

УДК 551.5

*На правах рукописи*



Зандидарагагриби Рахман

**ПЫЛЬНЫЕ БУРИ В ХУЗЕСТАНЕ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ  
РАДАРОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
ИЗМЕНЕНИЙ**

Специальность 25.00.30 – метеорология,  
климатология, агрометеорология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Казань - 2015

Работа выполнена на кафедре метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета

**Научный руководитель: Переведенцев Юрий Петрович**

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

**Официальные оппоненты: Рыхлов Александр Богданович**

доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского»

**Ветров Андрей Леонидович**

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

**Ведущая организация:**

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации-Мировой центр данных»

Защита состоится 28 апреля 2015 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.20 в Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5, Институт экологии и природопользования КФУ, ауд.315.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского (Приволжского) федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваши отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843) 2337867. E-mail: [1aotdel@kpfu.ru](mailto:1aotdel@kpfu.ru).

Автореферат разослан «\_\_» марта 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук, доцент



Ю.Г.Хабутдинов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В последние десятилетия происходят значительные изменения климатических характеристик и ресурсов, что оказывает определенное влияние на природные и социально-экономические системы. Проблемы изменения современного климата и оценка их последствий нашли свое отражение в последних оценочных докладах МГЭИК и Росгидромета (2013, 2014гг.), согласно которым отмечается рост опасных проявлений погоды в различных регионах Земли, наносящих значительный социальный и экономический ущерб. К числу опасных явлений погоды для стран Ближневосточного региона относятся засухи и пыльные бури, поэтому проблема изучения условий возникновения и распространения пыльных бурь по-прежнему актуальна для многих стран в связи с неблагоприятными последствиями этого явления. Пыльные бури наносят большой ущерб сельскому хозяйству, транспорту и здоровью населения. В странах Персидского залива отмечают заметное увеличение числа случаев возникновения пыльных бурь из-за антропогенных нарушений почвенного покрова, лесных насаждений и изменения климатических условий. В последние годы для мониторинга пыльных бурь используются радары. Провинция Хузестан часто подвергается воздействию пыльных бурь со стороны Ирака, Сирии и Саудовской Аравии, что усложняет их изучение из-за редкой метеорологической сети.

**Цель работы:** изучение количественных показателей пыльных бурь для территории Хузестана, условий их возникновения в зависимости от метеорологических и аэросиноптических факторов на фоне происходящих изменений современного климата.

### **Задачи:**

- выявить долгопериодные изменения барико-циркуляционного и термического режима в современный период на территории стран Персидского залива;
- оценить изменения температурно-влажностного, биоклиматического и ветрового режима на юго-западе Ирана (провинция Хузестан) в условиях глобального потепления в период 1948-2013гг.
- изучить пространственно-временные показатели (повторяемость, продолжительность, интенсивность, годовой и суточный ход и др.) пыльных бурь на территории Хузестана в период 2001-2013гг.
- оценить роль метеорологических и аэросиноптических факторов в возникновении пыльных бурь в засушливых климатических условиях региона;
- рассмотреть примеры мониторинга пыльных бурь на территории Хузестана в период 2010-2013гг. с помощью радиолокационных наблюдений.

**Объект исследования:** пыльные бури на территории Хузестана.

**Предмет исследования:** климатические изменения, условия возникновения пыльных бурь и обуславливающие их факторы.

**Методы исследования:** в работе использованы методы статистического и географического анализа (ГИС) при обработке эмпирических данных и радарные наблюдения за пространственным перемещением пыльных бурь.

**Информационной базой исследования** явились данные метеорологических наблюдений на 13 метеостанциях провинции Хузестан в период 1951-2013гг., а также данные университета Делавер и реанализа NCEP/NCAR о значениях температуры и влажности воздуха, атмосферном давлении и скорости ветра в узлах регулярной сетки по территории Северного полушария в период 1948-2013гг. с разрешением 0,5° и 2,0°, радарные наблюдения на станции Ахваз в период 2010-2013гг.

**Научная новизна исследований заключается в следующем:**

- выявлены закономерности пространственно - временных изменений характеристик пыльных бурь на территории Хузестана в начале XXI века;
- определены долгопериодные тенденции изменения температуры воздуха, атмосферного давления, характеристик влажности и скорости ветра на территории стран Персидского залива;
- дано описание пространственно-временной изменчивости основных климатических показателей на территории Хузестана в период 1951-2013гг.;
- выявлена долгопериодная тенденция роста температуры и биоклиматических индексов на территории региона в летний период;
- рассмотрены метеорологические и аэросиноптические условия существования пыльных бурь на территории Хузестана, обнаруженных с помощью радара;
- дан аналитический обзор результатов современных исследований возникновения пыльных бурь и их последствий для природной и социально-экономической сферы.

**Практическая значимость:** результаты исследований используются в учебном процессе кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ при изучении климатов земного шара, в синоптической метеорологии при прогнозе опасных явлений погоды, а также на кафедре космической метеорологии Шахид-Чамранского университета (Иран) при изучении студентами курсов по космической и синоптической метеорологии.

**Могут быть учтены:**

- при организации природоохранной деятельности;
- при разработке проектов мероприятий по уменьшению пыльных бурь на территории Хузестана.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- оценка тенденций изменения температуры воздуха, атмосферных осадков, скорости ветра и биоклиматических показателей на территории стран Персидского залива и в провинции Хузестан в условиях современного глобального потепления;
- пространственно - временное распределение показателей пыльных бурь на территории Хузестана;
- особенности барико-циркуляционных и синоптико-метеорологических условий возникновения и перемещения пыльных бурь в регионе стран Персидского залива;
- результаты анализа данных радарного мониторинга обнаружения и перемещения пыльных бурь по территории Хузестана.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается следующим:

- использованные в работе подходы базируются на современных научных положениях и количественных методах;
- результаты соответствуют физическим представлениям об изучаемых явлениях и согласуются с наблюдениями;
- использованием известных статистических критериев для оценки достоверности вычисляемых показателей.

**Личный вклад соискателя.** Личный вклад автора заключается в участии в формировании цели и задач диссертации, в составлении плана и программы исследования, выборе методов исследований. Автор лично выполнил статистическую обработку исходных данных, их пространственно-временной анализ и обобщение полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные и промежуточные результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались автором на Всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов» (Казань, 2013), «The 1<sup>st</sup> international conference on environmental crisis and its solutions» (Kish Island, 2013), «2nd international conference on environmental hazards, Kharazmi University» (Tehzan, 2013), «The 3<sup>rd</sup> national conference on wind erosion and dust storms» (Yazd, 2014), II<sup>ой</sup> Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева (Санкт-Петербург, 2015). а также на итоговых научных конференциях Казанского (Приволжского) федерального университета и научных семинарах кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы в 2013-2015гг.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 работы опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для кандидатских и докторских диссертаций, 1 статья находится в печати в Ваковском журнале.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы 160 страниц, включая 45 рисунков, 39 таблиц и 3 приложения. Список цитируемой литературы насчитывает 114 источников.

**Благодарности.** Автор считает своим долгом выразить благодарность научному руководителю профессору Ю.П. Переведенцеву за поддержку и помощь при написании работы, а также доценту кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ К.М. Шанталинскому и ассистенту Т.Р. Аухадееву.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, излагаются цель и задачи исследования, дана оценка научной новизны и практической значимости результатов работы, приведен перечень положений, выносимых на защиту.

В первой главе дано краткое описание физико-географических и климатических условий провинции Хузестан, оказывающих непосредственное влияние на образование и географическое распространение пыльных бурь (рис. 1).

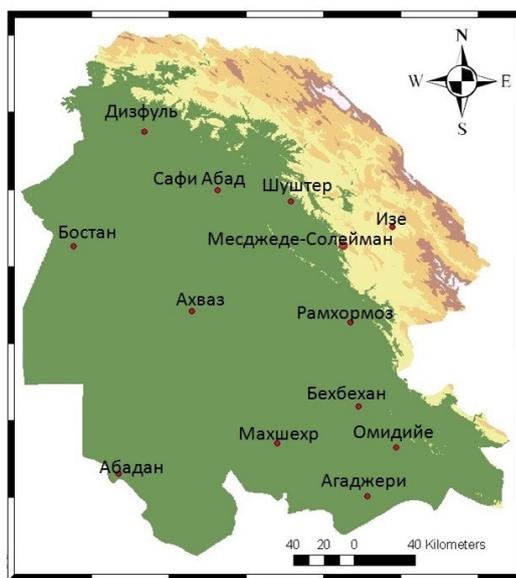
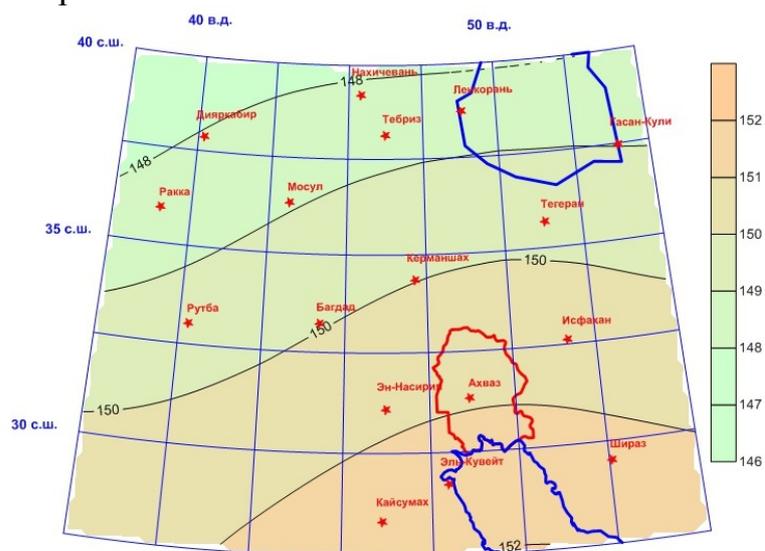


Рис. 1. Физико-географическая карта провинции Хузестан

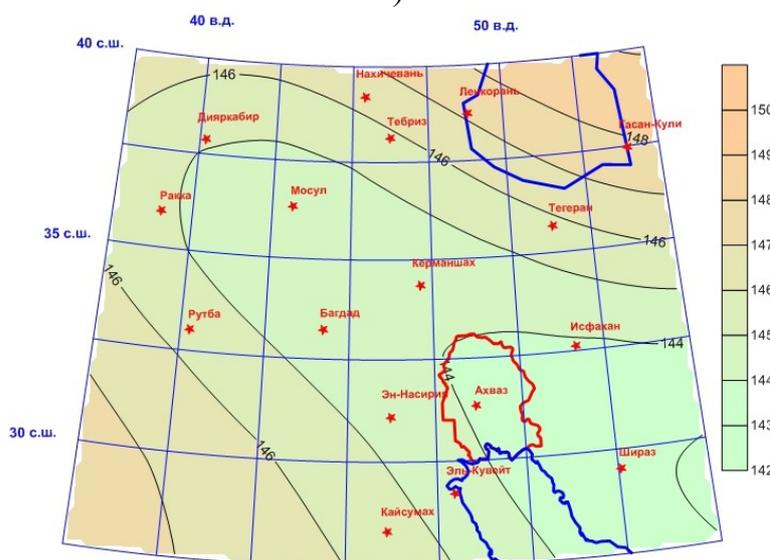
В связи с тем, что пыльные бури часто приходят на территорию Хузестана из Ирака, Сирии и Саудовской Аравии вкратце рассмотрен также барико-циркуляционный и термический режим региона, включающего в себя страны Персидского залива. По данным NCEP/NCAR о значениях геопотенциала в узлах регулярной сетки с шагом  $2^\circ$  для периода 1948-2013 гг. были построены климатические барические карты для поверхности 700 и 850 гПа, для приземного уровня использовались данные о давлении атмосферного воздуха.

Согласно построенным картам в январе на уровне  $AT_{850}$  барическое положение Хузестана определяется гребнем, простирающимся с юго-востока

на северо-запад (высоты 150-152 гп.дкм), а в июле территория Хузестана располагается на оси ложбины вытянутой с юго-востока на северо-запад (рис. 2). У земли зимой Хузестан находится под влиянием западного отрога обширного Азиатского (Сибирского) антициклона, а летом провинция располагается в зоне влияния летней Переднеазиатской термической депрессии. Показано также, что в январе между значениями атмосферного давления и индексами NAO существует достаточно тесная связь (коэффициент корреляции достигает 0,6), что свидетельствует о влиянии Северо-Атлантического колебания на барико-циркуляционные процессы рассматриваемого региона.



а)



б)

Рис. 2. Карта  $AT_{850}$  (1948-2013гг.): а- январь, б- июль

Во второй главе главное внимание уделено рассмотрению современных изменений климата на территории Хузестана и сопредельных территорий – стран Персидского залива в пределах  $27,5^{\circ}$  с.ш.-  $40^{\circ}$  с.ш.,  $37,5^{\circ}$  в.д.-  $55^{\circ}$  в.д. в период 1948-2013гг. В качестве исходных материалов использовались

данные NCEP/NCAR- реанализа приповерхностной температуры, атмосферного давления, массовой доли водяного пара и относительной влажности, компонент скорости ветра за последние 66 лет (1948-2013гг.).

Методами тренд-анализа исследовались временные тенденции метеовеличин, выделение низкочастотной компоненты (НЧК) осуществлялось с помощью низкочастотного фильтра Поттера с точкой отсечения 10 лет и более.

С целью выявления характера долгопериодной изменчивости временных температурных рядов рассматривалась динамика их годовых и сезонных низкочастотных компонент как в целом по Персидскому региону (значения температуры осреднялись по всей площади региона), так и в 6 узлах сетки, расположенных в центре трапеций, по территории которых проводилось осреднение. Эти узлы имеют координаты: 1 – 37,5° с.ш., 42,5°в.д.; 2 – 37,5° с.ш., 47,5°в.д.; 3 – 37,5° с.ш., 52,5°в.д.; 4 – 32,5° с.ш., 42,5°в.д.; 5 – 32,5° с.ш., 47,5°в.д.; 6 – 32,5° с.ш., 52,5°в.д. Пятый узел расположен в Хузестане.

В табл.1 представлены средние годовые, среднеянварские и среднеиюльские значения температуры воздуха, а также их среднеквадратические отклонения (СКО), отнесенные к 6 перечисленным узлам сетки.

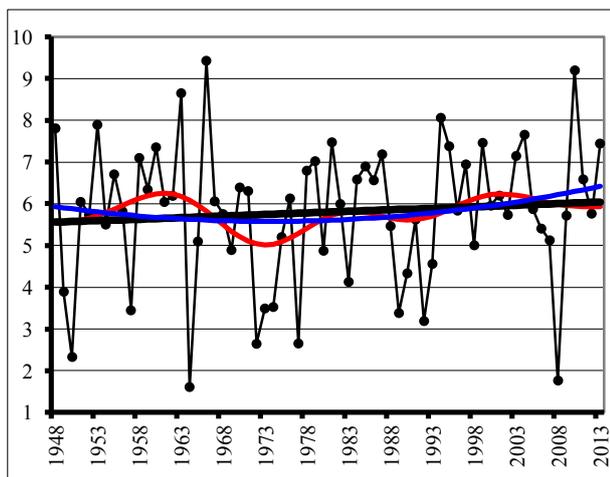
Таблица 1

Средние значения температуры воздуха, °С

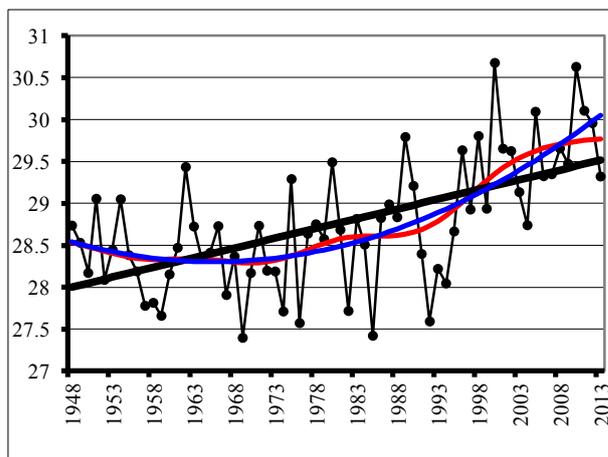
Регион	Ср.годов.	СКО	январь	СКО	июль	СКО
1	13,78	0,72	0,48	2,16	27,11	0,90
2	11,27	0,81	-1,93	2,87	24,27	0,92
3	14,34	0,77	3,75	2,25	26,47	1,08
4	22,10	0,77	9,60	1,64	33,33	1,06
5	19,94	0,73	7,07	2,00	32,05	1,05
6	15,97	0,68	3,00	2,15	28,60	1,32

Как видно из этой таблицы, прослеживается определенная зональность в распределении температуры, сезонность и влияние орографии (6-й регион).

На рис. 3 в качестве примера представлены многолетний ход, среднеянварской и среднеиюльской температур осредненных по всему региону. Построены линейные тренды (жирная черная линия) и низкочастотная компонента (красная линия). По НЧК можно определить продолжительность периода подъема или понижения температуры  $\tau$ , а также скорость её изменения ( $\Delta T / \Delta \tau$ , °С/год).



а)



б)

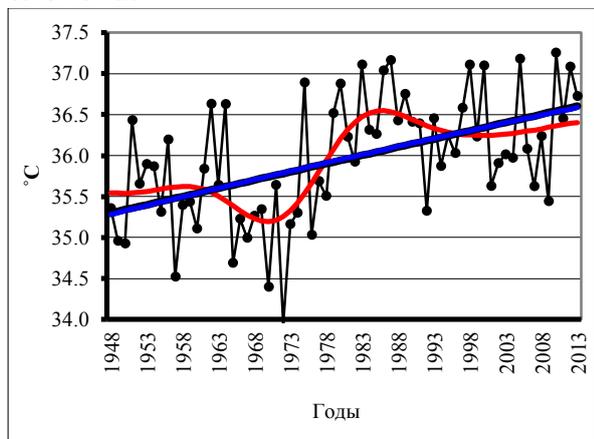
Рис. 3. Многолетний ход осредненной по всему региону приземной температуры: а-январь; б-июль

Как видно из рис. 3, в январе, судя по поведению линии тренда и НЧК, термический процесс в последние десятилетия в регионе стабилизировался: не отмечается ни устойчивого роста, ни падения температуры. Однако в июле картина существенно изменилась- наблюдается заметный рост температуры. За 66-летний период она, согласно линии тренда, повысилась на  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Низкочастотная компонента температуры с 1970г. по 2013г. возросла также примерно на  $1,5^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует о повышении степени засушливости климата в целом по Персидскому региону. Отметим, что в целом для региона среднегодовая температура воздуха (СГТВ) составила  $17,63^{\circ}\text{C}$  (СКО= $2,25^{\circ}\text{C}$ ), среднеянварская температура  $5,8^{\circ}\text{C}$  (СКО= $1,68^{\circ}\text{C}$ ), среднеиюльская температура  $28,76^{\circ}\text{C}$  (СКО= $0,76^{\circ}\text{C}$ ).

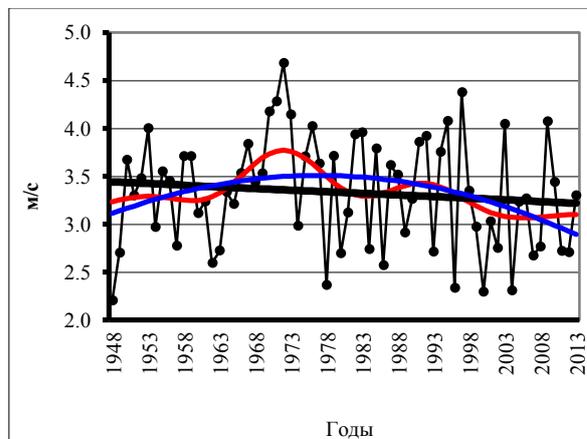
Наибольший интерес представляет 5-ый район, в который входит провинция Хузестан. Анализ построенных линейных трендов и кривых низкочастотных колебаний температуры воздуха показал, что здесь для годовой картины характерен заметный рост температуры воздуха с 1988г. по 2013г., в январе отмечаются небольшие колебания температуры, линейный тренд незначим, в июле наблюдается значительный рост температуры воздуха (по линейному тренду прирост составил  $2,2^{\circ}\text{C}$  в период 1948-2013гг.). Наиболее интенсивное летнее «потепление» происходило с 1993г. по 2013г. ( $\Delta T \sim 2^{\circ}\text{C}$ ). Приводятся показатели температуры для 5 района, в котором СГТВ составляет  $19,94^{\circ}\text{C}$ , СКО =  $0,73^{\circ}\text{C}$ ; среднеянварское значение температуры за период 1948 – 2013гг. равно  $7,07^{\circ}\text{C}$ , СКО =  $2,00^{\circ}\text{C}$ ; среднеиюльское значение температуры  $32,05^{\circ}\text{C}$ , СКО =  $1,04^{\circ}\text{C}$ .

Для оценки состояния окружающей среды рассмотрена динамика ряда климатических показателей по данным реанализа в период 1948-2013гг. для узла сетки  $31,42^{\circ}$  с.ш.;  $48,75^{\circ}$  в.д., расположенного в центре Хузестана вблизи станции Ахваз. В качестве параметров рассматривались температура воздуха, массовая доля водяного пара и относительная влажность на высоте 2м, скорость ветра на уровне 10м (рис. 4, 5), а также биометеорологические

показатели: «индекс жары» Стедмена и эффективная температура по Миссенарду с целью оценки воздействия климатических условий на здоровье человека.

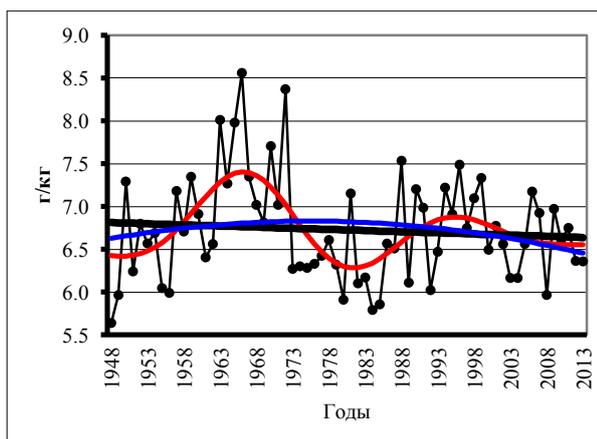


а)

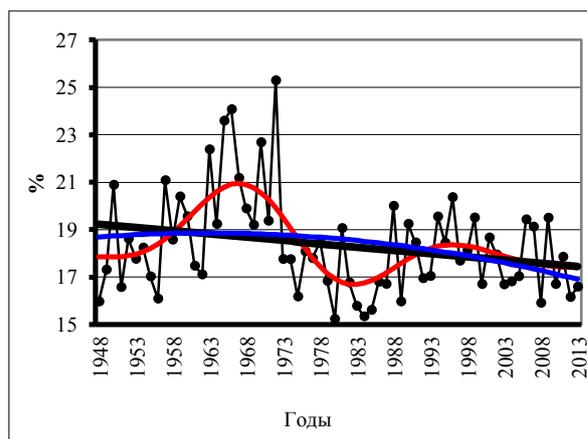


б)

Рис. 4. Температура воздуха, °C (а) и скорость ветра у земли (м/с) (б) в центре провинции Хузестан



а)

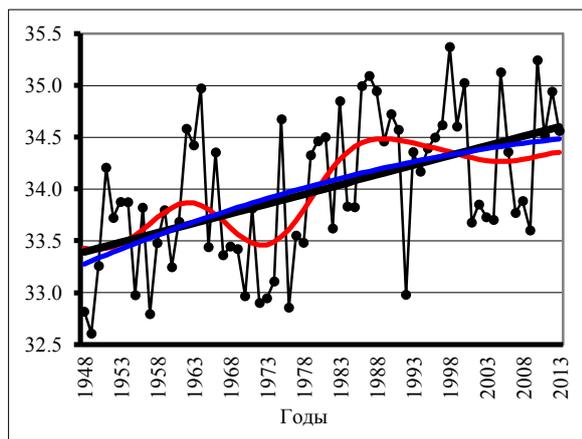


б)

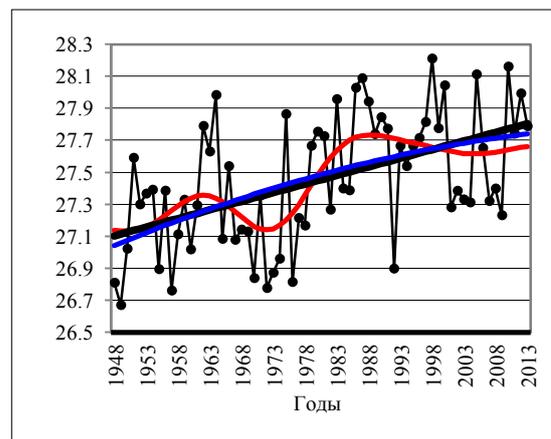
Рис. 5. Массовая доля водяного пара г/кг (а) и относительная влажность воздуха (%) у земли (б)

Как видно из рис. 4 и 5, июльская температура воздуха в период 1948-2013 гг. растет, при этом, согласно кривой НЧК наибольший рост отмечался в 1970-х годах. В последнее десятилетие процесс стабилизировался. Остальные характеристики: массовая доля водяного пара, относительная влажность воздуха и скорость ветра, напротив, имеют долголетнюю тенденцию к понижению.

Естественно, что отмеченные закономерности находят свое отражение в поведении биоклиматических индексов: они также испытывают тенденцию роста. При этом вклад температуры воздуха в эти индексы оказался преобладающим. Следует отметить, что «индекс жары» Стедмена и эффективная температура по Миссенарду ведут себя совершенно одинаково, судя по характеру колебаний низкочастотной компоненты (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. Многолетний ход индекса «жары» Стэдмена (а) и эффективной температуры по Миссенарду (б) в центре провинции Хузестан

Как известно, температурный режим формируется под влиянием приходящей солнечной радиации, циркуляции атмосферы и характера подстилающей поверхности. Для оценки роли циркуляционного фактора рассчитывались коэффициенты корреляции между индексами атмосферной циркуляции и температурными рядами за 40-летний период (1971-2010гг.). В качестве индексов циркуляции были взяты значения Северо-Атлантического колебания (NAO) и Арктической осцилляции (АО). По данным реанализа был сформирован путем осреднения в отдельных узлах сетки температурный ряд для региона и ряд температуры в узле вблизи ст. Ахваз. Таким образом, расчеты коэффициентов корреляции производились между двумя температурными рядами (всего региона и ст. Ахваз) и двумя индексами циркуляции. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции  $r$  между приземной температурой  $T$  и индексами циркуляции NAO и АО

Коррелируемые величины	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
для региона												
$r(\text{NAO};T)$	-0,46	-0,47	-0,38	0,03	-0,17	-0,31	-0,19	-0,38	-0,25	-0,50	-0,46	-0,56
$r(\text{AO};T)$	-0,51	-0,50	-0,33	0,11	-0,04	-0,09	0,13	-0,11	-0,19	-0,34	-0,49	-0,55
для ст. Ахваз												
$r(\text{NAO};T)$	-0,39	-0,38	-0,28	0,01	-0,16	-0,11	0,00	-0,19	-0,02	-0,39	-0,38	-0,47
$r(\text{AO};T)$	-0,45	-0,42	-0,18	-0,01	0,02	-0,02	0,15	-0,03	-0,09	-0,26	-0,45	-0,43

*Примечание:* коэффициенты корреляции значимы для 40-летней выборки на уровне 95% надежности при значениях 0,31 и выше; на уровне 99% надежности при значениях 0,40 и выше.

Как видно из табл. 2, для холодного периода в целом коэффициенты корреляции превышают значение 0,31, т.е. являются значимыми, что свидетельствует о влиянии Северо-Атлантического колебания и Арктической

осцилляции на температуру региона. Отрицательный знак указывает на противофазность процессов, т.е. под влиянием воздушных потоков с Северной Атлантики температура понижается. Значимой оказалась также корреляция и для 2-х летних месяцев - июня и августа. Практически характер связей сохраняется и для отдельного пункта Ахваз. Некоторое понижение тесноты связей обусловлено влиянием местных особенностей.

Более детально рассматриваются пространственно-временные изменения ряда климатических показателей одного из аридных (засушливых) регионов Ирана-провинции Хузестан, расположенной в юго-западной части страны, севернее Персидского залива и западнее горной системы Загрос. Это основной нефтеносный регион Ирана.

В качестве исходных данных использовались материалы метеорологических наблюдений в период 1951-2010 гг. 13 станций равномерно распределенных по всей территории Хузестана, расположенной в субтропическом поясе Земли.

В связи с различной продолжительностью рядов наблюдений статистической обработке подвергались метеонаблюдения всех 13 станций в период 1994-2010 гг. (17 лет) и отдельно данные наиболее длиннорядных станций: Абадан (1951-2010 гг.), Ахваз (1953-2010 гг.), Дизфуль (1963-2010 гг.) за весь период наблюдений.

Методами корреляционного и тренд-анализа выявлялись взаимосвязи между метеовеличинами в различных пунктах и тенденции их изменения во времени.

Основной характеристикой термического режима служат средние месячные и годовые температуры воздуха. Анализ распределения многолетней средней годовой температуры воздуха по территории Хузестана показал, что она изменяется не столь значительно – от 24,4°C (Сафи Абад) до 26,8°C (Рамхормоз). Исключением является станция Изе, где температура значительно ниже, ввиду ее расположения на большой высоте над уровнем моря (767м).

В январе –самом холодном месяце года - средняя многолетняя температура воздуха повышается с севера на юг от 11,8°C (Дизфуль) до 13,3°C (Рамхормоз). Затем температура незначительно повышается в феврале (примерно на 2°C) и, начиная, с апреля по октябрь, ее среднемесячные значения не опускаются ниже 20°C. В летний период межмесячные различия не столь значительны. Самым теплым месяцем года является июль. Распределение многолетней среднеиюльской температуры по территории Хузестана достаточно однородное и колеблется от 36,1 (Сафи Абад) до 38,6°C (Рамхормоз). Далее в годовом ходе температура воздуха постепенно понижается в осеннем периоде. На рис. 7 представлены карты распределения температуры для зимнего и летнего периодов.

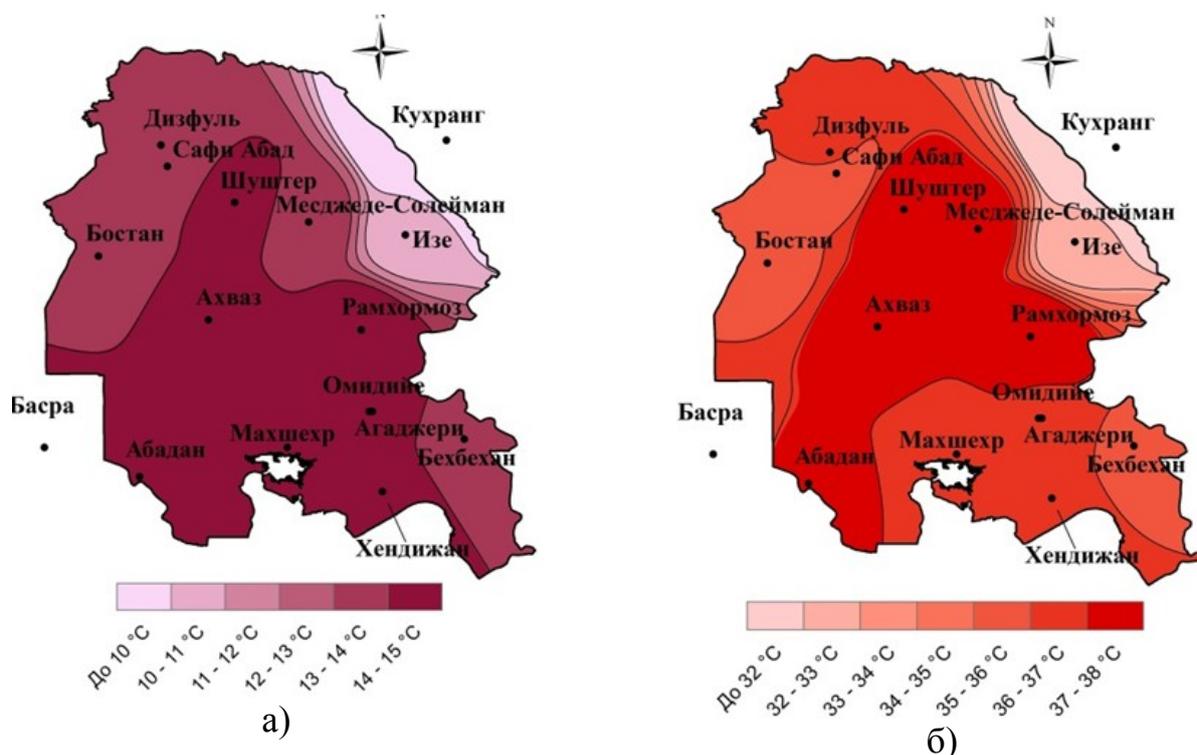


Рис. 7. Средняя температура (°C) воздуха: а-зима, б-лето

Температурный контраст между самым холодным и самым теплым месяцем года характеризуется амплитудой годового хода температуры воздуха ( $A$ ), которая зависит от степени континентальности климата, характера рельефа и географических координат. Величина амплитуды годового хода на территории Хузестан незначительна, она меняется от  $23,6^{\circ}\text{C}$  (Сафи-Абад) до  $25,5^{\circ}\text{C}$  (Шуштер), что свидетельствует об однородном температурном поле.

Степень континентальности климата Хузестана для 13 станций оценена с помощью известного индекса континентальности С.П. Хромова:

$$K = \frac{A - 5,4 \sin \varphi}{A}, \quad (1)$$

где  $A$  – фактическая годовая амплитуда воздуха в данном пункте;  $5,4 \sin \varphi$  – чисто океаническая амплитуда, которая была бы над океаном, совершенно свободным от континентальных влияний,  $\varphi$  – широта места.

Оценки показывают, что для территории Хузестана индекс континентальности порядка 88-89%.

Для выделения систематической составляющей изменений температуры для всех месяцев года были построены линейные тренды для всех метеостанций

$$Y(\tau) = \alpha\tau + b, \quad (2)$$

где  $Y(\tau)$  – сглаженное значение температуры воздуха на момент времени  $\tau$  ( $\tau = 1, 2, 3, \dots, n$ ),  $\alpha$  – угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ), характеризует скорость изменения температуры,  $b$  – свободный член (начальное значение линии тренда). Положительное значение коэффициента  $\alpha$

указывает на рост температуры (потепление климата), а отрицательное –на похолодание климата.

Согласно произведенным расчетам для 13 станций в период 1994-2010гг., лишь в январе наблюдается тенденция заметного понижения температуры, в остальные месяцы особенно в марте и в октябре температура интенсивно повышается. В летние месяцы коэффициенты наклона линейного тренда по величине уступают другим месяцам. Однако эти результаты ввиду небольшого периода (17 лет) следует считать ориентировочными. Большого доверия вызывают данные рассчитанные для станций Абадан и Ахваз в период 1961-2010гг. и для станции Дизфуль в период 1963-2010гг. (табл. 3)

Таблица 3

Коэффициенты наклона линейного тренда (°С/10лет) для станций Абадан, Ахваз и Дизфуль

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Абадан	0,05	0,22	0,32	0,61	0,60	0,49	0,50	0,55	0,36	0,45	0,09	0,17	0,37
Ахваз	0,30	0,39	0,44	0,70	0,69	0,60	0,58	0,71	0,53	0,62	0,38	0,40	0,53
Дизфуль	0,02	0,05	0,08	0,33	0,28	0,25	0,22	0,31	0,15	0,24	0,09	0,10	0,18

Как видно из этой таблицы, с наибольшей скоростью происходит повышение температуры в августе (до 0,71°С/10лет) на ст. Ахваз, что объясняется местными условиями.

В этой же главе дан анализ распределения аномалий температуры, рассчитанных по формуле  $\Delta t = t - \bar{t}$ , где  $t$ - средняя температура конкретного месяца,  $\bar{t}$  – климатическая норма. Как и следовало ожидать, примерно в 70% случаев  $|\Delta t| < \sigma$  (СКО), остальные аномалии относятся к крупным и очень крупным, т.е.  $|\Delta t| > 1,5\sigma$  и  $|\Delta t| > 2\sigma$ . Близость распределения температуры к нормальному закону оценивалась с привлечением показателей асимметрии и эксцесса. Начиная с 1996г., аномалии температуры на ст. Ахваз имеют только положительный знак в летний период, что свидетельствует об усилении сухости в Хузестане.

Были также проанализированы результаты статистических расчетов характеристик влажности воздуха, атмосферных осадков, максимальной скорости ветра. Все эти характеристики испытывают хорошо выраженный годовой ход и зависимость от рельефа местности. В среднем по провинции многолетняя сумма осадков составляет ~304мм. Осадки выпадают в основном в период с ноября по апрель, в летний период они практически не выпадают (табл. 4).

Оценки степени засушливости климата с помощью показателей предложенных Г.Т. Селяниновым, Н.Н. Ивановым и уравнения Э.М. Ольдекопа показывают, что равнинная территория Хузестана относится к степному и полупустынный типу климата.

Таблица 4

Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) на территории Хузестана за 1994-2010гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Дизфуль	95,5	46,9	64,1	37,4	5,8	0,4	0,0	0,0	0,6	13,7	57,3	81,4	403,0
Сафи Абад	73,3	41,6	51,3	28,6	2,9	0,1	0,1	0,0	0,0	6,4	35,9	76,2	316,3
Шуштер	77,1	33,1	46,4	21,8	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,5	53,6	61,7	298,3
Месджеде-Сoleyман	103,4	46,6	64,9	29,4	5,5	0,0	0,1	0,0	0,1	5,4	57,0	89,6	402,2
Изе	147,4	87,2	93,4	59,3	8,8	0,5	0,6	0,6	1,9	7,6	75,6	130,5	613,6
Бостан	48,6	20,8	28,5	20,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	29,0	45,2	196,4
Ахваз	50,1	22,5	28,1	17,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,3	3,0	39,2	50,8	212,4
Рамхормоз	79,6	33,4	46,2	20,9	2,4	0,1	0,0	0,1	1,3	4,6	32,5	82,7	303,7
Агаджери	70,4	30,3	37,9	25,2	1,4	0,1	0,1	0,0	0,0	3,4	37,0	70,0	276,1
Бехбехан	83,6	33,5	48,4	20,1	3,7	0,8	0,0	0,4	0,2	2,9	40,5	86,4	320,6
Махшехр	53,4	23,0	26,0	11,8	1,4	0,1	0,0	0,0	0,1	2,0	30,2	51,8	200,3
Омидийе	78,0	30,8	31,5	18,9	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	2,1	31,2	59,0	253,4
Абадан	41,8	15,1	18,8	11,8	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	2,8	19,7	46,2	158,2
СРЕДНЕЕ	77,1	35,8	45,1	24,9	3,0	0,2	0,1	0,1	0,3	4,5	41,4	71,6	304,2

Ветровой режим определяется сезонными особенностями структуры барического поля, зимой максимальные скорости ветра меняются в пределах 6-11 м/с, летом наблюдается их усиление до 7-14м/с, что способствует возникновению пыльных бурь.

В конце главы рассмотрен вопрос о влиянии погодно-климатических условий на самочувствие человека. Анализ рассчитанных биометеорологических индексов (эффективной температуры, эквивалентно-эффективной температуры по Миссенарду и Айзенштату, сухого ветрового охлаждения, индекса патогенности) свидетельствует об усилении тепловой нагрузки на человека в последние десятилетия.

В третьей главе рассматриваются условия возникновения пыльных бурь (представлен обзор литературы по данной проблеме опубликованной в различных странах за последние десятилетия), статистические характеристики и примеры их обнаружения с помощью радаров.

В качестве исходных данных использовались материалы метеорологических наблюдений в период 2000-2010 гг. (11 лет) 13 станций равномерно расположенных по всей территории Хузестана. Фиксировалось время возникновения и окончания пыльной бури, ее интенсивность, что позволило установить как число пыльных бурь, так и количество дней с пыльными бурями, дальность горизонтальной видимости. Кроме метеорологических данных к анализу привлекались аэросиноптические материалы и радарные снимки. Результаты наблюдений подвергались статистической обработке.

Пыльные бури, фиксируемые на территории провинции Хузестана, имеют как местное, так и внешнее (адвективное) происхождение, они возникают, как правило, на территории Ирана, Саудовской Аравии, Сирии, откуда пыль сильными северными и северо-западными ветрами переносится в юго-западные районы Ирана. Анализ данных наблюдений позволяет установить неравномерный характер распределения пыльных бурь как во времени, так и в пространстве.

Таблица 5

Повторяемость пыльных бурь местного и адвективного происхождения на территории провинции Хузестан (%) в период 2000-2010 гг.

Тип бури	ГОДЫ											За все годы
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Местный	23,86	24,87	47,33	28,26	13,9	38,32	35,29	22,05	21,18	14,29	8,98	25,3
Адвективный	76,14	75,13	52,67	71,74	86,1	61,68	64,71	77,95	78,82	85,71	91,02	74,7

Как видно из табл.5, пыльные бури чаще всего возникают за пределами Хузестана (до 75 % от общего количества за 11 –летний период), особенно это заметно в последние годы. Так, в 2010 г. 91 % случаев возникновения пыльных бурь приходится на прилегающие районы Ирака и Саудовской Аравии и лишь 9 % от числа всех отмеченных бурь возникло в самом регионе.

Важным показателем, характеризующим пыльные бури, является число дней с этим явлением. Эта характеристика весьма неустойчива во времени (табл. 6).

Таблица 6

Число дней с пыльной бурей по годам на станциях Хузестана в период 2000-2010 гг.

Станции	Годы											Сред. за год
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Бостан	23	14	6	38	82	22	37	102	62	97	78	51,0
Абадан	31	46	26	54	84	40	39	84	49	79	85	56,1
Дизфуль	79	105	50	76	112	46	58	124	94	117	115	88,7
Ахваз	26	38	12	54	97	47	53	108	64	102	96	63,4
Шушгер	20	20	7	36	53	10	7	35	16	35	32	24,6
Махшехр	11	30	7	35	76	20	27	49	35	64	54	37,1
Месджеде-Сoleyман	57	70	8	50	116	40	45	129	47	63	78	63,9
Рамхормоз	11	30	7	35	76	20	27	49	37	50	46	35,3
Агаджери	9	13	9	16	70	7	5	51	35	49	52	28,7
Дизфуль Сафи Абад	71	98	45	62	98	37	48	108	83	105	96	77,4
Изе	24	25	19	16	12	23	27	24	23	21	25	21,7
Бехбехан	9	12	8	13	62	6	3	49	31	44	47	25,8
Омидийе	9	14	9	17	71	8	5	51	35	49	52	29,1

Данные табл.6 показывают, что число дней с пыльной бурей распределено по годам и станциям неравномерно. Наиболее благоприятные условия для возникновения пыльных бурь складываются на равнинной территории, прилегающей к Персидскому заливу. Этому способствуют термобарические условия, сильные ветры и состояние почвы.

В течение года пыльные бури распределяются крайне неравномерно. Было подсчитано среднее число часов с пыльной бурей для каждого месяца за 11-летний период (табл. 7).

Таблица 7

Среднемесячное распределение продолжительности (час) пыльных бурь в провинции Хузестан.

В среднем за месяц	Январь	7,5	Апрель	45,7	Июль	111,7	Октябрь	16,6
	Февраль	24,1	Май	82,6	Август	37,5	Ноябрь	10,5
	Март	33,3	Июнь	74,2	Сентябрь	26,5	Декабрь	3,8

Как видно из табл.7, с апреля отмечается усиление пыльных бурь, при этом максимум приходится на июль, затем, начиная с августа, происходит их значительное уменьшение до декабря- января, когда повторяемость минимальна. Таким образом, преобладающее число случаев приходится на период май – июль, а минимальное – октябрь-февраль. Этот годовой ход показывает, что отдельные периоды более подвержены воздействию пыльных бурь, чем другие. Оценка числа дней с пыльной бурей показала, что на июль приходится почти четверть от числа дней с пыльной бурей в году по всей территории Хузестана (рис. 8).

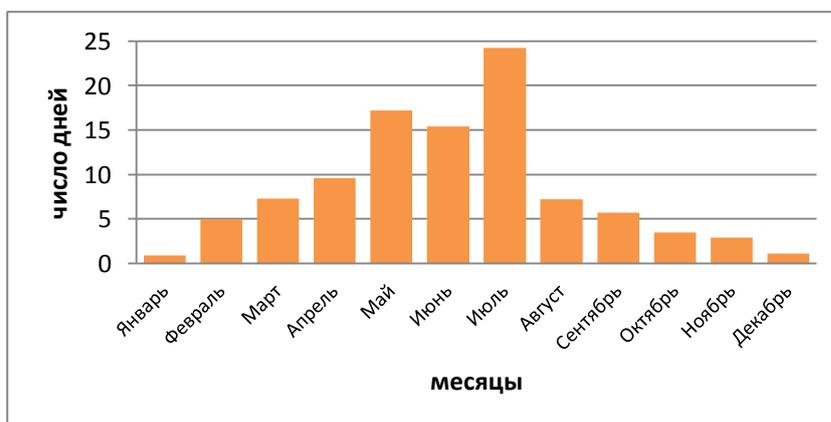


Рис. 8. Среднее число дней с пыльной бурей по месяцам (%)

В суточном ходе, как правило, максимальная повторяемость начала пыльных бурь приходится преимущественно на полуденные и после-полуденные часы, когда более развит турбулентный обмен и усиливается скорость ветра, минимум приходится на ночные часы. Однако на территории Хузестана их наибольшая повторяемость наблюдается в утренние часы, что обусловлено региональными факторами: различный прогрев суши и моря порождает усиление ветра в утренние часы, что создает перепад давления и, как

следствие, сильный ветер. На рис. 9 представлен суточный ход возникновения пыльных бурь (время гринвичское, для перехода к местному необходимо добавлять 3,5 часа).

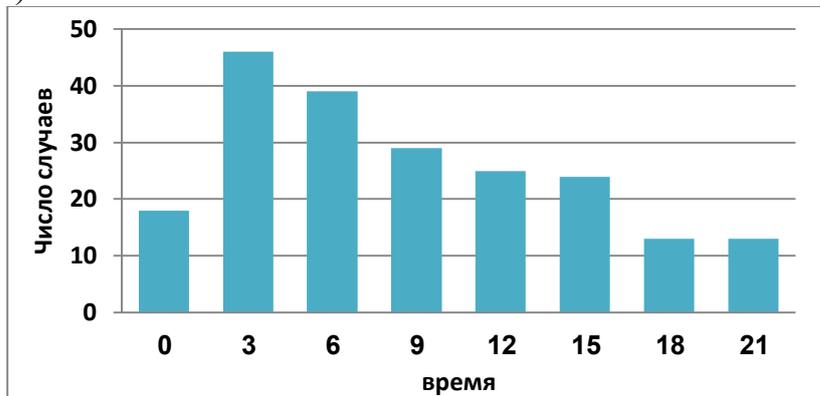


Рис. 9. Время возникновения пыльных бурь по Гринвичскому времени

Наиболее часто на территории Хузестана отмечаются пыльные бури с продолжительностью до 4-х дней, на долю градаций 0-2 и 2-4 дня приходится более 80 % случаев и значительно реже встречаются пыльные бури с большей продолжительностью 4 суток и более. Это наиболее сильные бури, представляющие наибольшую опасность, так как они сопровождаются сильными ветрами и значительным ухудшением видимости. На рис. 10, 11 представлено их распространение по территории Хузестана.

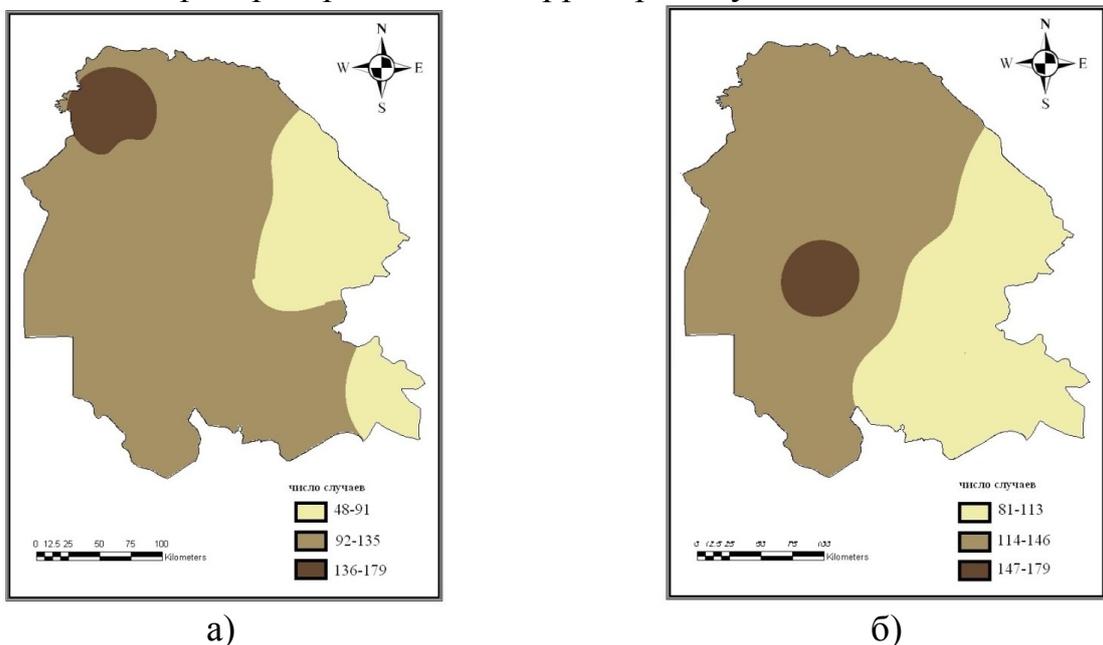


Рис. 10 . Распределение пыльных бурь по территории Хузестана (число случаев) с различной продолжительностью: а) до 2-х дней; б) 2-4 дня

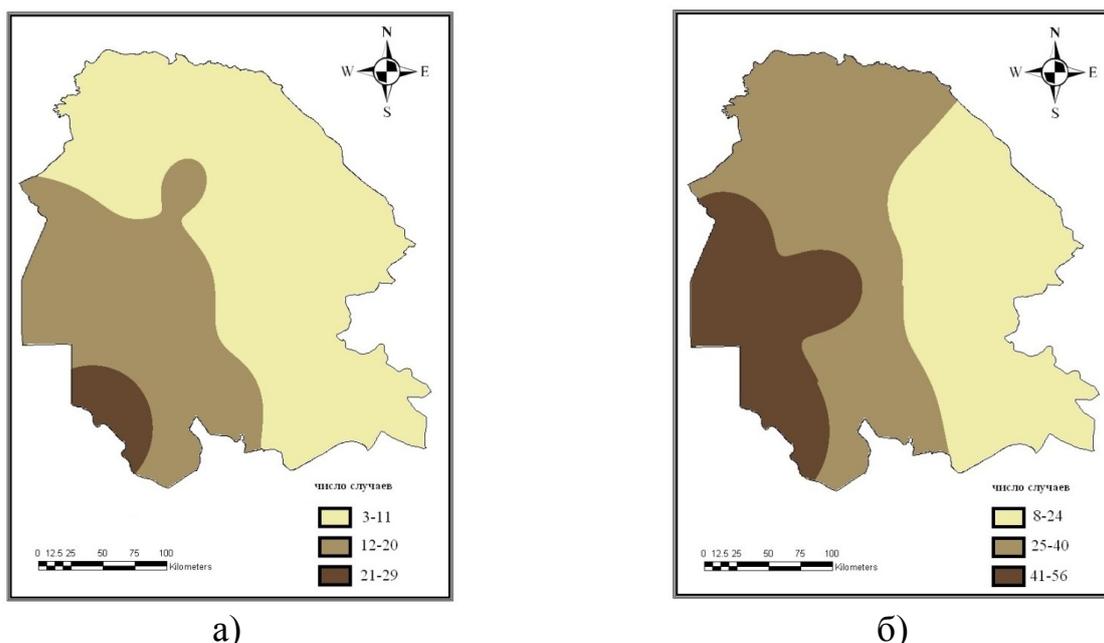


Рис. 11. Распределение пыльных бурь по территории Хузестана (число случаев) с различными показателями видимости (в м): а) 100-500м; б) 500-1000м

В заключительной части главы рассмотрен ряд примеров обнаружения пыльных бурь с помощью радара установленного на ст. Ахваз (радиус наблюдений 250км) в период 2010-2013гг. При этом дается анализ метеорологической и аэросиноптической обстановки и с помощью числа Ричардсона оцениваются термодинамические условия в атмосфере по данным радиозондирования. В частности, рассмотрим ситуацию 13 апреля 2011г., когда на территории Хузестана были зафиксированы пыльные бури с помощью радара.

Как видно из карты  $AT_{500}$  за 00ч 4 июня (рис. 12), над Саудовской Аравией сформировался обширный гребень высокого давления, протянувшийся с запада на восток. Территория Хузестана находится на его северо-восточной периферии. Воздушные потоки имеют западное направление. На приземной карте, выделяется ложбина вытянувшаяся вдоль Персидского залива в северо-западном направлении (давление на оси ~1000 гПа), восточнее которой образовался гребень (западная часть Ирана), где давление в центре 1011 гПа. Над территорией Хузестана возникали сильные северо-западные потоки, которые привнесли пыльные бури с северо-запада.

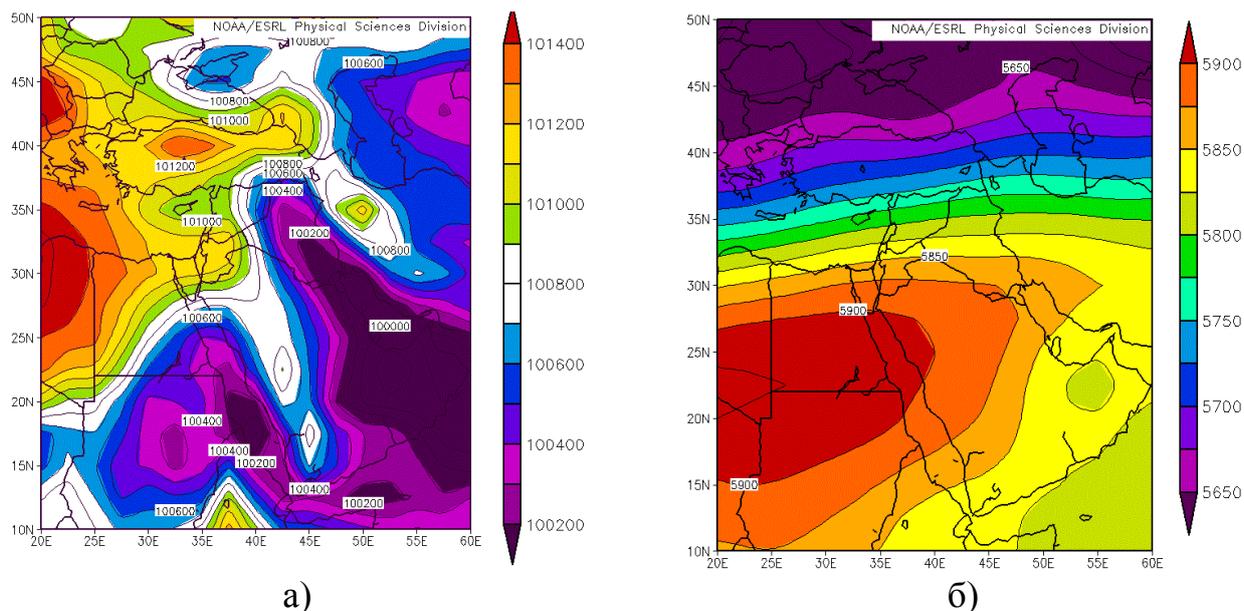


Рис. 12 . Карта за 00ч 04.06.2013 г.: а) на уровне моря; б) АТ<sub>500</sub>

Данные радара от 4 июня 2013г., относящиеся к 18ч, показывают, что пыльные бури с севера охватили вначале провинцию Илим, а затем перешли в Хузестан. Затем они переместились к югу- на территорию Персидского залива. 5 июня по данным радара, наибольшая пылевая активность отмечалась на юге территории (рис. 13), 6 июня пыльные бури ослабели и сохранились лишь в восточной части Хузестана. 7 июня с экрана радара пыльные бури исчезли. Данный случай демонстрирует ситуацию, при которой произошло вторжение пылевых облаков извне.

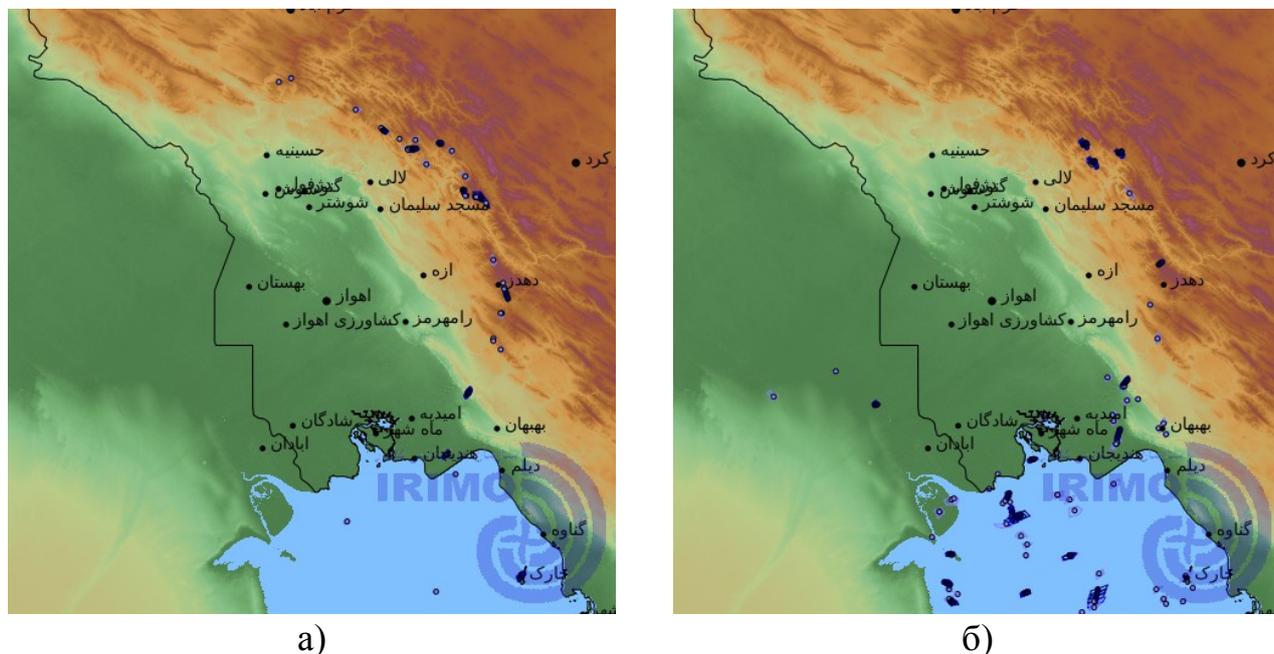


Рис. 13. Изображение радара: а) за 18ч 04.06.2013г.; б) за 03ч 05.06.2013 г.

В процессе выполнения работы автором визуально просмотрено более 1000 снимков радиолокационных наблюдений за состоянием атмосферы, что

позволило дополнить информацию о пыльных бурях, получаемую с наземной сети метеостанций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования по изучению климатических изменений, условий возникновения и характеристик пыльных бурь, анализа метеорологических и аэросиноптических процессов за последние десятилетия на территории Хузестана и стран Персидского залива в целом оказалось возможным сформулировать следующие выводы:

1. Климатический режим Хузестана, согласно результатам статистического анализа данных 13 метеостанция в период 1951-2013гг., характеризуется следующими тенденциями: тренд-анализ выявил наибольший рост температуры воздуха в период апрель-октябрь, усиление максимальной скорости ветра в летний период, что усиливает засушливость климата и создает благоприятные метеорологические условия для возникновения и поддержки пыльных бурь. Распределение аномалий температур  $\Delta t$  разной интенсивности достаточно однородно по территории провинции;
2. Анализ низкочастотных колебаний приземной температуры воздуха в Персидском регионе в период 1948-2013гг. по данным реанализа показал, что зимой температурный режим мало изменчив, летом выявляется достаточно интенсивный рост температуры воздуха, что приводит к усилению засушливости региона в целом. Выявленный положительный значимый тренд биоклиматических показателей- индекса «жары» Стедмена и эквивалентно-эффективной температуры Миссенарда свидетельствует о снижении уровня комфортности местного климата в летний период;
3. Установлено, что на термический режим стран Персидского залива оказывают охлаждающее влияние Северная Атлантика и Арктика через механизм Северо-Атлантического и Арктического колебаний- получены значимые отрицательные значения коэффициентов корреляции ( $|r| > 0.31$ ) между индексами САК и АО и температурой региона за 40-летний период (1971-2010гг.);
4. Статистический анализ 3000 случаев зафиксированных метеосетью пыльных бурь на территории Хузестана в период 2000-2013гг. выявил следующие закономерности: проявляется тенденция увеличения с годами повторяемости, интенсивности и продолжительности пыльных бурь внешнего происхождения (~75% от числа случаев) над местными. Пыльные бури чаще всего возникают в период март-июль до обеда, их продолжительность в большинстве случаев составляет менее 4 суток и количество ОЯ уменьшается в направлении с юго-запада на северо-восток при переходе от равнинной местности к гористой;
5. Рассмотрены примеры обнаружения пыльных бурь на территории Хузестана в период 2010-2013гг. с помощью радара установленного на ст. Ахваз. Комплексный анализ метеорологической и аэросиноптической

обстановки показал, что необходимым условием возникновения пыльных бурь является формирование антициклона на юге Ирана и циклона на Аравийском полуострове западнее Персидского залива, сопровождающихся высокими температурами воздуха и усилением скорости ветра в послеполуденные часы на фоне увеличения барического градиента;

6. Комплексный анализ показывает, что в целом происходящее в современный период в странах Персидского залива природно-климатические, политические и социально-экономические процессы создают основу для усиления негативных проявлений в регионе ряда неблагоприятных явлений природы, включая пыльные бури, оказывающих отрицательное воздействие на экологическую обстановку, различные отрасли экономики и здоровье населения.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:***

1. Переведенцев Ю.П. Особенности климатических условий в юго-западной части Ирана (на примере провинции Хузестан) / Ю.П. Переведенцев, **Р. Занди**, Т.Р. Аухадеев // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки.-2013. Том 155. Книга 4.- С. 144-156.
2. Переведенцев Ю.П. Особенности режима пыльных бурь в юго-западной части Ирана в начале XXI века / Ю.П. Переведенцев, **Р. Занди**, Т.Р. Аухадеев, К.М. Шанталинский // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки.-2014. Том 156. Книга 2.- С. 135-146.
3. Переведенцев Ю.П. О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа/ Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, Т.Р. Аухадеев, **Р. Занди** // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки.-2014. Том 156. Книга 2.- С. 147-156.
4. Переведенцев Ю.П. Долгопериодные изменения приземной температуры, влажности воздуха и скорости ветра на территории стран Персидского залива/ Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, **Р. Занди**, Т.Р. Аухадеев // Ученые записки Казанского университета. Серия естественные науки.-2015. Том 157. Книга 1.- С. \_\_\_\_\_

### ***опубликованные в других изданиях:***

1. **Занди Р.** Пыльные бури в провинции Хузестан (ИРАН). // Труды Всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». – Казань, 2013. – С. 33.
2. **Занди Р.** Изменение климата в регионе Хузестан (юго-запад Ирана). **Р. Занди**, М.А. Мадах // Труды Всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». – Казань, 2013. – С. 79.

3. Пыльные бури на юго-западе Ирана /Ю.П. Переведенцев, **Р. Занди**, Т.Р. Аухадеев, К.М. Шанталинский // Труды II Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева. - СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2015. – С342-346.
4. Perevedentsev Yuri Petrovich, A Statistical Analysis on Frequencies of Fog Days in Southern Regions of Iran / Perevedentsev Yuri Petrovich, **Rahman Zandi**, Mohamad Ghorbani // International Journal of Management and Humanity Sciences.2013.- Vol., 2 (8),pp 718-728.
5. Perevedentsev Yuri Petrovich, Zoning of duration and intensity dust storms and the effect of geographic factors on them in Khuzestan province / Perevedentsev Yuri Petrovich, **Rahman Zandi** // Geodynamics Research International Bulletin (Quarterly Journal).2014.- Vol.6,pp 74-91.
6. **Rahman Zandi**, The effective factors on creation of dust storms and their environmental effects (A Case Study of Khuzestan Province) /**Rahman Zandi**, Mohsen Karimi // The 1<sup>st</sup> International Conference on Environmental Crisis and its Solutions- Kish Island- 2013. pp 122-130.
7. **Rahman Zandi**, Determination of the course of Isfahan climate changes in the recent 55 years/**Rahman Zandi**, Somaeh Hosaini, Mohsen Karimi //The 1<sup>st</sup> International Conference on Environmental Crisis and its Solutions- Kish Island. 2013- pp 145-153.
8. **Rahman Zandi**, Zoning of areas exposed to pollution of industrial –Mineral in Isfahan province/ **Rahman Zandi**, Somaeh Hosaini //2nd International Conference on Environmental Hazards, Kharazmi University, Tehran- 2013 . pp 134-141.
9. Perevedentsev Yuri Petrovich, Statistical analysis of the dust storms in Province Khuzestan/ Perevedentsev Yuri Petrovich, **Rahman Zandi**, Mohamad Ghorbani //The 3<sup>rd</sup> National Conference on Wind Erosion and Dust Storms , Yazd University, Yazd –2014. pp 74.