АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2024, том 30, № 2 (99), с. 100-111

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.612.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ДЮН НА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ В ПОЛУАРИДНОЙ ЗОНЕ ДЖЕЛЬФЫ, АЛЖИР

© 2024 г. С. Аккуш

Университет Акли Моханда Улхаджа, факультет биологии
Алжир, 10000, ул. Рю Дрисси Яхиа Буриа. E-mail: akkouche_saida@yahoo.fr

Поступила в редакцию 11.08.2023. После доработки 30.10.2023. Принята к публикации 01.12.2023.

Различные работы по исследованию закрепления дюн чрезвычайно актуальны. С одной стороны, они необходимы для борьбы с опустыниванием путем создания микроклимата, который обеспечивает экологическую стабильность хрупких экосистем; с другой, они необходимы для улучшения жизни сельского населения. Именно поэтому мы провели диахроническое исследование, чтобы спустя 31 год после посадки различных растений в дюнах дать количественную оценку их современному флористическому разнообразию. Кроме того, мы применили факторный анализ соответствия (англ. «factorial correspondence analysis») и иерархическую восходящую классификацию (англ. «hierarchical ascending classification») к 118 фитоэкологическим площадкам и 74 видам, чтобы на основании таких определяющих факторов, как уклон (ось 1) и влажность почвы (ось 2), разделить их на 4 группы. Анализ результатов этого исследования показал, что процент растительности увеличивается в зависимости от высотности: виды занимают подножия дюн, где высока влажность почв, а действие ветра сводится к минимуму. Наветренная сторона, на которой видам сложнее закрепиться, более сухая и сильнее подвержена преобладающему юго-западному типу ветра, тогда как подветренная сторона гораздо прохладнее, поэтому растениям проще на ней закрепиться. Каждый вид-фиксатор заселяет дюны по-разному: ротем (*Retama retam* Webb.) растет по всей дюне вне зависимости от топографии и экспозиции; гребенщик (*Tamarix gallica* L.) растет везде за исключением вершин на больших, открытых ветру высотах; тамарикс безлистный (*Tamarix aphylla* (L.) Karst) и лох узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.) растут между дюн и по низу их склонов; а вероятность выживания дерезы арабской (*Lycium arabica* Boiss.) оказалась ниже 10%, особенно на наветренной стороне.

Ключевые слова: опустынивание, закрепление дюн, флористическое разнообразие, зона дюн, *Retama retam* Webb., биологическая иерархия.
DOI: 10.24412/1993-3916-2024-2-100-111
EDN: JGYLOV

Опустынивание – это одна из самых острых экологических проблем XXI века (Benslimane et al., 2008). В частности, в Алжире в степях аридных и полуаридных регионов идет массовая деградация земель.

В Алжире степь служит естественной буферной зоной, валом, защищающим от распространения пустыни на север страны (Daoudi et al., 2010). Однако в такой зоне условия для создания и поддержания многолетней растительности, которая, безусловно, должна быть восстановлена, поскольку играет важную роль в экологическом балансе различных природных зон всей страны, исключительно экстремальные (Daoudi et al., 2010). Последствия опустынивания вызывают определенное беспокойство, т.к. изменяют физико-химические свойства почв, увеличивают интенсивность эрозии и сокращают биологический потенциал (Mohammedi et al., 2006). Многочисленные специалисты и различные семинары в данной области постоянно подчеркивают серьезность ухудшающихся деградационных явлений в алжирской степи и необходимость незамедлительного поиска решений для их устранения.

Из множества проведенных диахронических исследований в данной статье мы приводим работы B. Kadik (1982), E.H. Oldache (1988), A. Chouail (1992), L. Makhlouf (1995) и K. Tolba (1994), которые освещают алжирский опыт по механической и биологической фиксации дюн.

С момента обретения своей независимости Алжир предпринимает меры по борьбе с деградацией природных ресурсов и по смягчению последствий опустынивания (DGF ..., 2004). В стране был осуществлен экспериментальный проект по закреплению дюн, чтобы ограничить продвижение песка в сторону сельскохозяйственных угодий и позволить как естественной, так и искусственно высаженной растительности стабилизировать эту гряду, а также создать запасы корма для скота. В рамках пилотного проекта в Эль-Месрейне (провинция Джельфа) для стабилизации дюн использовалось несколько видов растений-фиксаторов в зависимости от экспозиции и топографии, но лишь некоторые из них показали оптимальный рост и/или высокий процент успеха выживания в таких условиях. Кроме того еще предстоит выяснить, какие именно показатели зависят от определенных почвенных и климатических факторов.

В связи с этим наше исследование направлено на проведение оценки для того, чтобы узнать влияние вышеупомянутого проекта на природную среду, а также его эффективность в борьбе с опустыниванием. Мы оценили развитие растений основных видов-фиксаторов в зависимости от таких факторов, как рельеф, экспозиция, влажность почвы и уклон. Чтобы правильно определить взаимосвязь, мы провели два типа анализа. Целью первого, *описательного анализа* было пространственно-временное изучение естественной и искусственно высаженной растительности дюн и определение факторов местности, которые обусловили распределение этой растительности на обработанной дюне. Второй – *анализ соответствия* и *иерархическая восходящая классификация*, которые позволили, с одной стороны, определить основные экологические факторы, влиявшие на растительность, а, с другой, установить основные группы видов на исследуемой территории.

Эль-Месрейн, территория нашего исследования, расположена в муниципалитете Хасси-Бахбах в провинции Джельфа, примерно в 30 км к северу от г. Джельфы. Средняя высота над уровнем моря составляет 870 м, а географические координаты – 3° 03' в.д., 34° 36' с.ш. (рис. 1).

Материалы и методы

Образцы были отобраны для получения объективной информации с высокой точностью измерения (Gounot, 1969). В нашем исследовании отбор был смешанным – из систематической и субъективной выборок. В работе S. Djebaïli (1978) для отбора образцов использовалась «минимальная площадка, равная 100 м^2 для всей степи», в то время как в более поздней работе F. Aïdoud-Lounis (1984) предлагалось использовать «площадку размером минимум 32 м^2, отмечая при этом виды в непосредственной близости вокруг нее для соблюдения видовой однородности».

Всего было проведено 118 фитоэкологических исследований – в марте и апреле, на площадках, отмеченных с помощью пластиковой сетки (черной и зеленой) и/или веток сосны алеппской. Все они были отсортированы по видам, таким как ротем (*Retama retam* Webb.), тамарикс безлистный (*Tamarix aphylla* (L.) Karst.), гребенщик (*Tamarix gallica* L.), лох узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.) и дереза арабская (*Lycium arabicum* Boiss.).

Полевые данные были скомпонованы в список видов, присутствовавших на пробных площадках. Каждый вид был представлен индексом обилия-доминирования по шкале J. Braun-Blanquet с соавторами (1952) для дальнейшей обработки статистическими методами многомерного анализа, который включает в себя анализ соответствия и иерархическую восходящую классификацию; цель последней – выявить взаимосвязи между средой и растительностью, а также установить различия между группами растений.

Для определения видов мы использовали ряд работ: «Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales» (Quezel, Santa, 1962), «Flore du Sahara» (Ozenda, 1977), «Flore de la Tunisie» (Pottier-Alapetite, 1979-1981), «Petite flore des régions arides du Maroc occidental» (Nègre, 1961), а также работы F. Amghar и M. Briki F. (1997), F. Amghar (2002), F. Aïdoud-Lounis (1997) и M. Dahmani (1997).

Результаты и обсуждение

Диахроническое исследование растительности. Чтобы оценить флористическое богатство в зависимости от основных климатических факторов, таких как осадки, температура и ветер, мы сравнили богатство дюн, работа над фиксацией которых началась в 1983 году, с дюнами 1984 и 1987 (отбор проб в эти два года проводился Национальным институтом лесных исследований – фр. «Institut National de la Recherche Forestière»), 2005, 2008 и 2009 гг.

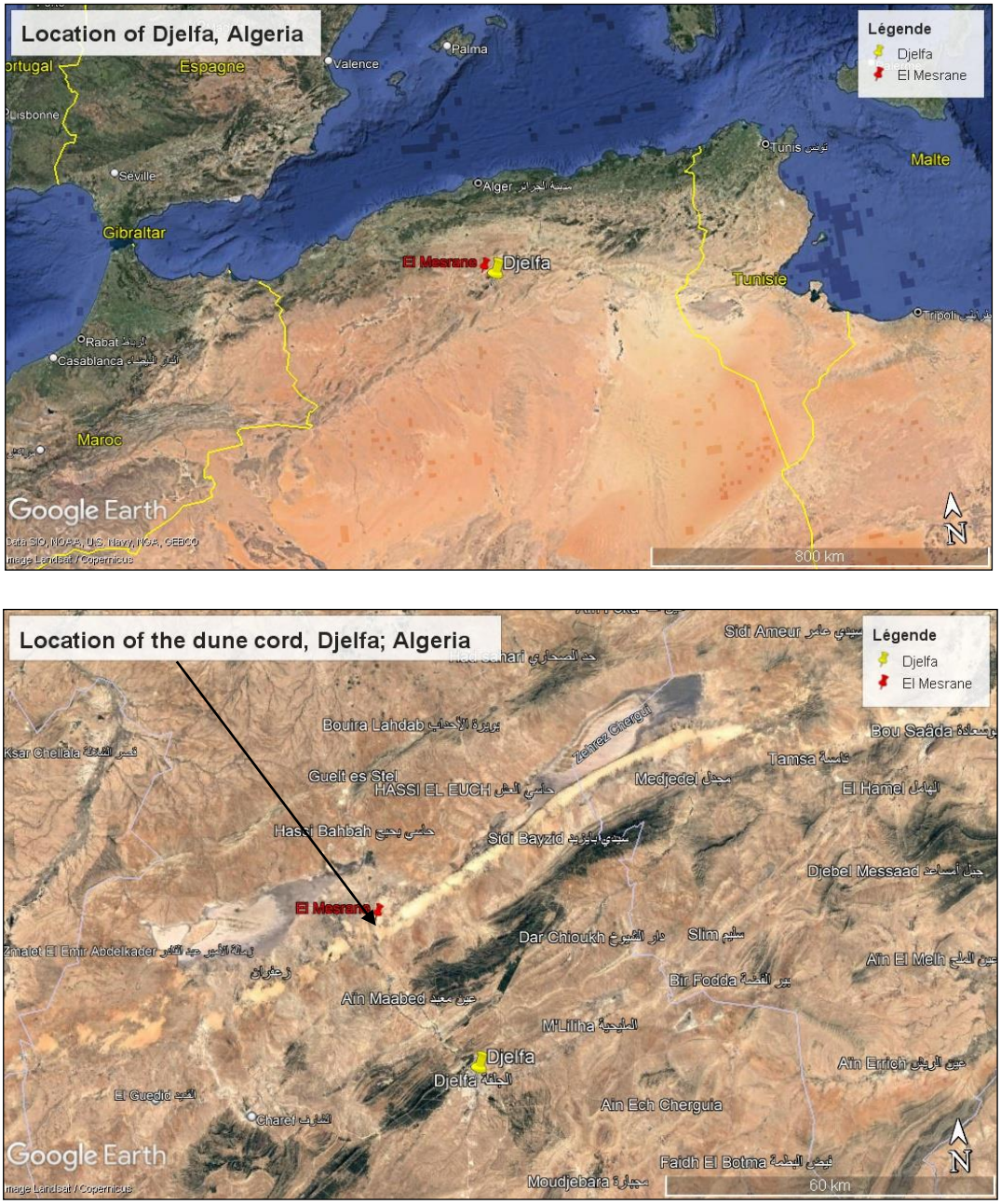

Рис. 1. Территория исследования (Google.Earth, 2023): гряда расположена к северу от системы Сахарский Атлас и представляет собой цепь дюн из мелкозернистого песка, которая тянется в юго-западном направлении; дюны на юго-востоке при длине в 215 км и ширине от 4 до 7 км достигают высоты от 2 до 15 м (Pouget, 1980).

Из таблицы 1 следует, что количество родов и семейств, характеризующих флору изучаемой территории, варьировало из года в год. Оно было низким в 1984, 1987 и 2005 гг., но весьма высоким в 2008 и 2009 гг. Такое различие может быть обусловлено как биотическими, так и абиотическими факторами.

Сравнение флористического богатства разных лет показывает, что в 1984 году, т.е. через 1 год после фиксации дюны, количество видов было низким – 15, но через 3 года их количество несколько возросло – до 27. В 2005 году, т.е. через 21 год после фиксации, оно возросло до 32, затем до 57 в 2008 году и, наконец, до 74 в 2009 году. Следует отметить, что, по мнению A. Aidoud (1998), флористическое богатство обусловлено двумя климатическими показателями: распределением осадков и температурой воздуха.

В уже обработанных и, следовательно, хорошо закрепленных дюнах (2005, 2008, 2009 гг.) представлено большое количество видов, что, впрочем, также связано с осадками, которые являются лимитирующим фактором, во-первых, за счет своего объема, а во-вторых, за счет распределения в течение года.

Таблица 1. Флористическое богатство (количество семейств, родов, видов) под воздействием климатических факторов (T_{max} и T_{min} воздуха, осадки, скорость ветра) в 1984, 1987, 2005, 2008 и 2009 гг.

Годы	Количество			Осадки, мм	Максимальная температура, °C	Минимальная температура, °C	Скорость ветра, м/с
	семейств	родов	видов				
1984	8	14	15	188.4	21.94	9.43	2.5
1987	11	22	27	243.5	23.51	10.27	2.45
2005	12	29	32	192.6	22.92	9.73	3.65
2008	20	49	57	282.1	22.61	9.87	4.08
2009	22	61	74	**332.7**	22.78	9.71	4.11

Через некоторое время после закрепления дюн (1984 и 1987 гг.) на флористическое богатство повлиял один не климатический фактор – механическое закрепление дюн. Песок этих едва появившихся дюн еще не был достаточно уплотнен, поэтому легко поддавался воздействию ветра, что могло воспрепятствовать развитию пионерных видов, которые разрастаются сразу после заселения дюны. Кроме того, ветер также остается важным фактором, определяющим распределение растительности, особенно на необработанных или недавно обработанных дюнах.

Соотнесение годового флористического богатства (количество семейств, родов, видов; рис. 2) с количеством годовых осадков в 1984, 1987, 2005, 2008 и 2009 гг. показывает достоверную значительную корреляцию (r = 0.9). Однако соотнесение богатства с такими факторами, как T_{max} и T_{min} воздуха, показывает отсутствие корреляции (r практически равен 0; рис. 3). На рисунке 3 показана отсутствие корреляции для средних максимальных и минимальных температур воздуха с флористическим богатством, а также очень высокая достоверная корреляция между ветром и богатством.

Согласно данным из Национального метеорологического бюро в Джельфе (фр. «Office National de la Météorologique»), скорость ветра за последние 30 лет увеличилась, а в период 2000-2009 гг. и вовсе удвоилась, что может привести к дестабилизации недавно образовавшихся дюн. Однако таких нарушений не наблюдается на нашей станции, где все ранее посаженные виды достигли в 2005, 2008 и 2009 гг. достаточной высоты, препятствующей воздействию ветра. Даже хорошая корреляция между количеством видов и скоростью ветра (r = 0.88) не является доказательством причинно-следственной связи между ними (рис. 3).

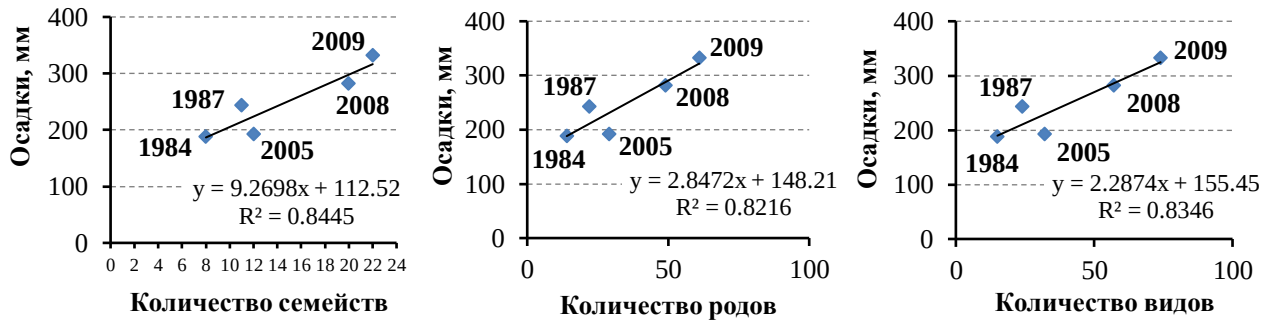

Рис. 2. Достоверная высокая корреляция между годовым видовым богатством (количество семейств, родов, видов) и годовыми осадками в 1984, 1987, 2005, 2008 и 2009 гг.

Чтобы выявить факторы, которые сильнее прочих влияют на рост видов-фиксаторов,

мы использовали имеющуюся базу данных для внутривидового и межвидового сравнения (табл. 2). Мы сравнили собственные дендрометрические измерения за 2005 и 2009 годы для отдельных видов, посаженных в разные периоды, с данными Национального института лесных исследований за 1987 год и выявили особи разного возраста – 4, 3 и 2 года. В таблице 2 приведен средний рост случайно выбранных особей (INRF ..., 1987), их рост за 1 год и средний рост за последние 4 года (2005-2009 гг.).

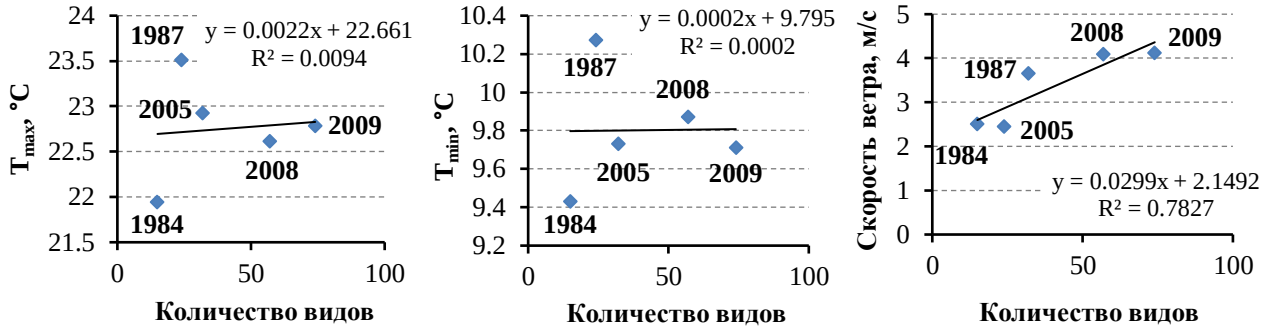

Рис. 3. Корреляция между видовым богатством (количество видов), температурами и скоростью ветра в 1984, 1987, 2005, 2008 и 2009 гг.

Таблица 2. Результаты роста и выживаемости посаженных в 1983-1987 и 2005-2009 годах растений.

Виды	Год посадки	Место посадки	Высота в 1987 г., м	Годовой прирост, м/год	Выживаемость	Адаптация к условиям среды	Высота в 2005-2009 гг.
Retama retam Webb.	1984	Дюна	1.3	0.15	+90%	Хорошая даже под воздействием ветра	1.35-1.85 = = 0.5 м
	1985	Дюна	1.15	0.2	+95%		
	1986	Дюна	0.95	0.35	+95%		
	1987	Дюна	0.6	–	+95%		
Tamarix aphylla (L.) Karst.	1983	Между дюнами	1.33	0.34	55%	От 10% до 20% на вершинах дюн	4.1-4.7 = = 0.6 м
	1986	Середина склона	0.3	–	50%		
Tamarix gallica L.	1983	Внизу склона	**2.6**	0.66	80%	Очень хорошая при использовании корневого черенкования	1.75-2.7 = = 0.95 м
	1986	Внизу склона	0.6	0.3	+80%		
	1987	Внизу склона	0.3	–	80%		
Eleagnus angustifolia L.	1983	Дно	**2.3-3**	0.3-0.7	88%	Очень хороший прирост по 0.7-1 м/год	2.6-3.3 = = 0.7 м
	1984	Дно	2	0.25	80%		
	1986	Ото дна до середины склона	1.5 / 0.8	0.95 / 0.25	70%		
	1987	Дно	0.55	–	74%		
Lycium arabicum Boiss.	1984	Дюна	0.7	0.2	55%	Менее 10%, особенно в середине склона и на вершине	1.11-1.51 = = 0.4 м
	1985	Дюна	0.5	–	50%		

В таблице 2 показана явная разница между высотой 5 видов, у которых наблюдался быстрый рост в первые годы после посадки, особенно у лоха узколистного (*Eleagnus angustifolia* L.), некоторые особи которого достигали 3 м в высоту (годовой прирост составил 0.7-1 м), гребенщика (*Tamarix gallica* L.) – 2.6 м и ротема (*Retama retam* Webb.) – 1.3 м. Такая разница может быть вызвана несколькими причинами, например, реакцией этих видов на определенные эдафические и климатические факторы.

Ротем (*Retama retam* Webb.) – это типичный для Сахары кустарник, который в нашем исследовании в среднем вырастал на 0.074 м в год. В 2009 году его средний прирост составил 1.85 м (и столько же – для кроны). Этот вид формирует своего рода букет, своими ветками закрывающий участок площадью около 0.4 м^2 (рис. 4). Он закрепляет песок и разрастается по всей дюне вне зависимости от топографии и экспозиции. По данным P. Quezel и S. Santa (1962), высота этого кустарника может варьировать от 1 до 3.5 м.

Гребенщик (*Tamarix gallica* L.) – это кустарник, который при среднем приросте по 0.1 м/год может достичь 2.7 м в высоту. Он разрастается массивом (за счет ветвей), а поэтому его прирост в стороны несколько важнее прироста вверх (рис. 4).

Сравнивая морфологию этих двух видов (рис. 4), можно четко разглядеть промежутки между ветвями *T. gallica*, благодаря которым ветер циркулирует гораздо свободнее.

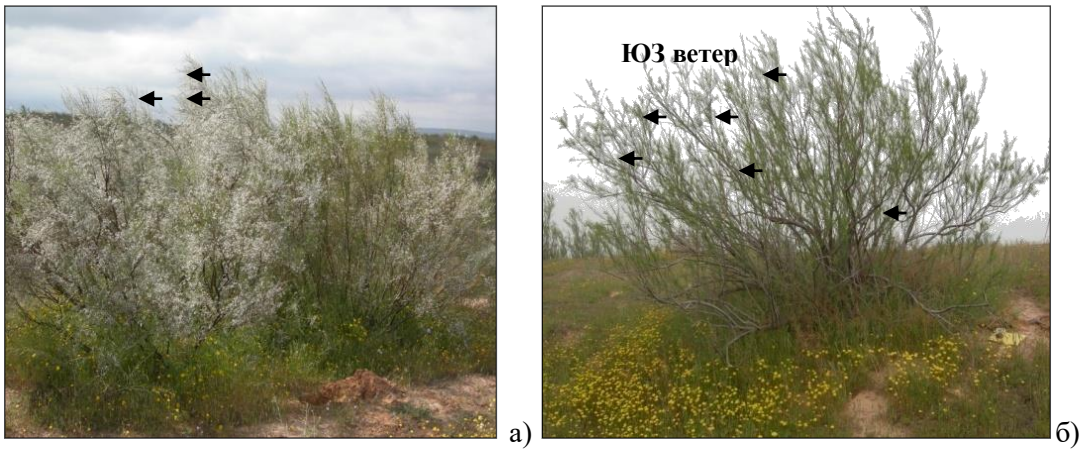

Рис. 4. Ротем (*Retama retam* Webb. – а) и гребенщик (*T. gallica* L. – б) под воздействием ветра.

Тамарикс безлистный (*Tamarix aphylla* (L.) Karst.) – это кустарник, средняя высота которого достигает 4.7 м при ежегодном приросте по 0.2 м. На территории нашего исследования некоторые особи достигали 10 м, а, по данным G. Pottier-Alapetite (1981), они могут разрастаться до 15 м.

Лох узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.) – это дерево, в уловиях Алжира, достигающее 3.3 м в высоту и 3.6 м в ширину при ежегодном приросте по 0.13 м. В основном он заселяет наиболее благоприятные для развития основания склонов.

Дереза арабская (*Lycium arabicum* Boiss.) – это кустарник с несколькими стволами (рис. 5), который может достигать 2 м в высоту. В нашем исследовании у него наблюдается наименьшая высота – 0.51 м при ежегодном приросте по 0.02 м. Вид не приживался ни на вершине дюн, ни в центре склона.

Биологическое разнообразие. Необработанный глобальный биологический спектр. Чтобы понять поведение растений в условиях окружающей среды, в т.ч. ограничительных, на основе флористического состава исследуется взаимосвязь между жизненными формами, их функциональными признаками и непосредственно средой (Orshan et al., 1988; Danin, Orshan, 1990; Floret et al., 1990).

Для решения задач, поставленных в данной работе, мы использовали результаты исследований, проведенных Национальным институтом лесных исследований в 1984 и 1987 гг., а также собственные исследования за 2005 и 2009 гг.

Жизненные формы распределились следующим образом:

терофиты > гемикриптофиты > фанерофиты > хамефиты > геофиты.

Рис. 5. Тамарикс безлистный (*T. aphylla* L.), лох (*Eleagnus angustifolia* L.) и дереза (*Lycium arabicum* Boiss.) под воздействием ветра.

Из рисунка 6 следует, что почти половина видов на территории исследования – это терофиты. Такая терофитизация характерна для аридных зон (Daget, 1980; Barbero et al., 1990; Dahmani, Kadi-Hanifi, 1998) в основном из-за количества доступной и удерживаемой в почве влаги, особенно в период роста. Согласно R. Nègre (1966) и Ph. Daget (1980), терофития – это адаптация к неблагоприятным условиям и форма противостояния суровости климата. Согласно работам G. Orshan с соавторами (1988), A. Danin и G. Orshan (1990), а также C. Floret с соавторами (1990), терофиты относятся к эфемерам с хорошей адаптацией к засухе. Присутствие гемикриптофитов на территории умеренное – 20% в 1984 г. и 22% в 1987 г.; среди них можно выделить несколько пионерных видов, которые заселили дюну сразу после ее формирования: *Aristida pungens* Desf. и *Onopordon arenarium* (Desf.) Pomel.

Присутствие нанофанерофитов и фанерофитов (посаженные виды-фиксаторы) не так значительно. В 1987 году появились хамефиты – 15, например, *Euphorbia guyoniana* Boiss. & Reut, что указывает на улучшение рельефа. Согласно некоторым работам (Orshan et al., 1988; Danin, Orshan, 1990; Floret et al., 1990), хамефиты относятся к устойчивым видам с хорошей адаптацией к засухе. В обоих спектрах 1984 и 1987 гг. отмечено отсутствие геофитов.

На рисунке 7 показано увеличение терофитов, появление геофитов в 2005-2009 гг. и последующий регресс других форм, который можно объяснить увеличением терофитов с 15 видов в 2005 году до 45 видов в 2009 году (в 1984 г. их было 7, в 1987 г. – 12). Большое количество терофитов объясняется влиянием механической и биологической фиксации на стабильность почв, улучшением микроклимата, а также количеством осадков в 2009 году (332.7 мм) по сравнению с другими годами и исследованиями, когда было зарегистрировано 192.6 мм в 2005 г., 188.4 мм в 1984 г., 243.5 мм в 1987 г. Большое количество терофитов также описано в ряде других работ (Kadi-Hanifi, 1998; Amghar, 2002; Sadji, 2004): в них говорится, что терофитизация обусловлена самомульчированием, происходящим в районах с быстрым интенсивным испарением и позволяющим развиваться видам-однолетникам за счет запасов воды в почве.

Геофиты, представленные на территории (*Stipa tenacissima* L. и *Lygeum spartum* L.), самые малочисленные (3%), а в 1984 и 1987 гг. и вовсе отсутствовали. За ними следуют фанерофиты и нанофанерофиты. Присутствие гемикриптофитов и хамефитов умеренное.

Статистический анализ. Выделение групп растений, их экологическая и флористическая характеристики. Иерархическая восходящая классификация – это метод, который помогает интерпретировать результаты анализа соответствия, дополняя его. Он использует реальные расстояния и дает довольно точные результаты. Программа Statistica выполняет иерархическую классификацию по строкам и столбцам анализа соответствия, а сама иерархия строится на основе матрицы расстояний и оформляется в виде дендрограммы, состоящей из последовательности классов показаний.

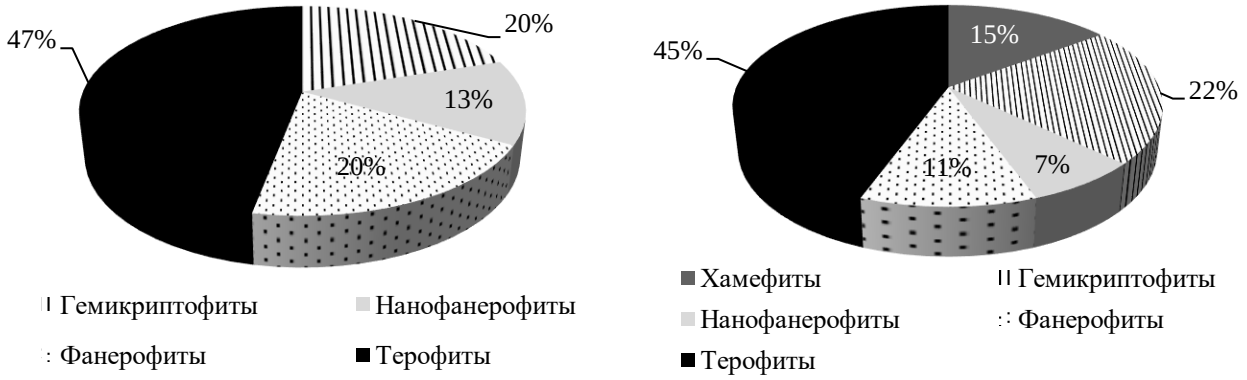

Рис. 6. Необработанные биологические спектры 1984 и 1987 годов.

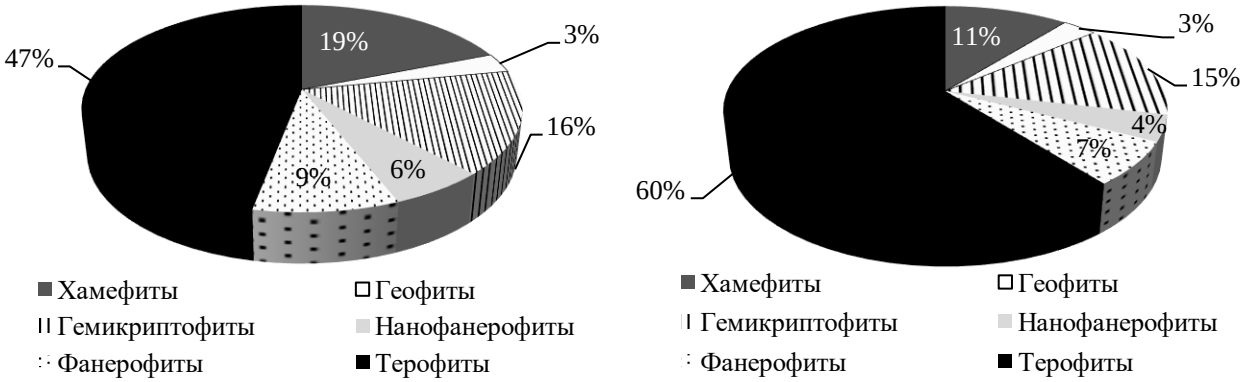

Рис. 7. Необработанные биологические спектры 2005 и 2009 годов.

В нашем исследовании 118 площадок и 74 вида обрабатывались с помощью факторного анализа соответствий на основе обилия/доминирования вида на площадке. Основная цель такого анализа – поиск значимого экологического смысла в расположении переменных. Экологическая интерпретация их расположения в соответствии с предпочтительным направлением облака позволяет находить экологическое значение соответствующих факториальных осей (Aïdoud-Lounis, 1997; рис. 8).

Факторная карта чтений. Экологическая и флористическая характеристики групп. Факторный план (1-2), представленный на рисунке 9, показывает 5 групп со сходным экологическим родством (Ozenda, 1982). Однако использование иерархической восходящей классификации (рис. 9) позволило выделить 2 основные группы.

Группа А объединяет в себе все исследования, проведенные возле доминирующих видов на разных склонах, экспозициях и высотах; она разделена на 4 подгруппы по доминирующим видам.

- *Подгруппа I:* доминирующие виды-фиксаторы – тамарикс безлистный (*Tamarix aphylla* (L.) Karst) и ротем (*Retama retam* Webb.), которые обитают на песчаных откосах со средней крутизной склона 6% и по одиночке формируют низкое проективное покрытие – 40%, достигающее 65% в тех местах, где эти виды произрастают совместно.
- *Подгруппа II*: доминирующий вид – дереза арабская (*Lycium arabicum* Boiss.), произрастающая совместно с *R. retam* на середине низких склонов южно-восточной экспозиции; проективное покрытие составляет 45-50%.
- *Подгруппа III*: доминирующий вид – лох узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.), который стабилизирует дно дюн, произрастая на очень пологих или вовсе плоских склонах; проективное покрытие плотное вне зависимости от экспозиции – 75%.
- *Подгруппа IV*: доминирующий вид – гребенщик (*Tamarix gallica* L.), который растет на микродюнах с пологими или покатыми склонами; проективное покрытие на склонах с уклоном 8-12% составляет 70%.

Группа В объединяет в себе все исследования, проведенные в отдалении от видов-фиксаторов на разных склонах, экспозициях и высотах. На подгруппы не разделяется.

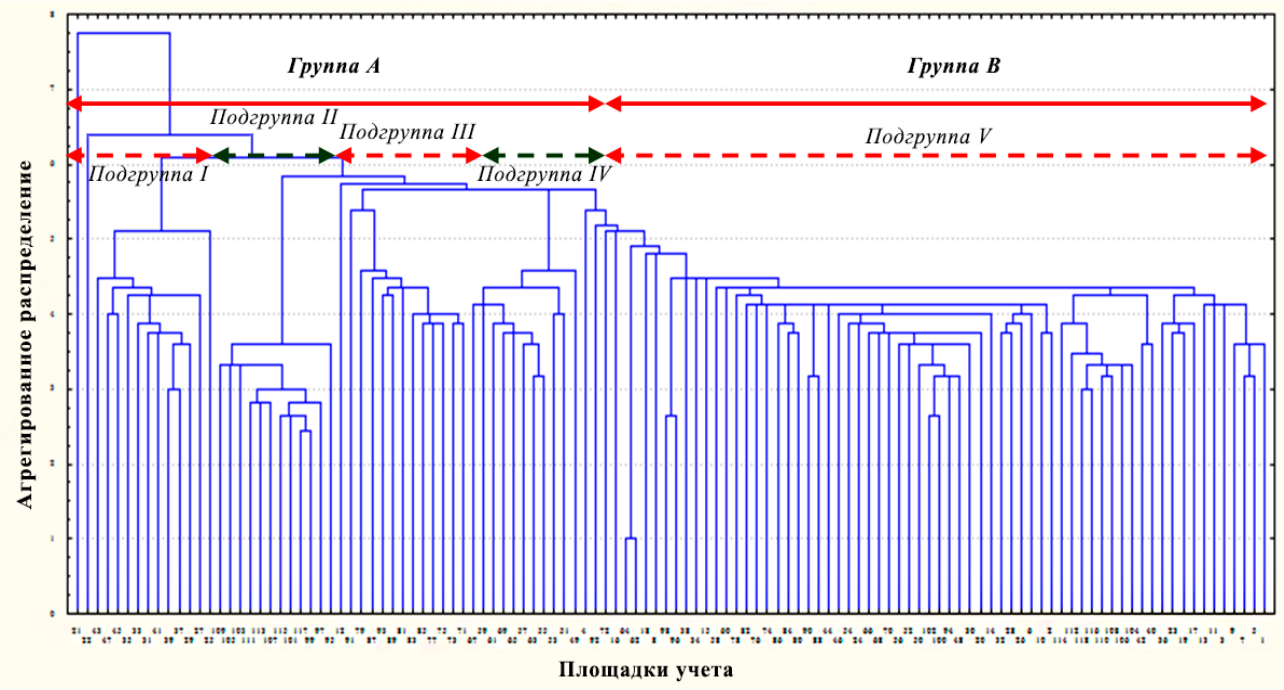

Рис. 8. Изучение проекций 118 «прочитанных» точек с помощью анализа соответствия и дендрограммы иерархической восходящей классификации позволяет выделить основные группы растений на исследуемой территории: группа А – показания, полученные в среде обитания вида-фиксатора, группа В – показания, полученные вне среды обитания вида-фиксатора.

Экологическая значимость факторных осей. В ходе анализа были выделены экологические факторы, влияющие на распределение растительных групп на территории исследования. Эти факторы представлены в виде осей 1 (уклон) и 2 (влажность почвы). Анализ проведен по факторному плану 1-2, который показал хорошую структуризацию данных. *Соответственно оси 1,* группы I и IV противоположны. На «положительной» половине расположены виды, произрастающие на склонах дюн, которые иногда превышают уклон в 12%, т.е. группы II, III и V. На «отрицательной» половине расположены виды, произрастающие у подножия склонов. Таким образом, мы делаем вывод, что ось 1 представляет собой склон, тесно связанный с рельефом. *Соответственно оси 2,* группы I, II и V находятся на «положительной» половине. Они выделены в местах произрастания *Tamarix aphylla* (L.) Karst + *Retama retam* Webb., *Lycium arabicum* Boiss. + *Retama retam* Webb. и *Retama retam* Webb., со слабым покрытием от 20% до 55%, на южной и южно-восточной экспозициях. Группы III и IV находятся на «отрицательной» половине. Они выделены в местах произрастания *Eleagnus angustifolia* L. и *Tamarix gallica* L. с плотным растительным покровом (45-75%), на северной и северо-восточной экспозициях. Таким образом, можно сказать, что ось 2 представляет растительный покров, отражающий влажность почвы.

Выводы

Пространственно-временное количественное исследование растительности показало, что плотность видов увеличивается на дюнах, стабилизированных мульчированием. Несмотря на снижение интенсивности испарения почвы в результате мульчирования, рост этих видов всё равно зависит от сезонных климатических условий. Результаты данного исследования показали, что флористическое богатство на вручную засаженной территории выше в 2-3 раза, чем в естественной природной среде. Флора плантаций варьирует в зависимости от вида: *Retama retam* Webb., *Tamarix gallica* L., *T. aphylla* (L.) Karst., *Lycium arabicum* Boiss. и *Eleagnus angustifolia* L.

Такая разница обусловлена взаимодействием нескольких благоприятных факторов, в частности, количеством осадков и их распределением по сезонам. Также необходимо учитывать влияние посаженных видов. С одной стороны, кусты создают влажный микроклимат, который положительно влияет на почву, улучшая ее и снижая воздействие ветра и, как следствие, испарение. Это экономит расходы доступного запаса воды, что, в свою очередь, благоприятно для терофитов (Daget, 1980; Barbero et al., 1990). С другой стороны, фиксация песка, на котором формируется самомульчирующая пленка (Kadi-Hanifi, 1998; Amghar, 2002), препятствующая испарению, улучшает педоклимат и, следовательно, развитие растений (Djebaili et al., 1984).

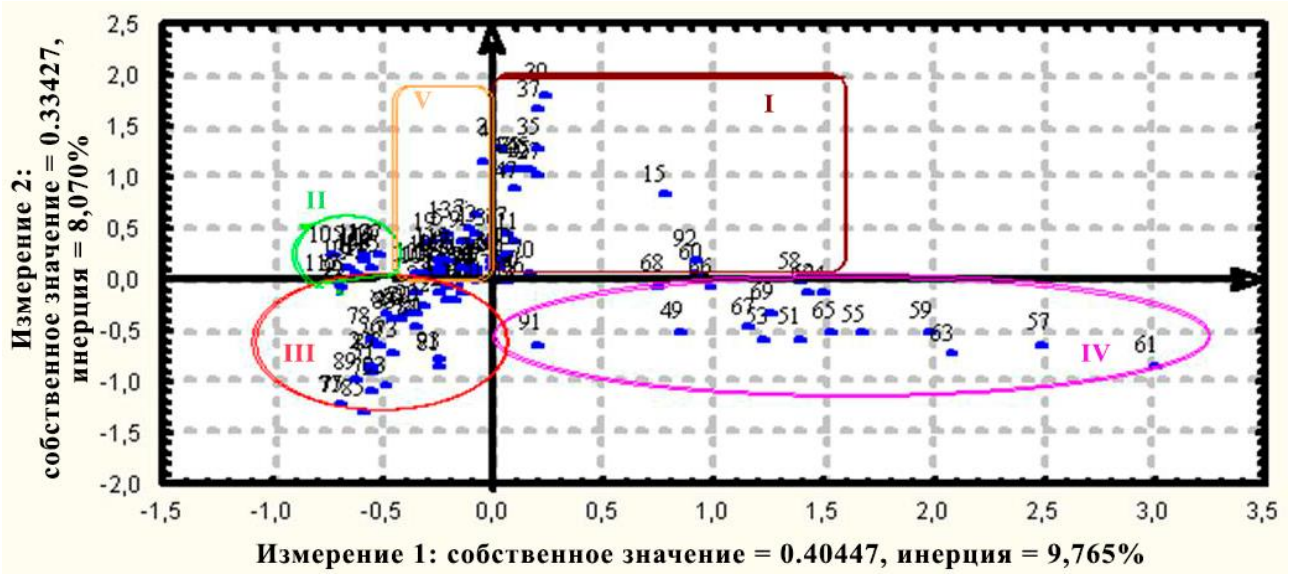

Рис. 9. Двухмерная факторная карта прочитанных точек по осям 1-2 (75 рядов x 118 колонок); группы индивидуализированы на основании анализа факторных карт, по основным осям которых распределены виды растений.

И действительно, растительность в необработанной среде (без механического или биологического закрепления) в основном связана с абиотическими факторами (например, микротопографией дюн) и в основном обитает у основании склонов дюн, защищенных от ветра, где влажность и плодородие почвы относительно высоки.

- Тамарикс безлистный (*Tamarix aphylla* (L.) Karst.) произрастает с наименьшим разнообразием видов – их всего 13, а их проективное покрытие составляет 42.4%. Вместе они формируют кислую подстилку толщиной 3 см, которая состоит в основном из видов-фиксаторов, плохо разлагается и подавляет развитие однолетних растений.
- Гребенщик (*Tamarix gallica* L.) произрастает с разнообразием из 16 видов; их проективное покрытие составляет 56.6%, а подстилка – 2 см.
- Лох узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.) в среднем окружен 15 другими видами; их проективное покрытие составляет 65.4%, а подстилка – 2.4 см, образованная из большого количества биоразлагаемых останков.
- Ротем (*Retama retam* Webb.) произрастает с наибольшим разнообразием из 22 видов, покрывающих 70.3% территории и образующих подстилку, которая обеспечивает удержание песка, тем самым защищая почву от эрозии ветром.
- Дереза арабская (*Lycium arabicum* Boiss.) окружена всего 13 видами, проективное покрытие которых составляет 40%, а сформированная ими подстилка не превышает 1 см.

Что касается реакции и роста видов-фиксаторов при лимитирующих климатических факторах, то ни количество осадков, ни температура воздуха не объясняют такую высокую смертность крайне чувствительной к ветру *Lycium arabicum* Boiss. *Eleagnus angustifolia* L. и *T. gallica* L. адаптированы к нехватке воды и могут выживать при очень низких температурах вплоть до морозов.

Retama retam Webb. очень устойчива к ветру и является единственным видом, который смог расселиться по всей дюне. *T. aphylla* (L.) Karst. плохо реагирует на ветер и заносы песком, поэтому, как правило, обитает в междюнных пространствах.

В результате применения анализа соответствия и иерархической восходящей классификации к 118 точкам исследования и 74 видам растений были выделены 4 группы. Основными определяющими факторами стали ось 1, т.е. уклон, привязанный к рельефу, и ось 2, т.е. растительный покров, отражающий влажность почвы. На этих осях противопоставляются виды, доминирующие на ранее зафиксированных дюнах, и виды, расселяющиеся по недавно зафиксированным дюнам.

Эта оценка на основе выживаемости, смертности и средней высоты растений через 31 год после их посадки дает нам ценные представления о поведении видов-фиксаторов в зависимости от климатических факторов. Эти данные могут быть использованы в будущих проектах по стабилизации песков для выбора видов-фиксаторов, которые быстро закрепляют подвижную дюну.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Данное исследование не получало внешнего финансирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Aidoud A. 1998. Fonctionnement des écosystèmes Méditerranées. Tunis: Laboratoire d'Écologie Végétale, Univesité de Rennes.

Aïdoud-Lounis F. 1984. Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais; étude phyto-écologique et syntaxonomique. Thèse Doct 3ème cycle. Alger: USTHB. 253 p.

Aïdoud-Lounis F. 1997. Le complexe steppique a alfa-armoise-sparte (*Stipatenacissima* L., *Artemisia herba alba* Asso., *Lygeum spartum* L.) de hautes plaines algériennes. Structure et dynamique des communautés végétales. Thèse Doc. France: Uni De droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille, Lab. bot. eco. med. 263 p.

Amghar F. 2002. Contribution à l'étude de la biodiversité de quelques formations de dégradation en Algérie. Thèse mag. Ecolo. Alger: USTHB. 188 p. + ann.

Amghar F., Briki M. 1997. Contribution à l'étude des espèces à protégeretl'élaboration d'une base de données de la flore Algérienne. Mem. ing. ecol. Alger: USTHB. 108 p. + ann.

Barbero M., Bonin G., Loisel R., Quezel P. 1990. Changes and Disturbances of Forest Ecosystems Caused by Human Activities in the Wastern Part of Mediterranean basin // Vegetatio. Vol. 87. P. 181-173.

Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A., Mederbal K. 2008. Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord // VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement. Vol. 8. No. 3. 9 p.

Braun-Blanquet J., Roussine N., Nègre R. 1952. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, CNRS. 292 p.

Chouail A. 1992. Essai d'évaluation cartographique de la dynamique du cordon dunaire dans deux zones (Zaafrane et Zebbar-el-Mekhzen). Thèse de Master Univ. Québec Canada. 200 p.

Daget Ph. 1980. Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (Cas des thérophytes) // Recherches d'écologie théorique: les stratégies adaptatives / Eds. R. Barbault, P. Blandin, J.A. Meyer. Paris, Maloine. P. 89-114.

Dahmani M. 1997. Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse. Doc d'Etat. USTHB. 384 p.

Dahmani M., Kadi-Hanifi H. 1998. Contribution à l'étude de la biodiversité de l'Algérie et à la mise en place d'une stratégie algérienne de conservation de la diversité biologique. Cas des plantes supérieurs. 173 p.

Danin A., Orshan G. 1990. The Distribution of Raunkiaer Life in Relation to the Environment // Journal of Vegetation Science. Vol. 1. P. 41-48.

Daoudi A., Benterki N., Terrant S. 2010. La lutte contre la désertification des parcours steppiques: l'Approche du développement agro-pastoral intégré // Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire. France: Montpellier. 11 p.

DGF – Direction Générale des forets. 2004. Rapport national de l'Algérie sur la mise en oeuvre dela Convention de Lutte Contre la Désertification. Algérie: DGF. 35 p.

Djebaïli S. 1978. Recherche phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppique et de l'Atlas Saharien algérien. Thèse. Doc. France : Uni. Sci. Tech. Languedoc Montpellier. 229 p. + ann.

Djebaïli S. 1984. Steppe algérienne. Phytosociologie et écologie. Alger. 177 p.

Floret C., Galan M.J., Le Floc'h E., Orshan G., Romane F. 1990. Growth Forms and Phenomorphology Traits along an Environmental Gradient: Tools for Studying Vegetation // Journal of Vegetation Science. Vol. 1. P. 71-80.

Google.Earth. 2023 [Электронный ресурс https://earth.google.com/web/ (дата обращения 03.02.2024)].

Gounot M. 1969.Méthode d'étude quantitative de la végétation. Paris. 314 p.

INRF – Institut National de la Recherche Forestière. 1987. Bilan d'activité semestriel Janvier-Juillet. Djelfa. 48 p.

INRF – Institut National de la Recherche Forestière. 1989. Bilans de trois années de travaux de fixationdes dunes d'activités (1987, 1988, 1989). Doc. Interne. INRF. 30 p.

Kadi-Hanifi-Achour H. 1998. L'Alfa en Algérie, Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct. Alger: USTHB. 267 p.

Kadik B. 1982. La désertification et les moyens de lutte. Alger: INRF. 32 p.

Makhlouf L. 1995. Les techniques de lutte mécanique et biologique contre les phénomènes d'ensablement. Résultats et perspectives. Sem. National. 20 p.

Mohammedi H., Labani A., Benabdeli K. 2006. Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne // Développement durable et territoires. Varia. 14 p.

Nègre R. 1961. Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Vol. 2. Paris: CNRS. 566 p.

Nègre R. 1966. Les thérophytes // Bulletin de la Société botanique de France. Vol. 113. Suppl. 2. P. 92-108.

Oldache E.H. 1988. Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans la région d'El-Mesrane (W. de Djelfa) et Boussaâda (W. M'Sila). Thèse Mag. Alger: INA. 166 p.

Orshan G., Le Floc'h E., Le Roux A., Montenegro G. 1988. Plant Phenomorphology as Related to Summer Drought Mediterranean Type Ecosystems // Time Scales and Water Stress. Proc. of the 5th International Conference on Mediterranean Ecosystems / eds. F. di Castri, C. Floret, S. Rambal, J. Roy. Paris: I.U.B.S. P. 111-123.

Ozenda P. 1977. Flore du Sahara. 2ème ed. Paris: CNRS. 622 p.

Ozenda P. 1982. Les végétaux dans la biosphère. Paris: Ed., Doin. 311 p.

Pottier-Alapetite G. 1979-1981. Flore de la Tunisie (Angiospermes-Dicotylédones). Vol. 2. Tunis: Publications scientifiques tunisiennes, ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, ministère del'agriculture. Vol. II: 655-1190 p.

Pouget M. 1980. Les relations sol-Végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. et Doc. Paris: ORSTOM. 555 p.

Quezel P., Santa S. 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris: CNRS. 1170 p.

Sadji A. 2004. Diversité floristique des nappes alfatières en Algérie. Thèse. Mag. Alger: USTHB. 113 p. + ann.

Tolba K. 1994. Stabilisation et reboisement des formations éoliens. El-Mesrane (W. de Djelfa). Alger: INRF. P. 191-207.