

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПУСТЫННО-ПАСТБИЩНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ)

© 2023 г. Л. П. Рыбашлыкова¹, *, С. Ю. Турко¹

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
г. Волгоград, Россия

*e-mail: ludda4ka@mail.ru

Поступила в редакцию 22.12.2022 г.

После доработки 16.01.2023 г.

Принята к публикации 27.02.2023 г.

В статье приводятся результаты мониторинга динамики продукционного процесса в пустынно-пастбищных фитоценозах за 8-летний период (2014–2021 гг.). Показано современное состояние растительного покрова на Черноземельской песчаной равнине (северо-запад Прикаспийской низменности, территория Республики Калмыкия) после закрепления лесной мелиорацией комплексов мелкобарханных песков, проведенного в 1970–90-е гг. Очаги дефляции различались по степени трансформации почвенного и растительного покрова и способам восстановления растительного покрова. В настоящее время на месте ранее выявленных очагов дефляции идет процесс восстановительной сукцессии. Рассмотрены особенности видового состава и структуры пустынно-пастбищных фитоценозов. Проанализирована связь продуктивности модельных травянисто-кустарниковых пастбищ (кустарник *Callygonum aphyllum*, полукустарник *Krascheninnikovia ceratoides*, травянистые виды *Stipa lessingiana*, *Artemisia lerchiana*, *Alyssum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Poa bulbosa*) с осадками теплого и холодного периодов в течение вегетации. Пожары и антропогенное воздействие замедляют ход сукцессионных процессов. Природно-ландшафтное окружение современных очагов дефляции на пастбищах Северо-Западного Прикаспия является важным фактором, влияющим на направление сукцессии.

Ключевые слова: пустынно-пастбищные фитоценозы, очаги дефляции, восстановительные сукцессии, продуктивность, антропогенное влияние, Прикаспийская низменность

DOI: 10.31857/S0033994623010090, EDN: YASSYN

На северо-западе Прикаспийской низменности (Республика Калмыкия) фитоценозы естественных пастбищ являются одним из основных элементов экосистем, определяющих состояние окружающей среды [1–3]. Аридные пастбища, на долю которых приходится 50–75% природных кормовых угодий страны, являются уникальной сельскохозяйственной территорией Российской Федерации [4, 5]. Прогнозные оценки развития процессов деградации (опустынивание) на фоне аридизации климата позволяют говорить о серьезных экологических проблемах [6–9]. К настоящему времени произошли заметные изменения растительного покрова: уменьшилось количество видов, изменился видовой состав, снизились высота, проективное покрытие, продуктивность (с 0.4–0.6 до 0.05–0.15 т/га). Два взаимосвязанных фактора – интенсивное использование и особенности естественного биоклиматического потенциала – привели к нарушению стабильности и де-

струкции пастбищных экосистем пустынной зоны [10–13].

Очень важно не допустить деградации пастбищ, поскольку от степени антропогенного влияния на них зависит направленность вторичных восстановительных сукцессий и существование многих видов растений и животных. Исследования состояния растительности проводятся с целью нормирования использования природных кормовых ресурсов [14, 15]. Видовой состав сообществ и структура ценопопуляций видов находятся в непрерывной динамике, вызванной изменениями окружающей среды [16–18]. В меняющихся климатических условиях, поддержание экологического равновесия, продуктивного потенциала пастбищных экосистем и восстановление их биоразнообразия, является фундаментальной задачей, определяющей необходимость последовательной оптимизации режимов использования функционирующих угодий и ускоренного восстановления их дегра-

Рис. 1. Географическое положение модельных травянисто-кустарниковых пастбищ в Северо-Западном Прикаспии (SasPlanet): 1. Сообщества на легкосуглинистых почвах. Белополынные (*Artemisia lerchiana*), ромашниково-прутняково-белополынные (*A. lerchiana*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium*); 2. Сообщества на суглинистых сильнозасоленных почвах. Чернополынные (*Artemisia pauciflora*) в комплексе с белополынно-чернополынными, солянково-чернополынными (*Artemisia pauciflora*, *Climacopera brachiata*); 3. Сообщества на супесчаных и песчаных почвах. Злаково-белополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) на бурых супесчаных почвах в комплексе с белополынными, злаково-полынными (*Artemisia austriaca*, *Elytrigia repens*, *Festuca valesiaca*) на лугово-бурых почвах; 4. Псаммофитные на закрепленных песках. Мятликово-белополынные (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*). Кияково-белополынные (*Artemisia lerchiana*, *Leymus racemosus*) на грядово-бугристых песках.

Fig. 1. Location of the model grass-shrub rangelands in the North-Western Caspian region (SasPlanet). 1. Communities on light loamy soils. Artemisia complexes (*Artemisia lerchiana*), grass—artemisia complexes (*A. lerchiana*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium*); 2. Communities on highly saline loamy soils. Artemisia pauciflora complexes (*Artemisia pauciflora*) in combination with *Artemisia pauciflora*, *Climacopera brachiata*; 3. Communities on sandy loam soils. Grass—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*) on brown sandy loam soils in combination with *Artemisia austriaca*, *Elytrigia repens*, *Festuca valesiaca* on meadow-brown soils; 4. Psammophytic communities on fixed sands. Poa—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Poa bulbosa*). Leymus—Artemisia (*Artemisia lerchiana*, *Leymus racemosus*) on ridge hilly sands.

дированной части [19–24]. Исследование растительных сообществ, находящихся под антропогенным воздействием, позволяет прогнозировать их развитие, трансформацию и решать задачи, направленные на оптимизацию видового состава растительного покрова [25, 26]. Несмотря на сокращения поголовья скота (засуха—бескормица) фактическая нагрузка на пастбищные угодья Калмыкии остается высокой (в среднем по региону 0.68 гол./га), превышение оптимальной нагрузки составляет 38.8%.

Целью данной работы явилось изучение динамики пустынно-пастбищных фитоценозов для выявления механизмов их трансформации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в северо-западной части Прикаспийской равнины (юго-запад Республики Калмыкия) в местах бывших крупных очагов дефляции (выдувания песка). Согласно ландшафтно-географическому районированию Калмыкии, исследуемая территория относится к Черноземельской низменности (рис. 1), на которой растительность представлена злаково-белополынными сообществами [27].

Климат районов исследований континентальный, резко засушливый, жаркий. Сухое и жаркое лето, низкая относительная влажность воздуха, преимущественно ливневый характер выпадения летних осадков, неустойчивый и малой мощности снежный покров являются основными чертами климата этой зоны. Радиационный индекс сухости — 3.0–3.5, среднее многолетнее годовое количество осадков — 255 мм.

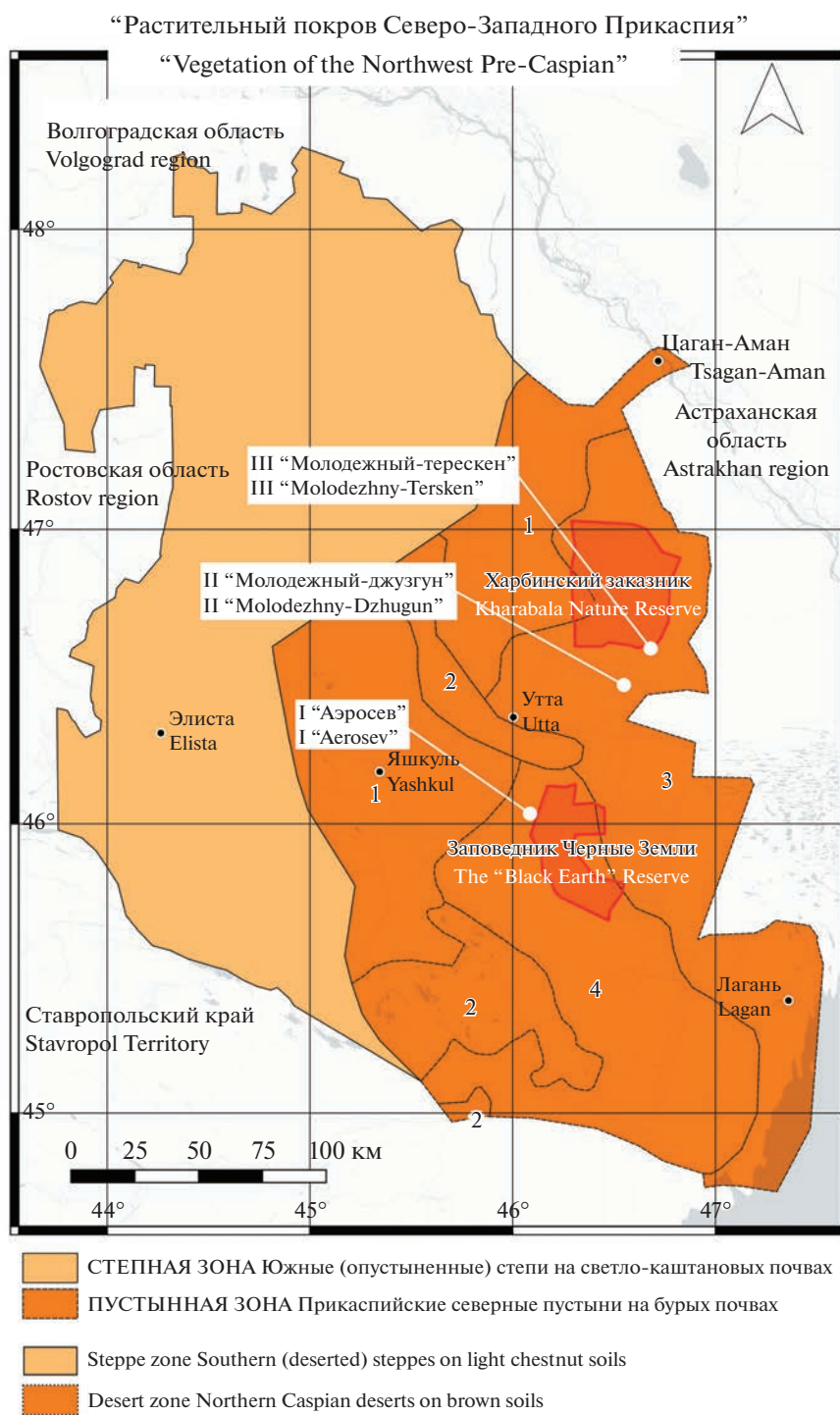
Метеорологические данные, полученные с метеостанций п. Утта (46°21'54" N 46°00'10" E) и п. Яшкуль (46°10'45" N 45°21'6" E), свидетельствуют, что за период исследований наибольшее количество осадков на участках “Аэросев” (290 мм) и “Молодежный” (263 мм) отмечалось в 2016 г., а

критически низкие значения (52 и 91 мм соответственно) установлены в 2020–2021 гг. (рис. 2).

Засушливость вегетационного периода в весенние месяцы усиливается частыми суховеями. Среднемесячная относительная влажность воздуха в теплый период года (апрель—октябрь) находится в пределах 35–57%. Среднегодовая температура воздуха в 2014–2021 гг. составила 10.8–12.9 °C, при средней многолетней 9.9 °C. Абсолютный минимум температуры составляет –34 °C, абсолютный максимум — +45 °C. Длительность безморозного периода — 175–185 дней.

Территория районов исследований представляет собой слабоволнистую равнину. Почвообразующими породами являются суглинки, супеси и тонкозернистые пески. Пески Черных земель богаты по минералогическому составу и сформированы полевошпатово-кварцевой легкой фракцией и амфиболово-эпидотовой тяжелой фракцией с примесью слюд, глауконита, апатита и из непрозрачных минералов — ильменита и лимонита. Такой состав вполне обеспечивает растения зольными элементами (P, Ca, Mg, K, S и др.). Тонкозернистость песков определяет их сравнительно высокую влагоемкость (наименьшая влагоемкость (НВ) 5–7%). Несмотря на малогумусность (0.01–0.3%), бурые пустынные почвы обладают достаточным потенциальным плодородием. Наличие тонкопесчаного скелета во всех почвах Северо-Западного Прикаспия является причиной их предрасположенности к дефляции [22].

Очаги дефляции с восстановленной растительностью, являющиеся объектами исследования, расположены на разной географической широте и исходно различались по степени трансформации почвенного и растительного покрова и способам восстановления открытых песков. Эти очаги опустынивания возникли в результате чрезмерной нагрузки при выпасе скота и распашке.



Участок I. Модельное травянисто-кустарниковое пастбище “Аэросев” (общая площадь 4000 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Черноземельский р-н, в 20 км к северо-востоку от п. Адык, координаты: 45°48’846” N, 45°49’968” E. Культивируемые виды-мелиоранты — *Ulmus pumila* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Fraxinus pennsylvan-*

ica Marshall., *Callygonum aphyllum* (Pall.) Guerke, *Krascheninnikovia ceratoides* L. Gueldenst. и *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel. Высев *Leymus* проводился в 1988 г. самолетом АН-2 (“методом аэросева”) с использованием широкозахватного тоннельного распределителя РТШ-1 без микродозировочного устройства.

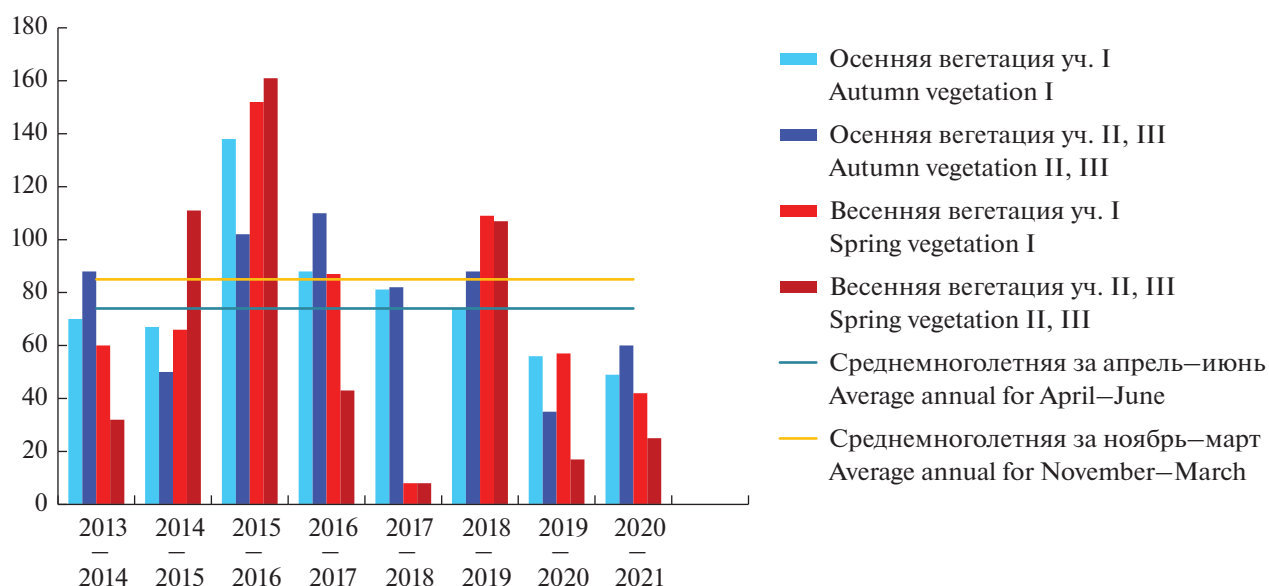


Рис. 2. Динамика изменения влагообеспеченности в годы проведения исследований.

По горизонтали — годы; по вертикали — осадки, мм.

Fig. 2. Dynamics of water availability over the study years. X-axis — years; y-axis — precipitation, mm.

Участок II. Модельное джужгуновое травянисто-кустарниковое пастбище (фитомелиорация проведена в 1985 г., общая площадь 1500 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Яшкульский р-н, в 36 км к югу от п. Молодежный, координаты: 46°27'08" N, 46°24'53" E. Под защитой борозд-валов испытаны различные варианты создания насаждений. Культивируемые виды-фитомелиоранты — *Callygonum aphyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Bassia prostrata* L., *Agropyron fragile* Roth., *Elytrigia intermedia* Host.

Участок III. Модельное терескеновое травянисто-кустарниковое пастбище (фитомелиорация проведена в 1985 г., общая площадь 1500 га). Местоположение: Республика Калмыкия, Яшкульский р-н, в 30 км к югу от п. Молодежный, координаты: 46°33'17" N, 46°27'83" E. Культивируемые виды-фитомелиоранты — *Krascheninnikovia ceratoides*, *Bassia prostrata*, *Agropyron fragile* и *Elytrigia intermedia*.

Сбор данных. Ранние этапы восстановления растительности на участках исследования изучались по архивным материалам Калмыцкой научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции (НИАГЛОС). Фитомелиорация была проведена в 80-е гг. сотрудниками ВНИАЛМИ ныне ФНЦ агроэкологии РАН и Калмыцкой НИАГЛОС А.С. Манаенковым, В.И. Петровым, А.К. Кладиевым.

Исследования состояния растительности проводили ежегодно с 25 по 36 год с момента проведе-

ния фитомелиорации в июне по методике геоботанической съемки методом пробных площадей. На каждом участке были заложены по 3 постоянных пробных площади размером 10 × 10 м [28]. Видовой состав растений участков был установлен на основе общего списка видов, встречающихся на пробных площадях; доминантами считались виды, доля которых в наземной фитомассе составляла > 10%. Номенклатура видов приведена по сводке С.К. Черепанова [29].

Коэффициент видового сходства модельных травянисто-кустарниковых пастбищ рассчитывали по формуле (Серенсена—Чекановского):

$$K_s = 2a / (2a + b + c),$$

где: 2a — число общих видов на двух участках; b — число видов, зарегистрированных только на первом участке; c — число видов, зарегистрированных только на втором участке.

Урожайность участка учитывали укосным методом на 5 учетных площадках размером 1 × 1 м. Названия растительных сообществ устанавливались по доминантному принципу. Учет обилия видов и проективного покрытия проводили по шкале Ж. Браун-Бланке, где r — вид чрезвычайно редок с незначительным покрытием, + — вид встречается редко, степень покрытия мала; 1 — число особей велико, степень покрытия мала или особи разрежены, но покрытие большое; 2 — число особей велико, проективное покрытие от 5 до

25%; 3 — число особей любое, проективное покрытие от 25 до 50%; 4 — число особей любое, проективное покрытие от 50 до 75%; 5 — число особей любое, покрытие более 75% [30]. Постоянство рассчитывали по Ж. Браун-Бланке по встречаемости вида в %. Выделялось 5 классов постоянства: I — вид присутствовал не более чем на 20% площадок, II — вид присутствовал на 20–40% площадок, III — вид присутствовал на 40–60% площадок, IV — вид присутствовал на 60–80% площадок, V — вид присутствовал на 80–100% площадок.

Экологическую стабильность ($K_{э.с}$) и антропогенную нагрузку ($K_{а.н}$) территории районов исследования оценивали по формулам:

$$K_{э.с} = (\sum K_i P_i / \sum P_i) K_p, \quad (1)$$

где K_i — коэффициент стабильности угодья i -го вида (пастбища — 0.68), P_i — площадь угодья i -го вида, K_p — коэффициент стабильности рельефа.

Шкала стабильности территории: $K_{э.с} < 0.33$ — очень низкая; $K_{э.с} = 0.34–0.50$ — низкая; $K_{э.с} = 0.51–0.66$ — средняя; $K_{э.с} = 0.67–1$ — высокая.

$$K_{а.н} = \sum PB / \sum P, \quad (2)$$

где P — площадь земель с антропогенной нагрузкой, га, B — балл для оценки степени антропогенной нагрузки (пастбища — 3).

Принято считать: $K_{а.н} < 3.0$ — относительно низкая антропогенная нагрузка на территорию, $K_{а.н} = 3.1–3.5$ — умеренная, $K_{а.н} > 3.6$ — высокая.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановление растительного покрова в очагах дефляции. По архивным материалам было установлено, что после проведенных фитомелиоративных мероприятий на первой стадии зарастания участки занимали эфемеровые растительные группировки и корневищные псаммофиты, способные развиваться на подвижных песках. Со временем ландшафтное окружение способствовало экспансии видов зональной флоры в состав вторичного растительного покрова очагов дефляции.

На второй стадии зарастания очагов дефляции (через 5–10 лет) доминируют *Corispermum hyssopifolium* L., *Salsola tragus* L., *S. collina* Pall., появляются стержнекорневые многолетники (*Alhagi pseudalhagi* (M. Bieb.) Desv. ex B. Keller et Shap., *Artemisia arenaria* DC. Проективное покрытие увеличивается, и подвижность песков снижается, при этом с прилегающей территории на пастбища заносятся *Centaurea diffusa* Lam., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Sisymbrium loeselii* L., *Alyssum desertorum* Stapf., *Ceratocarpus arenarius* L., *Bromus tectorum* L.

и др. Межбарханные понижения занимают *Astragalus dolichophyllus* Pall., *Gypsophila paniculata* L., *Crepis tectorum* L. и др. Пески становятся неподвижными, все больше уплотняются и практически закрепляются, а растения первой стадии вытесняются [31].

На третьей стадии зарастания (через 10–15 лет) постепенно начинает формироваться зональная растительность, представленная видами р. *Artemisia* (*A. lercheana* Weber ex Stechm., *A. austriaca* Jacq., *A. santonicum* L.), *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Carex stenophylla* Wahlenb., *Bromus tectorum* L., *Centaurea diffusa*, *Carduus uncinatus* M. Bieb., единично встречаются *Agropyron fragile*, *A. cristatum* L. Gaertn., *Bassia prostrata* и др. Основу растительного покрова составляют ковыльно-разнотравные сообщества с участием около 30 видов из 15–25 семейств [32–34].

Через 30–35 лет после проведения фитомелиорации по результатам современных исследований (2014–2020 гг.) в очагах дефляции, где использовались разные приемы закрепления песков, растительный покров приобретает в значительной степени сходные черты. Восстановленные равнинные пастбищные территории на момент обследования в 2014 г. занимали злаковые *Poa bulbosa* L., *Bromus tectorum*, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult (проективное покрытие (ПП) 60%), костровые (*Bromus tectorum*, ПП 60%), терескено-ковыльные (*Krascheninnikovia ceratoides* (ПП 45%) + *Stipa lessingiana* (ПП 35%)) сообщества. В настоящее время на травянисто-кустарниковых пастбищах доминируют ковыльные (*Stipa lessingiana*, *St. capillata* (ПП 25%) + *Poa bulbosa*, *P. annua* L., *Eragrostis minor* Host., *Puccinellia distans* Jacq. parl. (ПП 10%)), осоково-разнотравные (*Carex stenophylla* (ПП 8%) + *Alyssum desertorum*, *Helichrysum arenarium*, *Phlomis pungens* Willd., *Prangos odontalgica* (Pall.) Herrnst. et Heyn) и мятликово-ковыльные (*Poa bulbosa* (ПП 7%) + *Stipa lessingiana*, *St. capillata* (ПП 15%)) сообщества (табл. 1). Современный вторичный растительный покров сформировался под влиянием животноводческой нагрузки, аридизации климата и антропогенных факторов. За последние восемь лет температуры увеличились по отношению к среднемноголетней за холодный период на 2.5–3 °C, за теплый период на 1–1.5 °C, а сумма осадков за вегетационный период понизилась на 97.4–102 мм при норме 165–170 мм. Нагрузка животных на пастбища в Черноземельском р-не составляет 0.56 гол./га, в Яшкульском р-не — 0.64 гол./га, что превышает нормативы на 27.8 и 36.2% соответственно.

За годы исследований на всех участках в составе фитоценозов отмечено увеличение доли участия высококонкурентных и устойчивых видов

Таблица 1. Параметры пустынно-пастбищных сообществ**Table 1.** Parameters of desert-pasture communities

Модельное пастбище Model pasture	Доминирующие растительные сообщества/площадь, га Dominant plant communities/ area, ha	ОПП ¹ травостоя % TPC ¹ of herbage	Высота, см Height, cm	Число ярусов Number of storeys	Фитомасса (возд. сух.), ц/га Phytomass, c/ha
I	Злаковое/125 Grass/125	60–70	32 ± 1.6	4	7.3
	Злаково-ковыльное/150 Grass–feather grass/150	30–40	22.5 ± 0.9	2–3	11.9
II	Костровое/80 Cheatgrass/80	30–40	37 ± 1.2	3	7.2
	Осоково–разнотравное/120 Sedge–forb/120	30–35	20 ± 1.5	2–3	6.8
III	Терескено-ковыльное/300 Winterfat–feather grass/300	40–50	43 ± 0.8	2	7.5
	Мятликово-ковыльное/350 Bluegrass–feather grass/350	35–40	22 ± 1.0	2	7.3

Примечание. ¹ОПП – общее проективное покрытие. В числителе данные 2014 г., в знаменателе данные 2019–2021 гг.
 Note. ¹TPC – total projective cover. In the numerator – data on 2014, in the denominator – data on 2019–2021.

семейства *Poaceae* (*Stipa capillata*, *St. lessingiana*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans*, *Bromus tectorum* и *Poa bulbosa*). Трансформация сообществ обусловлена интенсивностью хозяйственного использования (круглогодичное стравливание) и пирогенной дигрессией (зафиксированные пожары на I-ом участке наблюдались 23 мая 2014 г. и 16 июня 2015 г.; на I-ом и II-ом участках – 17 мая и 15 июня 2018 г.). Нерегулируемый выпас и воздействие пожаров способствуют замедлению восстановительной сукцессии растительного покрова. Как показали наши исследования, на изучаемой территории все фитоценозы являются антропогенно-трансформированными: I модельное пастбище (Черноземельский р-н) $K_{э,с} = 0.48$, $K_{а,н} = 3.54$; II-е и III-е модельное пастбище (Яшкульский р-н) $K_{э,с} = 0.59$, $K_{а,н} = 3.25$.

Видовое разнообразие травянисто-кустарниковых пастбищ. Анализ динамики видового состава показывает, что для фитомелиорированных пастбищных территорий характерно повышенное видовое разнообразие по сравнению с целиной. За период многолетнего мониторинга (2014–2021 гг.) на 3-х модельных участках отмечено высокое постоянство 41 вида растений из 14 семейств, встречающихся ежегодно. По количеству видов наиболее представительны 4 семейства – *Asteraceae* (23.5%),

Poaceae (20.4%), *Brassicaceae* (13.3%) и *Chenopodiaceae* (9.2%). Видовое богатство на трех исследуемых модельных участках в общей сложности представлено 85 видами сосудистых растений из 80 родов и 20 семейств. Древесные растения (деревья, кустарники, полукустарники, полукустарнички) составляют 9.6% (9 видов), травы 90.4% (85 видов). Наибольшее количество видов растений было обнаружено на I-ом модельном участке (“Аэросев”). При использовании в период закрепления песков кустарника *Callygonum aphyllum*, полукустарника *Krascheninnikovia ceratoides* и травянистого многолетника *Leymus racemosus* сформировались многоярусные фитоценозы. Результаты исследований показали, что травянисто-кустарниковые пастбища практически одинакового возраста имеют большое сходство по видовому составу, коэффициент Серенсена–Чекановского по участкам составляет 0.608 (I-ый и II-ой участки), 0.721 (II-ой и III-ий участки), 0.699 (I-ый и III-ий участки). Четкой тенденции увеличения количества древесных видов во времени не наблюдалось. На III-ем модельном травянисто-кустарниковом пастбище по состоянию на 2021 г. отмечена самая высокая плотность полукустарников 6800 шт./га, в то время как на других участках плотность древесных пород сократилась на 35–38% (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики пустынно-пастбищных сообществ на модельных участках
Table 2. Characteristics of desert-grassland communities in the model plots

Характеристики Characteristics	Модельные участки Model plots					
	I		II		III	
	2014	2021	2014	2021	2014	2021
Количество древесных видов Number of woody plants	11	8	4	4	5	4
Количество травянистых видов Number of herbaceous species	42	38	36	34	40	36
Общее количество видов растений Total number of species	53	46	40	38	45	40
Количество семейств растений Number of plant families	17	15	14	14	14	14
Плотность кустарников (шт./га) Density of shrubs (pcs/ha)	5500	4200	5300	4400	7200	6800
Однолетние/многолетние виды Annual/perennial species	22/31	20/26	23/17	26/12	23/22	23/17
Коэффициент экологической стабильности Environmental stability factor	0.48		0.59		0.59	
Коэффициент антропогенной нагрузки Anthropogenic load factor	3.54		3.25		3.25	

Примечание. I — модельное пастбище “Аэросев”, II — модельное пастбище “Молодежный (джузгун)”, III — модельное пастбище “Молодежный (терескен)”.

Note. I — model pasture Aerosev, II — model pasture Molodezhny (*Calligonum*), III — model pasture Molodezhny (winterfat, *Krascheninnikovia ceratoides*).

Как и в других вторичных сукцессиях, на пастбищах скорость смены видов высока в течение первых 10 лет. К этому времени уже сложились соотношения между различными функциональными группами видов и в дальнейшем изменения замедляются. Наряду с постоянными доминантами модельных пастбищ — *Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *Artemisia lerchiana* высокую стабильность в течение 8 лет имеют еще 6 видов: *Alyssum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans*, *Poa bulbosa*.

Колебание количества осадков в течение вегетационного периода определяет видовой состав, общее проективное покрытие и продуктивность пастбищных экосистем в цикле многолетнего развития. При изменении режима природопользования (без выпаса, регулируемая пастьба) и увеличении суммы осадков за апрель—июнь в фитоценозах пастбищ происходят резкие изменения в сторону увеличения видовой насыщенности и проективного покрытия: низкое покрытие — 30% наблюдалось

в 2021 г. при количестве осадков 140 мм, более высокое — 60—70% в 2016 г. (осадки 337 мм). Во влажные 2015—2016 гг. при обилии однолетников доля в общем проективном покрытии доминанта пастбищ *Poa bulbosa* составила 15%, а в сухие 2018—2021 гг. снизилось до 4%. В последние годы отмечено увеличение в составе фитоценозов роли *Carex stenophylla*.

Растительный покров любой территории максимально использует ресурсы среды. Ведущая роль принадлежит разнообразию жизненных форм растений. В спектре жизненных форм нижнего яруса на I-ом модельном пастбище (“Аэросев”) численно преобладают многолетние виды (56.5%), одно- и двулетние растения составляют 43.5%. Кустарниковый и полукустарниковый ярусы в результате интенсивного антропогенного воздействия (выпас скота) и пожаров прошлых лет сильно деградировали, в древесном ярусе остались единичные экземпляры *Ulmus pumila*. Анализ жизненных форм растений 36-летнего II-го мо-

Таблица 3. Урожайность модельных пастбищ в зависимости от температуры и осадков теплого и холодного периодов
Table 3. The yield of model pastures depending on the temperature and precipitation in the warm and cold periods

Год исследования Year of study	Урожайность, т/га (y) Yield, t/ha (y)	Холодный период (ноябрь—март) Cold period (November—March)		Теплый период (апрель—июнь) Warm period (April—June)	
		Температура, °C, (x ₁) Temperature, °C (x ₁)	Осадки, мм (x ₂) Precipitation, mm (x ₂)	Температура, °C, (x ₃) Temperature, °C (x ₃)	Осадки, мм (x ₄) Precipitation, mm (x ₄)
I модельное пастбище “Аэросев”** I model pasture Aerosev					
2014	0.73	+1.36	70	+19.2	60
2015	1.33	+1.0	67	+18.8	66
2016	2.97	+2.9	138	+18.8	152
2017	1.44	+0.3	88	+17.3	87
2018	0.16	+1.5	81.2	+19.5	8.0
2019	1.36	+2.4	74	+20.0	109
2020	1.32	+2.7	56	+18.8	57
2021	1.19	+0.4	49	+19.8	42
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.432	r = 0.686	r = −0.245	r = 0.903
II модельное пастбище “Молодежный (джузгун)”*** II model pasture Molodezhny (<i>Calligonum</i>)					
2014	0.72	+0.1	88	+19.0	32
2015	1.12	+0.7	50	+18.7	111
2016	2.71	+2.0	102	+18.5	161
2017	0.57	+0.6	110	+17.1	43
2018	0.62	+0.4	82	+19.4	8.0
2019	0.88	+1.4	88	+19.9	107
2020	0.29	+1.3	35	+19.9	17
2021	0.68	+0.5	60	+18.3	25
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.486	r = 0.402	r = 0.164	r = 0.850
III модельное пастбище “Молодежный (терескен)”*** III model pasture Molodezhny (winterfat, <i>Krascheninnikovia ceratoides</i>)					
2014	0.75	+0.1	88	+19.0	32
2015	1.24	+0.7	50	+18.7	111
2016	2.57	+2.0	102	+18.5	161
2017	0.93	+0.6	110	+17.1	43
2018	0.87	+0.4	82	+19.4	8.0
2019	1.04	+1.4	88	+19.9	107
2020	0.39	+1.3	35	+19.9	17
2021	0.73	−0.5	60	+18.3	25
Коэффициент корреляции Correlation coefficient		r = 0.449	r = 0.481	r = 0.239	r = 0.864

Примечание. * Данные метеостанции Яшкуль 46°10'45" N 45°21'6" E.; ** Данные метеостанции Утта 46°21'54" N 46°00'10" E.
 Note. * Data of Jaskul weather station 46°10'45" N 45°21'6" E; ** Data of Utta weather station 46°21'54" N 46°00'10" E.

дельного джугуновского пастбища показал, что доля однолетников значительна и составляет 68.4%, многолетников в 2 раза меньше — 31.6%. Верхний ярус модельного пастбища представлен полукустарником *Krascheninnikovia ceratoides* и кустарником *Callygonum aphyllum* (покрытие по 2.3%), полукустарничками *Artemisia lercheana*, *Bassia prostrata* (4.5%). По составу жизненных форм на III-ем терескеновом пастбище численно преобладают малолетние (одно- и двулетние) травянистые растения (57.5%), многолетние виды составляют 42.5%. Полукустарнички — *Tanacetum achilleifolium*, *Artemisia lercheana*, *Bassia prostrata* имеют общее покрытие 7.5%, полукустарник *Krascheninnikovia ceratoides* — 2.5%. В многоярусных растительных сообществах нижний ярус быстрее проходит восстановительную сукцессию и лучше адаптируется к погодным условиям.

В течение последних десятилетий частота, интенсивность и продолжительность засух в засушливой зоне Северо-Западного Прикаспия демонстрируют явную тенденцию к повышению. Засухи создают неблагоприятные условия для роста растений из-за снижения доступности воды и уровня влажности почвы.

Урожайность фитомассы на модельных травянисто-кустарниковых пастбищах. В засушливые годы (2018–2021 гг.) наибольшие запасы фитомассы формируются в приземном слое травостоя (0–15 см) и составляют 47–62% от среднемноголетней урожайности на пробных площадках при средней высоте растений не превышающей 20 см. Контрольные укусы позволили установить, что общая средняя урожайность травостоя модельных пастбищ составила 1.31 т/га (I-е модельное пастбище), 0.73 т/га (II-е модельное пастбище) 0.81 т/га (III-е модельное пастбище). Следует отметить, что урожайность обследованных площадей за 2014–2021 гг. в зависимости от видового состава варьировала от 0.16 до 2.97 т/га (табл. 3).

Учет кормовой массы кустарников на модельных пастбищах из *Calligonum aphyllum* показал, что при умеренном стравливании (60% прироста) может накапливаться 2.54 т/га сухой массы, масса *Krascheninnikovia ceratoides* составляет 0.21 т/га. Насаждения древесных растений (кустарники и полукустарники), созданные на пастбищах, являются существенной добавкой к кормовой продуктивности пустынно-пастбищных фитоценозов засушливой зоны.

Анализ связи урожайности с климатическими показателями (табл. 3) показал, что на модельном пастбище “Аэросев” наблюдается тесная связь урожайности (y) с осадками холодного (x_2) и теплого периода (x_4) ($r = 0.69$ и 0.91 соответственно);

уравнение множественной регрессии: $y = 0.002x_2 + 0.015x_4 + 0.0007$. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0.819$) свидетельствует, что примерно 82% вариации урожайности фитомассы учтено уравнением регрессии.

На II-ом и III-ем участках выявлена умеренная зависимость урожайности кормовой массы от температуры ($r = 0.45$ и $r = 0.49$) и осадков ($r = 0.40$ и $r = 0.48$) холодного периода и практическое отсутствие зависимости от температуры в теплый период (x_3) ($r = 0.16$ и 0.24). Наиболее существенное влияние на урожайность оказывают осадки теплого периода: ($y = 0.011x_4 + 0.237$, $r = 0.85$, $R^2 = 0.725$ и $y = 0.010x_4 + 0.423$, $r = 0.86$, $R^2 = 0.747$ соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам многолетнего (2014–2021 гг.) мониторинга природных и антропогенных сукцессий и оценки устойчивости вторичного растительного покрова на территории северо-западной части Прикаспийской равнины (юго-запад Республики Калмыкия) установлено, что изменения видового разнообразия, видового обилия и урожайности исследованных пастбищ находятся в зависимости от метеорологических условий теплого периода и степени пастбищной нагрузки. В цикле многолетнего развития растительности пастбищ Северо-Западного Прикаспия при колебании осадков и температурного режима проявляются флуктуационные изменения фитоценозов.

На всех ранее фитомелиорированных участках при восстановительной сукцессии характерно постепенное увеличение числа видов и проективного покрытия, а также смена терофитов многолетниками. Видовой состав модельных пастбищ включает 40 постоянных видов из 14 семейств, обеспечивающих относительную устойчивость пустынно-пастбищных экосистем в меняющихся условиях среды.

Продуктивность травостоя за 2014–2021 гг. в зависимости от видового состава колебалась от 0.16 до 2.97 т/га. На участках с мятлико-ковыльными (*Poa bulbosa*, *Stipa lessingiana*, *St. capillata*) и осоко-разнотравными (*Carex stenophylla*, *Alyssum desertorum*, *Helichrysum arenarium*, *Phlomis pungens*, *Prangos odontalgica*) сообществами, ведущими по массе были группы злаков и разнотравья. Наряду с доминантами модельных пастбищ *Stipa lessingiana*, *St. capillata*, *Artemisia lerchiana* высокое постоянство (60–70%) в течение 8 лет имели еще 6 видов, представленных в основном однолетниками: *Alyssum desertorum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Puccinellia distans* и *Poa bul-*

bosa. Антропогенные факторы (пожары и выпас) оказывают сильное влияние на состояние и динамику растительности. Сукцессии, вызванные ненормированным выпасом сельскохозяйственных животных, приводят к инвазии видов с выраженной устойчивостью к выпасу (*Lappula patula* (Lehm.) Menyh, *Heliotropium suaveolens* M. Bieb., *Lagoseris sancta* (L.) K. Maly, *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit.), составляющих основу сообществ в период наших исследований. Песчаные массивы могут иметь устойчивый растительный покров

только при сохранении многолетних кустарников и травянистых растений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме Государственного задания № 122020100407-3 “Теоретические основы и технологии устойчивого функционирования природных кормовых угодий аридных и субаридных регионов средствами комплексной фитомелиорации в условиях опустынивания и изменения климата”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Batchelor J.L., Ripple W.J., Wilson T.M., Painter L.E. 2015. Restoration of Riparian Areas Following the Removal of Cattle in the Northwestern Great Basin. — Environ. Manage. 55(4): 930–942. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0436-2>
2. Радочинская Л.П., Кладиев А.К., Рыбашлыкова Л.П. 2019. Продукционный потенциал восстановленных пастбищ северо-западного Прикаспия. — Аридные экосистемы. 25(1(78)): 61–68. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2019-10045>
3. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.В., Черенкова Е.А. 2020. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге Европейской России. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 76–83. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10121>
4. Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен В.З. 2020. Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 26–34. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10115>
5. Rybashlykova L.P., Lepesko V.V. 2021. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia. — Лесной журнал (Russian forestry journal). 3(381): 37–48. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-37-48>
6. Беляев А.И., Кулик К.Н., Петров В.И., Манаенков А.С., Юфеев Ю.Г., Ольгаренко Г.В., Болаев Б.К., Пугачёва А.М., Рыбашлыкова Л.П., Власенко М.В., Корнеева Е.А., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С. 2021. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. Волгоград. 68 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46113551>
7. Alexander L.V. 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. — Weather Clim. Extrem. 11: 4–16.
8. Власенко М.В., Кулик А.К., Турко С.Ю., Балкушкин Р.Н., Тютюма Н.В. 2019. Эколого-фитоценотическая организация псаммофитных сообществ Цимлянского песчаного массива. — Юг России: экология, развитие. 14(4): 35–45. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-35-45>
9. Бананова В.А., Лазарева В.Г., Петров К.М. 2021. Тенденции процессов опустынивания в Северо-Западной части Прикаспийской низменности. — Геология, география и глобальная энергия. 1(80): 77–86. <https://geo.asu.edu.ru/?articleId=1414>
10. Stybaev G., Serepaev N., Yancheva H., Baitelenova A., Nogaev A., Khurmetbek O., Mukhanov N. 2021. Succession dynamics, quality and productivity on improved and natural pastures in Northern Kazakhstan. — Bulg. J. Agric. Sci. 27(S1): 95–102. <http://www.agrojournal.org/27/01s-12.html>
11. Yan Q., Zhu J., Zheng X., Jin C. 2015. Causal effects of shelter forests and water factors on desertification control during 2000–2010 at the Horqin Sandy Land region, China. — J. Forest. Res. 26(1): 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0012-x>
12. Gavilan R.G., Sánchez-Mata D., Gaudencio M., Gutiérrez-Girón A., Vilches B. 2016. Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (Fabaceae) on native vegetation in central Spain. — J. Pl. Ecol. 9(2): 132–143. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv039>
13. Лазарева В.Г. 2018. Трансформация пространственной структуры растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в связи с антропогенным воздействием. — Изв. Самарского научного центра РАН. 20(2): 116–123. <https://doi.org/10.24411/1990-5378-2018-00008>

14. Кулик К.Н., Петров В.И., Рулев А.С., Кошелева С.С. 2018. К 30-летию “Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием черных земель и Кизлярских пастбищ”. — Аридные экосистемы. 24(1(74)): 5–12. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32570972>
15. Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E. 2019. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. — Sci. Total Environ. 652: 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>
16. Турко С.Ю., Власенко М.В., Кулик А.К. 2016. Математическое моделирование роста и развития кормовых трав на аридных пастбищах. — Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 1(41): 219–228. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25944098>
17. Гамун М., Ханчи Б., Неффати М. 2012. Динамика аридных сообществ на сахарских пастбищах в Тунисе. — Аридные экосистемы. 18(2(51)): 54–61. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17588264>
18. Лазарева В.Г., Очирова П.Д., Сератирова В.В., Болдырева Д.А. 2012. Сохранение природного разнообразия Республики Калмыкия. — Изв. Самарского научного центра РАН. 14(1–4): 1039–1042. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1039_1042.pdf
19. Чемидов М.М. 2009. Пастбищная растительность Черных земель Калмыкии. — Вестн. ОрелГАУ. 4: 31–34.
20. Valladares F., Matesanz S., Guilhaumon F., Araújo M.B., Balaguer L., Benito-Garzón M., Cornwell W., Gianoli E., Van Kleunen M., Naya D.E., Nicotra A.B., Poorter H., Zavala M.A. 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. — Ecol. Lett. 17(11): 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/ele.12348>
21. Манаенков А.С., Кулик А.К. 2016. Закрепление и облесение песков засушливой зоны. Волгоград. 55 с.
22. Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е издание переработанное и дополненное. Волгоград. 428 с.
23. Манаенков А.С., Рыбашлыкова Л.П. 2020. Повышение эффективности восстановления растительного покрова в современных очагах дефляции на пастбищах северо-западного Прикаспия. — Аридные экосистемы. 26(4(85)): 116–126. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10126>
24. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З., Орловский Н.С., Шамсутдинова Э.З. 2021. Биогеоценотические принципы реставрации пастбищ в Центральноазиатской пустыне. — Вестник Российской Академии наук. 91(3): 273–282. <https://doi.org/10.31857/S0869587321030087>
25. Чибилев А.А. 1999. Стратегия сохранения степных и полупустынных ландшафтов в Российско-Казахстанском приграничном регионе. — Известия РАН. Серия географическая. 4: 85–92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39281831>
26. Larionov M.V., Dogadina M.A., Tarakin A.V., Minakova I.V., Sentishcheva E.A., Bukreeva T.N. 2021. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. — IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848: 12127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012127>
27. Рыбашлыкова Л.П., Беляев А.И., Пугачёва А.М. 2019. Мониторинг сукцессионных изменений пастбищных фитоценозов в “потухших” очагах дефляции Северо-Западного Прикаспия. — Юг России: экология, развитие. 14(4): 78–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-78-85>
28. Elzinga C.L., Salzer D.W., Willoughby J.W., Gibbs J.P. 2001. Monitoring Plant and Animal Populations: A Handbook for Field Biologists. Oxford. 372 p.
29. Czerepanov S.K. 1995. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR), Cambridge. 516 p.
30. Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie, Wien New-York. 865 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
31. Радочинская Л.П. 2017. Сохранение видового и популяционного биоразнообразия на лесопастбищах черных земель как фактор экологической стабильности в регионе. — Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 4(68): 161–167.
32. Бакташева Н.М., Босхамджиева С.Г. 2014. Обобщение опыта изучения специфической флоры в засушливых условиях Республики Калмыкия. — В сб.: Сравнительная флористика: анализ видового разнообразия растений. Проблемы. Перспективы. “Толмачевские чтения”: сборник статей по материалам X Междунар. школы-семинара по сравнительной флористике. Краснодар. С. 20–30.
33. Бакташева Н.М. 2000. Флора Калмыкии и ее анализ. Элиста: Джангар. 134 с.
34. Муртачаева П.М.–С. 2014. Мониторинг состояния древесных пород в искусственных насаждениях Терско-Кумской низменности. — Аридные экосистемы. 20(1(58)): 39–44. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21680577>

Plant Community Transformations in Desert Rangeland Ecosystems — Evidence from the North-Western Caspian Lowland

L. P. Rybashlykova^a, *, S. Yu. Turko^a

^aFederal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

*e-mail: ludda4ka@mail.ru

Abstract—The article presents the results of long-term monitoring of successions, and the production dynamics in desert rangeland phytocenoses over an 8-year period (2014–2021). It shows the current state of vegetative cover of the Chernozemelskaya sandy plain (north-west of the Caspian lowland, Republic of Kalmykia) following forest reclamation of fine-grained sands, carried out in the 1970s–1990s. The centers of soil deflation (aeolian erosion) differed by the degree of soil and vegetative cover transformation and the methods of the reclamation of open sands. Currently, a secondary vegetative cover has been formed on the previously identified deflation patches. The expansion and evolution of the current species composition suggests the development of secondary succession. The features of the synusial structure of desert phytocenoses reflect the state of plant communities. The relationship of the productivity of model pastures (shrub *Callygonum aphyllum*, subshrub *Krascheninnikovia ceratoides*, herbaceous species *Stipa lessingiana*, *Artemisia lerchiana*, *Alysum deserforum*, *Bromus tectorum*, *Carex stenophylla*, *Koeleria macrantha*, *Poa bulbosa*) with precipitation in warm and cold periods of the growing season is analyzed. Under changing temporal and spatial climate dynamics, the successional processes are greatly influenced by wildfires and anthropogenic impact. It has been established that secondary successions under heavy transformation of the agro-pasture landscape develop more slowly. Thus, the natural and landscape environment of the current deflation centres in the rangelands of the North-Western Caspian region is an important factor determining the direction of succession.

Keywords: arid ecosystems, pasture phytocenoses, centers of deflation, changes in biodiversity, transformation

ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded within the framework of State research assignment № 122020100407-3 “Theoretical foundations and technologies for the sustainable functioning of natural forage lands of arid and subarid regions by means of integrated phytomelioration under desertification and climate change”.

REFERENCES

1. Batchelor J.L., Ripple W.J., Wilson T.M., Painter L.E. 2015. Restoration of Riparian Areas Following the Removal of Cattle in the Northwestern Great Basin. — *Environ Manage.* 55(4): 930–942. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0436-2>
2. Radochinskaya L.P., Kladiev A.K., Rybashlykova L.P. 2019. Production potential of restored pastures of the Northwestern Caspian. — *Arid Ecosyst.* 9(1): 51–58. <https://doi.org/10.1134/S2079096119010086>
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A. 2020. Characteristics of Spring-Summer Drought in Dry and Wet Periods in the South of European Russia. — *Arid Ecosyst.* 10(4): 322–328. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040216>
4. Lazareva V.G., Bananova V.A., Nguyen V.Z. 2020. Dynamics of modern vegetation for pasture use in the northwestern Pre-Caspian region. — *Arid Ecosystems.* 10(4): 26–34. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040137>
5. Rybashlykova L.P., Lepesko V.V. 2021. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia. — *Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal).* 3(381): 37–48. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-37-48>
6. Belyaev A.I., Kulik K.N., Petrov V.I., Manaenkov A.S., Yuferev Yu.G., Olgarenko G.V., Bolayev B.K., Pugacheva A.M., Rybashlykova L.P., Vlasenko M.V., Korneyeva E.A., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S. 2021. [Methodological recommendations on phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource-saving technologies]. Volgograd. 68 p. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46113551> (In Russian)
7. Alexander L.V. 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. — *Weather Clim. Extrem.* 11: 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>

8. *Vlasenko M.V., Kulik A.K., Turko S.Yu., Balkushkin R.N., Tyutyuma N.V.* 2019. Ecological-phytocenotic organization of psammophytic communities of the Tsimlyansky sandy massif. — South of Russia: ecology, development. 14(4): 35–45 <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-35-45> (In Russian)
9. *Bananova V.A., Lazareva V.G., Petrov K.M.* 2021. Analysis of trends of desertification in North-Western Caspia. — Geology, Geography and Global Energy. 1(80): 77–86 <https://geo.asu.edu.ru/?articleId=1414&lang=en> (In Russian)
10. *Stybaev G., Serekpaev N., Yancheva H., Baitelenova A., Nogaev A., Khurmetbek O., Mukhanov N.* 2021. Succession dynamics, quality and productivity on improved and natural pastures in Northern Kazakhstan. — Bulg. J. Agric. Sci. 27(S1): 95–102. <http://www.agrojournal.org/27/01s-12.html>
11. *Yan Q., Zhu J., Zheng X., Jin C.* 2015. Causal effects of shelter forests and water factors on desertification control during 2000–2010 at the Horqin Sandy Land region, China. — J. Forest. Res. 26(1): 33–45. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0012-x>
12. *Gavilan R.G., Sánchez-Mata D., Gaudencio M., Gutiérrez-Girón A., Vilches B.* 2016. Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (Fabaceae) on native vegetation in central Spain. — J. Pl. Ecol. 9(2): 132–143. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv039>
13. *Lazareva V.G.* 2018. Features of spatial distribution of anthropogenic vegetation on dreveneishikh terraces of the Caspian depression. — Izvestia of Samara Scientific Center RAS. 20(2): 116–123. <https://doi.org/10.24411/1990-5378-2018-00008> (In Russian)
14. *Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S.* 2018. On the 30th Anniversary of the “General Plan to Combat Desertification of Black Lands and Kizlyar Pastures”. — Arid Ecosyst. 8(1): 1–6. <https://doi.org/10.1134/S2079096118010067>
15. *Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E.* 2019. The enhancing effect of afforestation over secondary succession on soil quality under semiarid climate conditions. — Sci. Total Environ. 652: 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>
16. *Turko S.Yu., Vlasenko M.V., Kulik A.K.* 2016. Mathematical modeling of growth and development forage grasses on arid rangelands]. — Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 1(41): 219–228 <https://elibrary.ru/item.asp?id=25944098> (In Russian)
17. *Gamoun M., Hanchi B., Neffati M.* 2012. Dynamic of plant communities in Saharan rangelands of Tunisia. — Aridnye Ekosistemy. 18(2(51)): 54–61 <https://elibrary.ru/item.asp?id=17588264> (In Russian)
18. *Lazareva V.G., Ochirova P.D., Seratirova V.V., Boldyreva D.A.* 2012. [Preservation of the natural diversity of Kalmyk Republic]. — Izvestia of Samara Scientific Center RAS. 14(1–4): 1039–1042 http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1039_1042.pdf (In Russian)
19. *Chemidov M.M.* 2009. [Pasture vegetation of the Black Lands of Kalmykia]. — Vestnik OrelGAU. 4: 31–34. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12836554> (In Russian)
20. *Valladares F., Matesanz S., Guilhaumon F., Araújo M.B., Balaguer L., Benito-Garzón M., Cornwell W., Gianoli E., Van Kleunen M., Naya D.E., Nicotra A.B., Poorter H., Zavala M.A.* 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. — Ecol. Lett. 17(11): 1351–1364. <https://doi.org/10.1111/ele.12348>
21. *Manaenkov A.S., Kulik A.K.* 2016. Anchorage and afforestation of the sands of the Arid Zone. Volgograd. 55 p. (In Russian)
22. *Manaenkov A.S.* 2018. [Fixation and forest reclamation of sands of arid zones]. Volgograd. 428 p. (In Russian)
23. *Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P.* 2020. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region. — Arid Ecosyst. 10(4): 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
24. *Shamsutdinov Z.Sh., Shamsutdinov N.Z., Orlovsky N.S., Shamsutdinova E.Z.* 2021. Biogeocenotic principles of pasture restoration in the Central Asian desert. — Her. Russ. Acad. Sci. 91(2): 204–212. <https://doi.org/10.1134/S1019331621020076>
25. *Chibilev A.A.* 1999. Strategy of conservation of steppe and semi-desert landscapes in Russian-Kazakh border region. — Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. 4: 85–92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=39281831> (In Russian)
26. *Larionov M.V., Dogadina M.A., Tarakin A.V., Minakova I.V., Sentishcheva E.A., Bukreeva T.N.* 2021. Creation of artificial phytocenoses with controlled properties as a tool for managing cultural ecosystems and landscapes. — IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 848: 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012127>
27. *Rybashlykova L.P., Belyaev A.I., Pugacheva A.M.* 2019. Monitoring successional changes in pasture phytocenoses in “exhausted” areas of deflation in the North-West Caspian. — South of Russia: ecology, development. 14(4): 78–85. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-78-85> (In Russian)
28. *Elzinga C.L., Salzer D.W., Willoughby J.W., Gibbs J.P.* 2001. Monitoring Plant and Animal Populations: A Handbook for Field Biologists. Oxford. 372 p.

29. *Czerepanov S.K.* 1995. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR), Cambridge. 516 p.
30. *Braun-Blanquet J.* 1964. Pflanzensozologie, Wien New-York. 865 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
31. *Radochinskaya L.P.* 2017. Species and population biodiversity conservation in Black Lands forest pastures as a factor of environmental stability in the region. — Puty Povysheniya Effektivnosti Oroshaeyemogo Zemledeliya. 4(68): 161–167.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=30711018> (In Russian)
32. *Baktasheva N.M., Boshamdjieva S.G.* 2014. [Generalization of the experience of studying specific flora in arid conditions of the Republic of Kalmykia]. — In: [Comparative floristics: analysis of plant species diversity. Problems. Prospects. Tolmachev scientific conference. Collected papers of the X International workshop on comparative floristics]. Krasnodar. P. 20–30. (In Russian)
33. *Baktasheva N.M.* 2000. [Flora of Kalmykia and its analysis]. Elista. 134 p. (In Russian)
34. *Muratchaeva P.M.-S.* 2014. Monitoring of the condition of tree species in artificial plantings of the Terek–Kuma lowland. — Arid Ecosyst. 4(1): 35–38.
<https://doi.org/10.1134/S2079096114010053>