для семиаридной зоны (40.6%), для гумидной зоны этот показатель равен 26.3%. Нулевые тренды приурочены к земной поверхности без растительности – водным объектам и гольцовому поясу (табл. 1).

Тренды осадков в РБ распределены неравномерно: влажный период характеризуется

увеличением количества осадков в аридных районах РБ, кроме большей части Витимской таежно-платообразной провинции, а также в Западно-Забайкальской, Прибайкальской, Окино-Тункинской и Окино-Китойской гольцово-таежных провинциях (рис. 4а); в засушливый период картина меняется на противоположную (рис. 4б). Снижение осадков происходит в Улан-Бургасской горнотаежной и Северо-Байкальской таежно-нагорной провинциях с минимумом на стыке Селенгинско-Хилокской и Хилокско-Удинской остепенно-среднегорных провинций. Хребет Хамар-Дабан – область, в которой наблюдаются наибольшие и наименьшие значения трендов осадков при среднегодовых уровнях 800-1000 мм. Режим увлажнения данной горной системы, находящейся вблизи основных засушливых зон РБ, является своеобразным индикатором изменения уровня осадков в регионе.

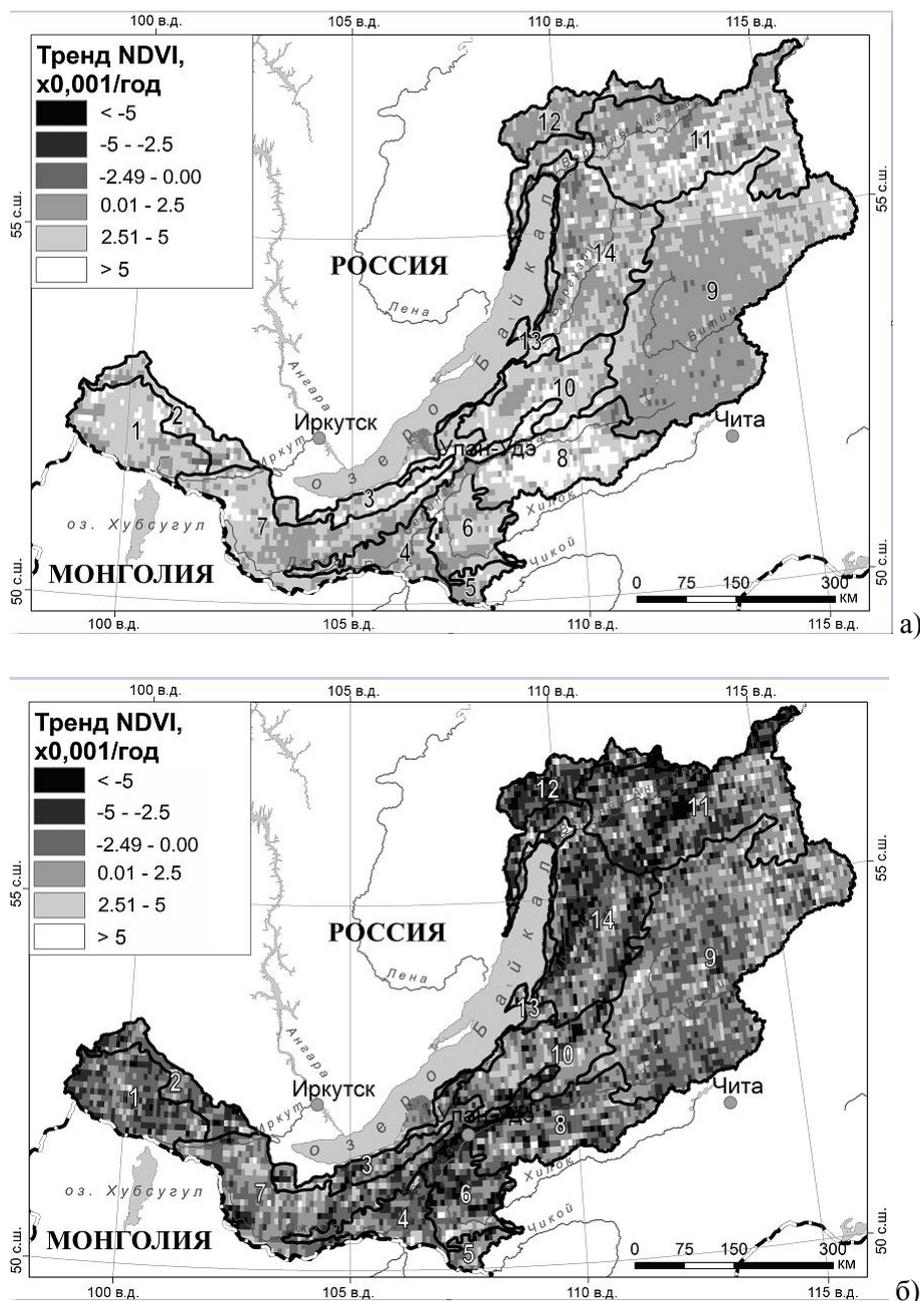


Рис. 3. Тренды NDVI в Республике Бурятия: а) влажный период (1982-1999 гг.), б) засушливый период (2000-2015 гг.).

Следует осторожно относиться к интерполированным данным реанализа, поскольку метеостанций в РБ мало и расположены они преимущественно в речных долинах, а осадки в горах остаются незафиксированными. Это подтверждается тем, что устойчивой связи между атмосферными осадками и речным стоком, формируемым в горных областях, не обнаружено (Гармаев, 2010).

Влажный период отмечен почти повсеместным ростом NDVI. Менее интенсивный рост вегетационного индекса наблюдается в сухой субгумидной зоне Витимской таежно-платообразной провинции, где тренд осадков имеет слабый отрицательный наклон. В засушливый период сплошные зоны с отрицательным трендом NDVI характерны для семиаридных и сухих субгумидных степных ландшафтов в межгорных котловинах – это долины рр. Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Уда и Джиды. В Витимской таежно-платообразной провинции негативные тренды NDVI наблюдаются помимо лесной растительности в травяно-моховых болотах

и вейниковых лугах (рис. 3б).

Таблица 1. Доля положительных и отрицательных трендов NDVI засушливых и гумидных земель Республики Бурятия, %.

Периоды	Тренд NDVI	Семиаридная	Сухая субгумидная	Гумидная
Влажный период (1982-1999 гг.)	Положительный	98.1	97.8	96.8
	Отрицательный	1.9	1.6	2.4
	Нулевой	0	0.6	0.8
Засушливый период (2000-2015 гг.)	Положительный	42.2	43.9	40.6
	Отрицательный	57.8	55.5	58.9
	Нулевой	0	0.6	0.5
Весь период (1982-2015 гг.)	Положительный	59.4	67.0	72.9
	Отрицательный	40.6	32.4	26.3
	Нулевой	0	0.6	0.8

Интересно, что Байкальское нагорье (Северо-Байкальская таежно-нагорная провинция) с гумидным климатом также характеризуется негативными трендами NDVI. Уменьшение осадков, масштабные пожары (1998, 2006 гг.) вкупе со старательской деятельностью стабилизируют тренд в негативном значении. Несмотря на слабые положительные тренды осадков в Прибайкальской гольцово-горнотаежной провинции, тренды NDVI на большей части горного массива имеют отрицательные значения. Также в большей степени разнонаправленность трендов NDVI и осадков характерна для лесной растительности. Здесь влияние на динамику NDVI оказывает температура. В результате анализа пространственной корреляции рядов среднегодовых значений ГТК и NDVI выявлено, что положительная связь наблюдается для межгорных котловин, где распространены степные сообщества, а отрицательная корреляция – для лесных ландшафтов (рис. 2). Таким образом, осадки в большей степени влияют на NDVI степной растительности, а температура – на NDVI лесной. Проведенные дендрохронологические исследования на хр. Хамар-Дабан выявили, что корреляция NDVI и индекса радиального прироста хвойных пород на «сухом» южном макросклоне выше (до 0.78), чем на влагообеспеченном северном. На южном макросклоне хребта корреляционная связь уменьшается с высотой, обратная картина прослеживается на северном склоне. На южном склоне с высотой увеличивается доля представителей темнохвойной тайги, северный же макросклон закономерно представлен темнохвойной тайгой. В дальнейшем необходимо учитывать спектральную отражательную способность светлохвойной и темнохвойной тайги.

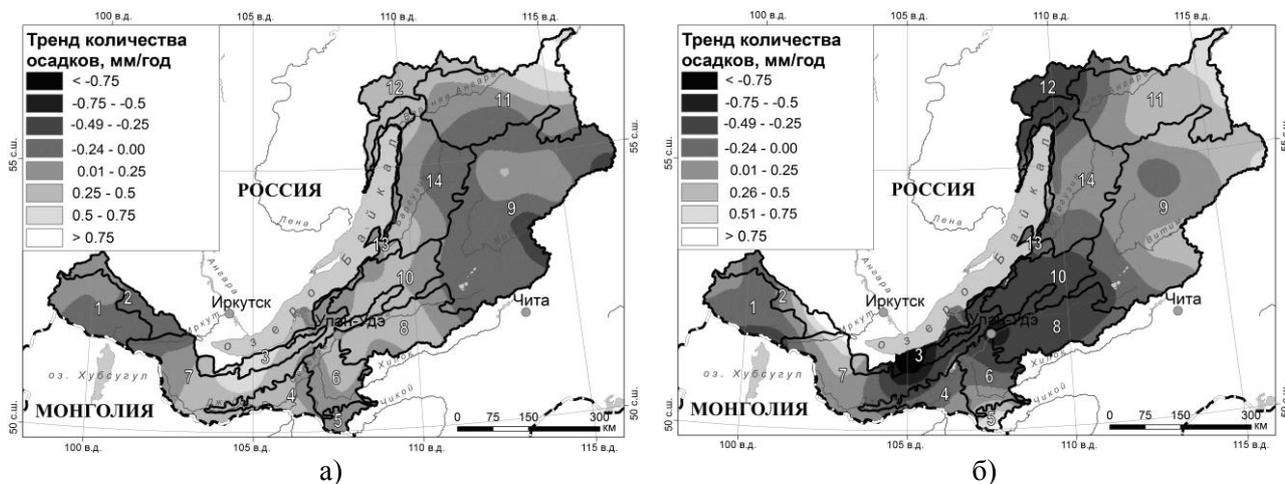


Рис. 4. Тренды количества осадков в Республике Бурятия: а) влажный период (1982-1999 гг.), б) засушливый период (2000-2015 гг.).

По данным полевых исследований выявлено, что причинами развития положительных значений NDVI является смена коренных сосновых лесов на производные мелколиственные, лесовосстановление, интенсивное закустаривание степных участков и зарастание сельскохозяйственных пашен. Сельскохозяйственные земли, представляющие собой разновременные залежи, на которых доминируют лапчатковые популяции, дают положительные значения; такие же значения наблюдаются у залежей на стадии закустаривания и зарастания ильмовниками. Реже фиксируется сукцессионная смена сообществ вторичными рудеральными видами. Залежи на последних стадиях сукцессий, близкие к восстановлению первичных сообществ, имеют слабоотрицательные тренды.

Отрицательные значения трендов распространены главным образом на каменистых, холоднопопынно-лапчатковых, змеевковых и пырейно-твердоватоосоковых сообществах на среднепологих склонах, испытывающих недостаток увлажнения (многолетняя засуха, понижение уровня грунтовых вод, прекращение мелиоративных мероприятий и т.д.), а также подверженных антропогенному воздействию (весенне-осенние палы, перевыпас скота). На некоторых участках отмечается кратковременное увеличение надземной фитомассы после пирогенных воздействий, но не вносящее изменение в направление тренда. При анализе постпирогенных процессов следует учитывать характер и продолжительность пожаров, которые определяют скорость сукцессионных процессов.

Воздействие же лесных пожаров на ландшафт более значительно и часто сопровождается каскадным эффектом. Лесные массивы, подвергшиеся пожарам до 2000-х гг., характеризуются положительными значениями трендов, обусловленных постпирогенными восстановительными сукцессиями на поздних стадиях. Пожары, прошедшие с 2000-х гг. по настоящее время, как правило, дают отрицательные значения трендов, поскольку на данных территориях распространены ранние стадии вторичных сукцессий (бурьяны, закустаривание). Характерной особенностью пространственного распределения трендов NDVI являются их максимальные и минимальные значения на участках с восстановлением и вырубкой леса, соответственно.

Выводы

Засушливые зоны распространены почти во всех физико-географических провинциях в пределах РБ. Их общая площадь составляет 128358 км² или 38.6% площади РБ (без оз. Байкал), из них семиаридная зона занимает 6% территории РБ, сухая субгумидная – 32.6%.

Рассчитаны тренды количества осадков и NDVI для влажного (1982-1999 гг.) и засушливого периодов (2000-2015 гг.). Примечателен установленный факт смены знака трендов осадков на противоположный почти на всей территории РБ в выбранные временные интервалы. Так, если во влажный период наблюдалось увеличение количества осадков в аридных зонах, то в засушливый период – снижение.

Установлено, что во влажный период (1982-1999 гг.) для всей территории республики наблюдаются положительные значения трендов NDVI, достигающие 98%. Сухой период по сравнению с влажным характеризуется более чем 30-кратным ростом отрицательных трендов NDVI в засушливых зонах, что показывает высокую чувствительность этих зон к режиму увлажнения. Весь период отмечен преобладанием положительных трендов NDVI в гумидной зоне (72.9% территории), для территорий семиаридной и сухой субгумидной зон этот показатель составляет 59.4 и 67.0% соответственно.

Положительные тренды NDVI приурочены к заброшенным пашням, залежам, используемым как сенокосные угодья и пастбища, а также к постпирогенным лесным массивам, участкам лесовосстановления. Отрицательные тренды NDVI характерны для остепненных экосистем и лесной растительности, подверженной рубкам и пожарам. Климатически обусловленная динамика NDVI степной растительности в большей степени зависит от осадков, динамика NDVI лесов – от температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев С.Г., Гармаев Е.Ж., Аюржанаев А.А., Батоцыренов Э.А., Гуржапов Б.О. 2016. Реконструкция водности рек и исторические хроники экстремальных природных явлений Байкальской Азии // Научное обозрение. № 5. С. 35-38.
- Варламова Е.В., Соловьев В.С. 2014. Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территории Якутии // Оптика атмосферы и океана. Т. 27. № 10. С. 891-894.

- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. М.: Росгидромет. 1009 с.
- Гармаев Е.Ж. 2010. Сток рек бассейна озера Байкал. Улан-Удэ: Издательство БГУ. 272 с.
- Гармаев Е.Ж., Цыдыпов Б.З. Дабеева Д.Б., Андреев С.Г., Аюржанаев А.А., Куликов А.И. 2017. Уровненный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние // Водное хозяйство России. № 2. С. 4-18.
- Дамбиев Э.Ц., Валова Е.Э. 2015. Степные ландшафты Бурятии. Улан-Удэ: Издательство БГУ. 200 с.
- Елсаков В.В. 2017. Пространственная и межгодовая неоднородность изменений растительного покрова тундровой зоны Евразии по материалам съемки MODIS 2000-2016 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. № 6. С. 56-72.
- Золотокрылин А.Н. 2002. Индикатор аридности климата // Аридные экосистемы. Т. 8. № 16. С. 47-69.
- Золотокрылин А.Н. 2003. Климатическое опустынивание. М.: Наука. 246 с.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В. 2015. Тренды увлажнения и биофизических параметров засушливых земель Европейской части России за период 2000-2014 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 12. № 2. С. 155-161.
- Мандах Н., Цогтбаатар Ж., Даш Д., Хөдөлмөр С. 2016. Система индикаторов и оценка опустынивания в Монголии // Аридные экосистемы. Т. 22. № 1 (66). С. 99-111. [Mandakh N., Tsogtbaatar J., Dash D., Khudulmur S. 2016. The system of indicators and assessment of desertification in Mongolia // Arid Ecosystems. Vol. 22. No. 1 (66). P. 80-102]
- Мухеев В.С., Ряшин В.А. 1977. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта, М 1:1 500 000). М.: ГУГК. 4 л.
- Обязов В.А. 2015. Региональный отклик приземной температуры воздуха на глобальные изменения (на примере Забайкалья) // Доклады Академии наук. № 4. С. 459.
- Обязов В.А., Смахтин В.К. 2012. Многолетний режим стока рек Забайкалья: анализ и фоновый прогноз // Водное хозяйство России. № 1. С. 63-72.
- Тельнова Н.О. 2017. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. № 6. С. 97-107.
- Шевырногов А.П., Чернецкий М.Ю., Высоцкая Г.С. 2012. Многолетние тренды NDVI и температуры на юге Красноярского края // Исследование Земли из космоса. № 6. С. 77-87.
- Dabaeva D.B., Tsydypov B.Z., Ayurzhanayev A.A., Andreev S.G., Garmaev Y.Zh. 2016. Peculiarities of Lake Baikal water level regime // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 48. No. 012014. 10 p.
- De Jong R., de Bruin S., de Wit A., Schaepman M.E., Dent D.L. 2011. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series // Remote Sensing of Environment. Vol. 115. P. 692-702.
- Fensholt R., Proud R.P. 2012. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends – Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series // Remote Sensing of Environment. Vol. 119. P. 131-147.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Roy J., Dennis J. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of American Meteorological Society. Vol. 77. P. 437-470.
- Pan N., Feng X., Fu B., Wang S., Jie F., Pan S. 2018. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends // Remote Sensing of Environment. Vol. 214. P. 59-72.
- Physical Sciences Division. 2019 [Электронный ресурс <https://www.esrl.noaa.gov/psd> (дата обращения 14.02.2019)].
- Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A., Tsydypov B.Z., Garmaev E.Zh. 2018. Algorithm of assessment of the MODIS NDVI long-term variations // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. Vol. 11 (1). P. 61-68.
- Title P.O., Bemmels J.B. 2018. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling // Ecography. Vol. 41. P. 291-307.
- Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous N. 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data // International Journal of Remote Sensing. Vol. 26. P. 4485-4498.
- Tulokhonov A.K., Tsydypov B.Z., Voloshin A.L., Batueva D.Zh., Chimeddorj Ts. 2014. Spatio-Temporal Characteristics of Vegetation Cover of Arid and Semiarid Climatic Zones in Mongolia on the Basis of Vegetation Index NDVI // Arid Ecosystems. Vol. 4. No. 2. P. 61-68.
- Zhao L., Dai A., Dong B. 2018. Changes in global vegetation activity and its driving factors during 1982-2013 // Agricultural and Forest Meteorology. Vol. 249. P. 198-209.
- Zharnikova M.A., Alymbaeva Zh.B., Ayurzhanayev A.A., Garmaev E.Zh. 2016. Vegetation cover dynamics of the Mongolian semiarid zone according to multi-temporal LANDSAT imagery (the case of Darkhan test range) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 48. No. 012015. 6 p.

ОЦЕНКА И АДАПТАЦИЯ ПОДХОДА НБДЗ К КЛАССИФИКАЦИИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

© 2020 г. Т.С. Бобушев*, К.Э. Султаналиев**

**Кыргызский экономический университет им. М. Раскулбекова
Кыргызская Республика, 720033, г. Бишкек, ул. Тоголок Молдо, д. 58. E-mail: t.bobushev@gmail.com*

***Институт центральноазиатских исследований
Американского Университета в Центральной Азии
Кыргызская Республика, 720060, г. Бишкек, ул. Аалы Токомбаева, д. 7/6
E-mail: kanat.sultanaliiev@gmail.com*

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 02.06.2019. Принята к публикации 28.06.2109.

Работа по изучению и адаптации концепции и методологической базы нейтрального баланса деградации земель в Кыргызской Республике была начата в 2016 году в рамках соответствующего проекта. Секретариат Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) предоставил стране комплексный набор показателей и информации, полученный на основе анализа глобальных спутниковых данных и отражающий ключевые индикаторы деградации земель в Кыргызской Республике. Данный набор данных был проанализирован на национальном уровне путем сопоставления с данными проведенных исследований, серии встреч и консультаций с соответствующими государственными и негосударственными учреждениями.

В результате исследований команде национальных экспертов удалось сопоставить международные (данные КБО ООН) и национальные показатели землепользования. В частности, был проведен сравнительный анализ по категориям земельных ресурсов. Тем не менее, проделанная работа нуждается в дальнейшей детальной верификации международных и национальных показателей землепользования с использованием альтернативных спутниковых данных, а также специальных полевых исследований.

Ключевые слова: нейтральный баланс деградации земель, землепользование, индикаторы деградации земельных ресурсов.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10094

Земельные ресурсы Кыргызской Республики (КР), будучи частью горного региона, характеризуются хрупкостью и уязвимостью к различным природным и антропогенным рискам. Согласно имеющимся данным, около половины сельскохозяйственных угодий подвержено различным типам деградации. В «Национальной стратегии устойчивого развития Кыргызской Республики на 2013-2017 годы» (2013) особо подчеркнуто, что «процессы деградации земель в настоящее время представляют значительную угрозу продовольственной безопасности и переходят из разряда экологических в категорию угроз устойчивому развитию страны». В качестве ответа на существующие риски, в 2014 году Министерство сельского хозяйства и мелиорации, координирующий орган по Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН), совместно с заинтересованными органами исполнительной власти, разработало «Национальный план действий и рамки деятельности по активизации осуществления КБО ООН в Кыргызской Республике на период 2015-2020 годы». В данном документе были представлены приоритетные меры по противодействию процессам деградации земель в стране.

Ввиду относительной новизны Концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) и её слабой изученности в стране в 2016 году Правительство Кыргызской Республики направило официальный запрос в Секретариат КБО ООН с просьбой оказать стране техническую помощь в апробации НБДЗ в Кыргызстане. Это послужило основанием для включения республики в число пилотных стран по реализации Программы постановки целей по Нейтральному балансу деградации земель. В рамках указанных действий Кыргызстан принял участие в региональном установочном семинаре по Программе постановки целей НБДЗ в Батуми в мае 2016 года вместе с другими

пилотными странами из регионов Центральной Азии, Кавказа и Восточной Европы. В последующем началась реализация проекта по НБДЗ в Кыргызской Республике при поддержке Программы Развития ООН и Секретариата КБО ООН.

Особенностью реализации проекта по НБДЗ в Кыргызской Республике явилось то, что в отличие от других стран, в Кыргызстане было принято решение о проведении более глубокого анализа методологических основ концепции НБДЗ и её адаптации с учетом национального контекста и особенностей хозяйственного использования земель. В этой связи были поставлены две основные задачи исследования.

1. Анализ материалов по НБДЗ, представленных КБО ООН для их сопоставления с имеющимися национальными данными.

2. Разработка методологических основ для адаптации показателей НБДЗ к национальной системе учета земельных ресурсов.

Структура концептуальной основы НБДЗ построена на изучении трех ключевых индикаторов деградации земельных ресурсов: 1) наземный покров, 2) продуктивность земель, 3) почвенный органический углерод. При апробировании подхода НБДЗ в Кыргызстане наиболее значимые результаты были получены по двум из трех основных индикаторов НБДЗ: наземный покров и почвенный органический углерод. В данной статье основное внимание будет уделено первому индикатору – наземному покрову.

Материалы и методы

Данные по ключевым индикаторам деградации земель на основе анализа данных дистанционного (спутникового) зондирования Кыргызской Республики, за период с 2000 по 2015 гг., а также в 2017-2018 гг. были получены от Секретариата КБО ООН. Эти наборы данных представляли собой карты, основанные на анализе спутниковых снимков, метаданные карт, а также цифровые показатели деградации земель в формате Microsoft Excel.

На первом этапе исследований были получены комментарии и отзывы о качестве и точности данных КБО ООН. Затем с помощью экспертов Национального статистического комитета Кыргызской Республики и Республиканской почвенно-агрохимической станции была проведена проверка их достоверности, а также разработаны методологические основы адаптации подходов НБДЗ к условиям Кыргызской Республики.

Изучение данных, предоставленных Секретариатом КБО ООН, показало наличие определенных расхождений с национальными данными. Так, например, данные КБО ООН по категориям наземного покрова имеют достаточно значимые расхождения с национальными источниками. В то же время данные КБО ООН в целом соответствуют данным Государственного мелиоративного кадастра по засоленности почв в нашей стране.

Первичный сбор данных по земельным ресурсам в Кыргызской Республике осуществлялся соответствующими специалистами – землеустроителями администраций сельских округов. Затем эта информация была использована для формирования данных на районном уровне и далее передана в Департамент кадастра и регистрации прав на недвижимое имущество при Государственной регистрационной службе при Правительстве Кыргызской Республики. После этого Регистрационная служба сформировала Земельный баланс и представила его в Национальный статистический комитет КР (Национальный отчет ..., 2018).

Результаты и обсуждение

Земельный фонд Кыргызской Республики включает в себя 7 категорий, формирующих структуру земель в стране (табл. 1). На национальном уровне распределение земельного фонда Кыргызской Республики осуществляется по официально признанным категориям земель в соответствии с Земельным кодексом Кыргызской Республики.

Из-за различий в подходах к классификации типов земель (табл. 1, 2) многие категории земель в принципе не могут быть напрямую сопоставлены друг с другом, т.к. состояются изначально по разным критериям (в КР это административно-правовые составляющие, в КБО ООН – агро-экологические компоненты). Основная проблема сопоставления глобальных и национальных данных по почвенно-растительному покрову заключалась в разности методологических основ, применяемых при сопоставлении имеющихся данных. Тем не менее, эту задачу по приведению глобальных и национальных данных к общему «знаменателю» возможно решить путем разукрупнения

национальных данных и выстраивания их согласно международной классификации земельных ресурсов для последующего объективного сравнения (UNCCD, 2016). В результате проведенных операций по разукрупнению национальных данных на основе земельного баланса были получены приведенные в таблице 3 результаты по национальным данным в сравнительном отношении с международными данными от КБО ООН (Национальный отчет ..., 2018).

Согласно же международной классификации земель, используемой КБО ООН, выделяются 6 категорий земель, представленных ниже в таблице 2.

Таблица 1. Национальная классификация категорий земельных ресурсов (Земельный кодекс ..., 2019).

Категории	Субкатегории
1. Земли сельскохозяйственного назначения	Землями сельскохозяйственного назначения признаются земли, предоставленные для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей.
2. Земли населенных пунктов	К землям населенных пунктов относятся все земли, находящиеся в черте населенного пункта.
3. Земли промышленности, транспорта, связи, обороны и др.	Землями промышленности, транспорта, связи, энергетики и иного назначения признаются земли, предоставленные в установленном настоящим Кодексом порядке, физическим и юридическим лицам для соответствующего целевого назначения.
4. Земли особо охраняемых природных территорий	К землям особо охраняемых природных территорий относятся земли: государственных заповедников, природных национальных парков, заказников (за исключением охотничьих), памятников природы, ботанических садов, дендрологических и зоологических парков, природных территорий оздоровительного назначения.
5. Земли лесного фонда	Землями лесного фонда признаются земли, покрытые лесом, а также не покрытые лесом, но предоставленные для нужд лесного хозяйства.
6. Земли водного фонда	К землям водного фонда относятся земли, занятые водоемами (реками, озерами, водохранилищами, каналами), ледниками, болотами, гидротехническими, гидроэнергетическими и другими водохозяйственными сооружениями, а также земли, выделенные под полосы отвода.
7. Земли запаса	Землями запаса являются все земли, не предоставленные в собственность или пользование. Эти земли являются государственной собственностью.

Таким образом, полученные данные (табл. 3) показывают ощутимую разницу в 12.7% в сторону уменьшения площади по категории «Площади, покрытые лесом». Это объясняется тем, что к данным площадям отнесены географические зоны, в которых преобладают природные растения древесного типа с покрытием 15% территории или более (подход КБО ООН). Согласно национальной же классификации, к площадям, покрытым лесом, отнесены географические зоны, в которых преобладают природные растения древесного типа с покрытием 10% территории или более.

Полученные национальные показатели по лесопокрытым площадям (6383 км²), подтверждаются итогами проведенной национальной инвентаризации лесов Кыргызской Республики (Постановление ..., 2011). Из чего можно сделать вывод о том, что данные КБО ООН в целом применимы к использованию по национальному индикатору «Изменение почвенно-растительного покрова» на территории Кыргызской Республики. Результаты проведенных исследований сопоставления данных КБО ООН с национальными данными по наземному покрову Кыргызской Республики за 2010 год также позволили прийти к выводу о возможности использования данных КБО в качестве национального индикатора – «Изменение почвенно-растительного покрова» (табл. 3). Значительная разница в 15.3% в сторону уменьшения площади по категории «Площади, покрытые лесом» объясняется тем же, что и по вышеописанному 2000 году.

Таблица 2. Международная классификация категорий земельных ресурсов (UNCCD, 2017).

Категории	Субкатегории
1. Площади, покрытые лесом (леса)	Географические зоны, в которых преобладают природные растения древесного типа с покрытием территории 15% или более. Этот класс также включает: – мозаичные деревья и кустарники (>50%) / травяной покров; – деревья, сезонно или постоянно затопленные пресной водой
2. Кустарники, лугопастбищные угодья и территории со скудной растительностью	Географические зоны, в которых преобладают: – кустарник природного типа; или травяные растения природного типа; – скудная естественная растительность с покрытием территории 15% или менее. Этот класс также включает: – мозаичную растительность природного типа (>50%) / зерновые культуры; – мозаичный травяной покров (>50%) / деревья и кусты
3. Площади, предназначенные для возделывания (пахотные угодья)	Географические зоны, в которых преобладают: зеленые культуры; или древесные культуры; или смешанные зеленые и древесные культуры. Этот класс также включает: мозаичные культуры (50%) / естественную растительность
4. Болотистые территории и водоемы	Географические зоны, в которых преобладают: кустарник или травяная растительность, водная или периодически затопляемая; или мангровые заросли или водоемы (естественные/искусственные, стоячие/текучие, наземные/морские)
5. Искусственные территории	Географические зоны, в которых преобладают искусственные поверхности, включая урбанизированные и схожего типа территории (например, городские парки), транспортная инфраструктура, промышленные зоны, выжженные площади, свалки, территории добычи ископаемых.
6. Площади, с голыми участками земли и другие территории	Географические зоны, в которых преобладают: – территории с голыми участками земли, или – территории, покрытые снегом или ледниками

Выводы

Исследования и получение данных по оценке степени деградации земель предполагают использование различных подходов и данных о почвенно-растительном покрове или характере землепользования на различных территориях. В этом смысле использование данных глобального и национального уровней могут различаться и иметь как некоторые преимущества, так и недостатки. К примеру, принятие единой системы классификации почвенно-растительного покрова/землепользования, осуществляемой на глобальном уровне, обеспечивает согласование и стандартизацию анализа почвенно-растительного покрова и определенную степень сопоставимости данных между странами. Однако их недостатком является более низкая связанность с полевыми данными по сравнению с национальными данными о наземном покрове. Для стран, где найдутся более подходящие наборы данных, предлагающие относительно точное пространственное разрешение, целесообразнее использовать национальные данные, при условии что страна обладает соответствующим оборудованием и квалификацией для обработки таких комплексных наборов данных.

Таблица 3. Сопоставление данных КБО ООН с национальными показателями наземного покрова Кыргызской Республики за 2000 и 2010 гг.

Категории почвенно-растительного покрова Кыргызской Республики	Показатели КБО ООН 2000/2010 гг. (площади)	Национальные показатели 2000/2010 гг. (площади)	Показатели КБО ООН/национальные показатели за 2000/2010 гг.	Соотношение разности к национальному показателю по годам в %
	км ²			
Площади, покрытые лесом	5571/5454	6383/6439	-812/-985	-12.7/-15.3
Кустарники, лугопастбищные угодья и территории со скудной растительностью	78494/78588	78240/77420	254/1168	0.3/1.5
Площади, предназначенные для возделывания (Пахотные угодья)	42138/42159	43547/43917	-1409/-1758	-3.2/-4
Болотистые территории и водоемы	7125/7125	7725/7730	-600/-605	-7.8/-7.8
Искусственные территории	2466/2466	2262/2600	204/-134	9.0/-5.2
Площади, с голыми участками земли и другие территории	63428/63430	61792/61843	1636/1587	2.6/ 2.6
Итого площадь КР	199222	199949	-727	-0.4

Таким образом, проведенный сравнительный анализ данных спутниковых снимков, предоставленных Секретариатом КБО ООН, по выявлению пробелов в использовании глобальных и национальных данных и идентификации соответствия/расхождения с соответствующими национальными подходами в Кыргызстане показывает, что глобальные и национальные данные могут взаимно дополнять друг друга. Обнаруженные несоответствия/расхождения вполне закономерны и скорее указывают на пути усовершенствования методик взаимопроверки (верификации), оценки и практического применения при достижении НБДЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Земельный кодекс Кыргызской Республики. 2019. Бишкек, Кыргызская Республика [Электронный ресурс <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/8/490?cl=ru-ru> (дата обращения 10.05.2019)].
- Национальный отчет по нейтральному балансу деградации земель. 2018. 30 с. [Электронный ресурс https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/ldn_targets/2018-11/Kyrgyzstan%20LDN%20TSP%20Country%20Report.pdf (дата обращения 08.05.2019)].
- Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на 2013-2017 годы. 2013 [Электронный ресурс <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/61542> (дата обращения 07.05.2019)].
- Постановление Правительства КР от 26.06.2011 г. № 407. Бишкек, Кыргызская Республика.
- UNCCD. 2016. Land Degradation Neutrality Target Setting – A Technical Guide. P. 68 [Электронный ресурс https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-08/LDN%20TS%20Technical%20Guide_Draft_English.pdf (дата обращения 10.05.2019)].
- UNCCD. 2017. Methodological note to set national voluntary Land Degradation Neutrality (LDN) targets using the UNCCD indicator framework. P. 38 [Электронный ресурс https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-08/LDN%20Methodological%20Note_02-06-2017%20ENG.pdf (дата обращения 10.05.2019)].

УДК 630*114.6+574.4

**ОБ АДАПТАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИНДИКАТОРОВ ОЦЕНКИ НЕЙТРАЛЬНОГО
БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ¹
В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ**

© 2020 г. А.В. Птичников*, А.А. Мартынюк**

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: aptichnikov@igras.ru

***Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства
Россия, 141202, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15*

Поступила в редакцию 27.05.2019. После доработки 26.06.2019. Принята к публикации 02.07.2019.

Статья посвящена масштабной проблеме ухудшения состояния защитных лесных насаждений на засушливых землях юга России. Ухудшение связано главным образом с резким сокращением ухода за лесонасаждениями со стороны лесного хозяйства из-за сокращения финансирования, а также в связи с изменением собственности на земли с полезащитными лесными полосами. Ухудшение лесонасаждений проявляется в их загрязнении бытовыми и промышленными отходами, повреждении пожарами, незаконными рубками, болезнями и вредителями, развитии процессов задернения почвы, изреживания и распада лесов. Более половины из них сейчас имеют неудовлетворительное санитарное состояние, достигли предельного возраста, распадаются. С учетом масштаба проблемы предложено использовать инструменты концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) для мониторинга изменений в таких лесонасаждениях и с учетом имеющейся практики дополнить набор глобальных индикаторов НБДЗ рядом национальных показателей, включая таксационные характеристики лесных насаждений: запас, лесистость, общий прирост (с учетом отпада). Предложено также использовать дополнительный индикатор в виде уровня биологического разнообразия (видовое разнообразие древесно-кустарниковой растительности в защитных лесных насаждениях). Оценка НБДЗ должна осуществляться с учетом нахождения лесонасаждений на государственных и частных землях с различными целями управления.

Ключевые слова: леса в засушливых климатических условиях, нейтральный баланс деградации земель, защитное лесоразведение, таксационные характеристики лесонасаждений.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10095

В 2016 г. Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) разработала и опубликовала Рамочную научную концепцию нейтрального баланса деградации земель (Конвенция ООН ..., 2018), в которой предложен минимальный набор из трех ключевых глобальных индикаторов достижения НБДЗ. Эти индикаторы считаются основными для мониторинга эффективности национальных усилий по достижению задачи 15.3 Целей устойчивого развития ООН на период до 2030 года (ЦУР): «До 2030 года вести борьбу с опустыниванием, восстановить деградировавшие земли и почвы, включая земли, затронутые опустыниванием, засухами и наводнениями, и стремиться к тому, чтобы во всем мире не ухудшалось состояние земель». В число вышеуказанных индикаторов вошли:

- состояние и изменения наземного покрова (land cover),
- продуктивность земель (land productivity),
- запасы углерода над и под земной поверхностью (organic carbon).

¹ Статья подготовлена по материалам исследований по гранту РФФИ 18-17-00178 «Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата». Сбор и первичная обработка фондовых материалов выполнялись в рамках темы Государственного задания ФГБУН ИГ РАН № 0127-2019-0010 «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования».

Указанные индикаторы требуют совместного использования для определения того, что НБДЗ достигнут на определенной территории. Земельные участки или территории соответствуют понятию нейтральности, в случае если ни один из индикаторов за определенное время не показывает ухудшения.

Согласно работе Г.С. Куста с соавторами (2018), предложенные КБО ООН глобальные индикаторы НБДЗ не могут быть напрямую использованы для территории России. Главные причины этого заключаются в большой территории и, соответственно, большом разнообразии физико-географических и социально-экономических условий, а также в сложившейся многоуровневой системе государственного учета и мониторинга земель.

Российская Федерация поддерживает ЦУР, государственная политика РФ направлена на их реализацию в стране. Также РФ подписала и ратифицировала КБО ООН, которая, как было отмечено выше, обеспечивает мониторинг выполнения задачи 15.3 ЦУР. Область действия КБО ООН охватывает не только аридные, но и гумидные ландшафты, в том числе покрытые лесом земли. Следовательно, государственная политика РФ в области управления лесами должна также способствовать реализации задачи ЦУР 15.3 (Птичников и др., 2019).

Земли лесного фонда занимают примерно две трети площади России, следовательно, адаптация (гармонизация) международных индикаторов НБДЗ применительно к целям управления лесами является важнейшей задачей.

Основным способом гармонизации национальной и глобальной системы учета выполнения задачи ЦУР 15.3 может быть предложение дополнить национальную систему глобальными индикаторами и использовать их в сложившейся национальной системе учета в качестве общих ориентиров и для контроля объективности статистических данных, получаемых традиционными методами (Куст и др., 2018).

Цель данной работы – оценить возможности адаптации международных индикаторов НБДЗ применительно к оценке состояния лесов в засушливых климатических условиях России.

Общая характеристика лесов на засушливых территориях

На территории России насчитывается 16 субъектов Федерации, лесистость которых не превышает 15% (так называемых «малолесных» регионов): 15 из них расположены на юге Европейской части страны (Республика Дагестан, Калмыкия, Ставропольский край, Астраханская, Волгоградская, Ростовская, Оренбургская, Саратовская, Воронежская, Белгородская, Тамбовская, Липецкая, Орловская, Курская области), 1 регион – Алтайский край в Азиатской части. При этом в трех регионах – Республике Калмыкии, Астраханской области и Ставропольском крае – лесистость не превышает 2% (Мартынюк, 2014).

Многочисленными исследованиями доказано, что в условиях аридного климата леса снижают губительное воздействие засух и суховеев, повышают урожай сельскохозяйственных культур, формируют благоприятный микроклимат для жизни населения. Естественные лесные массивы и созданные лесомелиоративные комплексы, существенно повышая лесистость территории, улучшают их влагооборот, тепло- и газообмен (Стратегия развития ..., 2008).

Рассмотрим ситуацию с лесами на засушливых территориях на примере лесов Южного федерального округа РФ. Общая площадь лесов округа составляет около 2.8 млн. га. В составе местных лесов защитные леса занимают 99.9%, из них 77% приходятся на ценные: в основном противозерозионные леса; леса, расположенные в пустынных, полупустынных, лесостепных зонах, степях; государственные защитные лесные полосы; нерестовые полосы (Мартынюк, 2017). Около 31% лесов округа имеют искусственное происхождение (результат лесоразведения). В целом, местные леса произрастают в засушливых природно-климатических условиях, выполняя важнейшие средообразующие, водоохранные и иные полезные функции.

Значительную опасность для лесов представляют неблагоприятные погодные условия, а в особенности метеорологические явления, которые, вероятно, в условиях будущих климатических изменений могут создать новые угрозы для состояния лесов, изменения структуры лесных земель и ведения лесного хозяйства (Замолодчиков, 2016). В этом комплексе факторов заметно выделяются воздействия ураганных ветров, изменение водного режима лесных насаждений и засухи. При сохранении глобальных тенденций температурного режима и динамики осадков, все большее число регионов расположенных на юге умеренных широт (юг ЕЧР, Северный Кавказ, юг Сибири)

начнут подвергаться засухам и будут страдать от засушливости климата, вызванной экстремально высокими температурами в летний период (Глобальный ..., 2018).

Лесоразведение как основной инструмент увеличения лесистости засушливых территорий

Одной из главных задач для улучшения социальных, экономических и экологических условий на территориях с засушливым климатом является увеличение их лесистости. Главной целью лесного хозяйства и лесоразведения в засушливых регионах является создание и формирование (поддержание) устойчивых защитных насаждений, которые способны максимально долго обеспечивать выполнение средообразующих и средоохраняющих функций (Кулик и др., 2012).

Лесоразведение является важнейшим направлением лесного хозяйства в южных регионах РФ. Лесоразведение или искусственное выращивание леса на ранее безлесных территориях осуществляется для предотвращения водной, ветровой и иной эрозии почв, создания защитных лесов и иных целей, связанных с повышением потенциала лесов (Лесной кодекс РФ, 2017).

Согласно правилам лесоразведения (Об утверждении ..., 2018), к лесоразведению относятся: облесение лесных земель в составе земель лесного фонда (осушенные болота, рекультивированные земли, земли, вышедшие из-под сельскохозяйственного пользования и т.п.); создание защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения, землях промышленности, транспорта, землях водного фонда и на землях других категорий; создание лесных насаждений при рекультивации земель, нарушенных промышленной деятельностью, а также лесных насаждений в санитарно-курортных зонах и на других объектах.

Результатом лесоразведения в засушливых территориях является создание лесных насаждений, выполняющих защитные функции (защитные леса). В зависимости от вида использования земель различают следующие основные виды искусственных защитных лесных насаждений: государственные защитные лесные полосы, полезащитные лесные полосы, истоко-(водо) регулирующие лесные полосы на склонах, приовражные и прибалочные лесные полосы, горномелиоративные насаждения, пастбищезащитные лесные полосы и др. К защитным лесам на засушливых землях относятся, в том числе государственные защитные лесные полосы, а также леса, расположенные в зоне степи, лесостепи, пустыни и полупустыни, то есть в регионах с засушливым климатом.

Сегодня государственные защитные лесные полосы имеют большое рекреационное значение и обладают высокой рекреационной привлекательностью. В последние годы в лесном хозяйстве государственные защитные лесные полосы стали характеризоваться как важная составная часть экологического каркаса территории. В них сформировались биогеоценозы с богатой флорой и фауной. Полезащитные лесные полосы – линейные насаждения, создаваемые на равнинных территориях и плоских водоразделах (на орошаемых и неорошаемых землях) для защиты пахотных земель и сельскохозяйственных растений от неблагоприятных природных факторов. Противозерозионные лесные насаждения – почвозащитные лесные насаждения в виде кулис, полос, куртин и массивов леса, препятствующие размыву, смыву и развеиванию почвы.

Результаты и обсуждение

Изменения лесистости Европейской территории России и актуальные программы лесоразведения. Важнейшим показателем лесного хозяйства, имеющим прямое отношение к выполнению Россией своих обязательств в рамках задачи 15.3 ЦУР на засушливых землях, является лесистость территории. В терминологии ЦУР увеличение лесистости свидетельствует о снижении доли деградированных земель на засушливых территориях, и наоборот, ее снижение говорит о росте доли таких земель.

Точные данные о лесистости страны имеются с середины 50-х годов XX века, когда стал проводиться государственный учет лесного фонда. Исторические данные говорят о том, что средняя лесистость центральной части Европейской территории России (Киевской Руси) составляла около 50%. В XVI-XIX вв. подсечная система земледелия, а в более поздний период промышленного подъема – истощительное пользование лесами, привели к тому, что средняя лесистость Европейской части России снизилась до 33%. На некогда лесистых пространствах центральных и средневожских губерний лесистость упала до 15%, а в лесостепных и юго-восточных – до 5% и ниже. За это время граница степей продвинулась на север, по крайней мере, на 100 км (Лесная энциклопедия, 1985). В XX веке лесистость Европейской части России вследствие социальных потрясений, реформ, войн в

целом возросла, в основном за счет зарастания пахотных земель. В 1956 г., когда вся площадь лесов страны была обследована, средняя лесистость составляла уже 39.5%, в 1998 – 45.3%, а в 2003 – 45.4% (рис. 1; Лесная энциклопедия, 1985).

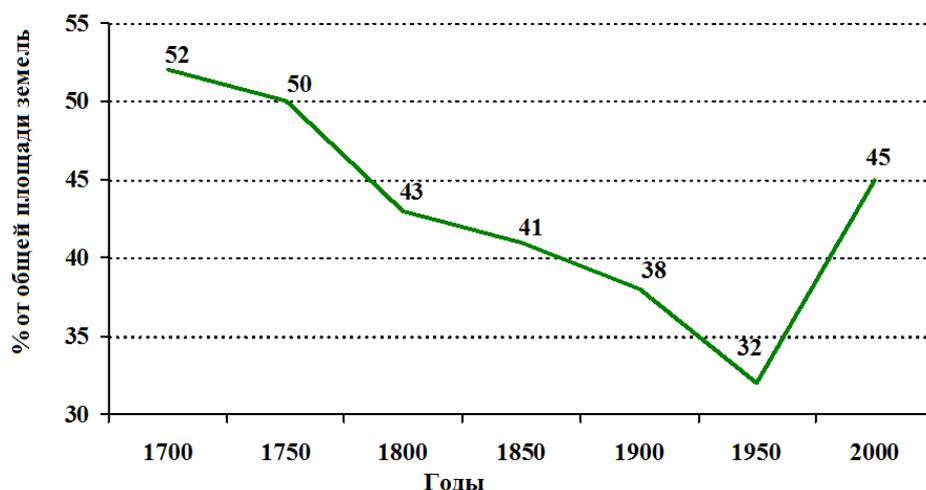


Рис. 1 Динамика лесистости Европейской части России за последние 350 лет (Национальный атлас РФ, 2000).

Рост лесистости на засушливых землях в основном шел за счет реализации различных программ лесоразведения. С конца XVIII века на сельскохозяйственных землях юга России было создано 5.2 млн. га защитных лесных насаждений (Мартынюк, 2014).

Государственные защитные лесные полосы начали создаваться в 1949 г. в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20.10.1948 «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР», который более известен под кратким названием «План преобразования природы». Только в 50-х годах прошлого века благодаря этому знаменитому плану было создано 2.1 млн. га защитных лесных насаждений в южных регионах России (Стратегия развития ..., 2008).

За последние десятилетия в 19 регионах страны было создано около 140 тыс. га государственных защитных лесных полос протяженностью около 5 тыс. км. Полосы создавались по водоразделам рек, а также по берегам рек для их защиты от заиления и загрязнения. Гослесополосы стали каркасом системы защитных лесных насаждений (ЗЛН). Сегодня это в большинстве случаев государственный лесной фонд, находящийся в федеральной собственности. В большинстве случаев это сформированный лес, выполняющий важнейшие климаторегулирующие, ветрозащитные функции. В отдельных местах даже наблюдается естественное зарастание неиспользуемых в сельском хозяйстве полей от стены леса таких полос (рис. 2; Мартынюк, 2014).

С 80-х годов происходит снижение объемов создания защитных лесонасаждений. За последние 10 лет объемы защитного лесоразведения сократились почти в четыре раза (Мартынюк, 2017). Объемы лесоразведения в период 2008-2017 гг. были сведены к минимуму и осуществлялись на площади 3.5-8 тыс. гектаров на землях различного целевого назначения. Так, во многих субъектах Российской Федерации эти работы прекращены практически полностью, в том числе в регионах, нуждающихся в защите почв от эрозии (Астраханская, Волгоградская, Тамбовская области и др.).

Лишь в последнее время ситуация с защитным лесоразведением несколько улучшилась. В 2018 году лесоразведение проведено на площади 10 тыс. га, а объем работ по лесоразведению увеличился в 2.8 раза по сравнению с 2017 годом.

Состояние защитных лесных насаждений на засушливых территориях и необходимость их оценки с применением инструментов НБДЗ

По данным Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), примерно половина существующих защитных лесонасаждений

нуждается в реконструкции или полной замене в связи с крайне неудовлетворительным состоянием или достижением предельного возраста (Мартынюк, 2014). Основной причиной ухудшения состояния ЗЛН является продолжительное (более 20 лет) отсутствие лесохозяйственного обслуживания из-за недостатка финансирования лесного хозяйства. Многие ЗЛН загрязнены бытовыми и промышленными отходами, повреждены пожарами, незаконными рубками, болезнями и вредителями. В них прогрессируют процессы изреживания, кроме того, создание ЗЛН в большинстве случаев ведется с применением однопорodных насаждений и узкими 3-4-рядными полосами из тополя и березы, что способствует интенсивному задернению почвы, снижая возможности естественного лесовосстановления. В существующих ЗЛН только для Воронежской и Белгородской области сейчас необходимо проведение лесохозяйственных мероприятий на общей площади 103776 га. Наибольшие объемы работ связаны с выполнением рубок ухода (57.4%) и санитарных рубок (28.0% от общей площади; Чеканышкин, Лепёхин, 2015).

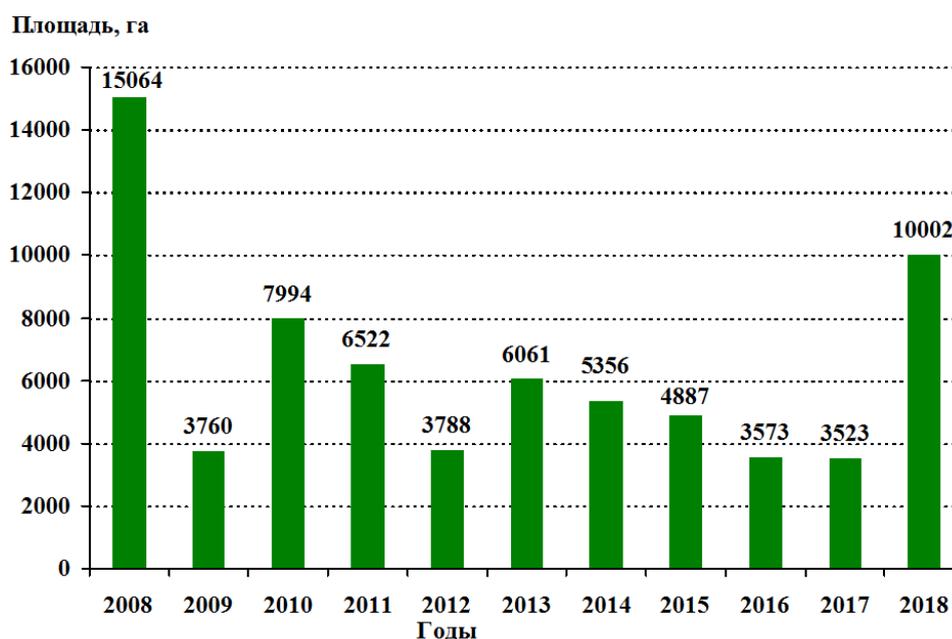


Рис. 2. Динамика работ по лесозащитному разведению в РФ (Мартынюк, 2017, с дополнениями).

Другой значительной проблемой ЗЛН является деградация полезащитных лесных полос на сельскохозяйственных землях. В советское время уход за полезащитными лесными полосами производился органами лесного хозяйства. В связи с тем что сельскохозяйственные земли перешли в частную собственность, органы лесного хозяйства перестали ухаживать за полезащитными лесными полосами, а частные владельцы – фермеры и агрокомплексы отказались или резко снизили объемы ухода за полезащитными лесными полосами. В результате большие площади полезащитных лесных полос оказались фактически бесхозными. Например, в Краснодарском крае только 17% лесных полос сейчас находятся в краевой собственности, остальные – в частной. В Краснодарском крае лесозащитные полосы занимают более 120 тыс. га и могут обеспечивать прибавку урожая зерновых (до 12%) и технических (до 35%) культур. Но сегодня лесополосы не выполняют своих функций. Половина всех защитных насаждений нуждается в срочном лесохозяйственном уходе и улучшении санитарного состояния. Около 96% насаждений – третьего возрастного периода, то есть старше 16 лет и нуждаются в реконструкции (Российский аграрный портал, 2016). Имеются случаи незаконных порубок, в том числе в особо крупном размере. Санитарные вырубki и уход должны производиться собственниками (арендаторами) сельхозземель, однако ответственности за невыполнение данных работ не предусматривается. По мнению М. Сергеевой (2018), имеется необходимость проведения инвентаризации защитных насаждений на землях всех категорий для оценки их состояния (фото 1).

Приведенные факты свидетельствуют о масштабных проблемах с защитными лесными насаждениями на засушливых землях как в количественном, так и качественном выражении. Такая

ситуация указывает на необходимость проведения оценки состояния защитных лесных насаждений и естественных лесных экосистем на засушливых территориях с использованием подходов нейтральности баланса деградации земель.

Леса на засушливых территориях как объект мониторинга НБДЗ

Для оценки НБДЗ для лесов на засушливых территориях необходимо точно определить категории земельных угодий, для которых такая оценка может проводиться. Леса в Южном федеральном округе расположены как на землях лесного фонда, так и на сельскохозяйственных землях (полезащитные полосы и другие категории ЗЛН). Таким образом, объектом для мониторинга цели ЦУР 15.3 применительно к лесам будут как земли лесного фонда, включающие широкий спектр категорий – от покрытых лесом до необлесенных земель, так и сельскохозяйственные земли, покрытые лесной и кустарниковой растительностью и с наличием на них ЗЛН.

Анализ индикаторов НБДЗ и соответствующих таксационных индикаторов по лесам на федеральном уровне позволяет нам построить соответствие, приведенное в таблице 1.



Фото 1. Состояние лесной полосы на землях сельскохозяйственного назначения в Республике Адыгея (Сергеева, 2018).

Таблица 1. Примерное соотношение индикаторов НБДЗ и таксационных характеристик лесонасаждений (с использованием «Энциклопедия лесного хозяйства», 2006).

Состояние и изменения наземного покрова (land cover)	Запас леса (м ³ /га)
	Лесистость
	<i>Динамика площадей рубок, пожаров, повреждений насекомыми и иссушение</i>
	<i>Динамика лесоразведения (для нелесных земель лесного фонда и сельскохозяйственных земель)</i>
Продуктивность земель (land productivity)	Общий прирост лесов (с учетом отпада)
	<i>Уровень биологического разнообразия (например, индекс Шеннона)</i>
Запасы углерода в почве и подстилке	Оценочные показатели

Лесистость и ее динамика

Лесистость представляет собой важнейший индикатор НБДЗ для лесов на засушливых территориях. Лесистость и ее динамика во времени – это по сути прямой и самый важный показатель для оценки индикатора ЦУР 15.3 – «доли деградированных земель в общей площади».

Статистическая информация о лесопокрытой площади в РФ и по субъектам РФ периодически публикуется в национальных и региональных докладах и может быть получена из Лесного реестра. Изменение лесистости связано с изменением лесопокрытой площади. Причинами изменения лесопокрытой площади могут быть:

- усыхание лесов из-за изменения климата;
- изменение структуры лесов из-за антропогенного воздействия (выпас, незаконные порубки, инвазии видов);
- гибель лесов, погибших под воздействием неблагоприятных факторов (пожары, промышленные выбросы, насекомых и болезней).

Ввиду того что государственная статистика дает обобщенные данные лесистости целиком для субъектов РФ, необходим более точный анализ динамики применительно к засушливым территориям этих субъектов. При анализе площади ЗЛН и лесозащитных полос следует также обратить внимание на показатель соотношения площади пашни и ЗЛН. Если площадь ЗЛН составляет 5% и более от площади пашни, это обеспечивает оптимальную урожайность многих сельхозкультур. При снижении этого соотношения фиксируется снижение урожайности.

Продуктивность земель (land productivity)

Применительно к лесам индикатор продуктивности земель может обозначать продуктивность лесов и лугово-кустарниковой растительности. Продуктивность леса это количество различных ресурсов, произведенных лесом за определенный период на единице площади. Различают продуктивность:

- биологическую – количество биомассы, произведенной лесом за определенный период на единице площади;
- древесную – количество древесины, произведенной насаждением за определенный период на единице площади (Энциклопедия лесного хозяйства, 2008);

Применительно к целям НБДЗ целесообразно использовать биологическую продуктивность лесов. Продуктивность лесов описывается таксационным показателем прирост (общий прирост). В древостое происходят два противоположно направленных процесса: увеличение запаса за счёт прироста по объёму растущих деревьев и его уменьшение за счёт отпада древесно-кустарниковой растительности и рубок промежуточного пользования. Общий прирост характеризует объем прироста без учета объема отпада.

Основные факторы, влияющие на величину прироста: биологические особенности древесных пород, происхождение древостоев, их возраст, условия произрастания, полнота, санитарное состояние, а также различные лесохозяйственные мероприятия.

Данные по приросту (продуктивности) лесов могут быть получены из Государственного лесного реестра (2013), статистических данных, публикуемых в ведомственных изданиях Рослесхоза (Доклад ..., 2015), в специализированных региональных справочниках и базах данных. Дополнительным важным источником данных могут быть данные дистанционного зондирования, в том числе Программы Biomassar (Gauthier, 2015).

Биоразнообразие и НБДЗ

Одним из главных отличий лесов от других видов земель является высокий уровень биологического разнообразия в лесных экосистемах, даже в активно эксплуатируемых и искусственных лесах. На практике часты ситуации, когда рост продуктивности лесов, например, в монодоминантных защитных лесных насаждениях, сопровождается снижением исходного биологического разнообразия. В таких случаях нельзя говорить об однозначно положительном эффекте от роста продуктивности, необходимо учитывать сопутствующий фактор сохранения биологического разнообразия в лесных экосистемах. Сама КБО ООН ссылается в стратегической цели 4-2 на необходимость учета распределения и учета отдельных видов (растений и животных). В этой связи мы предлагаем в оценку НБДЗ на местном уровне включить оценку уровня биологического разнообразия лесов и его динамики.

В качестве первого шага рекомендуется сделать оценку богатства породного состава древесно-кустарниковой растительности защитных лесных насаждений, лесозащитных полос. В основном для создания ЗЛН и лесозащитных полос использовались породы древесины, характеризующиеся

нетребовательностью и хорошей приживаемостью – робинии лжеакация и акации белой. Однако уже в 15-летнем возрасте без должного лесохозяйственного ухода такие насаждения подвержены деградации и распаду. Для повышения устойчивости таких насаждений используются орех черный, дуб черешчатый и дуб Гартвиса, которые позволяют улучшить разнообразие породного состава и даже заготавливать деловую древесину в результате рубок ухода. Такие лесонасаждения более привлекательны в качестве местообитаний животных и птиц, их продолжительность жизни существенно выше. После проведенных рубок ухода лесные полосы будут работать эффективнее, что позволит повысить урожайность зерновых культур до 2.5 ц с гектара, а также трансформировать в пашню закрайки лесных полос, заросшие кустарником и мелколесьем. В связи с этим целесообразно довести соотношение «насаждение – поле» до 5 гектаров на 100 гектарах пашни.

При прочих равных условиях ЗЛН с большим разнообразием пород будут обладать большей устойчивостью. Преимущественное использование адаптированных к ариднему климату местных долгоживущих древесно-кустарниковых пород также может свидетельствовать о более устойчивых подходах к созданию ЗЛН.

Оценка соотношения площади ЗЛН и пашни, видового состава и возраста ЗЛН представляется важной частью оценки НБДЗ для лесных насаждений в засушливой зоне.

Выводы

На засушливых землях России имеется значительная проблема, связанная с ухудшением состояния защитных лесных насаждений и естественных лесов, включая государственные лесные полосы, полезащитные лесные полосы на засушливых землях юга России на значительных площадях. Ухудшение состояния связано с резким сокращением ухода за такими лесонасаждениями со стороны органов лесного хозяйства из-за сокращения финансирования, а также в связи с изменением собственности на полезащитные лесные полосы.

Проблема состоит в ухудшении санитарного состояния таких лесонасаждений: их загрязнением бытовыми и промышленными отходами, повреждением пожарами, незаконными рубками, болезнями и вредителями, развитии процессов задернения почвы, изреживания и даже распада лесонасаждений. С учетом масштаба проблемы целесообразно использование инструментов НБДЗ для мониторинга процессов изменений защитных лесных насаждений. При этом необходимо дополнить набор глобальных индикаторов НБДЗ рядом национальных показателей.

Оценка НБДЗ должна осуществляться с учетом нахождения лесонасаждений на государственных и частных землях с различными режимами управления. Сейчас около 70% лесов на землях лесного фонда в засушливой зоне имеют естественное происхождение, а на сельскохозяйственных землях почти все лесные насаждения созданы человеком и являются результатом лесоразведения. Естественные леса являются более устойчивыми к факторам внешней среды, искусственные леса в гораздо большей степени подвержены деградации при прекращении ухода за ними.

Анализ динамики лесоразведения в засушливых условиях показал, что основные площади лесов защитного назначения были введены в 50-60-х годах XX века. В последние 30 лет (до 2018 года) имелась тенденция к снижению площадей защитного лесоразведения, и лишь в последний год ситуация начала исправляться. Зафиксировано также ухудшение состояния лесов, более половины защитных лесных насаждений имеют неудовлетворительное санитарное состояние, достигли предельного возраста, распадаются. Все это свидетельствует о негативной динамике баланса деградации лесных земель в последние 30 лет для значительной территории лесонасаждений в засушливых условиях.

Таксационные индикаторы лесных насаждений, такие как запас, лесистость, динамика повреждений лесов и динамика лесоразведения являются оптимальными при анализе индикатора НБДЗ «состояние и изменения наземного покрова». Таксационные индикаторы, такие, как общий прирост (с учетом отпада), удовлетворительно характеризует индикатор «продуктивность земель». Дополнительным индикатором, характеризующих продуктивность земель в широком смысле мог бы быть показатель уровня биологического разнообразия, например видового богатства древесно-кустарниковой растительности, в том числе в полезащитных полосах. Для анализа НБДЗ целесообразно широко использовать данные дистанционного зондирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2020, том 26, № 2 (83)

- деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство). 2018. Национальный доклад / Ред. А.И. Бедрицкий. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева; ГЕОС. 286 с.
- Государственный лесной реестр 2013. 2014. Статистический сборник. М.: ФГУП «Рослесинфорг». 690 с.
- Замолодчиков Д.Г., Краев Г.* 2016. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование. № 4 (48). С. 23-32.
- Лесная энциклопедия (в 2-х т.). 1985 / Ред. Г.И. Воробьев, Н.А. Анучин, В.Г. Атрохин, В.Н. Виноградов. М.: Советская энциклопедия. 563 с.+ил.
- Лесной кодекс Российской Федерации. 2017. М: Эксмо. 112 с.
- Мартынюк А.А., Филитчук А.Н.* 2017. Изменение климата и леса: возможные последствия и план действий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Т. 5. № 1 (27). С. 276-279.
- Мартынюк А.А., Ерусалимский В.И.* 2014. Вклад ВНИИЛМ в развитие защитного лесоразведения // ВНИИЛМ – 80 лет научных исследований. Пушкино: ВНИИЛМ. С. 99-114.
- Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации. 2016. Пятый национальный доклад. Институт географии РАН. 114 с.
- Доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2015 год. 2015. М.: Рослесхоз. 21 с.
- Об утверждении Правил лесоразведения, состава проекта лесоразведения, порядка его разработки. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 28 декабря 2018 года № 700. 2018 [Электронный ресурс <http://docs.cntd.ru/document/552196662> (дата обращения 15.03.2019)].
- Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием. Рамочная стратегия КБО ООН на 2018-2030 гг. 2018 [Электронный ресурс https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2018-08/cop21add1_SF_RU.pdf (дата обращения 02.03.2019)].
- Постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20.10.1948 «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР» 1948 [Электронный ресурс [https://ru.wikisource.org/wiki/Постановление_Совета_Министров_СССР_и_ЦК_ВКП\(б\)_от_20.10.1948_№_3960](https://ru.wikisource.org/wiki/Постановление_Совета_Министров_СССР_и_ЦК_ВКП(б)_от_20.10.1948_№_3960) (дата обращения 09.03.2019)].
- Птичников А.В., Карелин Д.В., Котляков В.М., Паутов Ю.А., Боровлев А.Ю., Кузнецова Д.А., Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И.* 2019. Применимость международных индикаторов оценки нейтрального баланса деградации земель к бореальным лесам России // Доклады Академии наук. Т. 489. № 2. С. 195-198.
- Кулик К.Н, Рулев А.С., Жданов Ю.М., Юферев В.Г., Кретинин В.М., Исупов Б.А., Тубалов А.А., Кошелева О.Ю., Дорохина З.П., Кошелев А.В., Юферев М.В.* 2012. Адаптивно-ландшафтное обустройство земель сельскохозяйственного назначения лесостепной, степной и полупустынной зон европейской части Российской Федерации: монография. Волгоград. 123 с.
- 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) С. 369-389.
- Национальный атлас РФ. 2009. Т. 3. Население и экономика [Электронный ресурс <https://национальныйатлас.рф> (дата обращения 20.03.2019)].
- Российский аграрный портал. 2019. Полезащитные полосы стали неэффективными. Интервью с руководителем ГБУ КК «Управление «Краснодарлес» А.И. Фуниковым [Электронный ресурс <https://agroportal-ziz.ru/articles/polezashchitnye-lesnye-polosy-stali-neeffectivny> (дата обращения 01.03.2019)].
- Сергеева М.* 2018. Лесные полосы: современное состояние и правовые основы функционирования и управления на примере Республики Адыгея // Устойчивое лесопользование. № 4 (56). С. 21-27.
- Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года. 2008 / Ред. К.Н. Кулик и др. Волгоград: ВНИАЛМИ. 33 с.
- Федеральная целевая программа «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006-2010 годы и на период до 2013 года». 2019 [Электронный ресурс <http://fcp.economy.gov.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/ViewFcp/View/2013/192/> (дата обращения 07.03.2019)].
- Чеканышкин А.С., Лепёхин А.А.* 2015. Состояние защитного лесоразведения в центрально-черноземной зоне // Лесной журнал. № 4. С. 9-17.
- Энциклопедия лесного хозяйства (в 2-х т.). 2006. М.: ВНИИЛМ. Т. 1. 424 с.; Т. 2. 416 с.
- Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Schvidenko A.Z., Schepaschenko D.G.* 2015. Boreal forest health and global change // Science. Vol. 349. No. 6250. P. 819-822.
- Web-Атлас «Окружающая среда и здоровье населения России». 2019 [Электронный ресурс <http://www.sci.aha.ru/> (дата обращения 09.03.2019)].

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 636.32/38.084

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

© 2020 г. Д.А. Шаповалов, П.В. Ключин, С.В. Савинова

Государственный университет по землеустройству
Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15. E-mail: klyushinpv@gmail.com

Поступила в редакцию 18.05.2019. После доработки 20.06.2019. Принята к публикации 02.07.2019.

В статье приводится материал по мониторингу, анализу состояния и динамики развития эрозионных процессов сельскохозяйственных угодий за 16-летний (2000-2016 гг.) период по районам Ставропольского края. В настоящее время стихийное падение сельскохозяйственного производства, в первую очередь связанное с культурой земледелия, не столько способствует восстановлению природного биоресурса и биоразнообразия, сколько усугубляет негативные процессы. Предложен алгоритм оценки состояния земель и определено территориальное распределение ареалов распространения 11 видов негативных процессов в разрезе районов Ставропольского края.

Ключевые слова: Ставропольский край, экология, проблемы, негативные процессы.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10096

Территория Ставропольского края составляет 6616 тыс. га. Здесь преобладают земли сельскохозяйственного назначения, занимающие 92.3% площади края, что свидетельствует о его высокой сельскохозяйственной освоенности. Территория относится к переходным зонам, где сочетаются ландшафты Большого Кавказа и Русской равнины, что определяет сложность и многообразие ландшафтной структуры. Всего в крае выделяют 24 ландшафта, относящиеся к пяти провинциальным группам: лесостепные ландшафты, занимающие 15.2% площади, степные – 54.8%, полупустынные – 19.3%, предгорные степные и лесостепные – 8.7%, среднегорные ландшафты лесостепей и остепненных лугов – 2%. Почвенный покров в основном представлен двумя зонами: каштановой и черноземной (Глушко, 2010; Кулинцев и др., 2013; Sharovalov et al., 2018; Trukhachev et al., 2018). Климатические условия в крае неоднородны и меняются от крайне засушливых с годовым количеством осадков 387 мм до достаточно влажных – 665 мм. В 1968 году разработанное агроклиматическое районирование было заменено на экономическое, а агроклиматические зоны – на сельскохозяйственные. Основу нового районирования составила специализация сельскохозяйственного производства, в результате было выделено четыре зоны: крайне засушливая – овцеводческая, засушливая – зерново-овцеводческая, зона неустойчивого увлажнения – зерново-скотоводческая, зона достаточного увлажнения – прикурортная (рис. 1). Все это приводит к развитию значительного числа негативных процессов с крайне неоднородным распределением по территории края.

Цель статьи – разработать алгоритмы оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения на основе данных многолетнего мониторинга и пространственного распределения деградационных процессов на территории Ставропольского края для выработки рекомендаций по эффективному землепользованию.

Материалы и методы

Этапами создания цифровой картографической основы явились:

- отбор и изучение региональных картографических источников, приведение их к виду, пригодному для сканирования;
- сканирование производилось с разрешением 300 dpi, размер ячейки растра 0.083 мм, что соответствует 42 м на местности;
- редактирование и сшивка частей растров в Adobe Photoshop CS6;
- векторизация информации по растровой подложке в Mapinfo 12.5 и Coraldraw X6;
- редактирование отвекторизованной информации;

- контроль полученной цифровой карты.

На основе космических снимков Landsat-7 и Landsat-8 за 2000 и 2016 гг. формировались тематические карты, построенные методом диапазонов значений, применение которого позволяет группировать записи с близкими значениями тематической переменной и присваивать созданным группам единые цвета или штриховки. Построение тематических карт по расчету средневзвешенных значений интерполированных показателей происходило в несколько этапов:

- вычисление значений показателей с помощью SQL-запросов;
- растеризация векторной карты территории районов с подписанными значениями по одному из атрибутов в MapInfo 12.5;
- построение интерполированной поверхности и экспорт цифровых моделей в растровый формат.

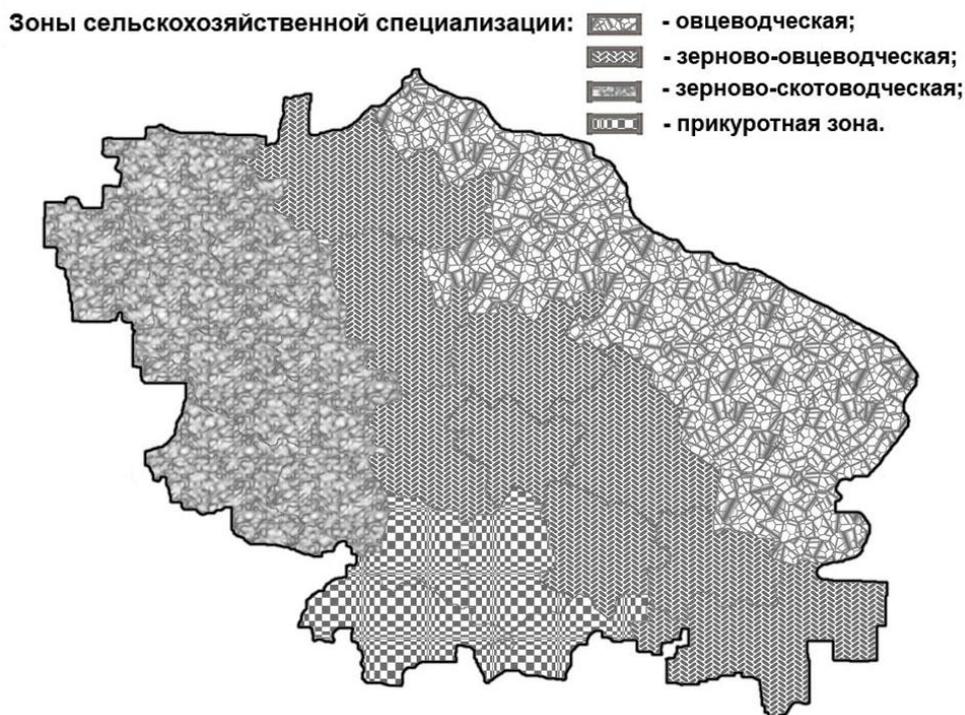


Рис. 1. Сельскохозяйственное районирование территории Ставропольского края.

Результаты и обсуждение

В Ставропольском крае значительные площади подвержены различным деградационным процессам, таким как: засоление, водная эрозия, солонцеватость, дефляция, переувлажнение, каменистость, совместное проявление водной и ветровой эрозии, заболачивание. По результатам тематического картографирования обследованы пахотные земли на площади 4074.2 тыс. га и на основании этого рассчитаны площади ареалов основных деградационных процессов. Для оценки состояния земель была выстроена эмпирическая балльная шкала по каждому виду деградационных процессов, основанная на многолетних данных по урожайности основной районированной культуры региона – озимой пшеницы (табл. 1).

Суммарный показатель деградационных процессов рассчитан с учетом мониторинга основных процессов и с учетом всех показателей деградационных процессов антропогенной нагрузки по районам Ставропольского края. Мы также проанализировали в ArcGIS 10 морфометрические показатели, такие как: углы наклона, экспозиции склонов, горизонтальную расчлененность рельефа. Для создания карты уклонов были проанализированы уже имеющиеся шкалы, а также встречаемость на территории Ставропольского края определенных градаций уклона склонов (табл. 2).

Как видно из представленных данных, на территории Ставропольского края преобладают пологие и покатые, покато-крутые склоны. Крутые, очень крутые и чрезвычайно крутые склоны распространены в основном на юге края в районе Кавказских Минеральных Вод.

Таблица 1. Определение степени деградации земель сельскохозяйственного назначения.

Балл (степень) деградации	Деградированные территории, %								
	Засоление	Солончаки и солонцовые комплексы	Переувлажнение	Заболачивание	Эродировано дефляцией	Эродировано эрозией	Совместная водная и ветровая эрозия	Каменистость	Суммарный
0 – условно отсутствует	<10	<5	<3	<0.5	<3	<5	<0.5	<3	<0.5
1 – низкий	10-20	5-10	3-6	0.5-1	3-6	5-10	0.5-1	3-6	0.5-1
2 – средний	20-30	10-15	6-9	1-1.5	6-9	10-15	1-1.5	6-9	1-1.5
3 – высокий	30-40	15-20	9-12	1.5-2	9-12	15-20	1.5-2	9-12	1.5-2
4 – очень высокий	40-50	20-25	12-15	2-2.5	12-15	20-25	2-2.5	12-15	2-2.5
5 – катастрофический	>50	>25	>15	>2.5	>15	>25	>2.5	>15	>2.5

Таблица 2. Распределение обследованной территории Ставропольского края в зависимости от крутизны склонов.

Склоны	Крутизна, °	Площадь, км ²	Площадь, %
Плоские, слабонаклонные, наклонные	0-2	31472.25	47.65
	2-4	21879.07	33.12
	4-6	7229.40	10.94
Покатые	6-8	2570.37	3.89
	8-10	1110.83	1.68
	10-15	887.66	1.34
	15-20	173.82	0.26
Средней крутизны	20-25	44.93	0.07
	25-30	14.12	0.02
Крутые	30-35	4.70	0.007
	35-40	1.20	0.002
	40-45	0.27	0
Обрывистые	45-50	0.02	0
Территория, занятая озерами, водохранилищами		661.36	1.00
ВСЕГО:		66050	99.98

Суммарная антропогенная деградация. Метод оценки основан на определении и сопоставлении площадей, занятых различными элементами ландшафта, с учетом их положительного или отрицательного влияния на окружающую среду – коэффициент экологической стабилизации, формула которого приведена ниже:

$$K_{\text{ЭС}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{ст}}}{\sum_{i=1}^m F_{\text{нст}}},$$

где $F_{\text{ст}}$ – площади, занятые стабильными элементами территории – сельскохозяйственными культурами и растительными сообществами, оказывающими на него положительное влияние (леса, зеленые насаждения, естественные луга, заповедники, заказники и пахотные земли, занятые многолетними культурами); $F_{\text{нст}}$ – площади, занятые нестабильными элементами ландшафта (ежегодно обрабатываемые пашни, земли с неустойчивым травяным покровом, склонами, площадями

под застройкой и дорогами, зарастающими и заиленными водоемами, местами добычи полезных ископаемых, другими участками, подвергшимися антропогенному опустошению). Оценка территории производилась по пятибалльной шкале характеристики территории K_{Σ} :

- 1) ≤ 0.5 – нестабильность хорошо выражена;
- 2) 0.51-1.00 – состояние нестабильное;
- 3) 1.01-3.00 – состояние условно стабильное;
- 4) 3.01-4.50 – состояние стабильное;
- 5) > 4.51 – стабильность хорошо выражена.

В нашей работе использовались данные по землепользователям за 2016 г. По районам были просчитаны площади стабильных и нестабильных элементов земель сельскохозяйственного назначения. К стабильным элементам мы отнесли:

- 1) леса,
- 2) древесно-кустарниковые насаждения,
- 3) многолетние насаждения,
- 4) залежи,
- 5) сенокосы,
- 6) пастбища,
- 7) посадки многолетних трав,
- 8) водохранилища и пруды.

Нестабильными элементами являются:

- 1) пашня,
- 2) орошаемые земли,
- 3) приусадебные земли,
- 4) земли, находящиеся в стадии мелиоративного строительства,
- 5) прочие земли (земли находящиеся под: дорогами, прогонами и проселками; общественными дворами, улицами и площадями; общественными постройками; нарушенные земли).

Самое катастрофическое состояние отмечается на территории Андроповского и Шпаковского районов в западной части края и Левокумского – на востоке. Для них, как для Кочубеевского и Минераловодского районов, не отмечено стабильных состояний оцениваемых элементов земель сельскохозяйственного назначения. Общая площадь, занимаемая землями с пятой (катастрофической) степенью деградации, составляет 1324400 га или 20.26%, т.е. каждый пятый гектар края достиг катастрофического состояния. Это подтверждается еще и тем, что по суммарным показателям деградационных процессов ни один район не отнесен к нулевой степени деградации (Клюшин и др., 2017, 2018; Косинский и др., 2017; Лошаков и др., 2018).

В работе по районам также была просчитана антропогенная нагрузка и площади стабильных и нестабильных элементов земель сельскохозяйственного назначения. Важным элементом мониторинга эродированных земель является отслеживание динамики развития эрозии и динамики площадей сельскохозяйственных угодий, подвергшихся негативному процессу (табл. 3).

Из таблицы видно, что по результатам обследования на 2016 год площадь всех эродированных угодий составляет 905866 га и около 55% этих земель представляют пашню. Также существенные площади занимают эродированные пастбища – 41.6% деградированной площади. Остальная часть эродированных земель представлена сенокосами – 2.6%, многолетними насаждениями – 0.55% и залежью – 0.16%. За шестнадцатилетний период общая площадь деградированных земель сократилась на 8000 га, однако необходимо отметить, что в 2006 году деградированные земли занимали наименьшую площадь за весь мониторинговый период (695712 га), что на 218 тыс. га меньше, чем в 2000 году. С 2006 года отмечается постоянный рост площади эродированных земель, и к 2012 году она возросла до 776 тыс. га. По результатам исследований составлена картосхема ареалов негативных процессов в разрезе районов Ставропольского края по степени их опасности (рис. 2).

В шести районах на первом месте оказались деградационные процессы от совместного проявления эрозии и дефляции, на втором в пяти районах – рост площадей под солончаками и солонцовыми комплексами. Третье место в четырех районах разделили высокая плотность населения и каменистость. Для других районов негативные явления отмечаются также по показателям степени распаханности территории, площади мелиорированных земель, площади заболоченных и эродированных дефляцией земель, что говорит о высокой степени негативного воздействия разных

процессов на земли сельскохозяйственного назначения Ставропольского края. В семи районах наибольший вклад в деградацию вносит каменистость, которая проявляется в наиболее плодородных районах, располагающихся на Ставропольской возвышенности и в Предгорном районе, находящемся в эколого-курортном регионе Кавказских Минеральных Вод.

Таблица 3. Динамика площади эродированных земель Ставропольского края, га.

Год	Степень проявления эрозии	С.-х. угодья	Пашня	Залежь	Многолетние насаждения	Сенокосы	Пастбища
2000	Очень сильно	4652	106	–	–	584	3962
	Сильно	126534	17585	–	64	4417	104468
	Средне	192544	73852	97	490	5690	112415
	Слабо	590136	428027	1020	4757	11092	145240
	Всего	913866	519570	1117	5311	21783	366085
2006	Очень сильно	2689	208	–	–	416	2065
	Сильно	95142	20431	–	118	3438	71155
	Средне	156561	70917	644	524	3721	80755
	Слабо	441320	321833	139	3802	7807	107739
	Всего	695712	413389	783	4444	15382	261714
2012	Очень сильно	4046	386	–	–	473	3187
	Сильно	99324	18240	–	106	2966	78012
	Средне	171646	72014	524	483	4118	94507
	Слабо	501120	329961	355	4119	10714	155971
	Всего	776136	420601	879	4708	18271	331677
2016	Очень сильно	5170	419	–	–	513	4238
	Сильно	107638	21901	14	99	4211	81413
	Средне	196827	84068	498	441	4913	106907
	Слабо	594893	391785	950	4478	14420	184598
	Всего	905866	498173	1462	5018	24057	377156

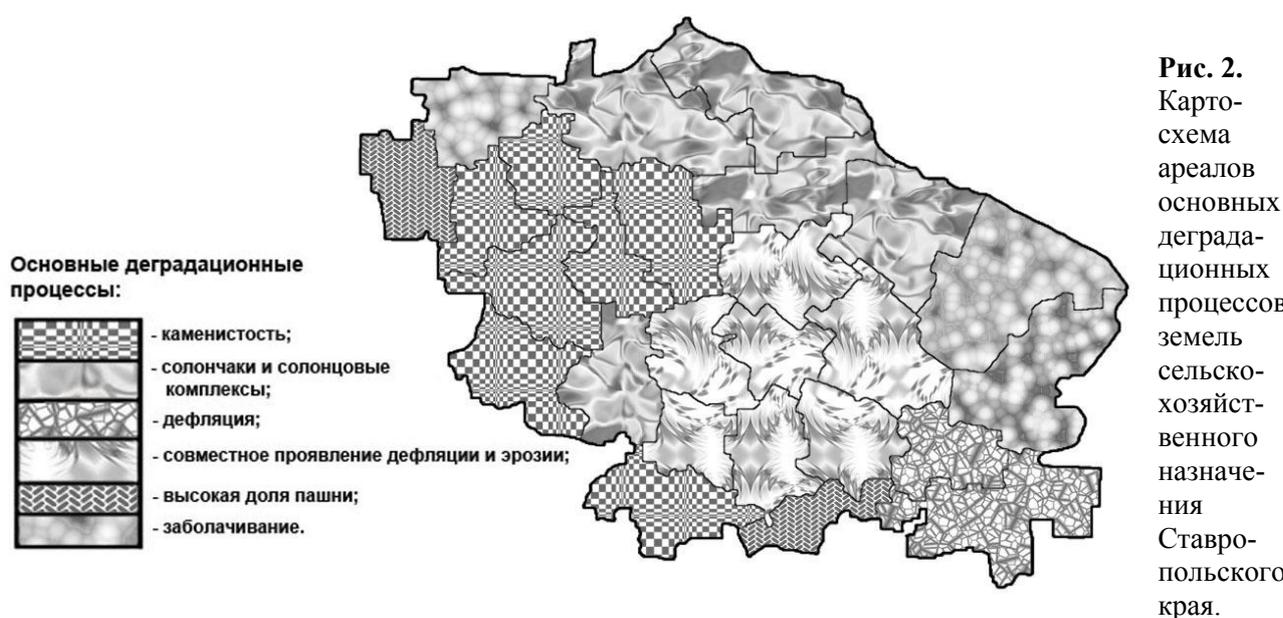


Рис. 2. Карто-схема ареалов основных деградационных процессов земель сельскохозяйственного назначения Ставропольского края.

Выводы

Разработанный для Ставропольского края алгоритм оценки состояния земель может быть использован для других сельскохозяйственных регионов России. Полученные результаты по оценке антропогенной нагрузки, уровню деградации земель и коэффициенту стабилизации земель сельскохозяйственного назначения будут использованы для разработки комплекса мер по защите от дальнейшей деградации, и улучшению состояния земель на основе таких методов оптимизации современного природопользования как: организация территории, почвозащитные севообороты, агротехнические противоэрозионные мероприятия, лесомелиоративные противоэрозионные мероприятия и гидротехнические сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глушко А.Я. 2010. Земельный фонд юга европейской части России под воздействием опасных природных процессов. Невинномысск. 476 с.
- Клюшин П.В., Савинова С.В., Лошаков А.В. 2017. Рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения на территории Ставропольского края // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 4. С. 61-68.
- Клюшин П.В., Савинова С.В., Лошаков А.В., Одинцов С.В. 2018. Эффективное использование естественных кормовых угодий Ставропольского края // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 1 (156). С. 41-47.
- Косинский В.В., Клюшин П.В., Савинова С.В., Лошаков А.В. 2017. Мониторинг и рациональное использование пахотных земель Ставропольского края // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 9. С. 47-55.
- Кулинец В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И., Удовыдченко В.И., Петрова Л.Н., Антонов С.А., Андреянов Д.Ю., Черкашин В.Н., Дридигер В.К., Дзыбов Д.С., Кравцов В.В., Ерошенко Ф.В., Куприченко М.Т., Ковтун В.И., Багринцева В.Н., Кузыченко Ю.А., Шустикова Е.П., Хрипунов А.И., Шаповалова Н.Н., Чертов В.Г., Володин А.Б., Комаров Н.М., Лапенко Н.Г., Галушко Н.А., Давидяц Э.С., Чапцев А.Н., Чапцева Т.В., Шлыкова Т.Д., Браткова Л.Г., Чумакова В.В., Ерошенко А.А., Ходжаева Н.А., Федотов А.А. 2013. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Ставрополь. 520 с.
- Лошаков А.В., Клюшин П.В., Савинова С.В., Хасай Н.Ю. 2018. Мониторинг и эффективное использование засоленных земель сельскохозяйственного назначения Ставропольского края // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 12 (167). С. 49-56.
- Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Savinova S.V. 2018. Problems and efficiency of land use in the north Caucasian federal district // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Vol. 18. No. 5.1. P. 667-674.
- Trukhachev V.I., Esaulko A.N., Antonov S.A., Loshakov A.V., Sigida M.S. 2018. Water Erosion Monitoring on The Territory of Agrolandscapes Stavropol Territory by Remote Methods // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. No. 9 (6). P. 1766-1769.

ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

© 2020 г. Э.Б. Дедова*, Б.А. Гольдварг**, Н.Л. Цаган-Манджиев**

*Калмыцкий филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова
Россия, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, пл. О.И. Городовикова, д. 1
E-mail: kf_vniigim@mail.ru, elviola27@gmail.com

**Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Б. Нармаева, филиал Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН
Россия, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, просп. О.И. Городовикова, д. 5

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 29.06.2019. Принята к публикации 02.07.2019.

Республика Калмыкия расположена в европейской части аридного пояса Российской Федерации, где одной из серьезных экологических и социально-экономических проблем является опустынивание значительной части (до 80%) ее территории. Так, из 6264 тыс. га сельскохозяйственных угодий 77.9% подвержены различным типам деградаций, из них переувлажненных – 93.96 тыс. га, эродированных – 526.18 тыс. га, дефлированных – 1753.92 тыс. га, засоленных – 2505.6 тыс. га. Наибольшие индексы дефляционной деградации отмечаются в юго-восточных районах Калмыкии (ИД_д 31.7-71.1 балл), что обусловлено природными (усилением аридности климата) и антропогенными (чрезмерная пастбищная нагрузка) факторами. Разработана концептуальная модель, отражающая механизм мелиоративного воздействия на деградационные процессы, протекающие на землях сельскохозяйственного использования под влиянием природных и антропогенных факторов. Предложен агробиологический способ фитомелиорации деградированных земель на открытых песчаных массивах, включающий посадку джужгуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gurke.), волоснеца гигантского (*Leymus racemosus* Lam. Tzvel.), прутняка распростертого (*Bassia prostrata* (L.) A.J. Scott), терескена серого (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.) и житняка сибирского (*Agropyron sibiricum* (Willd.) P. Beav.). Разработаны комплексы мелиоративных мероприятий, дифференцированные для различных категорий земель сельскохозяйственного использования, обеспечивающие создание оптимальных условий для повышения природно-ресурсного потенциала аридных экосистем и направленные на предупреждение опустынивания территорий, нивелирование комплексности почвенного покрова, снижение природной и антропогенной засоленности, солонцеватости и риска развития других негативных процессов.

Ключевые слова: деградация, почвы, дефляция, вторичное засоление, пастбища, фитомелиорация, комплексная мелиорация, Калмыкия.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10097

Республика Калмыкия расположена в Прикаспийском регионе Российской Федерации и обладает уникальным многокомпонентным ресурсным потенциалом. Географическое положение территории региона предопределяет наличие здесь аридного и семиаридного климата с индексом аридности 0.20-0.47 и среднегодовым количеством атмосферных осадков 210-360 мм. Проявляющаяся здесь крайняя степень деградации, опустынивание, в наибольшей мере поражает природные экосистемы и сельскохозяйственные земли (Бакинова, 2000; Дедова, 2012; Доскач, 1979; Зволинский и др., 1998). На интенсивность и направленность динамики аридных земель существенно повлияли историко-географические особенности хозяйственного использования природных ландшафтов. Выделяется несколько периодов динамики опустынивания в регионе: период (1) «от экологического риска к экологическому кризису» (1850-1890 гг.), когда на территории Прикаспийской низменности преобладали общинные формы землепользования и основным направлением хозяйственной

деятельности являлось отгонно-кочевое животноводство; период (2) «от экологического кризиса к экологическому бедствию» (1890-1920 гг.), когда продолжали наращиваться площади пашни под «хлебопашество» и увеличивалось поголовье овец тонкорунных пород «шпанки», что привело, как писал К.П. Балашов (1911, с. 83), к тому, что «огромные ковыльные пространства превратились в бесплодные равнины»; период (3) «от экологического бедствия к экологическому кризису» (1920-1940 гг.) характеризуется как переход к оседлости местного населения, сопровождающийся увеличением скотопоголовья и изменением структуры стада в пользу овец, а также нарушениями принципа «сезонности» при использовании пастбищ; период (4) «сохранения кризисной экологической ситуации» (1940-1960 гг.), когда продолжалось становление и развитие стационарных хозяйств с их переходом на отрасль тонкорунного овцеводства. В числе климатических особенностей этого периода по материалам Б.В. Виноградова и К.Н. Кулика (1987) показано вхождение в так называемый 35-летний Брюкнеровский цикл (один из типов климатических флуктуаций, обусловленный изменениями солнечной активности), а также сильнейшая засуха в 1946-1984 гг. В этот период скота было столько, сколько могла обеспечить растительность и местные водоисточники. Уровень продуктивности естественных пастбищ и наличие порядка 600 колодцев на линзах грунтовых вод позволяли содержать примерно 1.8 млн. голов овец. Перерыв в использовании пастбищ был связан с войной 1941-1945 гг. и трагично вошедшей в историю депортацией калмыцкого народа. После передачи земель в административное пользование Ставропольского края, Астраханской и Ростовской областей началось дополнительное расширение площадей богарной и орошаемой пашни, в том числе распашка песков и возделывание однолетних культур по технологиям, не адаптированным к местным условиям. Период (5) нарастания экологического кризиса (1960-1970 гг.), когда происходила замена курдючно-мясо-шерстного направления тонкорунным, характеризовался увеличением поголовья до 2.2 млн. и при круглогодичном выпасе все это способствовало ослаблению устойчивости естественных экосистем. Кроме этого, в этот период было ещё и распаханно свыше 150 тыс. га на легких песчаных и супесчаных почвах для производства посевов зерновых и кормовых культур без соблюдения и выполнения каких-либо мероприятий противоэрозионного характера. Опустынивание охватило 37% территории. Распашка дала толчок необратимым изменениям экосистем на Черных землях, что в большей степени и привело к образованию антропогенной пустыни – единственной в Европе. В период (6) «от экологического кризиса к экологическому бедствию» (1970-1990 гг.) на фоне усиления Брюкнеровского цикла отмечалось вполне необоснованное наращивание количества поголовья скота до 3.5 млн. голов овец, а с учетом частных оно составило 5 млн. голов, тем самым превысив 2-3 кратную перегрузку пастбищ и снижение их продуктивности. Уже в 1986-1987 гг. от острого недостатка кормов в зимний период произошёл падеж скота, превышавший 800 тыс. голов. В 1986 году площадь развееваемых песков в республике развернулась на 600 тыс. га, при этом ежегодная скорость нарастания очагов опустынивания составила в среднем 40-50 тыс. га в год. Дефицит средств на восстановление и функционирование достаточно нормальной и комфортной среды обитания явился одной из причин исчезновения 25 населенных пунктов Республики Калмыкия. По оценке И.С. Зонна и Г.С. Куста (1999), опустыниванием было охвачено 83% территории.

В результате нерациональной ирригации на Черных землях из-за вторичного засоления было выведено из сельскохозяйственного оборота более 100 тыс. га земель. Из-за сопровождающегося при этом подъема уровня грунтовых вод было подтоплено 33 населенных пункта. Мероприятия по предотвращению опустынивания в республике сводились к разработке эколого-технологических основ и программ ведения адаптивного земледелия и рационального пастбищного хозяйства, созданию устойчивых экосистем пастбищного и противоэрозионного назначения. Период (7) «от экологического бедствия к экологическому кризису» (1990-2000 гг.) характеризуется переходом к рыночной экономике и наметившимся выходом из экологического бедствия; в начале 2000-х годов, в связи с социально-экономической перестройкой и сопутствующими трудностями началось резкое повсеместное сокращение содержания поголовья скота (почти в 3 раза), соответственно нагрузка на пастбища стала в 1.5 раза ниже их емкости. Это обстоятельство способствовало началу восстановления растительности естественных пастбищ и снижению пастбищной дистрессии.

В работах многих исследователей (Лачко, 1991; Шамсутдинов, 1998; Зонн, Куст, 1999; Кулик и др., 2007; Дедова и др., 2012) показаны концепции, методы, приемы и технологии восстановления деградированных земельных угодий. Однако в настоящий период с повсеместно регистрируемыми

заметными изменениями климата, возрастающей антропогенной нагрузкой на экосистемы всех уровней и недостаточным финансированием работ по мелиорации земель и ликвидации негативных агроэкологических последствий проблема деградации и опустынивания сельскохозяйственных угодий приобретает все большую остроту. Это период (8) – «от экологического кризиса к экологическому бедствию».

Материалы и методы

Исследования базировались на анализе литературных и фондовых материалов (2018 г.) с использованием системного подхода и включали теоретические разработки, полевые и лабораторные эксперименты. В качестве теоретических предпосылок и разработок комплексных мероприятий по возможности предупреждения процессов опустынивания и освоения деградированных почв использовались работы (Виноградов, Кулик, 1987; Зонн, Куст, 1999; Дубенок и др., 2009; Лачко, 1991; Шамсутдинов, 1998), основанные на принципах экологического равновесия гидро-, лесо-, агро-мелиоративных и других воздействий. На территории Республики Калмыкия выделяются следующие природно-территориальные комплексы: степной, сухостепной, полупустынный и пустынный, представляющие собой мозаику геоморфологических структур и разных типов почвенного и растительного покрова. При этом большая часть земельного фонда (74.5%) представлена светло-каштановыми и бурыми полупустынными почвами в комплексе с солонцами. Разница между испаряемостью и количеством выпадающих осадков составляет порядка 700-800 мм, что говорит о большом дефиците влаги (табл. 1).

Сухость климата усиливается с северо-запада на юго-восток. Малое количество выпадающих осадков и, при этом, систематически повторяющиеся сильные засухи и суховеи являются основным природным фоном деградационных процессов.

Таблица 1. Районирование территории Калмыкии по условиям влагообеспеченности.

Зона увлажнения	Годовая сумма осадков, мм	Испаряемость (Е ₀), мм/год	К _{ув.}	Пункт наблюдения
Сухая (пустыня)	254	1120	0.22	Яшкуль
Полусухая	329	1064	0.30	Малые Дербеты
Очень засушливая	355	1046	0.33	Элиста
Засушливая	518	990	0.52	Городовиковск

Результаты и обсуждение

В Республике Калмыкия из 6.3 млн. га всех имеющихся сельскохозяйственных угодий 78% подвержены воздействию различных типов деградаций (дефляция, эродированность, засоление и заболачивание почв), их степень оценивали индексами деградации (ИД), отражающими по 100-балльной шкале их состояние. Расчёт ИД земель сельскохозяйственных угодий Калмыкии проводили по формуле В.И. Петрова с соавторами (1999):

$$ИД = \frac{\text{пораженная часть территории, га} \times 100}{\text{общая площадь территории, га}}$$

Степень проявления деградации изменяется в зависимости от особенностей природно-климатической зоны. Так, например, в юго-восточных районах республики отмечается наибольший индекс дефляционной деградации (ИД_д 31.7-71.1 балл). Это во многом обусловлено существующими природными и антропогенными факторами: на фоне аридизации климата и возрастающей пастбищной нагрузки снижается устойчивость экосистем к деградации. Рассчитанный суммарный индекс деградации на территории Республики Калмыкия (рис. 1) показывает, что в пустынном районе ИД_с превышает 100 баллов (Дедова, 2012).

На орошаемых землях аридных территорий Северного Прикаспия наибольшее распространение имеет ирригационное опустынивание, вызванное вторичным засолением почв. К ирригационно-хозяйственным причинам его возникновения относят низкий уровень конструирования и эксплуатации оросительных систем, а также культуры земледелия, пренебрежение мелиоративными мероприятиями (мелиорация солонцов, промывки) как до освоения оросительных систем, так и в

процессе их эксплуатации.

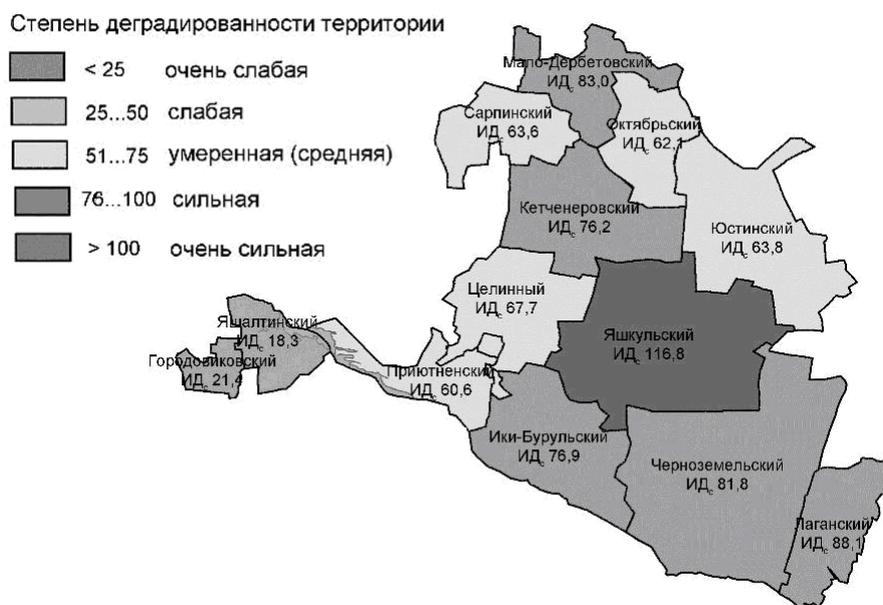


Рис. 1. Степень деградации земель сельскохозяйственных угодий на территории Республики Калмыкия.

На территории республики функционируют пять крупных обводнительно-оросительных систем (ООС), такие как: Черноземельская, Калмыцко-Астраханская, Право-Егорлыкская, Сарпинская и Каспийская. Подача воды на ООС осуществляется из прилежащих бассейнов рек Волга, Кубань, Терек и Кума. Ежегодный общий объем водозабора на различные хозяйственные нужды составляет 600-700 млн. м³. По существующей межхозяйственной оросительной сети обводняется порядка 1167.2 тыс. га пастбищных угодий (Кизяев и др., 2012). При этом общая площадь мелиорированных земель составляет 80.9 тыс. га, из них: 44.7 тыс. га – регулярное орошение и 36.2 тыс. га – лиманное орошение (Дедова, 2018).

Оценку почвенно-мелиоративного состояния существующих орошаемых земель проводят по уровню залегания и минерализации грунтовых вод, и засолению. Так, по данным ФГБУ «Управление Калмелиоводхоз» (Кизяев и др., 2012), в хорошем и удовлетворительном состоянии находится 13.6 тыс. га, в неудовлетворительном по причине засоления почв – 24 тыс. га, неудовлетворительное (недопустимая глубина уровня залегания грунтовых вод и засоления почв) – 5.5 тыс. га, неудовлетворительное (недопустимая глубина уровня залегания грунтовых вод) – 0.1 тыс. га.

В последние годы к причинам деградации прибавились такие мощные факторы воздействия, как разработка и освоение месторождений природных ископаемых. Так, например, как правило, в радиусе 400-500 м от буровых и нефтедобывающих скважин растительность уничтожена на 60-80%, а в радиусе 100 м и ближе – полностью. На используемых нефтегазовых месторождениях основными факторами, способствующими деградации, являются: разлив нефти, вклинивание грунтовых соленых вод, влияние токсичных буровых растворов и сжигание факелов, дорожная дигрессия и сеть нерегламентированных полевых дорог. Дороги и нарушения от проезда транспорта (нерегламентированный проезд по степи колесного и гусеничного транспорта) вызывают нарушения естественного почвенно-растительного покрова механическим путем – от уплотнения до полного уничтожения, при этом возрастает тенденция отчуждения земель и трансформации природных экосистем (Ганичева, Лисутина, 2012).

В рамках реализации научно-технических разработок «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель» в 1986-1996 гг. был подавлен лавинообразный характер опустынивания в Калмыкии путем мелиорации опустыненных пастбищ (Гольдварг и др., 2017; Кулик и др., 2007). Одним из самых действенных методов для восстановления продуктивности деградированных пастбищ выступает фитомелиорация и, в первую очередь, посев многолетних трав (рис. 2).

Научной доктриной, взятой за основу проведения биологической мелиорации пастбищ,

выступают концепции, выдвинутые О.А. Лачко (1991) и З.Ш. Шамсутдиновым (2015): о неполноценности биогеоценозов в экологических нишах, о взаимной дополняемости видов в сообществах, об адаптивной стратегии растений.

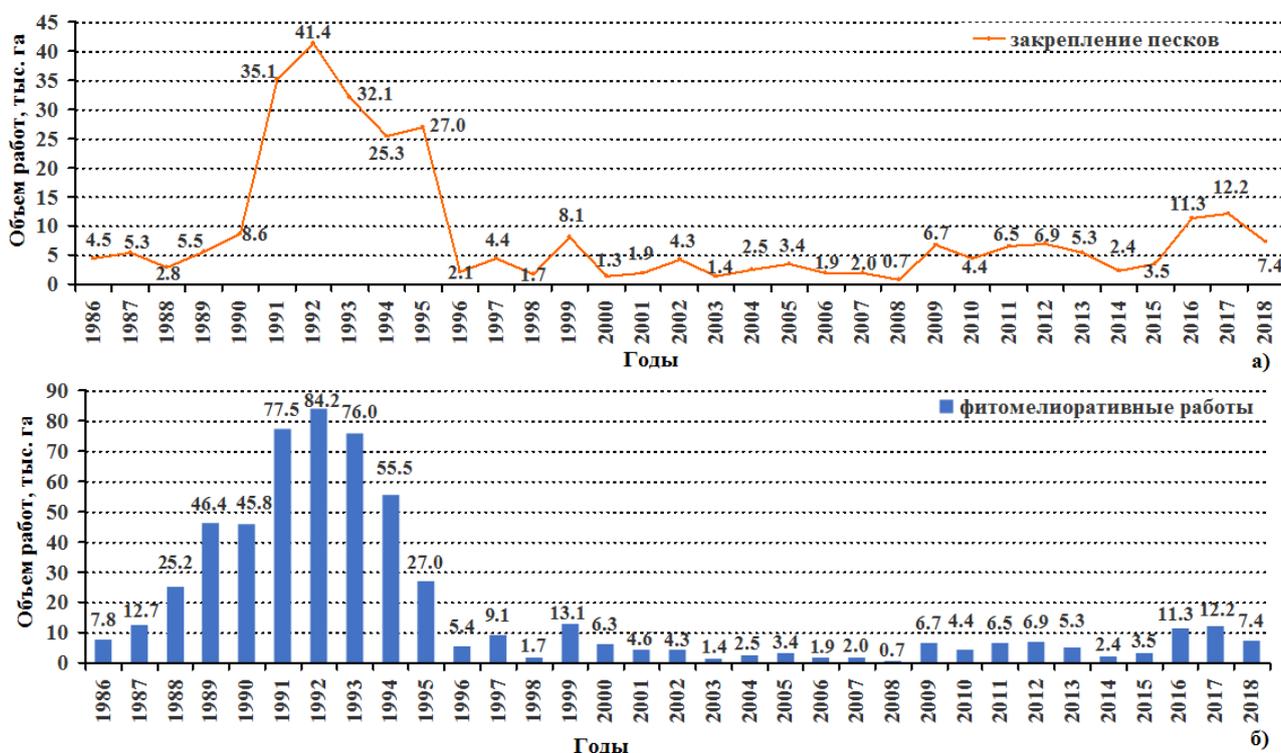


Рис. 2. Объемы выполненных фитомелиоративных работ (б), в том числе закрепление песков (а) в районе Черных земель на территории Республики Калмыкия (данные ФГБУ «Управление по восстановлению Черных земель и Кизлярских пастбищ»).

Многолетние исследования Калмыцкого научно-исследовательского института сельского хозяйства, Черноземельской опытной станции при участии Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации позволили разработать и предложить эффективные методы восстановления пастбищной экосистемы на месте открытых песков (рис. 3). В начальный период производства фитомелиоративных работ по реализации «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель» (1986) закрепление песков проводилось по упрощенной технологии путем посева волоснеца гигантского (*Leymus racemosus* Lam. Tzvel.). В дальнейшем осуществлен переход на технологию комплексного освоения открытых песков, предусматривающую восстановление опустыненных и улучшение деградированных пастбищ путем формирования многоярусных фитоценозов – лесопастбищ, включающих в себя не только пастбищный травостой, но и древесно-кустарниковый ярус (Гольдварг и др., 2017; Кулик и др., 2007; Лачко, 1991; Цаган-Манджиев и др., 2014).

Усовершенствованная технология восстановления пастбищной экосистемы в местах открытых песков складывается из нескольких биогеоценозически обоснованных последовательных этапов:

Первый этап заключается в посадке поздней осенью или ранней весной в барханной части ландшафта семян джугуна (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gurke.) на глубину 0.6-0.7 м, с междурядьем 12 м. В подовой части, в те же сроки, производится посадка терескена серого (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.).

Второй этап связан с формированием зонально-типичных для песчаных местообитаний полночленных пастбищных экосистем. При этом производится посев прутняка распростертого (*Bassia prostrata* (L.) A.J. Scott) и преимущественно песчаных экотипов полыни белой (*Artemisia* L.), житняка сибирского (*Agropyron sibiricum* (Willd.) P. Beav.) и других многолетних трав, обеспечивающих продуктивность до 2.0 т/га.

Результаты многолетних наблюдений на ключевых участках по закреплению песков показали, что средняя приживаемость черенков джугуна (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gurke.) составляет 55-60%, при этом проективное покрытие растений варьирует от 25 до 65% (табл. 2, фото 1).

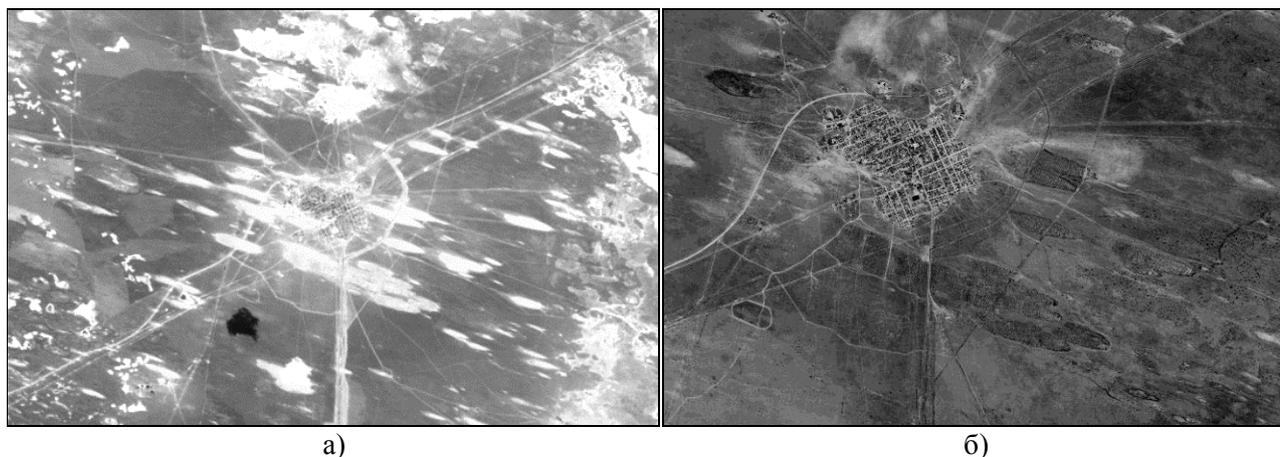


Рис. 3. Спутниковые снимки состояния естественных сельскохозяйственных угодий в Черноземельском районе Республики Калмыкия в разные годы: а) 26.08.1990, Landsat 5, б) после проведения фитомелиоративных работ 10.07.1999, Landsat 7.

Таблица 2. Виды фитомелиоративных работ и проективное покрытие на реперных участках деградированных земель Республики Калмыкия.

№ реперного участка – год проведения работ	Географические координаты	Виды фитомелиоративных работ	Проективное покрытие, %
Участок № 4 – 1995 г.	45° 21' 50" с.ш., 46° 06' 58" в.д., Комсомольское СМО Черноземельского р-на	I этап – посадка черенков <i>Calligonum aphyllum</i> (Pall.) Gurke. в борозды через 10 м; II этап – посев <i>Bassia prostrata</i> (L.) A.J. Scott в межполосные пространства	40-45
Участок № 5 – 2003 г.	45° 25' 21" с.ш., 46° 7' 37" в.д., Хулхутинское СМО Яшкульского р-на	То же	35-40
Участок № 6 – 2010 г.	45° 01' 24" с.ш., 46° 22' 46" в.д., Артезианское СМО Черноземельского р-на		60-65
Участок № 7 – 2012 г.	46° 19' 23" с.ш., 46° 29' 57" в.д., Хулхутинское СМО Яшкульского р-на	I этап – посадка черенков <i>Calligonum aphyllum</i> (Pall.) Gurke. по осям лент на h=35-40 см с шириной лент b=1.4 м, расстояние между осями лент l=5 м с устройством рулонных кулис	25-30

Для предотвращения опустынивания территории разработан алгоритм решения комплексных проблем, направленных на изучение закономерностей устойчивого функционирования природных экосистем и обеспечивающих рациональное использование экологического потенциала природно-территориального комплекса региона для создания благоприятной системы жизнеобеспечения (рис. 4). Концептуальная модель повышения природно-ресурсного потенциала деградированных сельскохозяйственных угодий средствами комплексной мелиорации отображает взаимную зависимость деградационных процессов, происходящих на землях сельскохозяйственного

использования и обусловленных природными и антропогенными факторами (Дедова, 2012).

Для экологически безопасного функционирования агроландшафтов Республики Калмыкия учеными Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова (Бородычев и др., 2014; Дубенок и др., 2009; Дедова, 2012; Okonov, Dedova, 2015) разработаны дифференцированные для каждого вида сельскохозяйственных угодий методы и способы восстановления деградированных земель.

Способ формирования пырейно-солодкового агрофитоценоза для восстановления вторично засоленных почв при близком залегании уровня грунтовых вод, основывается на симбиотическом взаимодействии двух культур *Glycyrrhiza glabra* L. и *Elytrigia elongata* (Host) Nevski, что позволяет уменьшить содержание солей в пахотном горизонте почвы и существенно снизить уровень залегания грунтовых вод. Данный способ даёт возможность в течение 5 лет поддерживать проективное покрытие злаковой и бобовой культурами на уровне 80-90%, что в итоге даёт возможность вернуть деградированные орошаемые земли в сельскохозяйственный оборот (Дедова и др., 2012).

Для восстановления продуктивных качеств фитоценозов на деградированных пастбищах разработаны технологии по их коренному улучшению при применении на бурых легкосуглинистых солонцеватых почвах житняка пустынного, а на бурых супесчаных почвах – житняка сибирского, позволяющие получать соответственно 5.3-8.2 и 4.7-6.9 т/га зеленой массы (Сухарев и др., 2011).



а)



б)

Фото 1. Посадки кустарника джугуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gurke.), Черноземельский район Республики Калмыкия май 2019 г. (фото Э.Б. Дедовой).

Технология возделывания риса на деградированных землях включает в себя проведение комплекса мелиоративных мероприятий: планировку поверхности почвы с целью предотвращения поверхностных перераспределений оросительной воды при поливах и, тем самым, создания условий для равномерного увлажнения почвенного профиля по всей площади поля, снижения инфильтрационного питания грунтовых вод и предотвращения вторичного засоления корнеобитаемого слоя почвы; проведение химической мелиорации почвы (внесение фосфогипса в дозах 4-6 т/га). Данная технология обеспечивает повышение урожая риса по сравнению с традиционной технологией возделывания на 21-33% (Бородычев и др., 2014).

Выводы

Территория Республики Калмыкия принадлежит к депрессивным регионам Северо-Западного Прикаспия, и характеризуется аридным и семиаридным климатом с индексом аридности 0.20-0.47 и среднегодовым количеством атмосферных осадков 210-360 мм. Установлено, что в настоящее время все еще присутствующая неэффективная система землепользования приводит к нарушениям динамического равновесия экосистем, при этом оказывает негативное влияние как на экономику региона, так и на благосостояние общества. Наибольшая опасность деградационных процессов возникает при совместном воздействии природных и антропогенных факторов, тем самым вызывая эффект синергизма. В связи с этим, разработаны технико-технологические инструментарины реабилитации деградированных земель средствами комплексной мелиорации в адаптивно-ландшафтной системе земледелия.

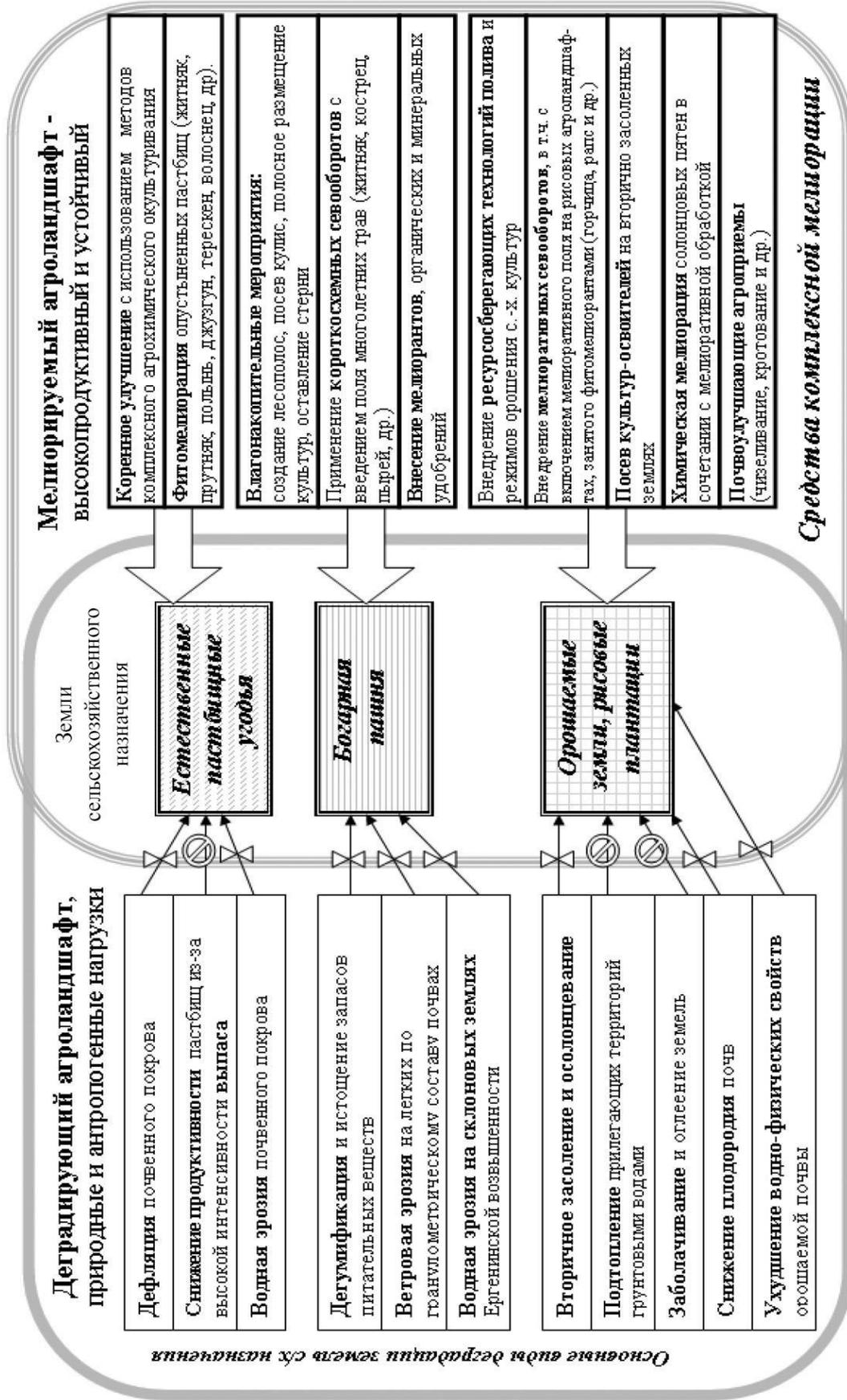


Рис. 4. Концептуальная модель повышения природно-ресурсного потенциала деградированных сельскохозяйственных угодий средствами комплексной мелиорации (Дедова, 2012). Условные обозначения: ⊗ – вид деградации исключается, ⊗ – вид деградации регулируется средствами комплексной мелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакинова Т.И. 2000. Эколого-экономические проблемы аграрного землепользования в аридной зоне: на примере Республики Калмыкия. Автореферат диссертации доктора экономических наук. Ростов-на-Дону. 44 с.
- Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Кониева Г.Н., Пюрбеев Б.Г. 2014. Возделывание риса в лиманном агроландшафте Сарпинской низменности Республики Калмыкия // Плодородие. № 1 (76). С. 4-5.
- Виноградов Б.В., Кулик К.Н. 1987. Аэрокосмический мониторинг динамики опустынивания Черных земель Калмыкии по повторным снимкам // Проблемы освоения пустынь. № 4. С. 45-53.
- Ганичева Л.З., Лисутина Л.А. 2012. Антропогенные воздействия на биотические сообщества Республики Калмыкия // Инженерный вестник Дона. № 3 (21). С. 826-829.
- Генеральная схема по борьбе с опустыниванием Черных Земель и Кизлярских пастбищ. 1986. Ростов-на-Дону: издательство ЮжНИИгипрозема. 61 с.
- 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 // Материалы научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России». Элиста. С. 42-45.
- Дедова Э.Б. 2012. Повышение природно-ресурсного потенциала деградированных сельскохозяйственных угодий Калмыкии средствами комплексной мелиорации. Диссертация Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. М. 387 с.
- Дедова Э.Б., Чапланова М.П., Нохашикиева С.Н. 2012. Способ формирования пырейно-солодкового агрофитоценоза на вторично засоленных почвах при близком залегании грунтовых вод. Патент на изобретение RU №2485746.
- Дедова Э.Б. 2018. Адаптивные методы реализации экосистемного водопользования в АПК Республики Калмыкия // Основные результаты исследований института за 2017 год. Сборник научных трудов. М.: издательство ВНИИГиМ. С. 123-142.
- Доскач А.Г. 1979. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука. 140 с.
- Дубенок Н.Н., Дедова Э.Б., Адыев С.Б. 2009. Фитомелиоративная роль культур-освоителей засоленных земель Калмыкии // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 6. С. 22-25.
- Зволинский В.П., Зонн И.С., Трофимов И.А., Шамсутдинов З.Ш. 1998. Земельные и агроклиматические ресурсы аридных территорий России. М.: издательство ПАИМС. 56 с.
- Зонн И.С., Куст Г.С. 1999. Проблема опустынивания в России: состояние, оценка, пути решения // Опустынивание и деградация почв. Материалы Международной научной конференции. М.: Издательство МГУ. С. 52-65.
- Кизяев Б.М., Кирейчева Л.В., Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сазанов М.А. 2012. Концепция развития мелиорации сельскохозяйственных земель Республики Калмыкия на период до 2020 года. М.: Изд. ВНИИА. 64 с.
- Кулик К.Н., Габунцина Э.Б., Кружilin И.П. 2007. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ. 85 с.
- Лачко О.А. 1991. Эколого-экспериментальные основы создания пастбищных агроценозов в Северо-Западном Прикаспии. Автореферат диссертации док. биол. наук. М. 48 с.
- Петров В.И., Павловский В.С., Кулик К.Н., Воронина В.П., Скурко В.Е. 1999. Атлас опустынивания сельскохозяйственных угодий Российского Прикаспия. Волгоград: ВНИАЛМИ. 37 с.
- Сухарев Ю.И., Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сангаджиева С.А. 2011. Подбор фитомелиорантов для восстановления деградированных пастбищ Калмыкии // Природообустройство. № 5. С. 25-31.
- Фондовые материалы Федерального государственного бюджетного учреждения «Управление по восстановлению Черных земель и Кизлярских пастбищ». 2018. Отчет об итогах работы ФГБУ «Фитомелиорация» за 2014-2018 гг. Элиста. 17 с.
- Шамсутдинов З.Ш. 1998. Учение о биосфере и биологическая мелиорация экологически дестабилизированных агроландшафтов // Материалы 7 научно-практической конференции. Симферополь. С. 470-475.
- Шамсутдинов Н.З. 2015. Биоресурсный потенциал галофитов и проблемы фитомелиорации деградированных аридных земель. М.: Угрешская типография. 348 с.
- Цаган-Манджиев Н.Л., Гольдварг Б.А., Даваев А.В., Оконов М.М., Шамсутдинов Н.З. 2014. Агробиологический способ фитомелиорации деградированных земель с использованием черенков джугуна (*Calligonum arhyllum*) и устройства рулонных кулис. Патент на изобретение RU №2576062.
- Оконов М.М., Дедова Э.Б. 2015. Assessment of the current state of meliorative regime of natural and anthropogenic complexes in Kalmykia // Biosciences, Biotechnology Research Asia. Vol. 12 (3). P. 1011-1033.

КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2020 г. О.Э. Суховеева*, А.Н. Золотухин**, Д.В. Карелин** ***

*Институт географии РАН

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: olgasukhoveeva@gmail.com

**Курский государственный университет

Россия, 305000, г. Курск, ул. Кирова, д. 5

***Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов

Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

Поступила в редакцию 22.05.2019. После доработки 19.06.2019. Принята к публикации 02.07.2019.

Две имитационные биогеохимические модели, описывающие круговорот углерода в почве, DeNitrification-DeComposition (DNDC) и Rothamsted Long Term Field Experiment Carbon Model (RothC), параметризованы в соответствии с условиями пахотных выщелоченных черноземов Курской области и верифицированы по данным измерений почвенной эмиссии CO₂ на Курской биосферной станции Института географии РАН на примере пяти культур: озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника и картофеля. С помощью моделирования восстановлена динамика содержания органического углерода (C_{орг.}) в почве за 1990-2018 гг. Модель RothC дает регионоспецифичную характеристику потерь C_{орг.} с преимущественной их зависимостью от погодных условий и средней скоростью 342±54 кг C/га·год. Результаты, полученные при использовании модели DNDC, отличаются большей специфичностью по культурам и показывают максимальные потери C_{орг.} под кукурузой (272 кг C/га·год) и его накопление под озимой пшеницей (266 кг C/га·год). За аналогичный период наблюдается устойчивый рост теплообеспеченности, в том числе среднегодовых температур воздуха (0.68°C/10 лет) и сумм активных температур (224°C·сут/10 лет). Коэффициенты вариации суммы осадков и индексов увлажнения в регионе за эти годы превышают 20%. Динамика C_{орг.} в пахотных черноземах Курской области характеризуется положительными средними и сильными корреляциями с температурными характеристиками среды, в том числе с суммой активных температур, гидротермическим коэффициентом Селянинова, коэффициентом увлажнения Сапожниковой, менее значимую роль играют осадки теплого периода.

Ключевые слова: агроклиматические ресурсы, агроэкосистемы, баланс органического углерода, имитационное моделирование, нейтральный баланс деградации земель, статистический анализ, эмиссия диоксида углерода.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10098

Конвенция по борьбе с опустыниванием (КБО) ООН принимает содержание органического углерода (C_{орг.}) в почве как один из наиболее значимых индикаторов современной концепции нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ; Sustainable Land ..., 2017). В качестве альтернативы предлагаемому в системе КБО прямым измерениям при недостатке данных о динамике органического вещества почв могут быть использованы модельные расчеты изменения запасов C_{орг.}.

¹ Оценка содержания углерода по двум моделям сделана в рамках проекта РНФ № 18-17-00178 "Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата". Полевые исследования выполнены в рамках темы Госзадания ИГ РАН № 0148-2019-0006 "География, генезис, эволюция и углеродный цикл естественных и антропогенно-измененных почв на основе новейших научных концепций и технологий для целей рационального природопользования". Расчеты изменения климатических условий произведены в соответствии с темой Госзадания ИГ РАН № 0148-2019-0009 "Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России".

Активное внедрение математических методов в географические исследования дает возможность количественно оценить потоки вещества в ландшафтах в зависимости от множества природных, главным образом, климатических, и антропогенных факторов (Черкашин, Бибаева, 2013). Математические модели позволяют проводить компьютерные эксперименты, выступая в качестве объектов исследования (Припутина и др., 2016). Однако недостаточность натуральных данных и неоднородность методов определения органического вещества почв является серьезным фактором, сдерживающим построение и развитие таких моделей (Чертов, Надпорожская, 2016).

Основными причинами антропогенного характера потери $C_{орг.}$ в агроценозах признаются интенсивная обработка почвы, применение минеральных и отсутствие органических удобрений, недостаточно научно обоснованные приемы мелиорации, развитие эрозионных и дефляционных процессов (Косолапов и др., 2015). Сохранению и накоплению $C_{орг.}$ для достижения целей концепции НБДЗ должно способствовать применение практик устойчивого землепользования (Sanz et al., 2017).

Среди природных факторов решающее влияние на динамику $C_{орг.}$ оказывает климат, в том числе температурные и влажностные условия региона (Reichstein et al., 2005; Moyano et al., 2013). Взаимодействие климата и углеродного цикла через влияние погодных условий на запасы $C_{орг.}$ в наземных экосистемах и в почве бесспорно признается исследователями (Friedlingstein et al., 2003) и учитывается с помощью специальных коэффициентов в официальных методиках (МГЭИК, 2006).

Курская область лежит не только в зоне неустойчивого увлажнения (Смолянинов, Стародубцев, 2011), но и в области наиболее интенсивного роста температур в летнее время (Второй оценочный доклад, 2014). Это сопровождается увеличением числа волн жары и количества дней без осадков, на фоне чего снижаются показатели увлажнения территории, возрастает аридность климата (Сиротенко, Павлова, 2012), что, несомненно, должно находить отражение в обусловленной климатом динамике $C_{орг.}$

Цель исследования состояла в оценке влияния климатических условий на изменения запаса $C_{орг.}$ в пахотных почвах. В его задачи входили расчет агроклиматических показателей в Курской области за 1990-2018 гг., параметризация и верификация имитационных углеродных моделей для условий исследуемого региона, воссоздание на их основе динамики $C_{орг.}$ за тот же период, корреляционный анализ влияния изменений климата на целевой показатель.

Материалы и методы

Исследование проводилось на примере пахотных черноземов Курской биосферной станции (КБС) Института географии РАН (с. Панино, Медвенского р-на, Курской обл., координаты: 51° 54' с.ш., 36° 10' в.д.) – географического стационара, лежащего в 20 км к югу от г. Курска в Центрально-Черноземном районе. Главной задачей КБС является длительный мониторинг влияния различных видов сельскохозяйственной деятельности на геосистемы лесостепной зоны (Петрова, 2008).

На основе базы данных ВНИИ ГМИ – МЦД по метеостанции г. Курск (Специализированные массивы ..., 2000) были рассчитаны необходимые для характеристики региона агроклиматические показатели (Сиротенко, Павлова, 2012): среднегодовые температуры воздуха ($T_{сред.}$), температуры января ($T_{январ.}$) и июля ($T_{июл.}$), суммы положительных температур ($\Sigma T > 0$), суммы температур выше 5°C ($\Sigma T > 5$), суммы активных температур выше 10°C ($\Sigma T > 10$), суммы температур за теплый период (ΣT_{IV-IX}), суммы температур за лето (ΣT_{VI-VII}), суммы осадков за год ($P_{год}$), суммы осадков холодного периода ($P_{Х-III}$), суммы осадков теплого периода (P_{IV-IX}), суммы осадков за лето ($P_{VI-VIII}$), индекс сухости Будыко (ИС Будыко), гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК Селянинова), коэффициент увлажнения Сапожниковой (КУ Сапожниковой), испаряемость по методам Л. Тюрка (1958) и С.В. Торнтвейта (Thorntwainte, 1948).

В исследовании использовались две имитационные биогеохимические модели, описывающие круговорот $C_{орг.}$ в почве – DNDC и RothC. Они широко используются в мире и, согласно оценке Международного консорциума по почвенному моделированию (International Soil ..., 2019), адекватно отражают почвенные процессы.

RothC (версия 26.3) – модель круговорота $C_{орг.}$ в незаболоченных верхних слоях почвы, учитывающая влияние типа почвы, температуры, влажности, растительного покрова на динамику $C_{орг.}$ и эмиссию CO_2 (Jenkinson et al., 1997), изменения которых являются выходными параметрами модели. Ее шаг составляет один месяц.

DNDC (версия 9.5) – процессно-ориентированная модель, созданная для оценки основных компонентов циклов углерода и азота в почвах сельскохозяйственного назначения (Li et al., 1992).

Кроме характеристик, перечисленных для первой модели, она учитывает особенности технологии возделывания культур, в том числе их биомассу, даты посева, уборки, почвообрабатывающих мероприятий, сроки и количество вносимых удобрений. Выходные данные формируются с суточным шагом и включают в себя изменения легко- и трудно-растворимого пулов углерода в почвенном профиле на разных глубинах, его поступление с растительными остатками, а также интенсивность фотосинтеза, дыхания растений и микроорганизмов и т.д.

Параметризация модели RothC ввиду малого количества входных переменных выполнялась в рамках предусмотренных алгоритмов (Coleman et al., 1997); коэффициенты рассчитывались в соответствии с утвержденными уравнениями. Внутренние параметры модели DNDC были существенно изменены на основе методики, изложенной и верифицированной нами ранее с примерами для КБС (Суховеева, Карелин, 2019).

Характеристики преобладающих в регионе тяжелосуглинистых выщелоченных пахотных черноземов (Haplic Chernozem), запасов в них $C_{орг}$ и гумуса были взяты из монографии Д.И. Люри с соавторами (2010). Содержание в почве разлагаемой растительной биомассы и микробной биомассы определялось нами ранее (Карелин и др., 2015; Карелин и др., 2017). Информация об урожайности культур и количестве внесенных удобрений была взята из базы данных Росстата (Единая межведомственная ..., 2019). Количество поступающих в почву растительных остатков определялось по методике Ф.И. Левина (1977).

Для верификации результатов моделирования использовались натурные измерения эмиссии CO_2 из почвы, выполненные в 2017-2018 гг. камерным методом согласно разработанным нами принципам оценки эмиссии в травяных экосистемах (Карелин и др., 2015). Для анализа эффективности моделирования применялись корреляционный и однофакторный дисперсионный методы анализа, а также двухвыборочный F-тест дисперсий.

Результаты и обсуждение

Климатические условия. За анализируемый период 1990-2018 гг. устойчивые тренды были получены для среднегодовой температуры воздуха и суммы активных температур (рис. 1а). Средняя за 29 лет среднегодовая температура воздуха в регионе равна $7.1^{\circ}C$, потепление идет со скоростью $0.68^{\circ}C/10$ лет, т.е. интенсивней, чем в Центральном Федеральном округе ($0.62^{\circ}C/10$ лет), на Европейской части России ($0.53^{\circ}C/10$ лет) и в целом по стране ($0.44^{\circ}C/10$ лет; Груза, Ранькова, 2012).

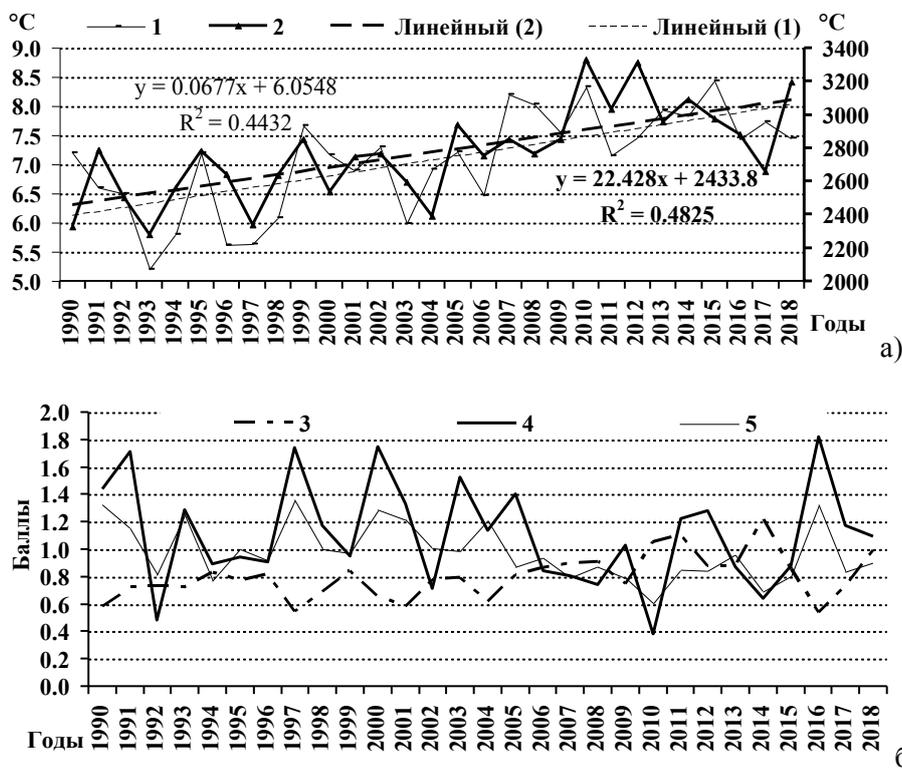


Рис. 1. Динамика агро-климатических условий в Курской области за 1990-2018 гг. по температуре (а) и индексам увлажнения (б) Условные обозначения: 1 – среднегодовая температура воздуха и 2 – сумма активных температур с их линейными трендами, формулами и коэффициентами детерминации; 3 – ИС Будько, 4 – ГТК Селянинова, 5 – КУ Сапожниковой.

Средняя сумма активных температур составляет 2770°C, теплообеспеченность возрастает на 224°C·сут/10 лет, тогда как в среднем по России она увеличивается со скоростью 96°C·сут/10 лет (Второй оценочный доклад ..., 2014).

Среднегодовая сумма осадков в области составляет 642 мм, изменяясь от 458 мм в 2014 г. до 965 мм в 2016 г. Испаряемость оценивается нами от 479 мм (расчёт по методу Л. Тюрка (1958)) до 653 мм (расчёт по методу С.В. Thornthwaite (1948)). За 29 лет средние расчетные индексы и диапазоны их значений составили: ИС Будыко=0.8 (от 1.2 в 2014 г. до 0.5 в 2016 г.), ГТК Селянинова=1.1 (от 0.4 в 2010 г. до 1.8 в 2016 г.), КУ Сапожниковой=1.0 (от 0.6 в 2010 г. до 1.4 в 1997 г.), что в целом характеризует увлажнение как достаточное (рис. 1б). Но показатели влагообеспеченности очень изменчивы. Так, коэффициент вариации для осадков за год равен 16%, для осадков теплого периода – 24%, для осадков летнего периода – 33%. Для ИС Будыко он составляет 20%, КУ Сапожниковой – 21%, ГТК Селянинова – 34%.

Верификация моделей. При верификации модели RothC (табл. 1) для подтверждения совпадения полевых и расчетных значений эмиссии CO₂ решено было обращать внимание преимущественно на равенство средних величин, подтверждаемое однофакторным дисперсионным анализом, поскольку малый объем выборки (n=6-7, т.к. шаг модели составляет месяц) ограничивал возможность применения других методов. Для всех культур, кроме кукурузы, различия средних были незначимы.

Таблица 1. Верификация моделей по полевым наблюдениям эмиссии CO₂ из почвы (Курская биосферная станция ИГ РАН).

Модель	Критерии	Культуры	Картофель		Кукуруза	Озимая пшеница		Подсол- нечник	Ячмень
			Год	2017	2018	2018	2017	2018	2017
RothC	Корреляционный анализ	r _p	0.93	0.65	0.58	0.55	0.63	0.30	-0.02
		P	0.002	0.161	0.230	0.199	0.177	0.510	0.963
		n	7	6	6	7	6	7	7
	Однофакторный дисперсионный анализ	F	3.068	2.019	7.816	0.814	0.624	2.239	1.164
		F _{крит}	4.747	4.965	4.965	4.747	4.965	4.747	4.747
		P	0.105	0.186	0.019	0.385	0.448	0.160	0.302
	Двухвыборочный F-тест для дисперсий	F	0.811	1.460	0.160	0.327	0.617	0.305	0.600
		F _{крит}	0.233	5.050	0.198	0.233	0.198	0.233	0.233
		P	0.403	0.344	0.032	0.100	0.305	0.087	0.275
DNDC	Корреляционный анализ	r _p	0.30	0.34	0.77	0.53	0.42	0.66	0.53
		P	0.259	0.204	<0.001	0.028	0.101	0.005	0.028
		n	16	16	16	17	16	16	17
	Однофакторный дисперсионный анализ	F	1.020	5.119	0.001	0.591	2.068	1.405	0.975
		F _{крит}	4.171	4.171	4.171	4.149	4.171	4.171	4.149
		P	0.321	0.031	0.991	0.448	0.161	0.245	0.331
	Двухвыборочный F-тест для дисперсий	F	4.559	1.331	1.763	4.989	14.695	1.707	1.186
		F _{крит}	2.403	2.403	2.403	2.333	2.403	2.403	2.333
		P	0.002	0.293	0.142	<0.001	<0.001	0.156	0.368

Примечания к таблице 1: серым фоном отмечены ячейки, в которых значения критериев доказывают соответствие наблюдаемых и рассчитанных по моделям значений.

При верификации модели DNDC по результатам однофакторного дисперсионного анализа у всех культур подтверждалось равенство средних полевых и расчетных значений эмиссии CO₂ из почвы, были равны их дисперсии, смоделированные и измеренные значения характеризовались средними и сильными корреляциями. Поэтому в расчеты по DNDC были включены все пять культур.

Динамика запасов C_{орг.} Модель RothC за многолетний период предсказывает убывание C_{орг.} со

средней скоростью 342 ± 54 кг С/га·год. Она оценивает потери на участках с озимой пшеницей в 289, ячменем 332, подсолнечником 341, картофелем 407 кг С/га·год. Расчеты по DNDC говорят о возможности накопления 266 кг С/га·год $S_{орг.}$ в агроценозах озимой пшеницы, тогда как у культур весеннего сева – подсолнечника, картофеля, ячменя и кукурузы – он теряется со скоростями 86, 160, 240 и 272 кг С/га·год соответственно.

Полученные количественные оценки уменьшения запасов $S_{орг.}$ в пахотных черноземах Курской области соответствуют результатам других исследователей. По данным В.М. Косолапова с соавторами (2015) на основе «Государственного (национального) доклада ...» (2014), в почвах лесостепной зоны Центрального Черноземья из-за их интенсивного дыхания формируется отрицательный баланс гумуса в пахотном слое, потери которого оцениваются в 0.7-0.9 т/га·год, что соответствует снижению содержания $S_{орг.}$ в регионе на 406-522 кг С/га·год, поскольку, согласно нашим расчетам, в исследуемых почвах доля углерода в гумусе составляет 58%. Эти потери немного меньше средних ежегодных потерь $S_{орг.}$ на возделываемых землях России за 1990-2004 гг., рассчитанных балансовым методом и равных 610 кг С/га·год (Романовская, Карабань, 2007).

При сравнении динамики углерода под различными культурами отмечалось аналогичное оценке DNDC накопление со скоростью 250 кг С/га·год под озимой пшеницей в зернопаровом севообороте на серых лесных почвах Московской области (Сапронов, 2008). Хотя на дерново-подзолистых почвах Владимирской области под картофелем без удобрений потери $S_{орг.}$ были больше и составляли 1004 кг С/га·год, тогда как с удобрениями баланс углерода в почве достигал 6016 кг С/га·год (Лукин, 2015). На парующем выщелоченном черноземе в Приобье его потери оценивались в 1967-3701 кг С/га·год в зависимости от поступления растительных остатков пшеницы и покровных культур (Власенко и др., 2009).

Исходя из результатов графического анализа, RothC отражает регионспецифичную характеристику потерь углерода из пахотных почв, и их ежегодные значения для разных культур практически идентичны друг другу (рис. 2а). Результаты моделирования с помощью DNDC более дифференцированы по культурам, и различия между ними существенны (рис. 2б). Такая культуроспецифичность DNDC вполне оправдана, поскольку растения существенно различаются по влиянию на процессы минерализации $S_{орг.}$: наибольшие его потери наблюдаются под чистым паром и пропашными, средние – под зерновыми и однолетними травами; под многолетними травами его запасы не сокращаются (Косолапов и др., 2015).

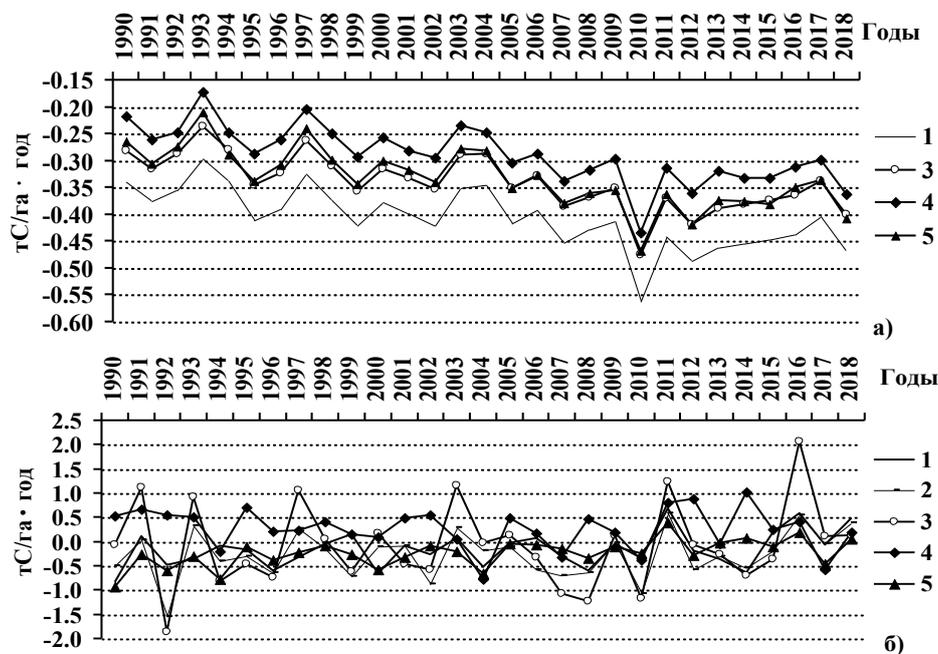


Рис. 2. Оценка динамики органического углерода в пахотном выщелоченном черноземе под различными культурами по данным модели RothC (а) и модели DNDC (б). Условные обозначения: 1 – картофель, 2 – кукуруза, 3 – подсолнечник, 4 – пшеница озимая, 5 – ячмень.

Наиболее вероятным фактором снижения содержания запасов $C_{орг.}$ следует признать нерегулярность и малое количество вносимых органических удобрений. Так, по сведениям Росстата (Единая межведомственная ..., 2019) за 1993-2018 гг. в Курской области в среднем их было внесено лишь 0.8 т/га·год. В последние годы для пропашных культур количество уменьшилось в 10 раз по сравнению со средним за эти 26 лет. В обозначенный период удобрения под картофель вносились 9 раз, под подсолнечник – 7. В конечном итоге это приводит к уменьшению содержания потенциально-минерализуемого углерода (Семенов, Тулина, 2011).

Зависимость потерь $C_{орг.}$ от климатических условий. Отмечаются сильные положительные корреляции между балансом $C_{орг.}$, рассчитанным по модели RothC, и температурными условиями – различными суммами температур и испаряемостью (табл. 2). Интересны отрицательные связи динамики углерода с осадками теплого периода, ГТК Селянинова и КУ Сапожниковой. Обычно в пахотных черноземах формируется специфический режим увлажнения, при котором наибольшее влагосодержание в почве отмечается весной и осенью на фоне пониженных температур (Русский чернозем, 1983). Но согласно алгоритму, применяемому в этой модели (Coleman et al., 1997), при таком значительном содержании глины (56%) и высоком максимальном дефиците почвенной влаги (61 мм), признается, что даже при недостаточном атмосферном увлажнении в летний период почва сохраняет в себе влагу и потери $C_{орг.}$ через почвенное дыхание продолжают оставаться высокими.

Потери $C_{орг.}$ из почвы под ячменем, рассчитанные по DNDC, демонстрируют слабые прямые связи с температурными характеристиками, под подсолнечником – с влажностными (табл. 2). Для пшеницы значимых зависимостей между этими параметрами не выявлено. Сильные положительные корреляции характерны для ГТК Селянинова и динамики запасов $C_{орг.}$ под пропашными культурами – кукурузой и подсолнечником, которые наиболее требовательны к влаге.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона между изменениями климатических показателей и динамикой запасов органического углерода в пахотном выщелоченном черноземе Курской области за 1990-2018 гг. (n=29, P<0.05).

Модель Культура Климатические показатели	RothC				DNDC			
	Картофель	Подсолнечник	Пшеница	Ячмень	Картофель	Кукуруза	Подсолнечник	Ячмень
$T_{сред.}$	0.79	0.80	0.80	0.80	–*	–	–	–
$T_{июл.}$	0.74	0.73	0.70	0.68	–	–	–	0.42
$\Sigma T > 0$	0.98	0.99	0.99	0.99	–	–	–	0.44
$\Sigma T > 5$	0.98	0.99	0.98	0.99	–	–	–	0.43
$\Sigma T > 10$	0.94	0.94	0.93	0.95	0.41	–	–	0.60
ΣT_{IV-VX}	0.98	0.98	0.98	0.98	–	–	–	0.54
$\Sigma T_{VI-VIII}$	0.91	0.89	0.88	0.85	–	–	–	0.51
Испаряемость по Торнтвейту	1.00	1.00	0.98	0.98	–	–	–	0.48
Испаряемость по Тюрку	0.792	0.80	0.80	0.80	–	–	–	–
R	–	–	–	–	–	–	0.44	–
R_{IV-VX}	-0.42	-0.41	-0.48	-0.47	–	0.40	0.53	–
$R_{VI-VIII}$	–	–	–	–	–	–	0.85	–
R_{X-III}	–	–	–	–	0.44	–	–	–
ИС Будыко	0.64	0.64	0.65	0.66	–	–	–	0.45
ГТК Селянинова	-0.42	-0.41	-0.46	-0.43	–	0.74	0.84	–
КУ Сапожниковой	-0.60	-0.60	-0.66	-0.66	–	0.45	0.57	–

Примечания к таблице 2: светло-серым выделены средние корреляции ($0.40 \leq r_p \leq 0.70$), темно-серым – большие ($r_p > 0.70$), * – отсутствие значимых корреляций.

С одной стороны, температура, действительно, оказывает решающее влияние на скорость разложения органического вещества (Reichstein et al., 2005). А поскольку она, как и влажность, зависит от особенностей субстрата, то, чем легче разлагается органическое вещество, тем более чувствительна скорость этого процесса к гидротермическим условиям (Kirschbaum, Mueller, 2001).

С другой стороны, обнаруженные зависимости объясняются тем, что в большинстве современных биогеохимических моделей механизмы отклика компонентов цикла углерода в почве на изменения температуры и влажности представлены в виде простой эмпирической нелинейной функции (Davidson et al., 2006). Используемые в них уравнения Вант-Гоффа и Аррениуса систематически недооценивают скорость разложения $C_{орг.}$ при низких температурах и переоценивают ее при высоких, поскольку влияние метеоусловий при отклонении их от оптимальных объясняется изменением активности почвенной микробиоты и скорости биохимических процессов. Но в агроландшафтах оптимальные для микроорганизмов температуры (35-45°C) приходится на период недостатка влаги, вследствие чего они не влияют на скорость разложения органического вещества (Алексеева, Фомина, 2015).

Выводы

В Курской области за 1990-2018 гг. наблюдался устойчивый восходящий тренд теплообеспеченности при неустойчивом характере увлажнения.

Параметризованные модели RothC и DNDC могут применяться в Курской области для оценки динамики запасов органического углерода в пахотном черноземе.

Модель RothC дает регионспецифичную характеристику потерь $C_{орг.}$ из почвы с преимущественной зависимостью их от климатических условий, тогда как результаты модели DNDC больше характеризуют влияние отдельных культур на запасы органического углерода.

Динамика $C_{орг.}$ в почве, рассчитанная с помощью обеих моделей, демонстрирует сильные положительные корреляции с температурными характеристиками среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева А.А., Фомина Н.В. 2015. Анализ активности редуцирующих ферментов агрогенно измененных почв лесных питомников лесостепной зоны Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 1. С. 32-35.
- Власенко А.Н., Шарков И.Н., Шепелев А.Г., Самохвалова Л.М., Прозоров А.С. 2009. Баланс углерода в черноземе выщелоченном при использовании его в различных севооборотах лесостепи Приобья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. № 6. С. 5-13.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. М.: Росгидромет. 58 с.
- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2013 году. 2014. М.: Росреестр. 196 с.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2012. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 194 с.
- Единая межведомственная информационно-статистическая система. 2019 [Электронный ресурс <https://fedstat.ru/> (дата обращения 10.03.2019)].
- Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. 2017. Изменение запасов углерода и эмиссии CO_2 в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России // Почвоведение. № 5. С. 580-594.
- Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лунин В.Н., Кудиков А.В. 2015. Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в черноземной лесостепи // Почвоведение. № 11. С. 1354-1366.
- Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. 2015. Агроландшафты Центрального Черноземья. Районирование и управление. М.: Наука. 198 с.
- Левин Ф.И. 1977. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. № 8. С. 36-42.
- Лукин С.М. 2015. Эмиссия углекислого газа в агроценозах картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве // Владимирский земледелец. № 3-4 (74). С. 22-23.
- Люри Д.И., Горячкин С.В., Каравалева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. 2010. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС. 416 с.
- МГЭИК. 2006. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Приложение 2. Сводка уравнений. Подготовлено программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов /

- Ред. Х.С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе. Хаяма, Япония: ИГЕС. 37 с.
- Петрова И.Ф. 2008. Концепция геоинформационно-поисковой системы географического стационара (на примере Курской биосферной станции ИГ РАН) // Известия РАН. Серия географическая. № 1. С. 125-130.
- Припутина И.В., Фролова Г.Г., Шанин В.Н. 2016. Выбор оптимальных схем посадки лесных культур: компьютерный эксперимент // Компьютерные исследования и моделирование. Т. 8. № 2. С. 333-343.
- Романовская А.А., Карабань Р.Т. 2007. Баланс почвенного углерода в возделываемых землях России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XXI. СПб.: Гидрометеоздат. С. 58-74.
- Русский чернозем. 1983. 100 лет после В.В. Докучаева / Ред. Н.Н. Розов, Е.М. Самойлова, Н.И. Полупан. М.: Наука. 304 с.
- Сапронов Д.В. 2008. Многолетняя динамика эмиссии CO₂ из серых лесных и дерново-подзолистых почв. Автореф. ... канд. биол. наук. Пушкино: ИФХиБПП РАН. 20 с.
- Семенов В.М., Тулина А.С. 2011. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия. № 12. С. 53-63.
- Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. 2012. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет. С. 165-189.
- Смольянинов В.М., Стародубцев П.П. 2011. Комплексная мелиорация и орошение земель в Центрально-Черноземном регионе: состояние, условия развития. Воронеж: Истоки. 179 с.
- Специализированные массивы для климатических исследований. 2000 [Электронный ресурс <http://aisorigm.meteo.ru/waisorig/select.xhtml> (дата обращения 12.03.2019)].
- Суховеева О.Э., Карелин Д.В. 2019. Параметризация модели DNDC для оценки компонентов биогеохимического цикла углерода на Европейской территории России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 64. Вып. 2. С. 362-383.
- Тюрк Л. 1958. Баланс почвенной влаги. Л.: Гидрометеоздат. 228 с.
- Черкашин А.К., Бибаева А.Ю. 2013. Пейзаж как отображение функционально-динамических свойств ландшафта // География и природные ресурсы. № 4. С. 157-165.
- Чертов О.Г., Надпорожская М.А. 2016. Модели динамики органического вещества почв: проблемы и перспективы // Компьютерные исследования и моделирование. Т. 8. № 2. С. 391-399.
- Coleman K., Jenkinson D.S., Crocker G.J., Grace P.R., Klir J., Korschens M., Poulton P.R., Richter D.D. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3 // Geoderma. Vol. 81. No. 1-2. P. 29-44.
- Davidson E.A., Janssens I.A., Luo Y. 2006. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q₁₀ // Global Change Biology. No. 12. P. 154-164.
- Friedlingstein P., Dufresne J.L., Cox P.M., Rayner P. 2003. How positive is the feedback between climate change and the carbon cycle? // Tellus. Vol. 55B. No. 2. P. 692-700.
- Jenkinson D.S., Hart P.B.S., Rayner J.H., Parry L.C. 1987. Modeling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted // INTECOL Bulletin. No. 15. P. 1-8.
- International Soil Modeling Consortium. 2019 [Электронный ресурс <https://soil-modeling.org/resources-links/model-portal> (дата обращения 20.03.2019)].
- Kirschbaum M.U.F., Mueller R. 2001. Net Ecosystem Exchange. Australia: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting. 139 p.
- Li C., Frolking S., Frolking T.A. 1992. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity // Journal of geophysical research. No. 97 (D9). P. 9759-9776.
- Moyano F.E., Manzoni S., Chenu C. 2013. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: an exploration of processes and models // Soil Biology & Biochemistry. No. 59. P. 72-85.
- Reichstein M., Katterer T., Andren O., Ciais P., Schulze E.-D., Cramer W., Papale D., Valentini R. 2005. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook // Biogeosciences. No. 2. P. 317-321.
- Sanz M.J., de Vente J., Chotte J.-L., Bernoux M., Kust G., Ruiz I., Almagro M., Alloza J.-A., Vallejo R., Castillo V., Hebe A., Akhtar-Schuster M. 2017. Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation // A Report of the Science-Policy Interface. Bonn: UNCCD. 178 p.
- Sustainable Land Management for Climate and People. 2017 // SCIENCE-POLICY BRIEF. No. 3. P. 1-6 [Электронный ресурс http://catalogue.unccd.int/SER_SPIPB_3_ENG_WEB.pdf (дата обращения 11.03.2019)].
- Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate // Geographical Review. Vol. 38. No. 1. P. 55-94.

АТМОСФЕРНОЕ УВЛАЖНЕНИЕ КАК ФАКТОР НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА
ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ¹

© 2020 г. Т.М. Кудерина, С.Б. Сулова, В.Н. Лунин, А.В. Кудиков

Институт географии РАН

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29. E-mail: kuderina@igras.ru

Поступила в редакцию 20.05.2019. После доработки 27.06.2019. Принята к публикации 02.07.2109.

Анализ данных метеонаблюдений в районе расположения Курской биосферной станции Института географии РАН за последние 40 лет показал устойчивый рост температуры, на фоне которого наблюдается усиление дефицита атмосферных осадков. При этом выпадение осадков характеризуется высокой нестабильностью и контрастностью распределения по годам, увеличением количества и продолжительности засушливых периодов. Для лесостепных ландшафтов атмосферные осадки, в особенности снегозапасы, являются важным источником увлажнения, от которого зависит их функционирование. Показано, что в разных типах ландшафта разница в снегонакоплении, играющем определяющую роль в формировании влагозапасов, может достигать 2-4 раз. В агроландшафтах наблюдается недобор влаги, что способствует более глубокому промерзанию почв, ухудшению их водопроницаемости, развитию поверхностного стока талых вод с полей, приводящих к деградации ландшафтов. Концепция Нейтрального баланса деградации земель, главной задачей которой является сохранение устойчивого землепользования в глобальном масштабе, нацелена на получение объективных показателей состояния ландшафтов и оценки доли земель, подверженных деградации. Атмосферное увлажнение в лесостепных ландшафтах является значимым фактором, определяющим их функционирование, и может использоваться в качестве локального индикатора концепции.

Ключевые слова: атмосферное увлажнение, осадки, снегонакопление, запасы влаги, лесостепные ландшафты, нейтральный баланс деградации земель, индикатор.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10099

Разрабатываемая в настоящее время концепция Нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) направлена на получение достоверной информации о динамике ландшафтов на основе конкретных показателей. Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) предложила для выполнения этой задачи три основных глобальных индикатора: 1) изменения в наземном покрове, 2) динамика продуктивности земель, 3) динамика запасов органического углерода в почвах (UNCCD, 2016; Куст и др., 2019).

Однако, как показали результаты валидации рекомендованных базовых индикаторов для территории РФ (Лобковский и др., 2019), они не всегда отражают направленность природных процессов и учитывают далеко не все факторы, их определяющие. Особенно эта проблема проявляется при оценках, проводимых на локальном уровне, при сравнении показателей для регионов, находящихся в разных природных условиях. Вместе с тем методика оценки НБДЗ (UNCCD, 2017) допускает и приветствует использование дополнительных национальных и местных индикаторов.

В данной работе мы поставили цель показать, что для лесостепных регионов Европейской территории России (ЕТР), характеризующихся относительно малым речным стоком и глубоким

¹ Работа подготовлена при поддержке РНФ (№ 18-17-00178) «Развитие фундаментальной концепции нейтрального баланса деградации земель для оценки эффективности мероприятий по устойчивому землепользованию и адаптации к изменениям климата», сбор метеоданных проводился в рамках Государственного задания ИГ РАН (№ 0127-2019-0010) «Разработка научных основ устойчивого управления природно-антропогенными системами на основе моделей сбалансированного землепользования».

залеганием грунтовых вод, значимым фактором, обуславливающим функционирование ландшафтов, является атмосферное увлажнение. Запасы снега, количество и интенсивность дождей определяют устойчивое развитие этих засушливых ландшафтов и, следовательно, могут рассматриваться как индикаторы НБДЗ.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1) анализ годовых значений суммы выпавших осадков и температуры для лесостепных ландшафтов ЕТР по данным метеонаблюдений (ГМС Курск–34009, координаты: 51.77° с.ш., 36.17° в.д., высота – 247 м н.у.м. БС) за последние 40 лет;

2) изучение снежного покрова и особенностей зимнего влагонакопления на основе полевых исследований, проведенных на модельной территории Курской биосферной станции (КБС) Института географии РАН.

Объекты и методы исследования

Выбор фоновых территорий и получение характеристик состояния компонентов ландшафтов в качестве реперных показателей важен для определения степени их трансформации. Для достижения целей НБДЗ вопрос установления «базовой линии», относительно которой следует рассматривать процессы деградации/восстановления ландшафтов, тоже весьма актуален и пока не имеет однозначного решения (Куст и др., 2019). Проведенные ранее исследования показали, что природные ландшафты КБС, расположенной в 15 км к югу от г. Курска, могут рассматриваться в качестве фоновых, не испытывающих непосредственного антропогенного воздействия (Кудерина и др., 2017). Очевидно, при выборе мероприятий и механизмов для достижения целей НБДЗ они также могут использоваться в качестве «точки отсчета». Заметим, что на сегодняшний день распаханно более 80% всей территории Курской области, а природные фоновые ландшафты занимают всего 0.2% (Доклад ..., 2016).

Природные условия КБС типичны для лесостепной провинции юго-запада Среднерусской возвышенности, характеризуются: плакорным полого-волнистым рельефом (188-251 м н.у.м. БС), изрезанным овражно-балочной сетью с разной величиной уклонов; степной растительностью с фрагментами широколиственных лесов; распространением серых лесных почв и черноземов, сформированных на покровных суглинках. Речной сток отсутствует: ближайший крупный водоток – река Сейм – находится в 20 км севернее; грунтовые воды залегают на глубине более 10 м от поверхности, то есть источником увлажнения почв являются исключительно атмосферные осадки.

Климат умеренно-континентальный с солнечным продолжительным летом и относительно холодной зимой (Климатический ..., 1967). Среднегодовое количество осадков варьирует в диапазоне 532-640 мм, среднегодовая температура воздуха составляет +5.6°C. Увлажнение достаточное, но неустойчивое, с преобладанием летних осадков над зимними. Высота снежного покрова за зимний период достигает 25-30 см, запасы воды в снеге – 60-70 мм. В теплый период среднее количество осадков составляет 375-400 мм, с летними ливнями, при этом влагообеспеченность в теплый период понижается (Доклад ..., 2016). В последние годы в период проведения посевных работ часто устанавливается аномально теплая сухая погода, что приводит к иссушению верхнего слоя почвы и снижению урожайности сельхозкультур.

Полевые исследования проводились на КБС в зимние периоды. Снегомерную съемку территории осуществляли в разных ландшафтах с учетом положения в рельефе. Были исследованы следующие элементарные ландшафты: автономные степные на плакорах, автономные и подчиненные ландшафты широколиственных лесов и прилегающие к территории КБС агроландшафты. В выделенных ландшафтах с помощью снегомера весового ВС-43 выполнены измерения мощности снежной толщи, расчеты плотности снега и запаса воды в снежном покрове.

Результаты и обсуждение

Для лесостепных ландшафтов Курской области, где сельскохозяйственный сектор экономики занимает ведущее значение, климатический фактор является одним из наиболее значимых. Анализ метеоданных за последние годы показал, что современная климатическая динамика в этом регионе характеризуется устойчивым ростом температуры (рис. 1).

По данным метеостанции г. Курска за период с 1978 по 1998 гг., среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляла +5.8°C, среднегодовое количество осадков – 659 мм.

Согласно данным метеорологических наблюдений за период с 1998 по 2018 гг. среднегодовая температура воздуха составила $+7.3^{\circ}\text{C}$, а среднегодовое количество осадков – 640 мм. Сравнение средних климатических показателей за исследуемые 20-летние периоды свидетельствует об увеличении температуры воздуха на 1.5°C и уменьшении годового количества осадков на 19 мм. Показанный на рисунке 1 тренд изменения температуры за 1978-2018 гг. наглядно демонстрирует ее рост, в то время как для осадков четкой тенденции изменения не прослеживается. В последний период (1998-2018 гг.) наблюдаются наибольшие отклонения количества осадков от климатической нормы (532-640 мм): в 2011 и 2014 гг. выпало 496 и 458 мм осадков, соответственно; в 2016 г. – 965 мм. Стоит отметить, что этот период отличается большой нестабильностью внутригодового режима осадков с максимальным дефицитом их в летний сезон. Продолжительное отсутствие атмосферного увлажнения на фоне высоких температур воздуха приводят к установлению засушливых погодных условий, количество и длительность которых в последнее время в Курской области заметно возросли (Lebedeva et al., 2016).

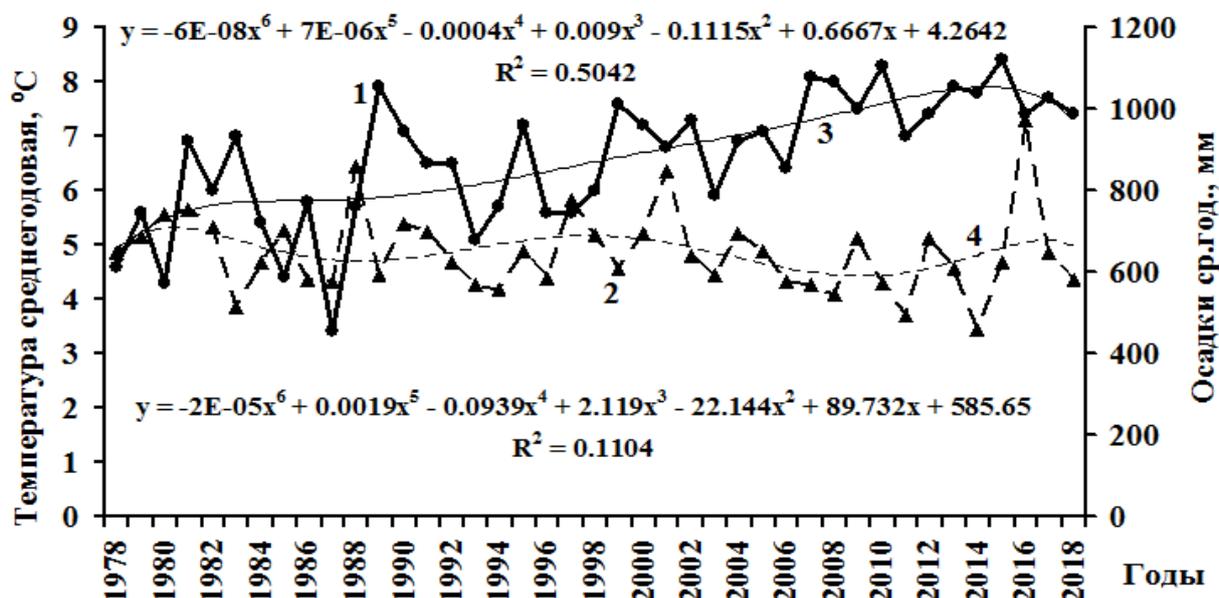


Рис. 1. График метеонаблюдений по данным ГМС Курск-34009 (Архив ..., 2019). Условные обозначения: 1 – среднегодовая температура воздуха, 2 – среднегодовое количество осадков, полиномиальные тренды температуры – 3 и осадков – 4 с их формулами и коэффициентами детерминации.

Наблюдения последних лет свидетельствуют также о значительных изменениях климатических условий зимнего периода, проявляющихся в увеличении количества снегопадов, с одной стороны, и числа оттепелей, с другой. В регионе отмечается увеличение безморозного периода в воздухе и на почве (Смирнова и др., 2016).

Несмотря на преобладание в Курской области летних осадков над зимними, основную влагозарядку лесостепные ландшафты получают за осенне-зимне-весенний период. Снегозапасы являются важной составной частью атмосферного увлажнения ландшафтов, от которого зависит их функционирование: зимнее влагонакопление во многом обуславливает режим влажности почв и определяет продуктивность ландшафтов лесостепи. В связи с этим становится очевидной значимость снежного покрова и его характеристик как фактора атмосферного увлажнения, который, несомненно, можно рассматривать в качестве регионального индикатора для достижения целей НБДЗ.

По данным Росгидромета (ГМС Курск-34009) количество осадков за зимний период с устойчивым снежным покровом (декабрь 2018 г. – март 2019 г.) составило 226 мм. Согласно нашим исследованиям, высота снежного покрова в лесных и степных ландшафтах КБС достигала 40 см. При этом в автономных и подчиненных лесных ландшафтах существенной разницы по мощности снежного покрова не наблюдалось. В агроландшафтах высота снежного покрова на плакорах и в

понижениях составляла в среднем 27 и 35 см соответственно. По данным измерений мощности и плотности снега проведены расчёты запаса влаги в снежном покрове автономных и аккумулятивных ландшафтов территории исследования (табл. 1).

Из таблицы видно, что снежный покров автономных позиций агроландшафтов характеризуется наименьшей мощностью, при этом плотность снега оказалась практически одинаковой во всех типах ландшафтов за исключением лесных аккумулятивных. Очевидно, первый факт обусловлен ветровым переносом и отсутствием растительного покрова на пашнях; второй – меньшей интенсивностью проявления оттепелей в лесных оврагах и балках. Запасы воды в снежном покрове агроландшафтов оказались ниже, чем в природных ландшафтах и, следовательно, пахотные почвы получили меньшее количество влаги. Данный результат важен с точки зрения НБДЗ, т.к. свидетельствует о трансформации природного процесса увлажнения ландшафтов, определяющего их состояние и развитие.

Таблица 1. Морфометрические характеристики снежного покрова.

Характеристики	Лесные природные ландшафты		Степные природные ландшафты	Агроландшафты	
	Автономный	Аккумулятивный	Автономный	Автономный	Аккумулятивный
Средняя мощность, см	38.9	40.9	37.8	26.6	35.1
Средняя плотность, г/см ³	0.28	0.24	0.29	0.30	0.28
Среднее значение запаса воды в снежном покрове, мм	109	99	111	80	98

Многолетние исследования снежного покрова на территории КБС показывают, что разница в снегонакоплении в разных типах ландшафта может достигать 2-4 раз (рис. 2).

С другой стороны, относительно малое накопление снега на полях способствует более глубокому промерзанию и медленному оттаиванию почв. В силу этого, а также из-за нарушения структуры и водопроницаемости пахотного слоя почв при их систематической обработке, впитывание талых вод на пашнях осуществляется хуже, чем в природных ландшафтах. Это может провоцировать образование поверхностного стока, и даже смыв почвенной массы, т.е. способствовать развитию эрозии почв и их деградации.

В целом влагозапасы снега в 2018-2019 гг. превышали среднегодовые показатели, хотя по данным многолетних наблюдений с 90-х годов прошлого столетия в Курской области отмечается снижение запаса снеговой воды из-за малоснежных зим (Лукашова и др., 2012, 2018). Максимальный дефицит зимних осадков наблюдался в 2007, 2008 и 2014 гг. (рис. 2) на фоне высоких аномалий температур в феврале и марте. Исследования, проводимые на территории КБС в последние годы, свидетельствуют об усилении контрастности зим по показателю запаса влаги в снежном покрове (Лукашова, Лунин, 2017).

Таким образом, анализ особенностей снегонакопления показывает их значимость при рассмотрении фактора атмосферного увлажнения. На фоне устойчивого роста температуры воздуха, нестабильность и контрастность зимнего увлажнения, а также отмечаемый дефицит летнего атмосферного увлажнения, являются существенным лимитирующим фактором, определяющим функционирование лесостепных ландшафтов, в частности изменение свойств и деградацию почв. Так, исследования последних лет показали (Базыкина, 2012; Ciric et al., 2017), что черноземы более чувствительны к климатическим параметрам (температуре воздуха и количеству выпадающих осадков) чем почвы, имеющие повышенное увлажнение (Fluvisols, Gleysols и Vertisols). Изучение водного режима типичных черноземов, проводимое в Центральном-черноземном государственном природном биосферном заповеднике им. В.В. Алехина, показало, что наблюдающиеся изменения климата в наибольшей степени сказываются на свойствах и диагностических признаках черноземов природных ландшафтов, чем агроландшафтов. Для черноземов агроландшафтов отмечается наличие

зависимости влагообеспеченности приповерхностного слоя от типа возделывания сельскохозяйственных культур (Смирнова и др., 2016; Bazykina, Ovechkin, 2016).

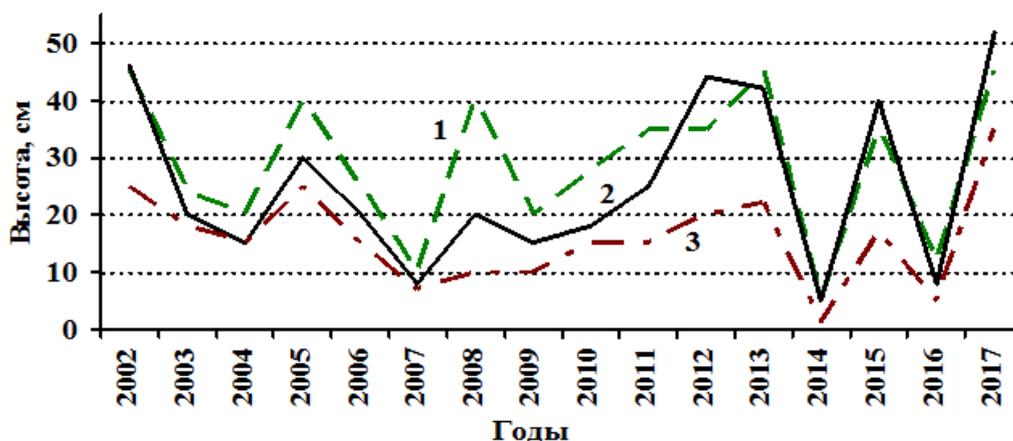


Рис. 2. Динамика мощности снежного покрова в разных типах ландшафта. Условные обозначения: 1 – лесные ландшафты, 2 – степные ландшафты, 3 – агроландшафты (Лукашова, Лунин, 2017).

Другой аспект, касающийся развития эрозии почв в зависимости от количества выпавших осадков в период 1989 по 2007 годы, был изучен немецкими исследователями (Routschek et al., 2014). Установив тренд климатических изменений, они разработали прогнозные модели до 2100 года, отражающие темпы деградации почв, связанные с эрозионными процессами.

Заключение

Современные изменения климата влияют на чувствительные к переменам геосистемы переходных природных зон, ярким примером которых являются лесостепные ландшафты ЕТР. Анализ метеоданных ГМС Курск-34009 свидетельствует об устойчивом росте температуры, на фоне которого наблюдается увеличение дефицита атмосферных осадков, количества и продолжительности засушливых периодов. При этом выпадение осадков характеризуется высокой нестабильностью и контрастностью распределения по годам. Особенно ярко это проявляется в летние и зимние периоды.

Зимние полевые исследования показали, что в природных сопряженных ландшафтах снежный покров незначительно дифференцирован по высоте, в то время как для незадернованных открытых агроландшафтов отмечена существенная разница в снегонакоплении. Исследования, проводимые на территории КБС, указывают, что в последние годы наблюдается увеличение контрастности зим по показателю запаса влаги в снежном покрове. Для лесостепных ландшафтов Курской области, где агроландшафты занимают более 80% территории, проведение снежной мелиорации является важной задачей, одним из условий успешной практики землепользования.

В настоящее время разработка и адаптация концепции Нейтрального баланса деградации земель являются важными стратегическими задачами национального уровня. Достижение целей НБДЗ хорошо согласуются с идеей устойчивого функционирования ландшафта, заключающейся в поддержании и сохранении его природных свойств и состояния в течение времени. Именно поэтому факторы, определяющие функционирование ландшафтов, могут рассматриваться в концепции НБДЗ в качестве дополнительных региональных индикаторов. Атмосферное увлажнение в лесостепных ландшафтах является одним из таких активных лимитирующих факторов, в связи с чем представляется важным ввести в методику оценки НБДЗ индикаторы, учитывающие его влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архив метеонаблюдений. 2019 [Электронный ресурс <http://www.pogodaiklimat.ru/ysummary/34009.htm> (дата обращения 09.03.2019).]
- Базыкина Г.С. 2012. Гидрологическая деградация автоморфных почв в агроландшафтах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 70. С. 43-55.
- Доклад о состоянии и использовании земель в Курской области за 2015 год. 2016. Курск. 96 с.

- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. 2016. М. 67 с.
- Климатический атлас Курской области. 1967. Ленинград: Гирометеорогическое издательство. 40 с.
- Кудерина Т.М., Суслова С.Б., Замотаев И.В., Кайданова О.В., Шилькрот Г.С., Лунин В.Н. 2017. Атмогеохимическое состояние лесостепных ландшафтов Курской биосферной станции ИГ РАН // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. Материалы XII Международной ландшафтной конференции, Тюмень – Тобольск, 22-25 августа 2017 г. Издательство ТГУ. Т. 1. С. 295-297.
- Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А., Мандыч А.Ф., Бабина Ю.В. 2019. Единые требования к национальной информации о выполнении КБО ООН – залог эффективности глобальных действий по решению проблемы деградации земель // Деградация земель и опустынивание в России: новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Перо. С. 31-52.
- Лобковский В.А., Куст Г.С., Андреева О.В., Дроздов А.В., Некрич А.С., Тельнова Н.О., Мандыч А.Ф., Грачева Р.Г., Суховеева О.Э. 2019. Система индикаторов и показателей реализации стратегических целей КБО ООН на национальном уровне // Деградация земель и опустынивание в России: новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Перо. С. 185-199.
- Лукашова О.П., Дмитрова Е.С., Богатырева М.А. 2018. Особенности снежного покрова как природная предпосылка геохимии лесостепных ландшафтов Курской области / Ред. А.Н. Витченко. Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии. Материалы VI Международной научной конференции (к 100-летию со дня рождения профессора В.А. Дементьева). С. 209-211.
- Лукашова О.П., Лунин В.Н. 2017. Снегомерные наблюдения на Курском биосферном стационаре ИГ РАН в феврале 2017 года // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России. С. 167-170.
- Лукашова О.П., Лунин В.Н., Пахомов Ю.А. 2012. Снежный покров как показатель изменения климата // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы). Материалы международной научной конференции, г. Воронеж, 26-27 июня, 2012 г. Воронеж: Научная книга. С. 75-78.
- Смирнова Л.Г., Кухарук Н.С., Чендев Ю.Г. 2016. Почвенный покров юга лесостепи Среднерусской возвышенности на фоне внутривековых климатических изменений // Почвоведение. № 7. С. 775-784.
- Vazykina G.S., Ovechkin S.V. 2016. The influence of climate cycles on the water regime and carbonate profile in chernozems of Central European Russia and adjacent territories // Eurasian Soil Science. Vol. 49. No. 4. P. 437-449.
- Ćirić V.I., Dresković N., Mihailović D.T., Mimich G., Arsenić I., Durđević V. 2017. Which is the response of soils in the Vojvodina Region (Serbia) to climate change using regional climate simulations under the SRES-A1B // Catena. No. 158. P. 171-183.
- Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Lupo A.R., Chendev Yu.G., Petin A.N., Solovyev A.B. 2016. Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21st Century // Advances in Meteorology. Article. No. 4. P. 1-10.
- Routschek A., Schmidt J., Kreienkamp F. 2014. Impact of climate change on soil erosion – A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony // Catena. No. 121. P. 99-109.
- UNCCD. 2016. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 20 p.
- UNCCD. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. Bonn, Germany. 128 p.

**МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ И СТЕПНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ
ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ¹**

© 2020 г. В.К. Кашин, Л.Л. Убугунов

*Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail:kashin-39@mail.ru*

Поступила в редакцию 31.05.2019. После доработки 19.08.2019. Принята к публикации 01.09.2019.

Определены средние содержания и диапазоны варьирования 17 микроэлементов в каштановых почвах и растительности степных аридных экосистем Забайкалья. Средние содержания Li, B, Al, Cr, Fe, Co, Zn, Zr в почвах соответствуют их кларкам, принимаемым за эколого-геохимическую норму. Содержания Mo, Ba, Be в 1.8-2.9 раза выше, Cu, Ni, Mn ниже их кларков, а V и Pb достигают предельно допустимых концентраций. По степени биологического поглощения из почвы растительностью Mo, Zn, B, Cu отнесены к группе с высокой; Li, Mn – к средней; Be, Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zr, Ba, Pb – с низкой интенсивностью. Для V, Cr, Mn, Fe, Zn, Ba, Pb установлена корреляция между содержанием их в растительности и почве ($r=0.51-0.82$), а для Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zr, Mo корреляция отсутствует (r от -0.08 до -0.39). Выявлен дефицит в растительности B, Zn, Cu и повышенное содержание Fe, Mo, Ba, Sr. Определены неблагоприятные отношения между жизненно важными элементами. Оценен вклад наземной фитомассы в биогенную миграцию микроэлементов.

Ключевые слова: микроэлементы, степные фитоценозы, коэффициенты биологического поглощения, вынос наземной фитомассы, Забайкалье, Kastanozems.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10100

Микроэлементы – важная составляющая минерального питания растений, животных и человека. Многие из них являются жизненно необходимыми, так как, входя в состав биологически активных веществ, выполняют разнообразные каталитические и регуляторные функции метаболических процессов – поглощения, транспорта, окисления-восстановления, биосинтеза органических соединений, передачи генетической информации.

Современная классификация микроэлементов по их значимости для живых организмов представлена в следующем виде: 1) жизненно необходимые – Fe, Mn, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se; 2) условно необходимые – Li, B, Ni, V, Si, F, Br, Ti; 3) потенциально токсичные – Be, Al, Cd, Pb, Hg, Ba, Tl, Bi (Ребров, Громова, 2008). Помимо этого Fe и Si относят к мезоэлементам. Число биологически значимых элементов расширяется: к элементам, значимым для отдельных видов, сейчас относят As, Br, Sr, Cd, Sn, Ba, W (Бертини и др., 2013).

Каждый элемент имеет свой диапазон безопасной концентрации, при котором происходит нормальное функционирование организма. При нарушении же его отмечаются различные патологические отклонения в обменных процессах, приводящие в случае недостатка к микроэлементам дефицита, а при избытке – к микроэлементам токсичности (Авцын и др., 1991).

В последние десятилетия основное внимание экологов и агрохимиков было сосредоточено на изучении вопросов загрязнения тяжелыми металлами почв, природных вод, растений, обусловленного выбросами промышленных предприятий (Безель, Жуйкова, 2007; Минеев, 1988). Однако воздействию таких выбросов подвергаются незначительные площади. Поэтому не менее важной остается проблема дефицита жизненно необходимых микроэлементов или неблагоприятного соотношения между ними в растениях в фоновых условиях конкретных регионов, вызываемых естественными природными факторами. Это может лимитировать качество и продуктивность

¹ Работа выполнена в рамках темы Госзадания «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами», номер госрегистрации: АААА-А17-117011810038-7.

компонентов экосистем. Кроме того, большое экологическое значение имеют потенциально токсичные и малоизученные микроэлементы, которые также участвуют в биологическом круговороте – в обмене организмов с окружающей средой (Одум, 1986). При повышенных концентрациях они могут негативно влиять на деятельность биологически активных веществ в организмах. Поэтому экологическому контролю должны подлежать как физиологически значимые, так и другие, особенно потенциально токсичные, микроэлементы.

Степные экосистемы занимают значительные территории Европейской части России (Тишков, 2010), а также Центральной Азии (Забайкалье, Монголия; Экосистемы ..., 2005), выполняют важные биосферные функции и имеют высокое народнохозяйственное значение. В степях Забайкалья исследован видовой состав, структура растительного покрова, биопродуктивность, биохимический состав, содержание макроэлементов (Бойков и др., 2002; Меркушева и др., 2014). Содержание микроэлементов в растениях и их взаимосвязей с почвой как важный фактор функционирования степных экосистем изучен весьма слабо. Имеются лишь данные по содержанию в растительности Боргойской степи Mn, Zn, Cu, Co, J (Харитонов, 1980) и исследование по свинцу в системе «порода – почва – гумусовые вещества – растения» в лесостепных и степных почвах Западного Забайкалья (Чимитдоржиева и др., 2014).

Цель настоящей работы – изучение содержания жизненно необходимых, потенциально токсичных и малоизученных микроэлементов в почвах и растительности сухостепных экосистем. В задачи работы входило: определить региональные характеристики содержания микроэлементов в почвах и растениях, выявить взаимосвязи их в системе «растение – почва», выяснить интенсивность биологического поглощения растениями из почвы, характеризующего их экологическую активность, оценить вынос элементов надземной фитомассой и вовлечение их в биогенную миграцию.

Материалы и методы

Исследования проводили на территориях, занятых сухостепными экосистемами Западного Забайкалья. В сельскохозяйственном отношении эти территории используются главным образом под пастбища для животных. Они простираются с юга на север до 360 км, шириной до 120 км, охватывая южную, центральную и, в меньшей степени северную (Баргузинская котловина) часть Республики Бурятия, приурочены в основном к слабонаклонным, наклонным и увалистым аккумулятивным равнинам, склонам межгорных понижений и водоразделам невысоких повышений 600-800 м н.у.м. БС. Они широко распространены в долинах рек бассейна реки Селенги – главного притока оз. Байкал.

Глубокое внутриматериковое положение региона обуславливает существование этих экосистем в экстраридных условиях. В качестве ведущих абиотических факторов выступают следующие: климат резко континентальный, с коротким безморозным периодом, количество осадков – 150-250 мм в год, что по шкале увлажнения Л.Г. Раменского относится к полупустынному и сухостепному типам. Относительная влажность воздуха в мае-июне – 25-35%.

Почвообразующими породами служат делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения, а также отложения песков и галечников. Основу почвенного покрова составляют каштановые типичные почвы (Kastanozems) с малой мощностью гумусового горизонта. Наиболее существенные эдафические свойства почв, определяющие водный, воздушный и питательный режимы, следующие. Содержание гумуса – 1.5-2.5%, гранулометрический состав – супесчаный или легкосуглинистый (содержание физической глины 15-25%) со слабой водоудерживающей способностью и низкой влагоемкостью. Этим они отличаются от типичных каштановых суглинистых почв Европейской части России (Панкова, Черноусенко, 2018). pH почв – от близко к нейтральной 6.8-7.3 в верхнем горизонте до слабощелочной 7.5-8.0 и более в нижних. В почвенном поглощающем комплексе преобладает Ca^{2+} – 8-13 мг/экв. на 100 г почвы, количество Mg^{2+} – 3.3-4.9 мг/экв. на 100 г почвы. Каштановые почвы средне обеспечены подвижными формами фосфора, калия и слабо – азотом (Убугунов и др., 1989). В микробном ценозе преобладают представители ксерофитной группы – актиномицеты, олигонитрофилы и другие, способствующие глубокой минерализации поступающих органических остатков, а также самого гумуса (Нимаева, 1989).

Экстраридность климата способствовала формированию здесь растительности, относящейся к группе ксерофитов, характеризующейся низкорослостью, разреженностью травостоев (проективное

покрытие различных сообществ варьирует от 25 до 60%) и низкой биологической продуктивностью (Бойков и др., 2002; Меркушева и др., 2014).

Объектами исследования служили типичные растительные сообщества, произрастающие в экосистемах Хоринского (Удинская сухая степь), Заиграевского, Иволгинского, Тарбагатайского, Мухоршибирского (Центральная сухая степь), Селенгинского, Джидинского, Кяхтинского (Южная сухая степь) районов Республики Бурятия (Западное Забайкалье; табл. 1).

Таблица 1. Объекты исследования – растительные сообщества, их продуктивность и зольность в сухостепных экосистемах Западного Забайкалья.

№	Растительное сообщество	Место отбора проб (село, название степи)	Продуктивность воздушно-сухой массы, кг/га	Зола, %
Удинская сухая степь				
1	Холоднопопынное	Удинск. Удинская степь	Не определяли	6.4
2	То же	105 км Хоринского тракта. То же	—«—	5.9
Центральная сухая степь				
3	Злаковое	Ацагат. Заиграевская степь	—«—	5.7
4	То же	Иволгинск. Иволгинская степь	—«—	5.6
5	Злаково-холоднопопынное	То же	980±50	6.3
6	Осоково-ковыльное	—«—	—«—	6.8
7	Осоково-холоднопопынное	Нижняя Иволга. —«—	590±40	6.5
8	Разнотравное	Тарбагатай. Тарбагатайская степь	—«—	6.8
9	То же	Надеено. —«—	430±30	6.6
10	—«—	Шаралдай. Сухаринская степь	—«—	6.7
Южная сухая степь				
11	Злаковое	Тохой. Селенгинская степь	—«—	6.3
12	Злаково-бобовое	То же	1060±55	6.8
13	Разнотравное	Эрдэм. —«—	—«—	не опр.
14	Злаково-холоднопопынное	Ягодное. —«—	620±40	6.6
15	Холоднопопынное	Петропавловка. Джидинская степь	—«—	5.9
16	Злаково-холоднопопынное	Боргой. То же	630±30	6.1
17	Твердоватоосоковое	Белоозерск. —«—	670±50	6.4
18	Карагано-холоднопопынное	Усть-Кяхта. Кяхтинская степь	510±20	7.1

Сбор полевых материалов производили в фазу цветения растений доминантов на пробных площадках (ПП) 100x100 м в соответствии с методическими рекомендациями, основанными на принципах изучения биологического круговорота (Базилевич и др., 1978). Для оценки суммарного эффекта кормовой ценности и биогеохимической деятельности большой интерес представляет микроэлементный состав не отдельных видов растений, а фитоценозов с определенной площади. Поэтому для учета продуктивности надземной массы, содержания и выноса ею микроэлементов мы срезали растения на уровне 1.5-2 см от поверхности почвы с площади 1 м² в 4-5-кратной повторности.

Одновременно с взятием проб растительности мы отбирали пробы почв в полиэтиленовые пакеты из наиболее корнеобитаемого слоя (0-20 см). В почвах определяли валовое содержание микроэлементов, поскольку в почвенно-геохимических исследованиях основная доля информации получается в основном за счет валовых содержаний химических элементов. Это связано с тем, что в большинстве своем современные оценки биогеохимических и экологических ситуаций опираются на этот показатель как

сравнительно легко получаемый и апробированный на практике (Ильин, Сысо, 2004).

Определение содержания микроэлементов мы проводили в зольном остатке после деструкции органической основы растительных проб в муфеле с постепенным подъемом температуры до 480°C в сертифицированном на техническую компетентность Аналитическом центре Республики Бурятия: Mn, Cu, Zn, Ni, V, Cr, Pb – атомно-абсорбционным методом с прямой электротермической атомизацией проб; Fe, Al, Li, Ti, Sr, Ba, Mo, Zr – атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой; B – колориметрическим методом в растворе спиртово-уксусной смеси зольного остатка с хиализарином после серии предварительных операций при его подготовке к измерению оптической плотности при 610 нм (Ринькис и др., 1987, Починок, 1976).

Расчет выноса элементов производили путем умножения их содержания в укосе (мг/кг сухого вещества) на количество сухой фитомассы (кг/га). О взаимосвязи элементов в системе «растение – почва» судили по величине коэффициента биологического поглощения (КБП; Добровольский, 2003) – отношения содержания элементов в золе растений к их валовому содержанию в почве. КБП отражает потенциальную биогеохимическую подвижность элементов в почве. Статистическая обработка результатов проведена стандартными методами (Зайцев, 1990) с использованием программы Microsoft Excel. Парные коэффициенты корреляции рассчитаны между содержанием микроэлементов в почвах и их содержанием в золе растительности (содержание золы – от 5.6 до 7.1%; табл. 1).

Результаты и обсуждение

Вариационно-статистические показатели содержания элементов в почвах, золе растительности и коэффициенты их взаимодействия в системе «растительность – почва» в степных экосистемах представлены в таблице 2. Среднее содержание элементов в почвах изменялись в пределах 3.0 мг/кг у Mo до 74480 мг/кг у Al. Условно их можно подразделить на следующие группы: высокого содержания – Fe, Al – в почвах они относятся к макроэлементам (45360-74480), среднего – Zr, Mn, Ba, Ti (319-5060), низкого – Li, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn, V (22-100) и очень низкого – Mo, Be, Co, B (3.0-16.4) мг/кг. Все данные по содержанию микроэлементов в каштановых почвах находятся в пределах нормального варьирования по классификации Г.Н. Зайцева (1990). Содержание в почвах Be, Ba, Li, Ti, Mn, Pb, Al, B, V, Fe – в пределах нижней нормы – 9-22%, а Cr, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo – в пределах верхней нормы – 28-35%. Средние содержания V и Pb достигают их предельно допустимой концентрации (ПДК) в почвах.

Данные таблицы 3 показывают, что содержание микроэлементов в укосах степной растительности различалось на 4 порядка: от 0.08 у Be до 219 мг/кг у Fe. По среднему содержанию в растительности микроэлементы условно подразделены на следующие группы: повышенного содержания – Fe, Al (219-266); среднего – Ba, Ti, Sr, Mn, Zn (23-69); низкого – B, Cu, Li, Cr, Mo, V, Zr (1.22-7.0) и очень низкого – Be, Ni, Pb (0.08-0.89) мг/кг. Ряд этих элементов по степени снижения содержания в степной растительности представлен в следующем виде: Al > Fe > Sr > Mn, Ba > Ti > Zn > Cu > B > Zr > Cr > Li > Mo > V > Pb > Ni > Be. В отличие от содержания микроэлементов в почвах, характеризующегося нормальной степенью варьирования, в степной растительности она существенно колебалась: от нижней нормы для Li (16%), верхней – для Al, Mn, Sr, Fe, Cu, Ba, Ti (27-41%), до значительной – для Be, B, Ni, Zn, Zr, Mo, Pb, Cr (45-61%).

Результаты корреляционного анализа показали (табл. 2), что между содержанием микроэлементов в почвах и накоплением их в растительности установлена прямая значимая связь для V, Cr, Mn, Fe, Zn, Ba и Pb. Коэффициенты парной корреляции этих элементов изменялись от 0.57 для Zn до 0.82 для Pb. Для остальных микроэлементов корреляция в системе «растительность – почва» не выявлена.

Сравнительный анализ содержания всех изученных микроэлементов в фитомассе степных сообществ Забайкалья с нормой или с кларками при отсутствии нормы показал (табл. 4), что наиболее оптимально ими обеспечены фитоценозы пробных площадок 3 заиграевской степи и 15 джидинской степи (12 элементов из 17), а также ПП 13 селенгинской степи (8 из 13) и ПП 16 боргойской степи (10 из 17). Наименьшая обеспеченность растительности микроэлементами отмечена на ПП 11 селенгинской степи (10 элементов из 15, в норме – 1, повышенная 2). Наиболее неблагоприятная обеспеченность степных фитоценозов микроэлементами характерна на ПП 7 иволгинской степи (7 элементов из 15, содержание повышено в 2.0-3.7 раза, в норме – 5) и ПП 14 селенгинской степи (5 из 15, повышено в 2.9-4.1 раза, в норме – 5).

Таблица 2. Вариационно-статистические показатели содержания (С) микроэлементов в каштановых почвах, золе растительности и коэффициент корреляции (r) в системе «почва – растительность» степных фитоценозов.

Эле- мент	С в почвах, мг/кг		V*, %	С в золе, мг/кг		V, %	r	Кларк в почвах, мг/кг***	ПДК в почвах, мг/кг****
	M±m	пределы		M±m	пределы				
Li	22.3±0.6	18-27	11	34.3±1.14	28-43	15	0.19	25	—****
Be	3.59±0.08	3.0-4.25	9	1.12±0.09	0.75-2.10	33	-0.08	2	10
B	16.4 ±1.29	13-22	21	57.0±9.5	27-97	44	-0.07	20	25
Al	74480±320	53100-94980	17	6638±1090	2500-15000	66	0.29	71000	—
Ti	5060 ±148	3670-6080	13	557±41	325-960	33	0.23	5000	—
V	100±5.2	78-156	21	18.7±1.69	10-35	37	0.56**	90	100/150
Cr	62±4.2	35-98	28	35.0±2.6	17-53	31	0.72	70	100/90
Mn	786±28	535-960	15	827±45	400-1125	22	0.60	1000	1500
Fe	45360±261	30040-60110	22	3875±164	1470-8000	46	0.70	40000	—
Co	10.9±0.07	9-15	20	8.8±0.29	6-10	10	0.05	8	50
Ni	29.1±2.0	15-49	28	9.5±0.88	4-16	38	0.21	50	100
Cu	25.0±2.1	10-49	35	80.0±8.4	33-175	42	0.39	30	100
Zn	81.0±7.0	42-136	33	414±46	200-800	45	0.57	90	300
Zr	319±21	190-490	28	35.0±2.5	15-51	31	-0.08	400	—
Mo	3.0±0.24	1.3-4.5	34	29.0±1.8	13-42	28	0.38	1.2	5
Ba	973±25	802-1266	11	640±41	300-930	29	0.51	500	—
Pb	35.0±1.4	28-48	16	13.4±1.1	9-25	33	0.82	12	100/32

Примечание к таблице 2: *V – коэффициент вариации, ** – жирным шрифтом обозначено наличие корреляционной связи между содержанием микроэлементов в почвах и содержанием их в золе растительности, *** – кларк в почвах (Требования ..., 2002), **** – ПДК в почвах, в числителе А. Клоке (1980), в знаменателе – «Методические ...» (2004), ***** – нет данных.

Что касается обеспеченности степной растительности отдельными микроэлементами, то во всех фитоценозах выявлен дефицит В и Ni и пониженное по сравнению с кларком Zr, в пределах нормы – Mn и Li, выше нормы концентрация Fe в растительности всех ПП от 2.2 до 6.5 раза, Mo в 15 ПП (в 2.3-10.8 раза), Ba в 14 ПП (1.7-4.2), Sr в 14 ПП (1.7-3.9). Превышение максимально допустимого уровня в растительности отмечено для Mo (>3 мг/кг) на трех ПП, Fe (>300 мг/кг) на двух и Cr (>5 мг/кг) на двух ПП. Следует отметить отсутствие нормативов в растениях для таких токсичных микроэлементов, как Be и Al. На основании выявленных различий можно заключить, что степная растительность Забайкалья обеспечена микроэлементами в значительно различающихся пределах – от дефицита для одних до превышения максимального уровня для других.

Сравнение с кларками элементов в почвах, принимаемых за эколого-геохимическую норму (Требования ..., 2002; Сае и др., 1990), показало, что средние содержания 10 микроэлементов (Li, B, Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Zn, Zr) в изучаемых почвах им практически соответствуют. Повышенное содержание выявлено для Pb в 2.9, Mo в 2.5, Ba в 1.9 и Be в 1.8 раза, пониженное – Mn в 1.7, Ni в 1.4, Cu в 1.2 раза, что обусловлено преобладанием в качестве коренных пород в регионе гранитоидов, характеризующихся повышенным количеством Pb, Mo, Ba, Be и пониженным Mn, Ni, Cu. Оценка содержания микроэлементов в почвах с санитарно-гигиеническими критериями (ПДК или ОДК; Предельно ..., 2001; Клоке, 1980) показала превышение концентрации Ba и Pb. Однако биологическая доступность этих элементов в почвах низкая, о чем свидетельствует КБП: от 0.37 у Pb до 0.6 у Ba (рис. 1). Аналогичные данные по КБП для этих элементов получены у люцерны – 0.31±0.02 и 0.55±0.05 (Кашин, 2018).

Среднее содержание Be, Fe, Cu, V в степной растительности Забайкалья соответствует их кларкам в растительности суши (табл. 4); Ti в 1.3, Zn, Pb в 1.4, Al в 1.9, Mn в 2.0, Zr в 2.5, Ni в 2.8, B в 4.3 меньше кларка; Li, Cr в 1.3, Sr в 2.0, Ba в 2.4, Mo в 3.7 раза выше кларка.

Причина подобного может заключаться в разных уровнях и биодоступности микроэлементов в почвах, степени барьерности их транслокации в надземные части растений, соотношении видов в сообществах, экологических и видовых различиях накопления элементов в растениях, а также в особенностях физико-химических свойств элементов. В частности, повышенное накопление молибдена и хрома определяется анионогенными свойствами этих элементов, проявляющих более высокую подвижность в нейтральной и щелочной среде, которая характерна для почв сухостепной зоны, тогда как большинство других элементов здесь малоподвижно. Хром и молибден входят в VIB группу периодической таблицы, близки по химическим свойствам, на последних электронных слоях имеют одинаковое количество электронов: Cr – $3d^5 4s^1$, Mo – $4d^5 5s^1$.

Таблица 3. Содержание микроэлементов в надземной массе степных фитоценозов. мг/кг (названия фитоценозов в: Материал и методы).

Фитоценоз	Li	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Sr	Zr	Mo	Ba	Pb
Удинская сухая степь																	
1	–*	0.065	5.2	324	65	1.30	1.95	65	390	0.26	6.5	9.8	65	1.95	1.95	20	0.65
2	1.16	0.059	5.8	232	34	0.61	1.74	61	280	0.58	5.8	18.0	54	1.74	1.74	18	0.92
Центральная сухая степь																	
3	1.74	0.058	6.0	216	59	0.58	1.74	30	290	0.58	5.8	20.0	46	1.84	1.16	23	0.75
4	1.86	–	6.6	–	33	1.98	1.32	46	–	0.52	6.8	9.4	66	1.93	0.66	93	0.78
5	2.19	–	6.6	–	37	1.46	2.20	37	188	1.19	5.8	15.4	58	2.19	1.10	73	0.73
6	2.58	–	2.6	–	34	0.86	2.58	54	153	1.06	6.8	27.0	136	2.04	5.44	48	0.68
7	1.98	–	6.5	–	66	1.98	6.60	59	222	0.66	7.3	46.0	72	5.95	1.70	59	2.70
8	2.10	0.079	10.8	279	62	1.40	2.40	48	186	0.29	9.3	11.0	64	4.0	1.98	66	1.65
9	2.30	0.085	3.6	370	60	2.11	2.30	85	380	0.56	12.4	24.0	65	3.20	3.60	85	0.72
10	2.15	–	3.5	356	23	0.87	2.25	60	162	1.10	8.4	23.0	78	2.30	1.50	67	1.50
Южная сухая степь																	
11	–	–	1.8	–	22	0.63	0.63	63	132	0.50	2.0	8.0	63	0.63	0.32	38	0.63
12	2.04	–	4.3	–	20	0.68	2.05	41	204	1.03	5.4	34.0	54	2.06	3.40	–	0.68
13	1.95	–	–	–	52	1.30	1.60	59	–	1.60	10	49.0	67	3.25	1.0	46	1.60
14	2.04	–	2.0	–	37	2.04	5.44	34	207	1.22	6.8	18.2	102	3.40	2.05	68	0.69
15	1.86	0.056	8.0	168	25	0.82	2.24	56	159	0.45	5.3	15.9	45	3.36	2.24	17	0.56
16	1.62	0.060	5.9	177	30	1.28	1.18	64	177	0.32	3.0	18.8	59	5.90	0.59	57	0.56
17	1.92	0.170	8.9	256	32	0.60	1.90	58	192	0.62	9.8	8.0	82	3.84	1.10	58	0.70
18	2.10	0.080	10.8	280	64	1.40	2.49	79	186	0.29	9.4	42.0	63	4.00	1.97	66	1.65
Среднее	1.97	0.080	5.8	266	43	1.22	2.36	55	219	0.71	7.0	22.0	69	3.04	1.86	55	0.89
Пределы	1.16-2.58	0.056-0.170	1.8-10.8	168-370	20-66	0.58-2.11	0.63-6.60	30-85	132-390	0.26-1.60	2.0-12.4	8.0-49.0	45-136	0.63-5.95	0.32-5.44	17-93	0.56-2.70
V, %	16	45	47	36	41	45	61	27	35	55		59	31	47	49	43	48

Примечание к таблице 3: * – не определялось.

Кроме того, возможны и конкурентные взаимоотношения при поглощении элементов корневой системой: повышенное содержание железа может снижать поступление в растения меди, цинка, никеля. Высокое содержание бария и стронция в степной растительности региона обусловлено значительно повышенной концентрацией этих элементов в горных породах Забайкалья по сравнению с их кларками. Так, в батолитовых гранитоидных комплексах Джидинского района содержание бария в среднем составляло 1470, стронция – 825 мг/кг (Дворкин-Самарский и др., 1983), при их кларках в гранитоидах 800 и 650 мг/кг или кларках земной коры 470 и 370 мг/кг (Требования ..., 2002).

Важную роль в снижении поглощения свинца играет слизь, покрывающая корни. В составе слизи преобладает углеводный компонент, основу которого составляют гидроксильные и карбоксильные

функциональные группы. Наиболее высоким сродством к этим группам обладают ионы свинца (Серегин, Кожевникова, 2008). Поэтому при высоких содержаниях свинца в почвах Забайкалья (даже превышающих ПДК) его содержание в растениях характеризуется низкими значениями – 0.56-1.65 мг/кг, тогда как токсичными концентрациями считаются 3-5 мг/кг (Минеев, 1988). Аналогичные данные в отношении свинца получены в исследовании Г.Д. Чимитдоржиевой с соавторами (2014) в Забайкалье. Что касается Sr, то он связывается с материалом слизи значительно слабее, чем Pb, чем обусловлены его высокая мобильность и более быстрое поступление в растения (Серегин, Кожевникова, 2008).

Таблица 4. Среднее (кларк в растительности суши) содержание микроэлементов и нормы обеспеченности ими растений (по данным разных источников), мг/кг.

Элемент	Источник								
	В.В. Добровольский (2003)	Н.И. Лебедев (1990)	Хенниг (1976)	Б.Д. Кальницкий (1985)	В.Г. Минеев (1988)	А. Kabata (2011)		В.В. Ковальский (1991)	
	Среднее	Норма	Норма	Норма	Норма	Норма	Избыток	Норма	Избыток
Li	1.5	–*	–	–	–	3.0	5.0	–	–
Be	0.10	–	–	–	0.10	<1.0	10	–	–
B	25	–	–	–	30-75	10	50	27-65	65
Al	500	–	–	–	–	200	–	–	–
Ti	32.5	–	–	–	–	15-80	200	–	–
V	1.5	0.4-0.6	–	–	–	0.2-1.5	5	–	–
Cr	1.8	0.4-0.6	–	–	0.2-1.0	0.1-0.5	5	–	–
Mn	205	50-70	60	40-60	–	–	500	20-60	500
Fe	200	50-80	40-70	50-70	–	–	–	25-50	300
Co	0.5	0.8-1.0	0.10	0.1-0.5	0.3-0.5	0.2-1.0	15	0.3-0.5	1.0
Ni	2.0	–	–	–	0.4-3.0	0.1-1.7	10	–	–
Cu	8.0	6-10	8	8-12	2-12	5-20	30	3-12	20
Zn	30	30-50	40-50	30-50	15-150	27-150	400	20-60	500
Sr	35	50-60	–	–	–	–	–	–	–
Zr	7.5	–	–	–	–	–	15	–	–
Mo	0.5	0.1-0.15	0.10	0.5-1.0	–	0.2-1.0	10	0.25-1	3
Ba	22.5	17-20	–	–	–	–	500	–	–
Pb	1.25	–	–	–	0.1-5	2.0	–	–	–

Примечание таблице 4: * – нет данных.

Взаимодействие микроэлементов в системе «почва – растение» определяется главным образом доступностью химических соединений почвы, биологическими особенностями растений и значимостью элементов в метаболизме. Как видно из рисунка 1, большинство изученных нами микроэлементов относится к группе с низкой интенсивностью поглощения, КБП у которой менее 1.0. Это прежде всего потенциально токсичные и условно необходимые элементы (Be, Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zr, Ba, Pb). Некоторые из них присутствуют в почве преимущественно в формах, мало доступных для растений (Al, Ti, Fe, Zr, Ba), а также принимают слабое участие в биологических процессах, за исключением Fe. Высокая и средняя интенсивность биологического поглощения фитоценозами степных ландшафтов отмечена для жизненно необходимых элементов: Mo (10.5), Zn (5.2), B (3.6), Cu (3.4), Mn (1.1). На основании этих данных можно сделать заключение о существенно различной экологической активности изученных элементов в почвах.

Коэффициенты биологического поглощения характеризуют региональные биогеохимические

особенности растений и отражают степень взаимосвязи концентрации элементов в системе «растение – почва». Сравнение с таблицей группирования химических элементов по КБП (Перельман, Касимов, 1999) выявило, что В, по нашим данным, относится к группе среднего биологического захвата, а не к группе сильного биологического поглощения; V, Cr, Li – к группе среднего, а не слабого и очень слабого захвата; Mo – к группе сильного биологического накопления, а не среднего биологического захвата. Сравняя интенсивность биологического поглощения микроэлементов растительностью степных ландшафтов Забайкалья и растительностью суши (Добровольский, 2003), следует отметить, что степная растительность более активно поглощает Cu и Li, практически одинаково Al, Fe, Ba, Mo и менее активно остальные 11 элементов.

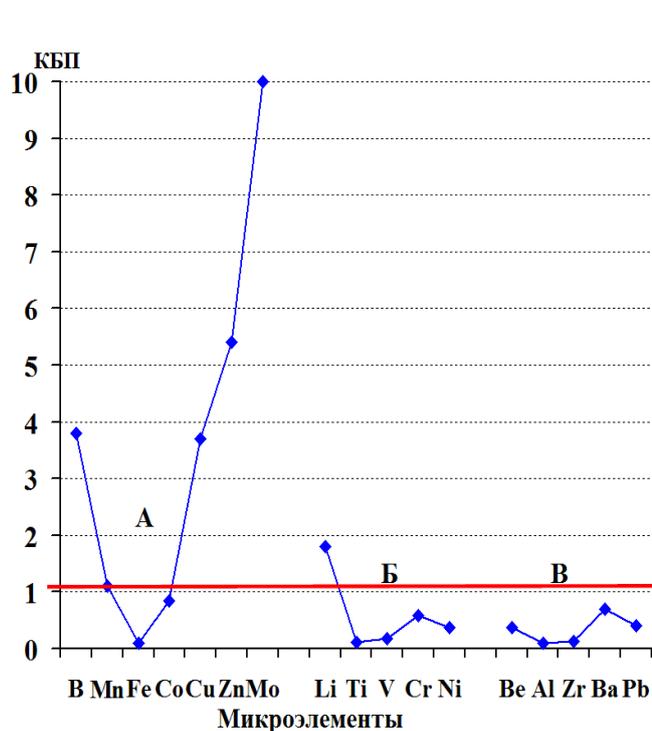


Рис. 1. Коэффициенты биологического поглощения жизненно необходимых (А), условно необходимых (Б) и потенциально токсичных (В) микроэлементов степной растительностью Забайкалья (среднее из 8).

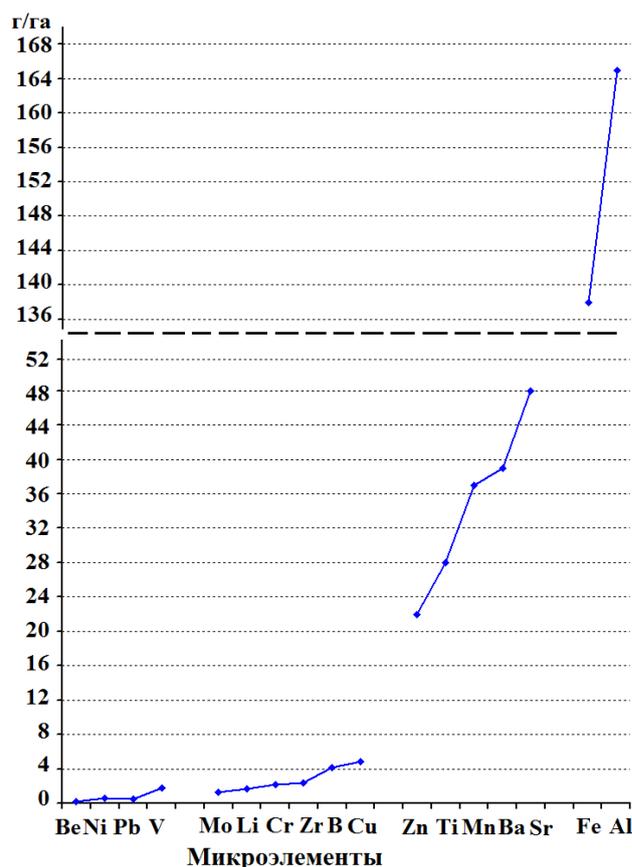


Рис. 2. Вынос микроэлементов надземной массой степной растительности Забайкалья (среднее из 8).

Наряду с уровнем содержания микроэлементов для процессов жизнедеятельности в растениях большое значение имеет и соотношение между ними, поскольку при его нарушении могут проявляться сложные антагонистические или синергетические взаимоотношения. Физиологическое равновесие ионов в клетках играет существенную роль в поддержании структурной целостности и нормального функционирования организмов. Изменения отношений между целым рядом элементов используются в качестве биогеохимических индикаторов состояния экосистем.

Отношения Fe:Zn и Fe:Mn в нормально обеспеченных растениях, по данным В.В. Ковальского (1991) и Н.И. Лебедева (1990), составляют 1.7 и 1.0, тогда как в степной растительности в среднем, по нашим данным, 9.5 и 4.0 за счет очень высокого содержания Fe. Отношение Zn:Cu, по данным этих же авторов, равно 5, по нашим – 7. Особую значимость имеет соотношение Cu:Mo. Нормальное соотношение этих элементов составляет 1:0.12, в степной растительности Забайкалья – 1:0.38, т.е. ниже в 3.6 раза. Это может быть причиной энзоотической атаксии овец, что отмечается в Забайкалье (Балдаев, Кириллов, 1986).

При несбалансированности минерального питания как в растениях, так и у животных могут быть различные эндемические заболевания (Ковальский, 1991; Кузнецов, 1991). Несмотря на практическую важность, следует отметить слабую изученность вопроса соотношения между различными микроэлементами и макро- и микроэлементами в растениях. В частности, большое значение может иметь соотношение Sr к Ba (а также их соотношение к Ca), так как содержание этих элементов в растениях находится на уровне таких жизненно важных элементов, как Mn и Zn, и значительно выше, чем Co, Mo, Cu. По нашим данным, среднее отношение Sr к Ba в степной растительности составляет 1.3, в растительности суши – 1.6. (Добровольский, 2003)

Сопоставление с 10-балльной шкалой Н.И. Базилевич (1993) по приросту биомассы показало, что изученная нами степная растительность в связи с экстремально низкой водообеспеченностью относится к очень малопродуктивной (1 балл < 10 ц/га). Поэтому содержание микроэлементов в укосе фитомассы на единицу площади и вовлечение их в биогенную миграцию надземной части очень низкое (рис. 2). Вынос Be, Ni, Pb, V находится в диапазоне 0.1-0.93 г/га; Mo, Li, Cr, Zr, B, Cu – 1.1-4.8 г/га; Zn, Ti, Mn, Ba, Sr – 21-47 г/га; Fe, Al – 135-164 г/га. По сравнению с имеющимися в литературе данными по захвату элементов ежегодным приростом растительности суши (Добровольский, 2003) вынос Al, Ti, Cr, Fe, Zn, Sr, Ba, Pb степной растительностью Забайкалья на 1 порядок, а остальных 7 микроэлементов на 2 порядка ниже.

Выводы

Каштановые почвы степных экосистем Западного Забайкалья характеризуются в сравнении с кларками нормальным содержанием Li, B, Al, Ti, V, Cr, Co, Zn, Zr, повышенным – Pb в 2.9, Mo в 2.5, Ba в 1.9, Be в 1.8 раза, пониженным – Mn в 1.7, Ni в 1.4, Cu в 1.2 раза, что определяется преобладанием в качестве коренных пород гранитоидов – пород кислой группы.

Определены средние величины и диапазоны варьирования содержания 17 микроэлементов в степной растительности Забайкалья. По уровню содержания выделены элементы повышенного (Fe, Al – >200 мг/кг), среднего (Ba, Ti, Sr, Mn, Zn – 23-69), низкого (B, Cu, Li, Cr, Mo, V, Zr – 1.22-7.0) и очень низкого содержания (Be, Ni, Pb – 0.08-0.89 мг/кг). Выявлена значительная неоднородность содержания микроэлементов в растительности, обусловленная как биологическими особенностями растений, интенсивностью их поглощения из почвы, так и эколого-геохимическими факторами, определяющими биодоступность элементов. Наименьший коэффициент вариации (16%) отмечен для Li, наибольший – для Cr (61%). По интенсивности биологического поглощения из почвы растительностью (КБП), характеризующей экологическую активность элементов в почве, Mo (10.5), Zn (5.2), B (3.6), Cu (3.4) отнесены к группе с высокой; Li (1.6), Mn (1.1) – к средней; Be, Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Zr, Ba, Pb (0.09-0.83) – с низкой интенсивностью. Для V, Cr, Mn, Fe, Zn, Ba, Pb установлена средняя и сильная положительная корреляция между содержанием их в растительности и почве ($r=0.51-0.82$). Для остальных микроэлементов корреляция между этими показателями отсутствует: Be, B, Zr (r от -0.07 до -0.08), Li, Al, Ti, Ni, Cu, Mo (0.19-0.39).

Сравнение содержания микроэлементов в степной растительности с нормами обеспеченности (или с кларками) выявило, что выше нормы концентрация Fe (в 3.7 раза), Mo (2.3), Ba (2.8), Sr (1.3); в пределах нормы – Mn; ниже нормы – Zn (1.8), Cu (1.4), B (3.4). Превышение максимально допустимого уровня в растительности отмечено для Mo на трех пробных площадках, Fe и Cr на двух. Различия в содержании являются причиной неблагоприятного отношения в растительности между Fe:Zn, Fe:Mn, Zn:Cu, Cu:Mo.

В связи с низкой биологической продуктивностью степных фитоценозов вовлечение микроэлементов в биогенную миграцию надземной фитомассы на 1-2 порядка меньше в сравнении со средним захватом их годовым приростом растительности суши.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. 1991. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина. 496 с.
- Базилевич Н.И. 1993. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука. 293 с.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. 1978. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 183 с.
- Балдаев С.Н., Кириллов С.А. 1986. Корма и профилактика эндемических болезней овец. Улан-Удэ: Бурятское

книжное издательство. 123 с.

- Безель В.С., Жуйкова Т.В. 2007. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности // Экология. № 4. С. 259-267.
- Бертини И., Грей Г., Валентине Дж. 2013. Биологическая неорганическая химия: структура и реакционная способность. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. Т. 1. 456 с.
- Бойков Т.Г., Харитонов Ю.Д., Рупышев Ю.А. 2002. Степи Забайкалья: Продуктивность, кормовая ценность, рациональное использование и охрана. Улан-Удэ: Издательство БНЦ СО РАН. 228 с.
- Дворкин-Самарский В.А., Каперская Ю.Н., Козулина И.М. 1983. Закономерности распределения бария и стронция в горных породах Забайкалья. Улан-Удэ: БФ СО АН СССР. 152 с.
- Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. М.: Академия. 400 с.
- Зайцев Г.Н. 1990. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 296 с.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. 2004. Особенности микроэлементного состава почв Западной Сибири и их отражение в региональной биогеохимии, экологии, почвоведении // Сибирский экологический журнал. № 3. С. 259-271.
- Кальницкий Б.Д. 1985. Минеральные вещества в кормлении животных. Л.: Агропромиздат. 207 с.
- Кашин В.К. 2018. Содержание микроэлементов в люцерне в Западном Забайкалье // Агрохимия. № 8. С. 46-51.
- Ковальский В.В. 1991. Геохимическая среда, микроэлементы, реакции организмов // Труды Биогеохимической лаборатории. Т. 22. С. 5-24.
- Кузнецов С.Г. 1991. Биохимические критерии обеспеченности животных минеральными веществами // Сельскохозяйственная биология. № 2. С. 16-33.
- Лебедев Н.И. 1990. Использование микродобавок для повышения продуктивности жвачных животных. Л.: ВО Агропромиздат. 96 с.
- Меркушева М.Г., Аненхонов О.А., Бадмаева Н.К., Сосорова С.Б. 2014. Степные сообщества на каштановых почвах Западного Забайкалья: разнообразие и биопродуктивность // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3. С. 59-69.
- Методические рекомендации по определению степени загрязнения городских почв и грунтов и проведению инвентаризации территорий, требующих рекультивации. 2004. М.: ИМГРЭ. 48 с.
- Минеев В.Г. 1988. Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ. 285 с.
- Нимаева С.Ш. 1989. Микробиологические основы плодородия почв Западного Забайкалья // Почвенные ресурсы Забайкалья. Новосибирск: Наука. С. 88-101.
- Одум Ю. 1986. Экология. М.: Мир. Т. 1. 328 с.
- Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. 2018. Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с их аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии // Аридные экосистемы. Т. 24. № 2. С. 13-21.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М.: «Астрей-2000». 768 с.
- Починок Х.Н. 1976. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наукова думка, 334 с.
- Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. 2001. СПб: АНО НПО «Мир и семья». 896 с.
- Ребров В.Г., Громова О.А. 2008. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЭОТАР-Медиа. 960 с.
- Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Куницкая Т.А. 1987. Методы анализа почв и растений. Рига: Зинатне. 174 с.
- Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. 1990. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 335 с.
- Серегин И.И., Кожевникова А.Д. 2008. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений. Т. 55. № 1. С. 3-26.
- Тишков А.А. 2010. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. Т. 16. № 1. С. 5-15.
- Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования. 2002. М.: ИМГРЭ. 92 с.
- Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г., Бойков Т.Г. 1989. Основные принципы управления плодородием почв в сухостепной зоне // Почвенные ресурсы Забайкалья. Новосибирск: Наука. С. 141-149.
- Харитонов Ю.Д. 1980. Кормовая ценность степных пастбищ Юго-Западного Забайкалья. Новосибирск: Наука. 128 с.
- Хенниг А. 1976. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных. М.: Колос. 560 с.
- Чимитдоржиева Г.Д., Бодеева Е.А., Нимбуева О.З. 2014. Свинец в системе порода-почва-гумусовые вещества-растения на примере лесостепных и степных почв Западного Забайкалья // Сибирский экологический журнал. № 3. С. 485-492.
- Экосистемы бассейна Селенги. 2005 / Ред. Е.А. Востокова, П.Д. Гунин. М.: Наука. 359 с.
- Kabata A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. London – New York: CRC Press Taylor and Francis Group Boca Raton 534 p.
- Kloke A. 1980. Richtwerte '80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungen VDLUFA. No. 1/3. P. 9-11.

ISSN 1993-3916

ЖУРНАЛ АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ 2020. Т. 26. № 2 (83)

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

Свидетельство о регистрации средства массовой информации в Роскомнадзоре (Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций) – ПИ № ФС77-56164 от 15 ноября 2013 г. Подписано в печать 29 мая 2020 г.



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ КМК

Формат 60x 84 ¹/₈

Объем 12 п.л.

Тираж 200 экз.

Заказ №

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

**Распространяется
только по подписке**

Индекс 39775 (каталог «Пресса России»)