На правах рукописи

Зареи Саджад

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

Специальность 25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
2018

Работа выполнена на кафедре космического мониторинга и экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК).

Научный руководитель: **Малинников Василий Александрович** - доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), заведующий кафедрой космического мониторинга и экологии.

Официальные оппоненты: **Погорелов Анатолий Валерьевич** - доктор географических наук, профессор, Кубанский государственный университет, заведующий кафедрой геоинформатики.

Шахраманьян Михаил Андраникович - доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС", заместитель директора по научной работе.

Ведущая организация: федеральное государственое бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Защита диссертации состоится «28» июня 2018 г. в 12^{00} часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.04 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский пер., д. 4, зал заседаний Учёного Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК): http://www.miigaik.ru/upload/iblock/2a1/2a1f107ddd6b926a383b2b4b1c8f20f9.pdf

Автореферат разослан «____»_____ 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совет _____ Беленко В. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современное картографирование ландшафтов, выполняемое по материалам спутникового зондирования, все в большей степени становиться по технологии геоинформационным, по содержанию – оценочным, по назначению – направленному на поиск и практическую реализацию методов повышения эффективности эксплуатации природно-ландшафтных ресурсов. Рассматривая использование земель в качестве средств производства сельскохозяйственной продукции, в данном исследовании особое внимание уделено показателям биопродуктивности угодий – природным процессам, определяющим условия вегетации растений и накопления фитомассы. Общеизвестно, что культивирование определенных агрокультур производится в соответствии с наблюдаемыми диапазонами значений оптимума влагонасыщенности и температуры почвенных отложений, температуры приземной атмосферы и фотосинтетически активной радиации.

Совокупная реакция растительных сообществ на качество среды обитания фиксируется параметрами нормализованного вегетационного индекса NDVI, получаемого по данным дистанционного зондирования из космоса и сопоставляется с урожайностью выращиваемой сельскохозяйственной продукции. Вместе с тем в пределах определенной территории, погодные условия от года к году разняться, причем не редко кардинально. Поэтому является актуальной разработка методики автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования с целью геоинформационного картографирования ландшафтов, основанного на использовании интегрального показателя- индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов. Исследование выполнено на примере аридного региона, расположенного на территории Ирана. Выбраный для проведения исследования аридный регион, является ярчайшим примером хрупкой экосистемы, подверженной значительным естественным (внешним) и антропогенным нагрузкам, для которой критически важна реализация мер по

оценке состояния природных ресурсов и выработке системы рационального и устойчивого управления данными ресурсами. Из чего следует, что одной из важных задач ГИС сопровождения мониторинга природопользования является накопление базы геоданных за достаточно представительный ряд лет и представление интегрального показателя – индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов (*Iind*) серией оценочных карт, отражающих различные принципы деления оцениваемой территории. Таким образом, очевидна необходимость разработки принципов и методики построения на основе данных космического зондирования Земли из космоса, базы геоданных, включающей формализованное и не формализованное деление территории картографирования, описание выделенных операционных единиц параметрами сезонной изменчивости, температуры земной поверхности, и сезонной изменчивости нормализованного индекса растительности с постоянным наращиванием годовых массивов информации.

Цель диссертационной работы заключается в разработке методики автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования для геоинформационного картографирования ландшафтов, основанного на использовании интегрального показателя – индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи:**

1. Анализ существующей практики сбора и обработки данных ДЗЗ с космических аппаратов природно-ресурсного назначения.
2. Анализ существующей практики автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования природно-ландшафтных ресурсов в среде ГИС.
3. Разработка методики формализованного деления исследуемой территории на типы элементарных поверхностей (в соответствии с требованиями к сельхозугодьям), параметризуемые сезонной изменчивостью значений вегетационного индекса NDVI и радиационной температуры земной поверхности.

4. Создание геобазы данных, включающей табличные и картографические представления динамики *Iind*, а также частных показателей – вегетационного индекса NDVI и радиационной температуры земной поверхности – за период 2011 – 2016 гг.
5. Разработка методики составления оценочных карт отражающих варианты представления интегрального индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов провинции Хузестан Ирана для элементарных поверхностей, для территорий определенных видов землепользования, для административных районов.

Объектом диссертационного исследования являются методики автоматизированного дешифрирования разновременных многозональных материалов спутникового зондирования с целью геоинформационного картографирования ландшафтов, основанного на использовании интегрального показателя – индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов.

Предметом исследования является территориально-природные образования – элементарные участки земной поверхности (преимущественно являющиеся элементарными морфологическими единицами ландшафтов), единицы административного деления провинции Хузестан исламской республики Иран, а также территории определенных видов землепользования, исследованые показателями сезонной динамики, радиационной температуры земной поверхности, нормализованного вегетационного индекса растительных сообществ, отражающих биопродуктивность растительного компонента природно-территориальных образований и показатели распространенности территорий определенных видов землепользования, рассчитываемые с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

Материалы и методы. Исходными данными для проведения экспериментальных исследований послужили материалы метеостанций провинции Хузестан Ирана (за период 2011 – 2015 гг.); материалы космической съемки со спутника Landsat 7 (2011 – 2012гг.); материалы космической съемки со спутника Landsat 8 (2013 – 2016гг.) и материалы полевых изысканий за

период 2016г. (июль и август). В работе также использовались сведения о климате, водоемах суши, характеристике сельскохозяйственных земель и распространении растительности провинции Хузестан.

При решении задач диссертационного исследования использовались методы дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии. В диссертационной работе также использовались методики обработки и автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования, геоинформационного картографирования ландшафтов, расчета интегрального показателя (индикатора) состояния природно-ландшафтных ресурсов и методики расчета индексов температуры поверхности Земли и NDVI по материалам многоспектральных космических съемок. При проведении вычислительных экспериментов применялись программные комплексы ERDAS IMAGINE, ENVI, ArcGIS и «Признак».

Основные результаты диссертационного исследования, выносимые на защиту:

1. Принципы и методические положения формализованного деления изучаемой территории на типы элементарных поверхностей в соответствии с требованиями к сельхозугодиям и параметризации данных типов поверхностей сезонной изменчивостью вегетационного индекса NDVI и нормированной радиационной температуры земной поверхности, определяемых по данным ДЗЗ из космоса.
2. Методика автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования с целью геоинформационного картографирования ландшафтов, основанного на использовании интегрального показателя – индикатора состояния природно-ландшафтных ресурсов.
3. Обобщенная информационная методика оценочного картографирования ландшафтов, выполняемого с использованием интегрального индикатора природно-ресурсного потенциала элементарных поверхностей (на примере провинции Ирана Хузестан), с представлением *Iind* по административным

районам провинции и по территориям определенных видов землепользования.

4. Основные требования к актуализации и накоплению базы геоданных при мониторинге состояния природно-ландшафтных ресурсов с использованием материалов спутникового зондирования земной поверхности, включая автоматизированное дешифрирование космических изображений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Автором впервые разработана методика автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового термического зондирования Земли, позволяющая вычислять значения индекса состояния природно-ландшафтных ресурсов по данным многозональной космической съёмки в видимом и тепловом диапазонах спектра.

Автором впервые произведено формализованное деление территории провинции Хузестан исламской республики Иран с выделением 25 формализованных типов морфологических образований (операционных единиц), отличающихся по экспозиции и углу падения склона согласно требованиям к сельскохозяйственным угодьям.

На основании сравнительного анализа формализованных типов морфологических образований определена независимость сезонной изменчивости их радиационных температур и значений вегетативного индекса NDVI, фиксируемых на мультиспектральных изображениях Landsat с 16-суточным интервалом космической съемки (с мая по сентябрь).

На основе результатов автоматизированного дешифрирования материалов тепловой спутниковой съемки и цифрового моделирования тепловых полей, впервые составлены авторские оригинальные карты отражающие различные виды землепользования провинции Хузестан исламской республики Иран.

Практическая значимость диссертационной работы.

Провинция Хузестан представлена территориями, отличающимися по ресурсному потенциалу, который может быть охарактеризован интегральной характеристикой, включающей главным образом показатели сельскохозяйственного использования земель. Поэтому, соответствующая оценочная карта интегральных характеристик отражает эффективность эксплуатации природно-ландшафтных ресурсов в целом. Кроме того, другие оценочные карты могут представлять, например, долевое участие в интегральном показателе угодий пастбищного животноводства, пахотных площадей выращивания зерновых агрокультур, фруктовых плантаций и т.д. Такая природно-ресурсная информация позволяет составлять схемы территориального планирования, предусматривающие инженерное обустройство землевладений в границах, как отдельных сельских муниципальных образований, так и в пределах отдельных хозяйствующих субъектов – природно-хозяйственных систем.

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы достигается:

- применением корректных алгоритмов статистической обработки построенных автором температурных и тепловых полей;
- дисперсионным анализом экспериментальных данных, основанном на использовании критерия Шеффе, предусматривающим формулирование критериев правомерности принятия нулевой или альтернативной гипотезы;
- использованием данных инструментальных режимных метеонаблюдений;
- проведением автором компьютерных экспериментов по реализации геоинформационного моделирования.

Апробация работы. Результаты проведенных исследований были доложены на международных научно-практических конференциях: «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения» (Санкт-Петербург, 11–13 Ноября, 2015); «Всероссийская научно-практическая конференция «Совершенствование средств и методов сбора, обработки

геопространственной информации и системы подготовки специалистов в области топогеодезического и навигационного обеспечения» (Санкт-Петербург, 21–22 Апреля, 2016); «студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2017 в г. Севастополе» (Москва, 10–14 Апреля, 2017).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования изложены в **11** публикациях, из которых **8** представлены в рекомендованных ВАК России и/или входят в базы данных SCOPUS и Web of Science журналах и 3 научных докладов опубликованных в трудах международных конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы. Материал работы изложен на 136 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц, 25 рисунков, в списке литературы 171 наименований, из которых 97 научных статей зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «Современная практика геоинформационного анализа по материалам спутникового зондирования ландшафтных ресурсов» рассмотрены основные характеристики орбит искусственных спутников Земли и аппаратуры космических аппаратов, приведены описания программных средств обработки материалов спутниковой съемки, изложены методы расчета оценочных многокритериальных показателей. Описаны современное картографическое представление провинции Хузестан и ее географические особенности, включая климат, растительность, водоемы суши, характеристики сельскохозяйственных земель.

Во второй главе «Общее описание методики обработки и автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования с целью геоинформационного картографирования ландшафтов» представлены методики обработки материалов спутниковой

съемки, включая радиометрическую коррекцию, атмосферную коррекцию, особенности обработки данных, получаемых со спутника Landsat 7. Описано использованное построение мозаики снимков средствами ArcGIS. Указаны математические алгоритмы расчета и построения полей значений NDVI и температурных полей по 10 временным интервалам теплых периодов 2011 – 2016 гг. Выполнено моделирование рельефа земной поверхности в границах провинции Хузестан (рис. 1) в соответствии с типизацией элементарных поверхностей (табл. 1).

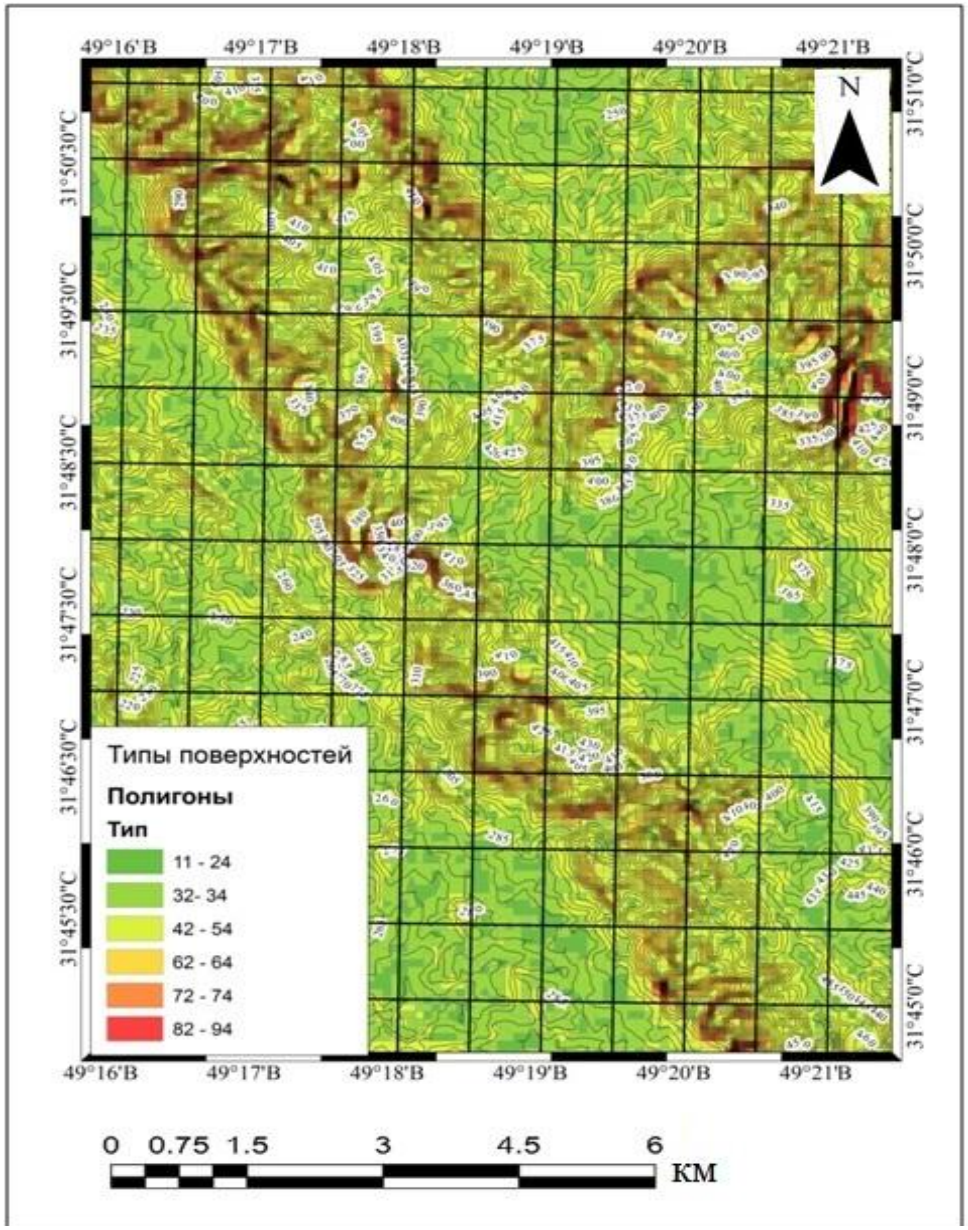

Рисунок 1 – Композиция изолинейной и полигональной моделей рельефа. Фрагмент. (легенду см. в табл.1)

Таблица 1 – Типизация и статистика элементарных поверхностей.

№ типа	Индекс формализованного типа	Уклон	Экспозиция	Количество полигонов	Площадь	
					км^2	%
1	11	Равнина	Равнина	54 685	488,2	0,76
2	22	до 1° или до 1,75%	Север	306 895	7022,7	10,97
3	23		Восток, Запад	322 714	15879,4	24,80
4	24		Юг	324 579	7903,5	12,34
5	32	от 1° до 3° или от 1,75° до 5,24%	Север	125 188	2586,8	4,04
6	33		Восток, Запад	246 845	6080,1	9,50
7	34		Юг	148 557	3474,4	5,43
8	42	от 3°до 6° или от 5,24% до 10,51%	Север	58 489	1170,4	1,83
9	43		Восток, Запад	123 429	2781,8	4,34
10	44		Юг	71 241	1567,6	2,45
11	52	от 6° до 10° или от 10,51% до 17,63%	Север	46 568	870,8	1,36
12	53		Восток, Запад	99 572	2028,2	3,17
13	54		Юг	56 838	1134,4	1,77
14	62	от 10° до 15° или от 17,63% до 26,79%	Север	37 724	725,1	1,13
15	63		Восток, Запад	80 137	1655,5	2,59
16	64		Юг	45 169	904,2	1,41
17	72	от 15° до 20° или от 26,79 0% до 36,40%	Север	28 901	519,0	0,81
18	73		Восток, Запад	62 690	1198,7	1,87
19	74		Юг	34 093	633,3	0,99
20	82	от 20° до 30° или от 36,40% до 57,74%	Север	19 553	749,2	1,17
21	83		Восток, Запад	40 171	1674,2	2,61
22	84		Юг	21 576	879,9	1,37
23	92	выше 30° или выше 57,74%	Север	5 458	500,9	0,78
24	93		Восток, Запад	11 495	1067,3	1,67
25	94		Юг	6 169	535,5	0,84
Сумма					64031,1	100,00

Выполнена и представлена методика автоматизированного дешифрирования разновременных космических данных для картографирования состояния природно-ландшафтных ресурсов *Iind* провинции Хузестан Ирана по показателям сезонной изменчивости температуры земной поверхности ТЗП и

вегетационного индекса NDVI. Функциональная схема методики дешифрирования снимков спутников Landsat 7 и 8 с целью картографирования ландшафтов территории представлена на рис. 2.

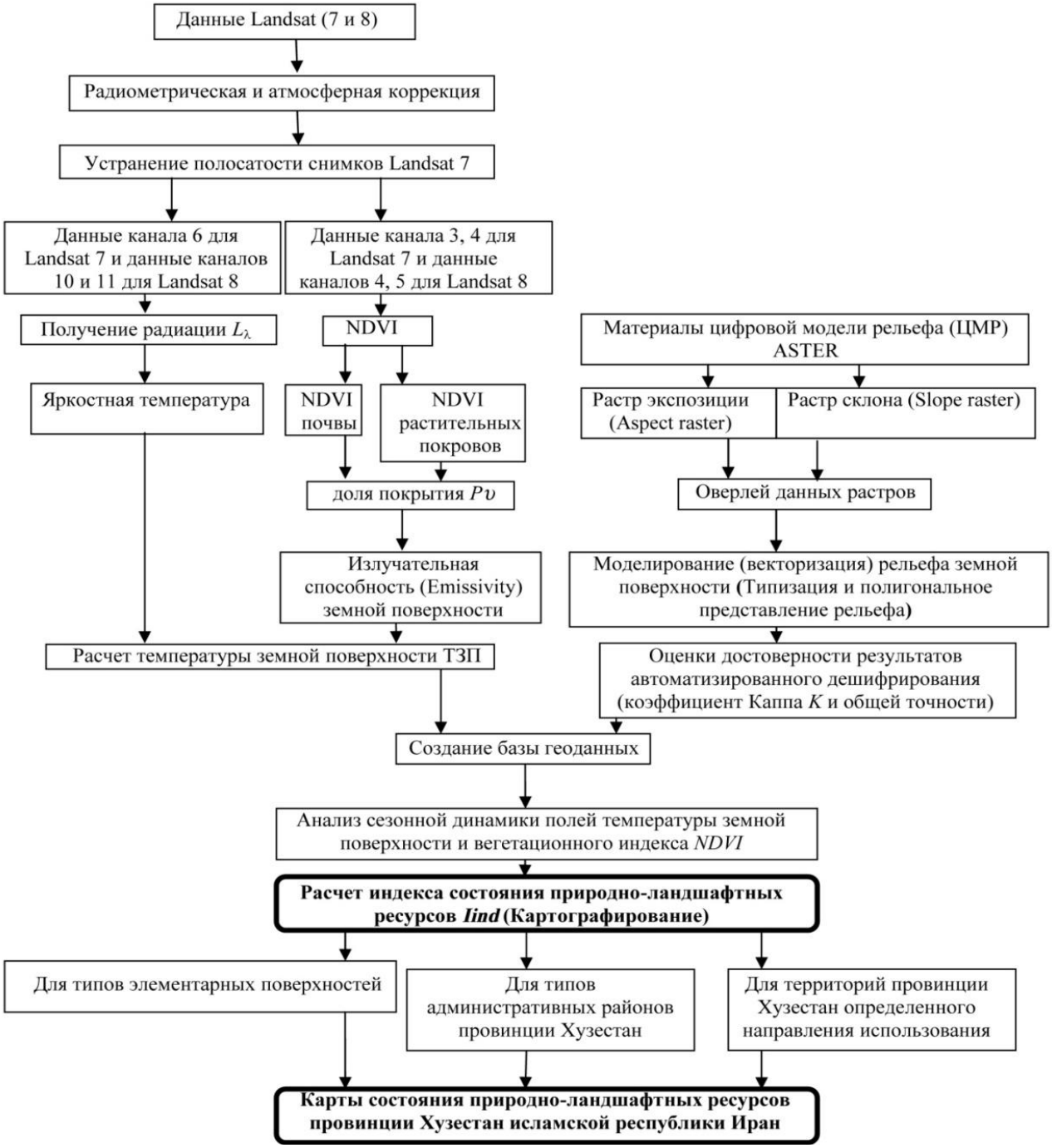

Рисунок 2 – Основные этапы методики обработки данных ДДЗ для целей картографирования природно-ландшафтных ресурсов территории.

Выполнен анализ сезонной динамики полей температуры земной поверхности и вегетационного индекса NDVI и сформулированы выводы о

различии сезонной изменчивости радиационной температуры и показателя NDVI для отдельных типов элементарных поверхностей. (рис. 3 и 4).

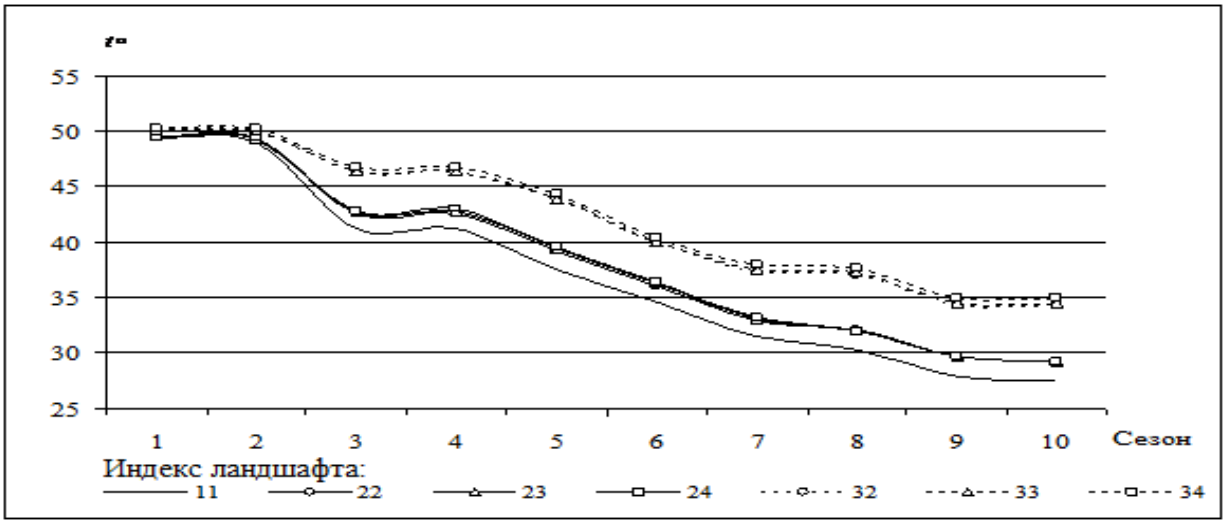

Рисунок 3 – Различия сезонной изменчивости температуры земной поверхности для отдельных типов элементарных поверхностей 11 – 34 в 2011г.

Обращает на себя внимание тот факт, что элементарные поверхности различных углов падения четко разделяются как по температуре, так и по значению вегетационного индекса. Оценка согласованности изменений температуры земной поверхности ТЗП и индекса NDVI от сезона к сезону показала, что коэффициент линейной корреляции между частными показателями интегрального индикатора природно-ландшафтных ресурсов (ТЗП и NDVI) равен -0,66, что указывает на противофазность данных процессов.

Приведены результаты полевых изысканий, выполненных в июле и августе 2016 г., с целью верификации построения полей радиационной температуры по 94 пробным площадкам с фиксацией даты наблюдений, азимута фотографирования (цифровым фотоаппаратом SONY DSC-W830), географической широты и долготы, (портативным GPS устройством), характера поверхности и вида землепользования, ТЗП, измеренной радиометром SMT160 и ТЗП, полученной по данным со спутника Landsat 8. Коэффициент парной корреляции *r* между полуденными температурами, полученными радиометром SMT160 и аппаратурой спутника Landsat 8 равен 0,997, ошибка *m* вычисления *r*

составляет 0,066, отношение *r*/*m* равно 15,129, что свидетельствует о практически полной корреляции двух рядов исследуемых данных.

Дополнительно выполнен сравнительный анализ температуры участков горизонтальных поверхностей, полученной по спутниковым данным и температуры приземной атмосферы, измеренной на этих же участках земной поверхности, полученных по данным режимных метеостанций для 10 временных интервалов 2011 – 2015 гг. Коэффициент парной корреляции для этих рядов данных составил значение практически равное 1, что свидетельствует о корректности данного способа верификации построения температурных полей.

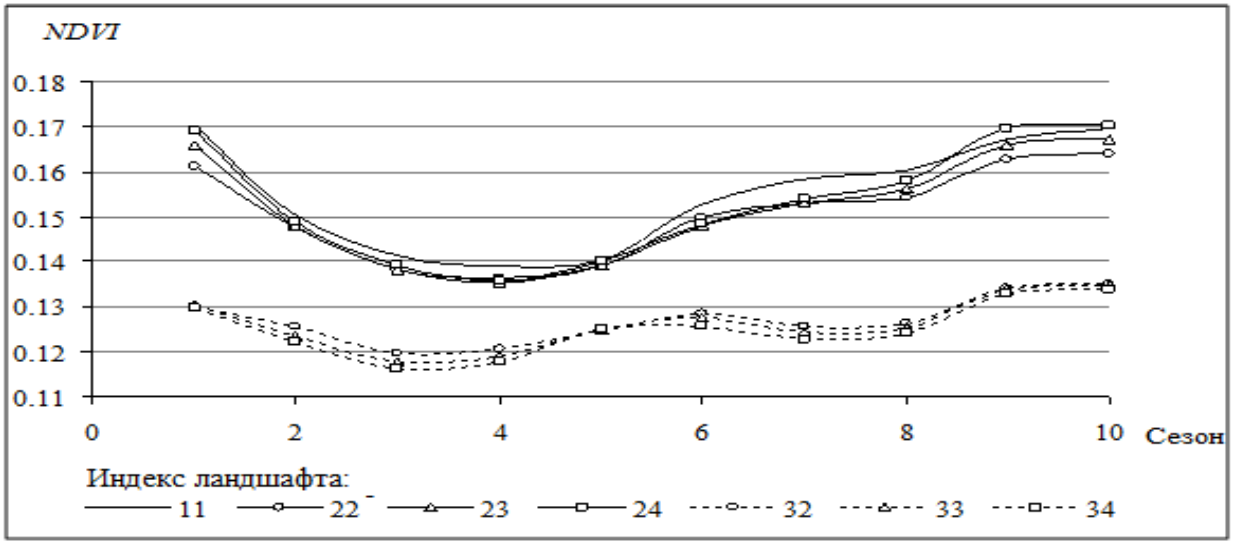

Рисунок 4 – Различия сезонной изменчивости NDVI в пределах типов элементарных поверхностей 11 – 34 в 2011г.

В третьей главе «Составление оценочных карт состояния природно-ландшафтных ресурсов по данным космических съёмок», представлены единицы различного географического деления территории провинции Хузестан, изложена методика создания слоев картографической основы и элементов частных показателей температуры земной поверхности ТЗП и NDVI для оценки состояния сельскохозяйственных угодий. Картографическая основа включает слой растровых копий топографических карт, слой космического цветного фотоизображения, предназначенный для обновления результатов топографического картографирования и слои моделирования рельефа.

Слои специального содержания отражены картографическими представлениями *Iind* для элементарных поверхностей, для административных районов провинции Хузестан и для территорий определенных видов землепользования. Соответствующие результаты многокритериального оценивания сопровождены математическими алгоритмами и иллюстрированы, созданными автором картами (рис. 5, 6, 7, 8).

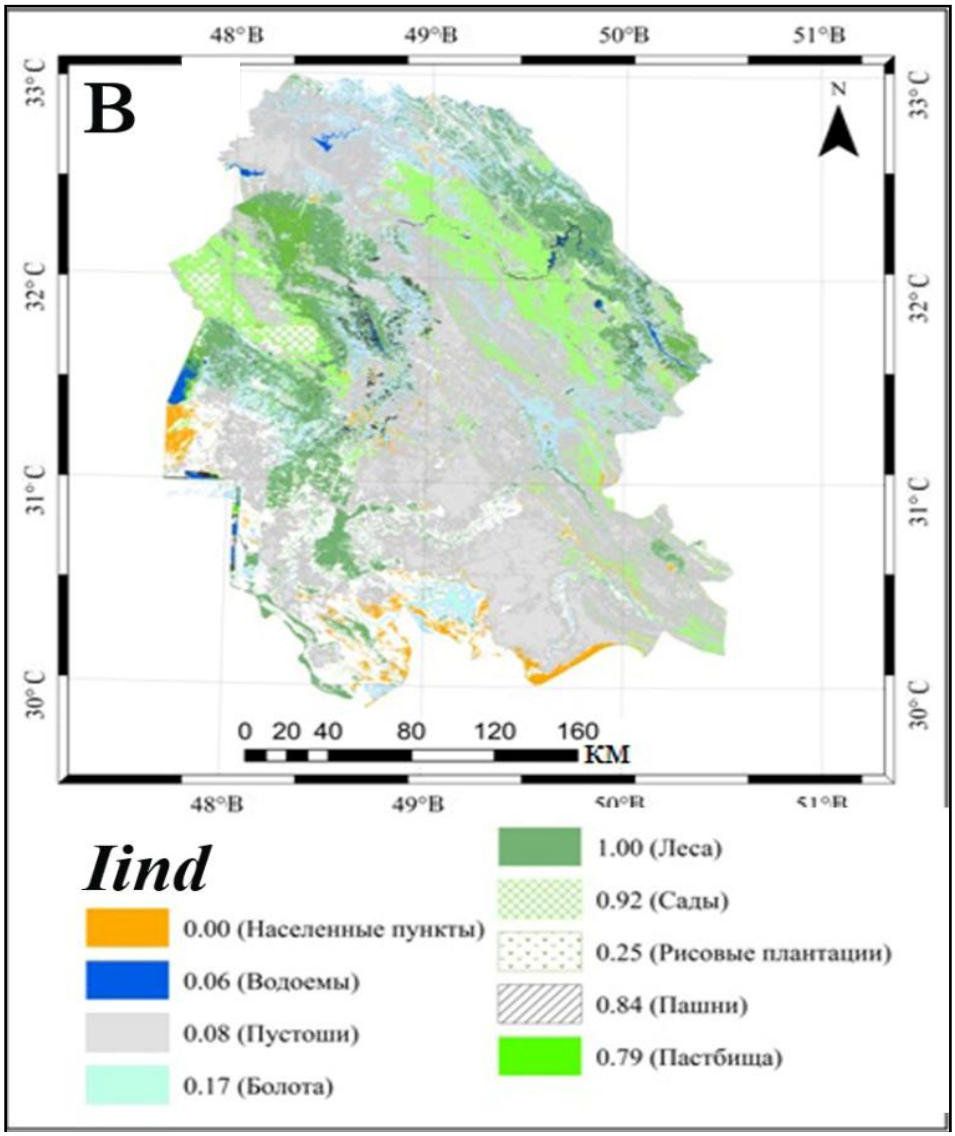

Рисунок 5 – Карта *Iind* территорий провинции Хузестан определенных видов землепользования.

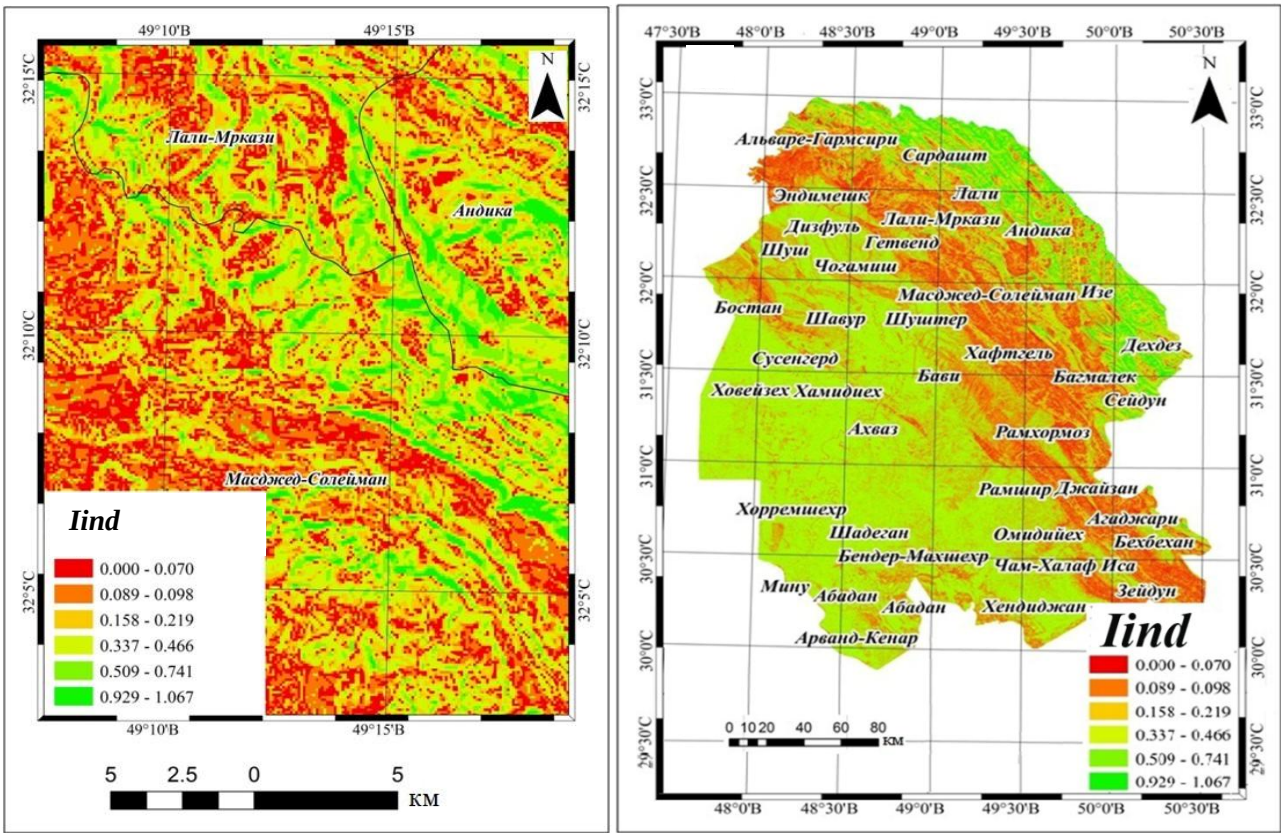

Рисунок 6 – Карты *Iind* типов элементарных поверхностей.

Данные слои строятся с использованием стандартной функции ArcGIS ArcToolbox → Инструменты Spetial Analyst → Зональные → Зональная статистика в таблицу. Одним из критериев качества материалов спутникового зондирования является корректный учет облачности. В настоящей работе предусмотрено оконтуривание облаков и вырезание таких полигонов из растра. Таким образом, при наличии облачности, функция «Зональная статистика в таблицу» осуществляется для территории, свободной от облаков, а критерием качества полученных данных становится представительность типов элементарных участков земной поверхности, отраженных в соответствующей Excel-таблице.

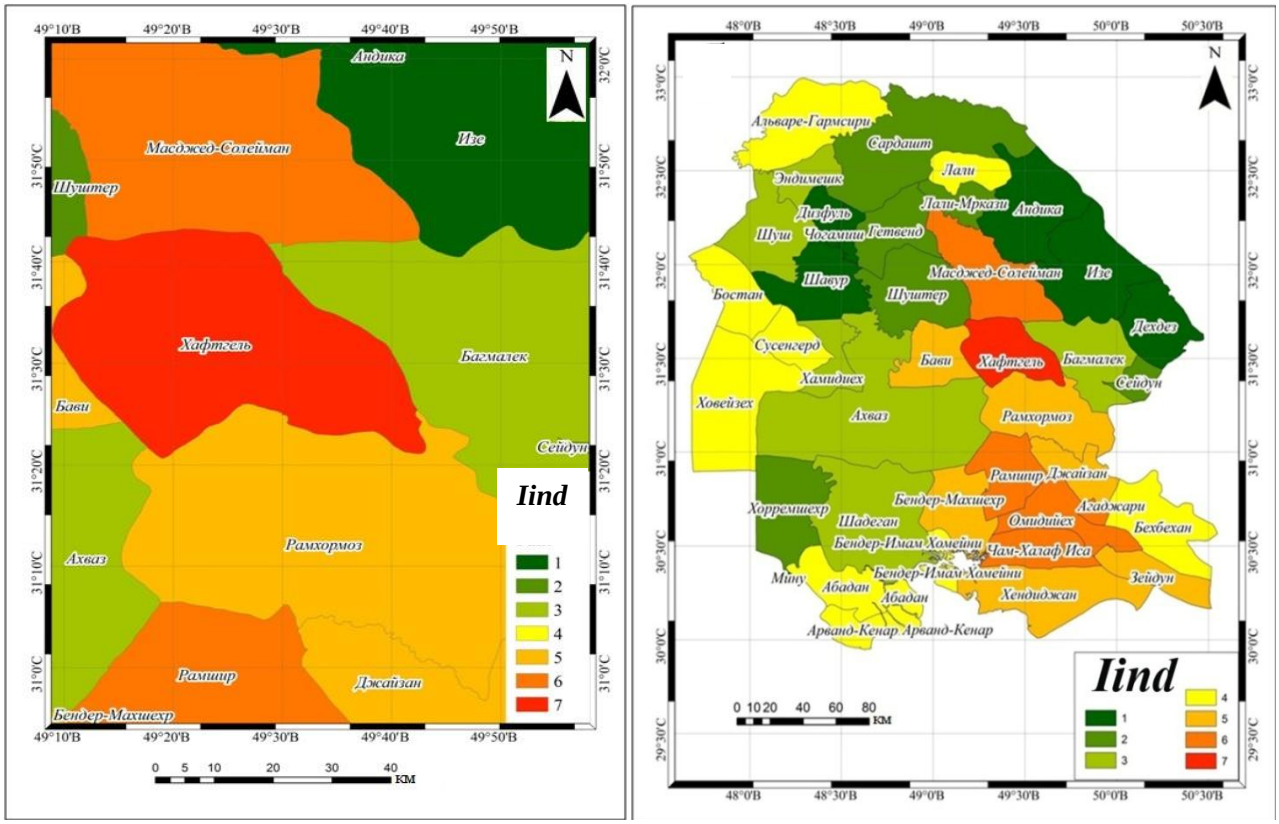

Рисунок 7 – Карты *Iind* административных районов провинции Хузестан.

В основу оценочного картографирования ландшафтов положен многовариантный расчет интегрального показателя и его представление некоторой средневзвешенной балльной величиной в программе «Признак». Для осуществления вычислительных процедур в программе «Признак» задается список объектов картографирования и «дерево» признаков, по которым производится оценка обозначенных объектов. В данном случае признаками послужили ТЗП и NDVI. Средневзвешенная величина интегрального индекса состояния природно-ландшафтных ресурсов вычислена с весовыми коэффициентами (коэффициентами значимости) для десяти значений нормированной температуры земной поверхности и для десяти значений NDVI (см. табл. 2).

Таблица 2 – Сезонные весовые коэффициенты при определении *Iind*.

Весовые коэффициенты определения сезонных температур земной поверхности C_{mi}										
C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	C_{m4}	C_{m5}	C_{m6}	C_{m7}	C_{m8}	C_{m9}	C_{m10}	$\sum$
0,073	0,065	0,058	0,051	0,044	0,036	0,029	0,022	0,015	0,007	0,400
Весовые коэффициенты определения сезонных *NDVI* C_{nj}										
C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	C_{n4}	C_{n5}	C_{n6}	C_{n7}	C_{n8}	C_{n9}	C_{n10}	$\sum$
0,011	0,022	0,033	0,044	0,055	0,065	0,076	0,087	0,098	0,109	0,600

При расчетах *Iind* измеренные спутниковой аппаратурой радиационные температуры нормировались по специальной функции. Температуры до +5°С и выше +55°С обнулялись, как экстремальные. Температуры от +18°С до +25°С приравнивались к 1, как оптимальные. В диапазоне исходных значений ТЗП от +5°С до +18°С нормированная величина увеличивается от 0 до 1 по возрастающему кубическому сплайну, в диапазоне исходных значений ТЗП от +25°С до +55°С нормированная величина уменьшается от 1 до 0 по убывающему кубическому сплайну. Расчеты выполнены по сценариям, соответствующим 2011 – 2016 гг. Пример результатов для элементарных поверхностей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Типы элементарных поверхностей, ранжированных по интегральному индикатору состояния природно-ландшафтных ресурсов.

Уровень *Iind*	Номер типа	*Iind*	Тип	Уровень *Iind*	Номер типа	*Iind*	Тип
I	23	1,067	92	IV	16	0,219	64
	20	0,946	82		11	0,198	52
	24	0,929	93		12	0,158	53
II	21	0,741	83	V	5	0,098	32
	17	0,660	72		13	0,094	54
	25	0,588	94		6	0,089	33
	18	0,529	73	VI	7	0,070	34
	22	0,509	84		8	0,050	42
III	1	0,466	11		9	0,024	43
	14	0,418	62		10	0,000	44
	4	0,404	24				
	3	0,398	23				
	2	0,392	22				
	19	0,353	74				
	15	0,337	63				

В отличие от типов элементарных поверхностей (преимущественно элементарных морфологических единиц ландшафтов), формализовано выделяемых по диапазонам значений экспозиции и угла падения склона, и в отличие от административных единиц провинции Хузестан, выделяемых по картографическим материалам, имеющим законодательное обоснование границ, территории определенных видов землепользования природно-ландшафтных ресурсов определяются в результате автоматизированного

дешифрирования, с помощью задания следующих характеристик эталонам (краткие и развернутые):

1. Населенные пункты (селитебные территории и промышленные зоны);
2. Водоемы (реки, озера, водохранилища);
3. Пустоши (пустынные равнинные и склоновые поверхности, покрытие песками, супесями, суглинками с щебнистыми и крупнокаменистыми включениями, а также такыры, солонцы и солончаки);
4. Болота;
5. Леса (лесные массивы, сформированные естественным образом);
6. Сады (пальмовые финиковые плантации, виноградники и сады цитрусовые, черешневые, персиковые, фисташковые, яблоневые, грушевые и др.);
7. Рисовые плантации;
8. Пашни (земли культивирования пропашных агрокультур);
9. Пастбища (луговые растительные сообщества разнотравные, травянокустарничковые растительные сообщества с ринами кустарниковых видов).

Далее для выделенных, таким образом, территорий произведены расчеты и выполнено картографическое представление интегральной характеристики *Iind*.

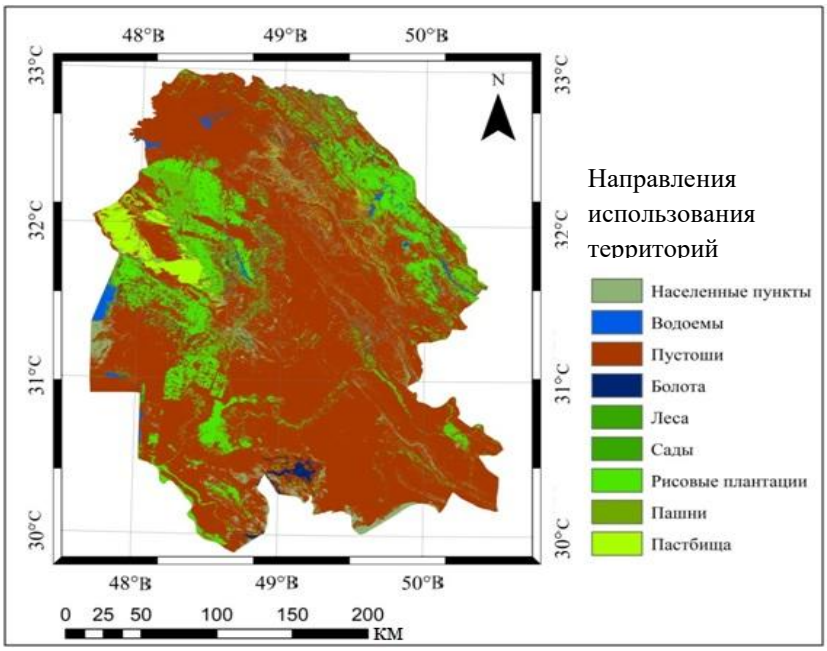

Рисунок 8 – Классификация территорий определенных видов землепользования провинции Хузестан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационной работы выполнены теоретическое обоснование и практическая реализация методики оценочного картографирования состояния природно-ландшафтных ресурсов по данным спутниковой съемки радиационной полуденной температуры земной поверхности и пространственного распределения значений вегетационного индекса NDVI.

Предложены методика обработки данных спутникового зондирования с целью вычисления значений индекса *Iind*, позволяющего выполнить процедуры параметризации типов элементарных поверхностей с оценкой их представительности. Приведены примеры созданных автором слоев картографической основы и слоев специального содержания оценочных карт.

Основные методические положения предложенного оценочного картографирования заключаются:

– в формализованном делении территории картографирования на типы элементарных поверхностей, соответствующие требованиям сельхозугодий, параметризуемые сезонной изменчивостью значений вегетационного индекса NDVI и полуденной температуры земной поверхности ТЗП;

– в расчете интегрального индекса состояния природно-ландшафтных ресурсов и решении классификационной задачи выделенных элементарных поверхностей;

– в расчете интегрального индекса состояния природно-ландшафтных ресурсов и решении классификационной задачи административных районов провинции Хузестан;

– в расчете интегрального индекса состояния природно-ландшафтных ресурсов и решении классификационной задачи территорий различных видов землепользования.

Основные выводы по решению задач создания базы метеоданных и производства полевых изысканий в целях проверки репрезентативности обработки результатов космического зондирования земной поверхности:

– коэффициент парной корреляции *r* между полуденными температурами, полученными радиометром SMT160 и аппаратурой спутника Landsat 8 равен 0,997, ошибка *m* вычисления *r* составляет 0,066, отношение *r*/*m* равно 15,129, что свидетельствует о практически полном совпадении двух рядов данных.
– коэффициент парной корреляции между полуденными температурами земной поверхности, полученными на метеостанциях и по спутниковой съемке аппаратурой космических аппаратов Landsat 7 и 8 практически равен 1, что свидетельствует о достоверности определения этого показателя природно-территориальных комплексов по данным дистанционного зондирования.

Основные результаты исследования, которые могут быть использованы при решении задач организации и картографического сопровождения спутникового мониторинга контроля качества природопользования:
– методика автоматизированного дешифрирования разновременных материалов спутникового зондирования природно-ландшафтных ресурсов в среде ГИС, для геоинформационное картографирование ландшафтов.
– методика формализованного деления исследуемой территории на типы элементарных поверхностей (в соответствии с требованиями к сельхозугодьям), для параметризации данных типов сезонной изменчивостью значений вегетационного индекса NDVI и радиационной температуры земной поверхности.
– накопление временных рядов индексов NDVI и ТЗП по статистически представительному количеству сезонов теплого периода года, что проверяется расчетами в программе «Признак»;
– представление территории функциональными типами, отличающимися по ресурсному потенциалу – интегральной характеристикой, включающей главным образом показатели сельскохозяйственного использования земель, и представление соответствующей оценочной карты интегральных характеристик, которые отражают эффективность эксплуатации природно-ландшафтных ресурсов в целом. Такая природно-ресурсная информация позволяет составлять схемы территориального планирования, предусматривающие инженерное обустройство землевладений в границах, как отдельных сельских муниципальных образований, так и в пределах отдельных хозяйствующих субъектов – природно-хозяйственных систем.

Кроме того, другие оценочные карты могут представлять, например, долевое участие в интегральном показателе угодий пастбищного животноводства, пахотных площадей выращивания зерновых агрокультур, фруктовых плантаций и т.д.

– ГИС сопровождение мониторинга природопользования выражается в создании базы геоданных, отражающей сезонную динамику NDVI и ТЗП, а также позволяющей рассчитывать интегральные показатели ресурсного потенциала и решать различные классификационные задачи.

Список основныех публикаций автора

Статьи по теме диссертационного исследования в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Зареи Саджад. ГИС-Картографирование на основе моделирования микроклимата и грунтового стока в уловиях области Йезд республики Иран // Вестник СПБГУ. – 2016. – сер.7. – №1. – С. 116-124.
2. Зареи Саджад. Картографирование состояния природно-ландшафтных ресурсов провинции Хузестан Ирана с использованием автоматизированного дешифрирования разновременных космических данных / Малинников В.А. // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2017. – № 6. – С. 82-90.
3. Зареи Саджад. Опыт оценочного геоинформационного картографирования состояния ландшафтных ресурсов по материалам спутникового зондирования на примере провинции Ирана Хузестан / Малинников В.А., Щербаков В. М., Насири А.М. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 7. – С. 119-127.
4. Зареи Саджад. Применение алгоритма расщеплённого окна для расчёта температуры земной поверхности на основе материалов тепловой космической съёмки / Насири Абузар, Щербаков В.М., Широкова В.А. // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 6. – С. 77-82.
5. Зареи Саджад. Природно-ресурсное районирование провинции Хузестан Ирана с применением термического дистанционного зондирования Земли и геоинформационного картографирования / Щербаков В. М. // Современные

проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 2. – С. 110-121.

6. Khosravi H. Assessment the Effect of Drought on Vegetation in Desert Area using Landsat Data / Haydari E., Shekoohizadegan S., Zareie S. // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. – 2017 – 20 – S3–S12.

7. Zareie Sajad. Study of the relationships between urban land use mosaic and land surface temperature: case study of Yazd city / Panidi E. A. // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. – Bulgaria. – 2016. – Conference Proceedings. – ISBN 978-619-7105-59-9. – ISSN 1314-2704. – June 28 - July 6. – Book 2. – Vol. 2. – p. 1003-1010. DOI: 10.5593/SGEM2016/B22/S10.128.

8. Zareie Sajad. Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran / Khosravi Hassan, Nasiri Abouzar and Dastorani Mostafa. // Solid Earth. – 2016. – 7. – p. 1551-1564.

Статьи в других научных изданиях:

9. Воюц В. С. Оценка сезонной изменчивости инсоляции, сумм активных температур и индекса NDVI при агроклиматическом картографировании Выборгского района Ленинградской области / Зареи Саджад, Сюткин В. В., Щербаков В. М. // Международная научно-практическая конференция «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения.». – Санкт-Петербург. – 2015. – 11-13 ноября. – С. 213-216.

10. Зареи Саджад. Геоинформационное картографирование ресурсного потенциала природно-территориальных комплексов провинции Ирана Хузестан по показателям сезонной изменчивости радиационной температуры земной поверхности и NDVI // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2017 в г. Севастополе». – Секция "География". – Москва. – Россия. – 2017. – 10 - 14 Апр. – https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2017/Sevastopol/data/10781/uid151998_report.pdf

11. Zareie Sajad. Geoinformatics and cartographic analysis, based on modeling and mapping of the microclimate and groundwater flow / Khosravi Hassan, Abolhasani Azam. // Desert. – 2016. – 21-1. – p. 14-23. – Online at http://desert.ut.ac.ir»

Подписано в печать 23.04.2018. Гарнитура Таймс
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,5 Тираж 80 экз. Заказ № Цена договорная.
Отпечатано в УПП «Репрография» МИИГАиК
105064, Москва, Гороховский пер. 4