

## ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ<sup>1</sup>



### Пересмотренный и исправленный вариант Финального отчета

Данный отчет консультанта не обязательно отражает мнение АБР или заинтересованного правительства, поэтому, как АБР, так и правительство не отвечают за его содержание.

---

<sup>1</sup> Проект отчета подготовлен консультантом К. Й. Джи. Январь 2008 г..

## **Краткое резюме**

Отчет содержит семь (7) разделов. В Разделе I дается краткое описание проблемы деградации земельных ресурсов в Центральной Азии. Затем, в Разделе II, представлен обзор индикаторов деградации почвы и основных методов, используемых для оценки деградации земель. Раздел III – это обзор международного опыта по оценке деградации почвы. Раздел IV дает широкий обзор литературы по применению технологий дистанционного сбора данных для оценки и мониторинга деградации почвы. Общий подход, который будет применяться для отбора исходной информации, описывается в Разделе V. Раздел VI представляет методологии, разработанные для отбора исходной информации с помощью дистанционных методов измерения; стоимость и выгоды различных потенциальных методов сбора исходной информации анализируются в Разделе VII. В конце отчета приводятся рекомендации по использованию технологий дистанционного измерения для Центральноазиатских стран.

## СОДЕРЖАНИЕ

I. ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....	8
A. Деградация земельных ресурсов .....	8
B. Геополитика и природные ресурсы Центральной Азии.....	9
C. Деградация земель– текущая ситуация в Центральной Азии .....	10
D. Международные и национальные усилия .....	10
II. ИНДИКАТОРЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЛИ .....	11
A. LADA .....	11
B. Индикаторы деградации земли.....	11
1. Краткий обзор .....	11
2. Структура индикаторов DPSIR.....	12
3. Биофизические индикаторы.....	13
4. Социально-экономические индикаторы .....	14
5. Институциональные индикаторы .....	14
6. DIMSE .....	14
7. Биофизические индикаторы, полученные в результате дистанционного сбора данных .....	15
C. Методы оценки деградации земли .....	15
1. Краткий обзор.....	15
2. Процедуры оценки деградации земли.....	16
3. Основные методы оценки деградации земли .....	18
4. Методы оценки деградации земли, разработанные ФАО LADA .....	23
<b>III. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ</b>	<b>23</b>
A.. Оценка деградации земли .....	23
B. Глобальная оценка .....	24
1. GLASOD .....	24
2. ASOD .....	24
3. SOVEUR .....	25
4. SOTER .....	27
5. GLC2000 .....	27
C. Европейский опыт.....	27
1. Проект MEDALUS.....	27
2. DeSurvey .....	28
D. Проекты ФАО LADA в пилотных странах.....	29
1. Китай.....	29
2. Аргентина.....	31
3. Сенегал .....	32
4. Подход LADA-WOCAT в Сомали .....	33
5. GLADA в Кении.....	35
6. GLADA в Северном Китае.....	40
7. Подход FAL AEZ/ГИС .....	41
E. Опыт Азиатского региона .....	42
1. Карта опустынивания в засушливых районах Азии .....	42
2. Тридцати-секундный набор данных по земному покрову .....	43
3. Карта подверженности опустыниванию в Азии.....	43
4. Монголия.....	44
F. Центральная Азия.....	45
1. Карта интенсивности деградации земель в Туркменистане.....	45
2. Узбекистан.....	45
3. Казахстан .....	47
G. Заключение .....	51
<b>IV. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВЫ .....</b>	<b>52</b>
A. Введение .....	52

1. Дистанционные измерения - Определение.....	52
2. Краткая история .....	53
3. Системы дистанционных датчиков .....	53
4. Индексы растительности .....	54
5. Применение дистанционных методов для деградации почвы.....	55
6. Некоторые вызовы применения дистанционных измерений в засушливых районах .....	56
<b>В. Изменение землепользования и земельного покрова .....</b>	<b>57</b>
1. Обзор картирования землепользования/земельного покрова.....	57
2. Существующие системы классификации земельного покрова и методы картирования земельного покрова .....	58
3. Опыт применения главных классификаций земельного покрова .....	60
4. Применение земельного покрова в оценках деградации почвы.....	61
<b>С. Определение горячих точек и ярких пятен.....</b>	<b>63</b>
<b>D. Картирование вторичного засоления на орошаемых пахотных землях .....</b>	<b>65</b>
<b>E. Картирование деградации пастбищ.....</b>	<b>68</b>
1. Изображения низкого разрешения .....	68
2. Изображения высокого разрешения.....	71
<b>F. Эрозия, вызванная ветром .....</b>	<b>74</b>
<b>G. Эрозия, вызванная действием воды .....</b>	<b>76</b>
1. Обзор.....	76
2. Подход ЕС CORINE .....	77
3. Пилотное исследование ФАО в Бразилии .....	77
4. Подход на основе оценки плодородия почвы ICRAF .....	78
5. Моделирование риска эрозии почвы в ГИС.....	79
<b>V. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗИСНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ. ....</b>	<b>80</b>
А. Описание общего подхода, который будет использоваться для установления базисной или исходной линии .....	80
1. Исходная информация.....	80
2. Общие цели и методологии .....	81
3. Выбор индикаторов .....	81
4. Пространственный масштаб .....	82
5. Получение данных - полевой и дистанционный сбор данных .....	83
6. Хранение данных.....	84
7. Анализ данных.....	86
8. Отчетность.....	87
<b>VI. УСТАНОВЛЕНИЕ ИСХОДНОЙ ИЛИ БАЗИСНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....</b>	<b>87</b>
А. Базисная информация.....	87
1. Обзор.....	87
2. Критерии для выбора базисных индикаторов .....	88
3. Методологии и подготовка к базисной информации .....	89
<b>В. Классификация земельного покрова .....</b>	<b>89</b>
1. Создание Системы классификации земельного покрова Центральной Азии – CALCCS.....	89
2. Методология интерпретации дистанционных изображений .....	90
3. Результаты и обновление информации.....	92
<b>С. Картирование деградации орошаемых пахотных земель .....</b>	<b>92</b>
1. Задачи .....	92
2. Индикаторы.....	92
3. Методология .....	95
4. Результаты.....	99
<b>D. Картирование деградации пастбищ .....</b>	<b>99</b>
1. Общая методология.....	99
2. Индикаторы.....	99
3. Данные .....	100

4. Методология .....	100
5. Сбор наземных данных .....	104
6. Анализ тенденций деградации .....	104
E. Картирование эрозии, вызванной действием воды .....	105
1. Общая цель .....	105
2. Индикаторы .....	106
3. Требования к данным .....	107
4. Методология .....	91
5. Оценка .....	107
6. Результат .....	109
F. Эрозия, вызванная ветром .....	109
1. Общая цель .....	109
2. Индикаторы .....	109
3. Данные .....	110
4. Методология .....	110
5. Оценка .....	110
G. Базис для уровня страны .....	111
1. Цель .....	111
2. Общие методологии .....	111
3. Индикаторы .....	112
4. Земельный покров .....	112
5. Общая первичная продуктивность (GPP) и чистая первичная продуктивность (NPP) .....	114
6. Профиль индекса растительности .....	115
7. Риски водяной эрозии .....	117
8. Засоление и заболачивание .....	117
VII. ЗАТРАТЫ И ВЫГОДЫ .....	117
A. Стоимость и преимущества различных методов сбора информации по деградации земли и мониторинга .....	117
B. Стоимость различных вариантов приобретения изображений дистанционных измерений для всех пяти стран ца .....	120
1. Бесплатные данные .....	120
2. Изображения высокого разрешения .....	123
VIII. РЕКОМЕНДАЦИИ .....	127
A. Общие рекомендации .....	127
1. Общая методология .....	127
2. Подход ФАО LADA .....	128
3. Пилотные исследования .....	128
4. Базисные индикаторы .....	128
5. Пять основных наборов индикаторов .....	129
6. Дистанционные измерения как главный компонент ИСУУЗР .....	131
7. Получение данных с помощью дистанционных измерений .....	132
ССЫЛКИ .....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ I ФАО LADA Биофизические индикаторы на глобальном, национальном и региональном уровнях, уровне водораздела/села и на уровне фермерских хозяйств .....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ II Система условных обозначений земельного покрова CORINE .....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ III Расценки на изображения, полученные с помощью дистанционных Измерений .....	151
III.I. Расценки на изображения с разрешением от низкого до умеренного .....	151
III.II Расценки на изображения высокого разрешения .....	152

**СПИСОК ТАБЛИЦ**

Таблица 1. Список индикаторов, используемых в Проекте ЕС MEDULAS .....	15
Таблица 2. Индикаторы и методы, которые использовались в пилотном проекте в Китае .....	30
Таблица 3. Индикаторы деградированных орошаемых земель .....	93
Таблица 4. Индикаторы деградации пастбищ .....	100
Таблица 5. Индикаторы водяной эрозии .....	106
Таблица 6. Средний коэффициент С .....	108
Таблица 7. Коэффициент контроля эрозии Р .....	108
Таблица 8. Индикаторы ветровой эрозии .....	109
Таблица 9. Базисные индикаторы странового уровня .....	112
Таблица 10. Продукты растительности MODIS .....	116
Таблица 11. Характеристики некоторых изображений низкого разрешения .....	121
Таблица 12. Источники и цены на изображения высокого разрешения .....	124
Таблица 13. Характеристики изображений высокого разрешения .....	126

## СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Зависимая от масштаба поддержка решения об индикаторах, методах, процедурах, и инструментах, соответствующих выбранному масштабу. ....	21
Рисунок 2. Оценка производства биомассы в 2000 г. На северо-востоке Сенегала .....	32
Рисунок 3. Объединенная карта деградации почвы в исследуемой области в Сомали .....	35
Рисунок 4. Территория «горячих точек», выраженная в процентном изменении .....	40
Рисунок 5. Профиль NDVI, исследование GLADA в Северном Китае .....	41
Рисунок 6. Карта опустынивания засушливых районов Азии .....	42
Рисунок 7. Уязвимость к опустыниванию в Центральной и Восточной Азии .....	44
Рисунок 8. Заброшенные земли в Джизакской степи .....	46
Рисунок 9. Степень засоленности почвы в Узбекистане .....	47
Рисунок 10. Кривые спектральной отражательной способности для почвы, воды и растительности .....	53
Рисунок 11. Индексы растительности, полученные с помощью дистанционных измерений .....	55
Рисунок 12. Логическая структура CLC .....	63
Рисунок 13. Изображение контуров пастбища во Франции с помощью изображения SPOT .....	63
Рисунок 14. Картирование засоленности в Узбекистане .....	67
Рисунок 15. Изображения NOAA/AVHRR, полученные с 1981 по 2001 г. (август) .....	69
Рисунок 16. Монгольские пастухи, определяющие различные ресурсы с помощью Landsat ETM + планы в национальном парке Гоби Гурван Сайхан .....	73
Рисунок 17. Картирование градиента выпаса .....	73
Рисунок 18. Картирование ветровой эрозии .....	75
Рисунок 19. . Ложноцветная композиция Landsat ETM+ (30м) над западом Уа Чардарой по границе Узбекистана и Казахстана .....	88
Рисунок 20. . Изменение растительного покрова в штате Мато Гроссо, Бразилия .....	114
Рисунок 21. Продукт данных MOD17A2, полученный 11 февраля 2007 г. в мозаике h12v12 над Чили и Аргентиной .....	115
Рисунок 22. Картирование земельного покрова: затраты и выгоды различных методов .....	120
Рисунок 23. Комбинированные 32-х дневные данные MODIS по озеру Балхаш, Казахстан .....	122
Рисунок 24. Всемирная система координат Landsat .....	124

## I. ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

### A. Деградация земельных ресурсов

Деградация земли<sup>2</sup>, определяемая как “временное или устойчивое снижение плодородия почвы в результате деятельности человека” (UNEP, 1992) считается глобальной проблемой, связанной с опустыниванием в засушливых, полузасушливых и сухих субвлажных зонах, называемых обычно засушливыми зонами. Деградация почвы, в свою очередь, - это снижение биологической и экономической продуктивности наземных экосистем, включая почвы, растительность, другую флору и фауну, и экологические, биогеохимические и гидрологические процессы, наблюдаемые в этих системах (Reynolds 2001).

Опустынивание – это деградация почвы в засушливых, полузасушливых и сухих/субвлажных областях, возникающая под действием различных факторов, включая изменения климата и воздействие человека” (UNEP, 1994). Самая распространенная концепция связывает опустынивание не только с изменениями, вызванными климатом, но также и с изменениями, вызванными деятельностью человека (Brahim, 1978, Hellden, 1991). Среди причин деградации, вызванной деятельностью человека, можно привести возделывание неподходящих участков, перевыпас на пастбищах, вырубку леса и неправильные методы ирригации. Интенсификация этих действий привела к потере восстановительной способности в экосистемах засушливых земель (Enne и Zucca, 2000).

По оценкам, 2.6 миллиардов людей страдают от последствий деградации почвы и опустынивания (деградация почвы в засушливых районах) более, чем в ста странах, которая затрагивает более 33 % земной поверхности (Adams и Eswaran, 2000). Приблизительно 73 процента природных пастбищ в засушливых районах в настоящее время подвергаются деградации, плюс 47 процентов малопродуктивной богары и существенный процент орошаемых пахотных угодий. В Африке района Сахары, деградация почвы особенно широко распространена, затрагивая 20-50 % земель и около

---

<sup>2</sup> Деградация почвы - это ‘снижение или разрушение биологического потенциала почвы, которое, в конечном итоге, может привести к условиям, подобным пустыне. Считается, что нужно оценивать состояние почвы как ресурса для людей. UNCOD (1977).

Сокращение или потеря биологической или экономической продуктивности засушливых, полузасушливых и сухих субвлажных областей и комплекса богарных пахотных угодий, орошаемых пахотных земель или природных пастбищ, пастбищных земель, лесов и лесистых местностей как результат землепользования или процесса или комбинации процессов, включая те, которые являются результатом деятельности человека и формы ведения домашнего хозяйства, например: (i) эрозия почвы, вызванная ветром и/или водой; (ii) ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почвы; и (iii) длительная потеря естественного растительного покрова. (Вебсайт UNCCD)

Деградация почвы охватывает все формы ухудшения естественного потенциала почвы, которые затрагивают целостность экосистемы, как с точки зрения сокращения ее устойчивой экологической продуктивности, так и с точки зрения ее природного биологического богатства и поддержания ее способности к восстановлению. GEF (1999).

Почва, которая вследствие естественных процессов или человеческой деятельности больше не в состоянии поддерживать должным образом свою экономическую функцию и/или первоначальную экологическую функцию. ISO (1996).



200 миллионов человек. Деградация почвы также широко распространена и интенсивна в Азии и Латинской Америке, а также в других районах земного шара<sup>3</sup>.

Борьба с опустыниванием составляет главное направление деятельности многих международных организаций. В этой связи ЮНЕП (UNEP) играет основную роль в организации Конференций по Опустыниванию (Конференция Организации Объединенных Наций по Опустыниванию – UNCOD) проводившихся в Найроби в 1977 г., и по Окружающей среде и развитию (Конференция Организации Объединенных Наций по Окружающей среде и Развитию - UNCED), проходившая в Рио-де-Жанейро в 1992 г. На основании указаний и рекомендаций, принятых по итогам Конференции в Рио, Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций в декабре 1992 г. приняла Резолюцию 47/188 по созданию межгосударственного комитета по переговорам (INCD), с целью разработки Конвенцию по борьбе с опустыниванием. Окончательный вариант Конвенции был представлен в июне 1994 г. и вступил в силу в декабре 1996 г.. В настоящее время, Конвенция служит институциональным критерием борьбы с опустыниванием для всех стран, затронутых этой проблемой. Конвенция имеет четыре приложения по региональной реализации, соответственно для Африки, Азии, Латинской Америки/ странам Карибского бассейна и Северного Средиземноморья (Enne и Zucca, 2000).

## **В. Геополитика и природные ресурсы ЦА**

Центрально азиатский регион, включающий Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан, ограничивается широтой приблизительно 35° - 55°, и долготой 45° - 85°, занимая территорию в 3.99 миллионов км<sup>2</sup>. Он включает в себя засушливые, полузасушливые и субвлажные области, которые составляют более 90 % его территории. В результате геологической активности и поднятия в юго-восточной и восточной частях, наблюдавшихся в конце третичного/начале четвертичного периодов, возникли массивные горные системы, которые ограничивают регион на юге и на востоке. (UNCCD, 2003).

Регион характеризуется общностью культурного и исторического развития. Все пять стран получили независимость от бывшего Советского Союза в 1991 году, и с тех пор там происходят огромные экономические и социальные преобразования, начатые после распада Союза Советских Социалистических Республик (СССР). Центрально азиатский регион естественным образом разделен на три бассейна - бассейн Аральского моря, бассейн Каспийского моря и бассейн Балхаша. Бассейн Аральского моря занимает территорию в 1.5 - 2.0 миллиона км<sup>2</sup>, с общим объемом годового стока 120 км<sup>3</sup>. Балхаш занимает 0.5 миллиона км<sup>2</sup>, с объемом годового стока 15 км<sup>3</sup>. Каспийское море – это самое крупное внутриконтинентальное озеро на Земле. Его северное и восточное побережья находятся в Центральной Азии.

Численность населения за последние 50 лет утроилось и в 1999 г. составляла около 55 миллионов. Ожидается, что за последующие 20-35 лет население достигнет 70 миллионов (UNCCD, 2003).

---

<sup>3</sup> Отчет Генерального Секретаря по Главе «Земельные ресурсы» Повестки 21 перед Комиссией по Устойчивому развитию (CSD8, UN, New York 2000), UNCED Agenda21, Rio de Janeiro, 1992 and UNCCD, Paris, 1994.

### **С. Деградация земельных ресурсов – текущая ситуация в Центральной Азии**

По последним оценкам, свыше 50 % орошаемых земель в Центральной Азии - засолены и/или заболочены. С 1970-ых, уровень растворенных солей в Сыр Дарье и Амударье постоянно растет как следствие того, что дренажные воды из схем орошения спускаются обратно в речные системы. При Советах существовала разветвленная дренажная сеть, которая покрывала 5.7 миллионов гектаров. Однако, после независимости, отсутствие инвестиций и неспособность управлять и поддерживать дренажную сеть привели к сокращению охвата и снижению эффективности системы наполовину (Paroda, 2007).

Главной движущей силой изменения практики землепользования в последние 30 лет являются конкурирующие потребности в ресурсах, подстегиваемые приростом населения. По всему региону ощущается давление, лежащее в основе деградации почвы. Это и выбивание пастбищ, истощение почвы и отсутствие соответствующего управления плодородием почвы. Добыча полезных ископаемых, лесозаготовки, монокультуры и чуждые инвазивные виды также повлияли на традиционное землепользование в некоторых странах (UNCCD, 2003).

Согласно UNESCAP (2007), все Центрально азиатские страны страдают или серьезно страдают от засухи и опустынивания. В Казахстане, 66 процентов земель охвачено опустыниванием, а в Туркменистане и Узбекистане эта цифра доходит до 80 процентов. Эрозией затронуты более 88 процентов пахотной земли в Кыргызстане и 97 процентов сельскохозяйственных земель в Таджикистане. При том, что большинство населения этих стран живет в сельских районах, опустынивание и деградация земли тяжело сказываются на их способности выживать. Главной особенностью Центрально азиатского субрегиона является то, что он включает в себя страны с очень сходными картинами исторического, экономического и политического развития в период, предшествующий обретению независимости (1991 г.). С начала 1990-х, во все странах субрегиона наблюдается процесс радикальных социально-экономических реформ, включая демократизацию, децентрализацию, приватизацию, улучшение доступа к информации для рядовых граждан, и земельные реформы, которые прямое или косвенно связаны с охраной окружающей среды, включая борьбу с опустыниванием. Период преобразований в большинстве стран сопровождался серьезными экономическими трудностями, которые, в некоторых случаях, были усилены политическими беспорядками.

Более подробную информацию по опустыниванию в Центральной Азии можно найти в работе Saigal (2003a, 2003b).

### **D. Международные и национальные усилия**

UNCCD выразила глубокую озабоченность в связи с воздействием опустынивания и засухи в Центральной Азии, и инициировала в 2003 году Субрегиональную Программу Действий для Центрально азиатских стран по Борьбе с опустыниванием (SRAP/CD) в контексте UNCCD. Эта декларация была подписана министрами этих 5 стран. Главные цели SRAP/CD, среди прочих, состоят в координировании субрегиональных интересов, совместном использовании трансграничных ресурсов, усилении информационного обмена и мобилизации доноров в реализацию UNCCD в субрегионе. Все 5 стран подготовили Национальные Программы Действий. Также были определены приоритетные области субрегионального сотрудничества, включая среди прочего, создание системы раннего оповещения о засухе с тем, чтобы контролировать и оценивать процесс

опустынивания, улучшения водопользования, управления пастбищами и сохранения биоразнообразия.

Центральноазиатские страны приняли меры, способствующие эффективной реализации Конвенции. В настоящее время предпринимаются шаги, направленные на запуск национальных проектов по борьбе с опустыниванием в рамках Инициативы стран Центральной Азии по Управлению Земельными Ресурсами (ИСЦАУЗР). Все страны Азиатско-Тихоокеанского региона сталкиваются со сложными проблемами устойчивого использования ограниченных запасов воды и предотвращения деградации орошаемых земель. Избыточное орошение, вкуче с ирригационными системами, не отвечающими необходимым требованиям, и повторное использование дренажных вод для ирригации в районах с недостаточными водными ресурсами привели к заболачиванию и засолению. Повышение эффективности использования минимальных запасов воды исследуется в ряде Центральноазиатских стран через использование жесткой (солонатовой) воды из водоносных слоев и очищенных сточных вод, особенно для производства кормов (UNESCAP, 2007).

## **II. ИНДИКАТОРЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЛИ**

### **A. LADA**

Проект по Оценке деградации земель в засушливых районах (LADA) финансируется Глобальным Экологическим Фондом (GEF), совместно с ЮНЕП (UNEP) и Глобальным Механизмом (GM), и реализуется Организацией ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (ФАО).

LADA разработана, чтобы ответить на потребность усиления поддержки в борьбе с деградацией земель, как предусмотрено Конвенцией Организации Объединенных Наций по Борьбе с Опустыниванием (UN-CCD). Внутри ФАО за Проект LADA отвечает ключевая команда LADA, которой помогает более широкая рабочая группа LADA ФАО. Программа осуществляется при тесном сотрудничестве с ключевыми институтами в пилотных странах. Она пользуется технической помощью со стороны ряда консультантов, помощников и институтов, а также глубокими знаниями и руководством со стороны Руководящего комитета, в состав которого входят несколько партнеров. Помимо уже упомянутых, сюда входят НПО (Landcare Австралия), технические агентства, такие, как ISRIC, и международные организации, такие, как Европейская Комиссия и ПРООН (Koohafkan и другие, 2003).

LADA призвана помочь в планировании и мелиорации засушливых земель через предоставление более полной информации по деградации земель. В рамках LADA будет собрана новейшая информация по экологии, социальным проблемам, экономике и технике, включая комбинацию традиционных и современных научных знаний, которые будут служить руководством при интегрированном и углубленном планировании и управлении в засушливых землях. LADA разработана в ответ на потребность усилить поддержку при оценке деградации на международном и национальных уровнях. Она также отвечает на потребности программы совместной работы между Конвенцией по биоразнообразию (CBD) и Конвенцией по борьбе с опустыниванием (КБО) на засушливых и субвлажных землях. Она была утверждена в полном объеме на четвертом заседании Конференции сторон КБО в Бонне, Германия, 11-22 декабря 2000 г.. Фаза PDF-B этого проекта финансируется ГЭФ-ЮНЕП, ФАО, Глобальным Механизмом и рядом других институтов (van Lynden и Kuhlmann, 2002).

Отсутствие объективных индикаторов и воспроизводимых научных методов в предыдущих попытках оценить деградацию земель и опустынивание, и все возрастающую потребность выявить первопричины и полностью изменить направление ускоряющейся деградации земель, которая представляет особенно широкую и серьезную проблему в засушливых экосистемах, послужило главной причиной инициирования проекта по Оценке Деградации Земельных Ресурсов в Засушливых районах (LADA) (Snel и Blot, 2002).

## **В. Индикаторы деградации земли**

### 1. Краткий обзор

Индикаторы – это статистика или меры, связанные с условиями, изменениями качества или состояния ценного предмета или объекта (Dumanski и Pieri, 1996). Они предоставляют информацию и описывают состояние конкретных явлений и полезны для мониторинга изменений, обеспечивая возможность сравнивать тенденции и прогресс в течение длительного периода времени. Главный вызов в определении индикаторов состоит в том, что необходимо выбрать те из них, которые являются достаточно представительными, но, в то же самое время, легки для понимания и просты в измерении на регулярной основе (LADA, 2002).

Индикаторы можно также назвать количественными или качественными факторами или переменными, которые предоставляют простую и надежную основу для оценки достижений, изменений или выполнения. Единица информации, измеряемая в течение долгого времени, которая может помочь продемонстрировать изменения определенного состояния. В нашем случае, цель или задача могут иметь множество индикаторов (IFAD, 2002).

На данное время имеется множество отчетов, документирующих различные индикаторы для оценки деградации земли. В следующих разделах рассматриваются общие индикаторы, которые обычно используются при оценках. Индикаторы землепользования и индикаторы устойчивости можно найти в работе Haberl *и другие* (2003), индикаторы биоразнообразия в засушливых землях – в работе Land и Bunning (2003), индикаторы качества почвы (), индикаторы органических углеродистых соединений у Ghani и других (2002), индикаторы баланса питательных веществ в почве – у Syers *и других* (2002). Также можно обратиться к обсуждениям индикаторов деградации почвы (ФАО, 2002) и создания системы глобальных индикаторов (GEF, 2007),

Индикаторы должны быть SMART (конкретными, измеримыми, достижимыми, уместными и срочными во времени). (Shomaker, 1997). Snel и Bot (2002) предоставили объяснения индикаторам SMART:

*S или Конкретный:* Хороший индикатор – это тот, который не допускает двоякого толкования и четко определен.

*M или Измеримый:* Индикаторы дают планировщикам и аналитикам возможность оценить, качественно или количественно, конкретную проблему. Метод измерения, используемый для сбора данных для индикаторов (от научной оценки до совместных обзоров) зависит от качества и масштаба (пространственного и временного) требуемых данных.

*А или Достижимый:* Так как ресурсы ограничены, нужно иметь правильный набор индикаторов, эффективных по затратам при мониторинге.

*Р или Уместный:* Набор индикаторов должен четко отражать цели и задачи проекта/проблемы (например, в данном случае, деградация почвы) и должен быть уместным для тех, кто принимает решения – подготовка информации должна быть привязана к пользователям информации. В некоторых случаях, политики могут уже быть заинтересованы в использовании данного индикатора (если он имеется), в других случаях, индикаторы могут использоваться для повышения информированности по определенной проблеме.

*И Срочные по времени:* Хорошие индикаторы чувствительны к важным изменениям, таким как, изменения в политике, программах и учреждениях.

Энне и Зукка (Enne и Zucca (2000)) дают достаточно подробный обзор индикаторов опустынивания, а также систем классификации индикаторов согласно различным критериям, например, критерий компетентности в дисциплинарных областях и критерий экологических компонентов, пространственные критерии, критерии метода сбора и/или измерения и так далее.

## 2. Структура индикаторов DPSIR

Структура DPSIR позволяет давать удобное представление о многих факторах, связанных с деградацией земель (Snel и Blot, 2002).

Индикаторы движущих сил включают в себя деятельность, которая может прямо или косвенно привести к деградации земель. Индикаторы давления – это действия, которые могут привести к росту давления на природные ресурсы. Индикаторы состояния отражают состояние и статус деградации, а также устойчивость к деградации. Эффект и воздействие деградации земли на природные ресурсы, благосостояние людей и общества – это индикаторы, сгруппированные в индикаторы воздействия. Индикаторы ответных мер представляют собой политику и предпринимаемые меры для надлежащего контроля деградации.

LADA (<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/ladadocs/dpsir.doc>) предоставляет следующую дополнительную иллюстрацию подхода DPSIR в засушливых землях:

1). Движущие силы: Макроэкономическая политика, развитие землепользования, прирост населения, бедность, условия землепользования и землевладения, чрезвычайные события/изменения, вызванные климатом, стихийные бедствия и дефицит воды.

2). Давление: Спрос со стороны сельского хозяйства и городского землепользования, добыча питательных веществ, необходимость удаления отходов, прирост населения, истощение земли, перевыпас, спрос на водопользование.

3). Состояние: снижение продуктивности земли, деградация почвы и загрязнение, эрозия почвы и засоление, потеря растительного покрова, потеря биоразнообразия,

4). Воздействие: снижение производительности земли; бедность и миграция; товары и услуги, связанные с землей; водооборот и качество, нехватка углеродов и снижение его потенциала, потеря биоразнообразия, изменения численности и распределения человеческой популяции.

5). Ответные меры: Макроэкономическая политика, политика и инструменты политики в области земельных ресурсов, охрана и восстановление, системы

мониторинга и раннего оповещения, обязательства в рамках международных конвенций, инвестиции в земельные и водные ресурсы.

Доклады на электронной конференции LADA (ФАО, 2002) четко показали, что в данное время нет единого мнения о том, как использовать индикаторы и структуру DPSIR. Некоторые участники отметили тенденцию к разработке слишком длинного списка индикаторов, что тормозит надлежащее определение приоритетов. Другие указали на ограничения в связи с выбором слишком ограниченного количества индикаторов, что может сдерживать проведение соответствующего анализа причин опасности в связи деградацией земель. Многие участники подчеркнули необходимость участия местного сообщества в разработке индикаторов. Некоторые участники считают полезной структуру DPSIR для концептуального связывания причин, состояния и ответных мер на процессы ДЗ. Другие были более сдержаны, указывая, что эта структура слишком усложнена и может неадекватно описывать сложные взаимоотношения и взаимосвязи между индикаторами. Некоторые участники подчеркнули необходимость четкого пояснения того, что означает DPSIR, а некоторые предложили альтернативные структуры (например, Модель Человеческих Экосистем). (Источник: Smaling, 2005).

### 3. Биофизические индикаторы

Хотя глубинными причинами деградации земли являются бедность и отсутствие гарантии продовольственной безопасности, в сочетании с резкими колебаниями климата, непосредственными причинами деградации земли являются неправильное землепользование (например, выбивание пастбищ, чрезмерная ирригация, экстенсивное земледелие и вырубка лесов), деградация почвы, воды и растительного покрова и потеря почвенного и растительного биологического разнообразия, влияющие на структуру и функции экосистем. Среди биофизических факторов воздействия деградации земли, приводящих к потере производительности почвы, такие, как водяная и ветровая эрозия почвы, засоление и осолонцевание химическая, физическая и биологическая деградация. Распространение деградации почвы снижает фактическую и/или потенциальную способность почвы производить товары или услуги, в то время, как деградация земель приводит к потере внутренних качеств, требуемых для конкретного вида землепользования. Биофизические индикаторы деградации земель описываются относительно свойств почвы (например, плодородие почвы, производительность почвы, уплотнение грунта и потеря верхнего и подпочвенного слоев), эрозии (например, перемещение песков на плодородные почвы, мутность воды и отложение осадков, потеря почвы и случаи образования вымоин), земляного покрова (например, изменение земляного покрова и интенсивное ведение сельского хозяйства и выпаса), и рельефа местности (например, топография) (Snel и Bot, 2002). В Приложении I перечислены все биофизические индикаторы, определенные на глобальном, национальном/региональном уровнях, на уровне водоразделов/сел и на уровне сельскохозяйственных систем.

Kuhlmann *и другие* (2002) выделили такие биофизические индикаторы, как почва и физические особенности местности, растительный и земляной покров, климат и вода. Качество почвы имеет первостепенное значение для деградации, потому что, в конечном итоге, деградация приводит к ухудшению качества почвы. Более подробно об индикаторах качества земли говорится в работе Kirkby *и другие* (2000).

В рамках проекта ЕС MEDALUS - Опустынивание Средиземноморья и Землепользование (Kosmas *и другие*, 1999) разработаны ключевые индикаторы опустынивания в региональном масштабе (на провинциальном уровне или уровне водосборного бассейна).

Считается, что для картирования опустынивания этого масштаба лучше всего использовать экологически чувствительные области (ESAs). Определены ключевые индикаторы и поделены на 4 группы - индикаторы качества почвы, качества климата, качества растительного покрова и качества управления и человеческие факторы (Таблица 1).

Таблица 1. Список индикаторов, используемых в Проекте EC MEDULAS

Качество почвы	Качество климат	Качество растительности	Качество управления
Материнская порода Каменный матери Глубина почвы Угол откоса Ухудшение структуры грунта Засоление	Сумма осадков Аридность Аспект	Риск пожаров способность восстановления Защита от эрозии почв Засухоустойчивость растений Растительный покров	Землепользование и его интенсивность Перевыпас Пожары

#### 4. Социально-экономические индикаторы

Социально-экономические индикаторы связаны с человеческими факторами, вызывающими деградацию земли, а также с воздействием деградации земли на людей (Kuhlmann и другие, 2002). Первопричинами, и в то же самое время, последствиями деградации земли и опустынивания часто служат бедность и отсутствие гарантии продовольственной безопасности, вкупе с резкими изменениями климата, такими, как засуха, будь то природного или антропогенного характера. Варианты, доступные для бедных фермеров и землепользователей (управляющих землей) по мелиорации своей земли намного более ограничены, чем те, которые доступны более богатым фермерам. Бедные управляющие землей часто вынуждены ухудшать землю, чтобы обеспечить себе ежедневное выживание (например, чтобы обеспечить получение пищи); они имеют недостаточный доступ к земле, кредитам, наличным деньгам, рабочей силе и домашнему скоту; и это при отсутствии инфраструктуры, информации и технологий, помогающих повысить урожайность сельскохозяйственных культур. При попытке улучшить свою жизнь, они сталкиваются с политической маргинализацией. В центре всех главных проблем лежит бедность как первопричина, и она же является следствием деградации земли. При этом причины и следствие деградации земли более выражены среди беднейших сегментов населения земного шара. Таким образом, социально-экономические индикаторы группируются вокруг ключевых характеристик бедности – отсутствие возможностей (например, отсутствие доходов, кредитов, земли и других активов, необходимых для удовлетворения элементарных потребностей, таких, как еда, одежда и убежище); отсутствие безопасности (например, уязвимость к неблагоприятным ударам и ограниченность возможностей справиться с этими ударами); и отсутствие прав и возможностей (например, отсутствие голоса и власти для влияния на процесс принятия решений). (Источник: Snel и Bot, 2002).

Подробный список социально-экономических индикаторов, влияющих на деградацию земли, дается в работе Kuhlmann и другие (2002).

#### 5. Институциональные индикаторы

Институциональные искажения и перекосы в политике, несостоятельность населения или правительства, частного сектора или рынка, гражданского сектора или

сообщества и междоусобицы являются главными движущими силами, приводящими к деградации земли. Отсутствие институциональной поддержки; опасения в связи с децентрализацией; неадекватная разработка политики управления земельными и природными ресурсами; отрицательное внешнее воздействие на схемы приватизации; разработка макроэкономической политики, способствующей неумелому управлению земельными ресурсами; и неполные рынки для экологических товаров и услуг (например, которые не включают в себя затраты на экологию) снижают стимул и способность к коллективному действию по управлению земельными и природными ресурсами. (Источник: Snel и Bot, 2002).

Некоторые из индикаторов, определенных Snel и Bot (2002) включают, например, отсутствие институциональной поддержки, отсутствие совместных действий, прозрачности и подотчетности, неадекватную политику и так далее.

## 6. DISME

Система индикаторов опустынивания для Средиземноморской Европы - DISME (Brandt *и другие*, 2001) разрабатывается в контексте DESERTLINKS, исследовательского проекта по Борьбе с опустыниванием в Средиземноморской Европе, финансируемого Европейской Комиссией (связывая науку и заинтересованные стороны). По своей сути, это – целостная система, способная предложить специально-разработанные индикаторы, которые можно сопоставить с опытом и проблемами запрашивающей стороны на всех уровнях. Все описания индикаторов будут стандартизированы. Их формат сходен с форматом, используемым CSD (Комиссией по устойчивому развитию). Среди них 15 "головных" индикаторов, например, во главе списка в категории устойчивого развития стоит ВВП. Список возможных индикаторов определяется на основе, например, тех индикаторов, которые уже используются в ряде стран ЕС и некоторых опубликованных работах (например, Enna и Zucca, 2000, Kosmas, 1999). Все потенциальные индикаторы будут сформулированы согласно стандарту CSD. Индикаторы-кандидаты сгруппированы в 4 категории - экологические, экономические, социальные и институциональные индикаторы. По мере необходимости число категорий будет расширяться.

База данных индикаторов и выбор методов доступа к этим индикаторам служат главными компонентами системы индикаторов База данных индикаторов – это инструмент на основе Интернет технологий, используемый для хранения, извлечения и обсуждения индикаторов. Поэтому, DISME – это не только система, предлагающая индикаторы, но она также способна предоставлять дополнительную информацию, такую, как оценка опустынивания для данной области. Эта оценка делается путем расчета риска опустынивания. Можно также рассчитать общий индекс, объединяя 6-7 наиболее подходящих индикаторов для ряда конкретных ситуаций.

## 7. Биофизические индикаторы, полученные в результате дистанционного сбора данных

Дистанционный сбор данных был признан ФАО LADA (ФАО, 2000, Latieri, 2007) и ГЭФ (UNEP-GEF, 2001) в качестве жизнеспособного метода оценки деградации земли и опустынивания. Спутниковые изображения, полученные путем дистанционного сбора данных, обеспечивают информацию об особенностях земной поверхности в различных спектральных областях и с разным пространственным разрешением, полезным для характеристики растительности, почвы, воды и рельефа местности в разных масштабах. Экологические и биофизические факторы, влияющие на процессы деградации земли можно контролировать и оценивать через анализ дистанционных изображений, особенно изображений, полученных из бортовых спутниковых инструментов.



Исследования показали, что из спутниковых изображений можно извлечь информацию, связанную со многими биофизическими индикаторами. В работе Ustin и другие (2005) дается обзор спектральных характеристик растений и почв, которые обнаруживаются при использовании оптических датчиков и методов определения, в том числе и количественного, свойств, обладающих потенциалом для мониторинга процессов, наблюдаемых в засушливых экосистемах. Представлен весь диапазон спектральных индексов (рассчитанных как арифметическая комбинация разных спектральных полос), связанных с растительным покровом, биомассой, свойствами почвы и так далее. Подчеркивается, что индексы растительности обладают незначительной чувствительностью при низкой листовой площади, что характерно для всех пустынных экосистем.

### **С. Методы оценки деградации земель**

#### **1. Краткий обзор**

Оценка деградации земель – это сложный вопрос, который пересекается со многими естественнонаучными и социальными дисциплинами. Stocking (1987) подчеркивал трудности, связанные с оценкой эрозии почвы, ссылаясь на динамические характеристики деградации земли, проблему расходящихся частот и их величины, масштабов, ограничений и надежности данных.

Более ранние работы по оценке деградации земли проводились, главным образом, в области оценки ухудшения качества почвы. Например, проекты GLASOD и ASSOD оценивали только качество почвы. По мере развития концепции деградации земли и опустынивания, стало понятно, что оценка деградации должна включать в себя объединенные социально-экономические, а также институциональные индикаторы. Достижения науки и техники также принесли новые возможности для такой оценки. Для оценки, мониторинга и прогнозирования типа, протяженности, а также интенсивности деградации земли теперь широко применяются технологии дистанционного сбора данных и ГИС.

#### **2. Процедуры оценки деградации земель - Подход LADA на основе семи шагов и методологическая структура LADA**

LADA рекомендует соблюдать фундаментальный подход LADA на основе семи шагов при оценке деградации земель на национальном уровне. Фундаментальный подход LADA из 7 последовательных шагов, предложен Кооһафкан и другие (2003):

- 1) Подготовка первоначальных исследований. Рекомендуется, чтобы подготовка началась со сбора национальных отчетов по всем видам данных и доступных практических методов, применяемых в области национальных земельных и водных ресурсов, и информации о состоянии деградации земли в стране. Этот отчет будет содержать предварительные правила стратификации и выявления «горячих точек» и «светлых пятен, и первоначальное представление о состоянии, причинах и воздействию деградации земли в стране.
- 2). Организация национальной рабочей группы LADA. Цель этого шага состоит в установлении диалога между всеми заинтересованными сторонами.
- 3). Инвентаризация и предварительный анализ. Этот шаг призван собрать воедино технические, социально-экономические и биофизические данные и объединить все уместные данные по деградации земли.

- 4). Разработка стратегии стратификации и выборки. Эта работа определит наиболее существенные единицы классификации, подходящие для процесса деградации земель, что позволит оптимизировать планирование полевого исследования.
- 5). Полевое исследование и местные оценки. Обзор местных оценок будет фокусироваться на «горячих точках» и «светлых пятнах» при проведении совместной оценки земельных ресурсов, качественной оценки деградации земли и быстрой оценки состояния сельских районов или обзор средств к существованию.
- 6). Разработка инструмента, который будет поддерживать решения, принятые в рамках LADA. Данные, собранные на Стадии 5, нужно будет систематически объединять, с созданием национальной системы экологической информации.
- 7). Разработка инструмента мониторинга LADA. Нужно будет разработать долгосрочные стратегии, включая не только инструменты мониторинга, но также и процессы сбора данных и постоянной переоценки воздействия деградации земель и ответных мер.

Ponce-Hernandez и Koohafkan (2004) переформулировали 7 шагов LADA в 12 основных задач или основной набор действий, известных как Структура LADA.

- 1). Определение территории и масштаба – определить и разграничить области, подлежащие оценке, и определить график работ и сроки отчетности.
- 2). Выбор индикаторов – определить (из списка LADA или индикаторов LADA DSS) набор индикаторных переменных, соответствующих выбранному масштабу оценки. Включите другие местные индикаторы и дополните список индикаторов, если потребуется.
- 3). Выбор методов, процедур и инструментов - выберите из инструментария LADA применимый тематический модуль(и), содержащий методы, процедуры и инструменты, необходимые для оценки в выбранном масштабе, согласно определенным индикаторам.
- 4). Сбор имеющиеся данные и определение недостающих данных - соберите вместе все необходимые данные (пространственные и атрибутивные) и базы данных, (включая спутниковые изображения, если необходимо), определите отсутствующие данные, и сравните с рекомендованными минимальными наборами данных LADA.
- 5). Стратификация или разделение изменчивости – сформируйте слои изменчивости (биофизической, социально-экономической) в данной области по соответствующим единицам (зоны, единицы топографии/пейзажа, землепользование и т.д.) для оценки. Это будут объекты оценки.
- 6). Разработка стратегии сбора недостающих данных - разработайте стратегию сбора данных, соответствующую необходимым данным, в соответствии с технологией, местными возможностями и желаемой точностью с помощью:
  - a. Разработки статистически-надежной схемы выборки на основе слоев или единиц и определения местонахождения участков выборки на основании стратификации.
  - b. Сбора данных в поле (если применимо) с обозначенных участков выборки и обзоров для соответствующих индикаторов и масштаба оценки.
- 7). Анализ данных - анализируйте данные, применяя метод и инструменты, отобранные из структуры LADA-DPSIR "инструментарий".
- 8). Объединение результатов - объедините результаты, используя инструмент LADA для поддержки решений (бумажные формы или цифровая система поддержки решений, разработанная для этой цели), и установите причины, воздействие и ответные меры. Интегрируйте полученные данные и постарайтесь

установить причинную связь, воздействие на средства к существованию, включая экономические затраты в связи с деградацией.

9). Определение "горячих точек" и "светлых пятен" - из объединения причин и ответных мер на деградацию, определите те области, где деградация приостанавливается и даже сокращается, то есть "яркие пятна» и области, в которых деградация и риск деградации - высоки, то есть "горячие точки".

10). Проверка результатов и оценка точности - проведите проверку по наземным данным и получите подтверждение полученных результатов, включая выявление и представление отчета о погрешностях, и оценку точности.

11). Планирование и отчет о полученных результатах - нанесите на карту пространственное распределение деградации земли, разработав понятные для LADA условные обозначения (или принимая легенду LADA, предложенную в структуре), и составьте отчет о результатах.

12). Постоянный мониторинг изменений во времени - разработайте стратегию мониторинга, соответствующую имеющимся данным и технологии, местным возможностям и желаемой точностью.

Ponce-Hernandez и Koohafkan (2004) обращали внимание на необходимость различать подход LADA и структуру LADA. Подход на основе семи шагов относится к тому, как приступить к осуществлению проекта LADA. В то время, как 12 ключевых действий описывают методологические и процедурные варианты проведения оценки согласно подходу LADA на основе семи шагов.

Исходя из 12 главных действий, ФАО LADA разрабатывает систему поддержки решений, так называемый инструментарий LADA. Эта система поможет провести оценку на уровне страны, предлагая руководство относительно масштабов, индикаторы для конкретного масштаба, а также методы и процедуры, и анализ и отчетность. Ключевым элементом методологической структуры является масштаб оценки (Ponce-Hernandez и Koohafkan, 2004). После установления масштаба можно уже определять все остальные элементы, необходимые для оценки и анализа, включая схемы выборки и объединение полученных результатов, и установление причинной связи.

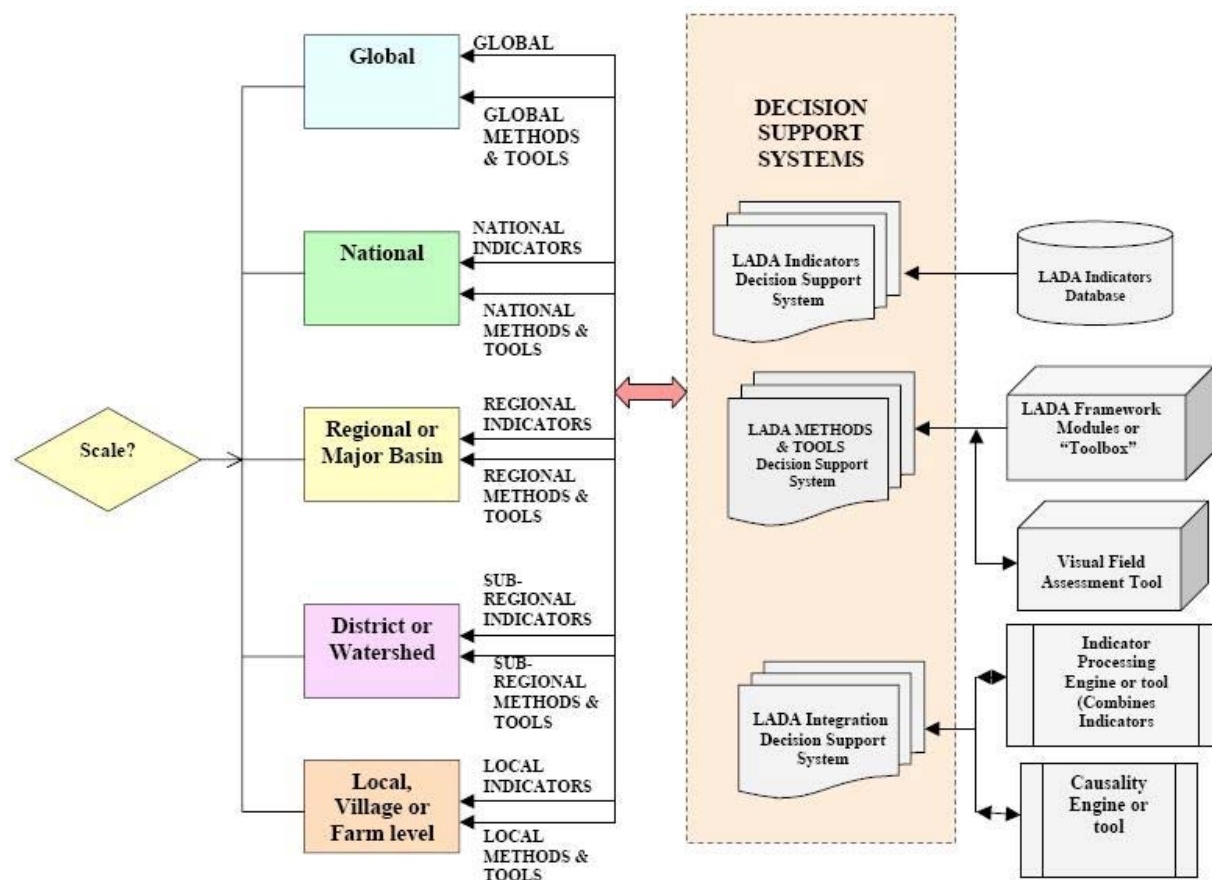


Рисунок 1. Зависимая от масштаба поддержка решения об индикаторах, методах, процедурах и инструментах, соответствующих выбранному масштабу. (Источник: Ронсе-Хернандес и Коохафкан, 2004).

### 3. Основные методы оценки деградации земли, разработанные ФАО LADA

Основные методы оценки деградации засушливых земель (LADA, 2000) включают в себя: мнение экспертов, дистанционный сбор данных, изменение продуктивности, мониторинг в поле, изучение выборки на уровне фермерских хозяйств (на основании полевых критериев и экспертного мнения землепользователей), и моделирование. Эти методы были подробно оценены сначала van Lynden и Kuhlmann (2002) в мае и переоценены позже в сентябре того же года Kuhlmann и другие (2002).

#### i). Мнение экспертов:

Экспертное мнение – это основной метод, применявшийся в проекте GLASOD (OIDEMPan и другие, 1990) и ASSOD (van Lynden и OIDEMPan, 1997). Этот метод полезен для картирования в мелком масштабе, так как стоимость такого картирования относительно низкая. Недостаток метода состоит в том, что экспертное мнение является субъективным.

#### ii). Дистанционный сбор данных:

Многовременной или динамический охват, который обеспечивается спутниковыми данными, облегчает использование дистанционных изображений для мониторинга изменений земельного покрова и землепользования в течение долгого времени. Данные собираются почти повсюду на Земле с одного и того же датчика (с периодическими

повторами) и с помощью сходной конфигурации наблюдения. Кроме того, дистанционно собранные данные можно использовать для различения изменений в динамичных (многовременных) данных (Jensen, 1996). Эти свойства позволяют использовать дистанционные спутниковые измерения для мониторинга самых разнообразных экологических проблем.

Спутниковые изображения с пространственным разрешением от нескольких метров до нескольких километров широко доступны для многих частей мира. Для национальной и региональной оценки, обычно используется среднее или низкое разрешения. Например, изображения NOAA/AVHRR NDVI (относительная разница в индексах растительности) используются во многих проектах по картированию растительности. Эти изображения особенно полезны для определения «ярких пятен» и «горячих точек». После определения областей «горячих точек» и «ярких пятен», можно затем использовать изображения высокого разрешения для подробного исследования в этих областях, чтобы извлечь более подробную информацию о протяженности и воздействии деградации (отрицательном или положительном), и возможных причинах деградации. Дистанционный сбор данных рекомендуется LADA в качестве эффективного метода оценки деградацию земли. К настоящему времени завершено несколько пилотных проектов на национальном уровне (например, Китай, Аргентина, Кения).

iii). Полевой мониторинг:

Послойная выборка и анализ почвы, и полевые наблюдения растительности и биоразнообразия, присущих определенным методам землепользования/управления землей, и изменений климата. До настоящего времени, мониторинг почвы применяется, главным образом в развитых странах; поэтому нужно будет проверить его экономическую эффективность в условиях развивающейся страны. В тех районах, где были проведены базисные исследования, будет предпринят мониторинг изменений; в других же районах, приоритет будет отдан установлению исходной точки или базиса. Послойная выборка почвы вместе с анализом реперных станций, повторяемым с интервалами более, чем 5-10 лет, пропагандируется в качестве основного вида деятельности для национальных организаций, проводящих почвенную съемку. К настоящему времени имеется незначительное количество примеров применения этого метода, но они успешны. Этот метод применялся на 20 000 участков в течение 25 лет в Японии и в настоящее время используется для национальной 16-километровой сетки во Франции. В Дании и Швейцарии его тоже уже начали применять. Этот же подход применяется в полевых наблюдениях растительности, вдоль поперечных разрезов или на участках выборки, и к биоразнообразию. Затраты на единицу площади относительно высоки, но их можно сократить, применяя его только к приоритетным областям, на базе послойной выборки.

iv). Изменения продуктивности:

Наблюдение изменений в урожайности, производстве биомассы и продуктивности скота, которые имеют непосредственное отношение к определению деградации земли в связи со снижением продуктивности, хотя они и испытывают влияние со стороны многих других факторов. Существует несколько возможностей - на национальном уровне, можно использовать национальную статистику урожайности (надежность?), привязанную к использованию удобрений и погодным условиям. На местном уровне, можно проводить мониторинг урожайности, если культивируются стандартные культуры, без удобрений или с использованием стандартных удобрений и управления. Возникает существенная проблема в том, что снижение продуктивности может быть вызвано другими факторами, кроме деградации земли, например, снижением размеров субсидий на удобрения, междоусобицами. Здесь нужно учитывать ограничения в связи со стоимостью, как и при мониторинге почвы.

v). Анализ образцов почвы на уровне фермеров:

Даже на национальном уровне, такие детальные исследования очень важно проводить на основе выборки, чтобы получить представление из первых рук о серьезности и причинах деградации, вместе с практическими средствами ее снижения (например, как в *Руководящих принципах Исследования UNEP/UNU для оценки деградации земель на основе полевых работ*). Полевые индикаторы деградации почвы были разработаны примерно 20 лет назад, и их число можно расширить, включив состояние растительности. Разговаривая с фермерами, мы узнаем их мнение и мнение других пользователей земли о том, изменилась ли ситуация в худшую сторону, что, конечно, является субъективным и, возможно, систематически предвзятым, но все же оно важно для получения мнения широких масс из первых рук. Конечно, вполне понятно, что этот метод применим только в местном масштабе, то есть, на основе избирательной выборки. Наблюдения за состоянием земли можно объединить с оценкой провоцирующих факторов и воздействия.

vi). Моделирование:

Основанное на данных, полученных другими методами, моделирование можно использовать по-разному, например, для (i) предсказания опасности деградации; (ii) оперативного определения деградации с точки зрения неблагоприятных изменений в продуктивности растений, свойств почвы и гидрологии; (iii) расширения диапазона применимости результатов, например, рассматривая агроэкосистемы, используемые в LADA, как области управления ресурсами и (iv) объединения биофизических и социально-экономических факторов. Было проделано множество исследований в связи с изобретением моделей прогнозирования опасности эрозии почвы. Существуют устоявшиеся методы измерения ветровой и водяной эрозии. Этот подход широко практикуется, частично потому, что он значительно дешевле любой формы полевого наблюдения. Он, в основном, применим к определению опасности деградации, но его можно применять, во-первых, к фактической деградации как средство оптимизации при планировании выборки, и, во-вторых, к экстраполяции применимости результатов, полученных на основании выборки.

#### 4. Методы оценки деградации земли, разработанные ФАО LADA

ФАО LADA разработала различные методы оценки деградации на уровне страны через пилотные исследования в странах и изучение конкретных случаев. Методы, принципы и руководство по оценке и мониторингу деградации доступны на сайте <http://www.fao.org/ag/agl/agll/drylands/monitoring.htm>.

В следующем разделе будут рассмотрены наиболее важные методологии, разработанные ФАО LADA, а также будет дан обзор других международных примеров.

### III. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ

#### A. Оценка деградации земель

Чтобы согласовывать глобальную оценку и мониторинг деградации земли, необходимо стандартизировать все методы; Конвенция ООН по Борьбе с опустыниванием (1994) ставит своей целью стандартизацию существующей методологии

оценки. Однако, до настоящего времени, научное сообщество до сих пор еще не пришло к единому мнению о том, что же такое деградация (Dregne, 1998). Существует множество определений, включающих в себя различные концепции биоразнообразия, трансформацию видов, ценности ресурсов, способность земли к восстановлению и ее продуктивность (Glanz и Orlovsky, 1983).

Наверное, наиболее, широко применяемым является определение деградации земли UNCOD (UNCOD, 1977) (Robinson и другие, 2003). ЮНЕП/ФАО (1984) подготовила промежуточный документ по методологиям оценки деградации земли, в котором используются экологические индикаторы, включая деградацию растительного покрова, водную и ветровую эрозию и ухудшение качества почвы, например, засоление и заболачивание. Эти экологические индикаторы использовались в различных формах для оценки деградации земли в Азии (Бабаев, 1985; Харин *и др.*, 1999) и по всему миру Dregne и Chou (1992). Затем оцениваются различные типы ущерба, используя такие категории, как легкий, умеренный, серьезный и очень серьезный (ЮНЕП/ФАО, 1984; Бабаев, 1985; Dregne и Chou, 1992; Харин *и др.*, 1999). В настоящий момент, методы измерения физических индикаторов или определения их серьезности в разных исследованиях не стандартизированы (Dregne, 1998; Eswaran *и др.*, 2001). Кроме того, такие оценки не описывают потери для популяции людей, и хотя в последнее время уделяется больше внимания экономической оценке деградации, рассматривая, как потерянные доходы, так и затраты на восстановление, тем не менее количество имеющихся исследований невелико (Dregne и Chou, 1992).

Проект ФАО LADA был запущен в 2002 году. Цель LADA – разработка и широкое применение: методологии оценки и количественного определения характера, распространенности, серьезности, воздействия и первопричин деградации земли в засушливых районах; и коррективные решения. Эта оценка объединит биофизические факторы и социально-экономические движущие силы. Развитие национального, регионального и глобального потенциала в области оценки, который позволит разрабатывать и планировать вмешательства по смягчению деградации земли и обеспечению стимулов для продвижения принятия методов устойчивого землепользования и управления землей.

К настоящему времени, LADA разработала несколько методологий оценки деградации. Они включают в себя подход на основе экологических услуг, методы LADA-WOCAT, GLADA и AEZ/ГИС. Все эти методы были разработаны через ряд страновых пилотных проектов, а также через многочисленные изучения конкретных случаев из практики. Обзор этих методов дается в этом разделе. Кроме того, также рассматриваются методы, разработанные ЕС и другими проектами в засушливых районах конкретных стран.

## **В. Глобальная/Региональная оценка деградации земли**

(Примечание: Часть текста, приведенного здесь, основана на работе ФАО *Источники данных по Деградации земель и землепользованию/земному покрову*).

### **1. GLASOD**

GLASOD - Глобальная Оценка Деградации Почвы в результате деятельности человека – это первая в мире оценка деградации почвы и в настоящее время она является единственным унифицированным глобальным источником данных по

деградации почвы (ФАО 2000). До настоящего времени GLASOD до сих пор является лучшим источником глобальных данных по деградации почвы.

В рамках GLASOD подготовлена всемирная карта деградации почвы в масштабе 1:10 миллион, на основании экспертных оценок и вклада со стороны более 250 ученых в области почвоведения и экологии. Деградация почвы, вызванная человеком, определяется как “равновесие между атакующими силами климата и естественным сопротивлением грунта этим силам, нарушенное вмешательством человека, которое привело к снижению текущей и/или будущей способности почвы поддерживать жизнь” (OIDEMPan и др. 1991). Серьезность деградации почвы (низкая, средняя, высокая и очень высокая) была рассчитана в GLASOD, путем объединения степени деградации (легкая, умеренная, сильная, чрезмерная) с ее относительной протяженностью (процент пострадавших отображенных единиц 0-5 %, 6-10 %, 11-25 %, 26-50 %, и > 50 %). Степень деградации определяется через сокращение продуктивности земли (ФАО 2000). В общей сложности, выделено и нанесено на карту 12 типов деградации, например, водяная эрозия (потеря верхнего слоя почвы и деформация грунта), ветровая эрозия (потеря верхнего слоя почвы, деформация грунта, сдувание) и засоление. Подробности методологии или определений можно найти в работе OIDEMPan и др. (1991) или ФАО (2000). Цифровая версия карт GLASOD доступна через ISRIC ([www.isric.org](http://www.isric.org)).

## 2. ASSOD

Как продолжение предыдущей работы ISRIC также провела Оценку Статуса Деградации Почвы, Вызванной деятельностью человека, в Южной и Юго-Восточной Азии (ASSOD, 1997). Использовалась та же самая методология, что и GLASOD. Были подготовлены карты деградации почвы для 17 стран Южной и Юго-Восточной Азии в масштабе 1:5M). Приведены данные по некоторым типам деградации, включая водяную и ветровую эрозию и их подтипы (например, потеря верхнего слоя почвы и деформация грунта, в миллионах гектаров) и преобладающие подтипы ухудшения химического состава почвы (включая засоление). По сравнению с GLASOD, исследование ASSOD - более детально, а, следовательно, также и более точное. Сравнение этих двух исследований представлено в работе van Lynden и OIDEMPan (1997). Детали проекта ASSOD и созданных данных доступны на <http://lime.isric.nl/Docs/ASSODEndReport.pdf>. В исследовании ASSOD степень деградации почвы выражена во всех подтипах деградации с точки зрения качества *как воздействие на продуктивность* (незначительное, легкое, умеренное, сильное, и чрезвычайное воздействие). Классификация основана на оценке *изменений* продуктивности, и также учитывает уровень управления. *Изменения продуктивности* выражены относительно, то есть, текущая средняя продуктивность в сравнении со средней продуктивностью в недеградированной ситуации (или неулучшенной, где это применимо), и относительно вкладов. Более подробное описание можно найти в работе van Lynden и OIЦMPan (1997).

Потеря верхнего слоя почвы за счет пластовой эрозии/вымывания поверхности или за счет деятельности ветра определяется как “уменьшение глубины верхнего слоя почвы (горизонта) вследствие более или менее однородного удаления почвенного материала под действием воды/ветра.” Деформация грунта, вызванная водой определяется как “неравномерное смещение почвенного материала (за счет линейной эрозии или массовых движений), которое приводит к четко видимым углублениям в грунте.” Деформация грунта под действием ветра –это “неравномерное смещение материала почвы под действием ветра, с образованием пустот выдувания, холмиков и дюн.” Засоление/осолонцевание определяется как чистое увеличение содержания соли в (верхнем) слое почвы, приводя к снижению ее продуктивности (в миллионах га).



Засоление - один из подтипов ухудшения химического состава почвы. Подробности можно найти в работе van Lynden и OICMPan (1997).

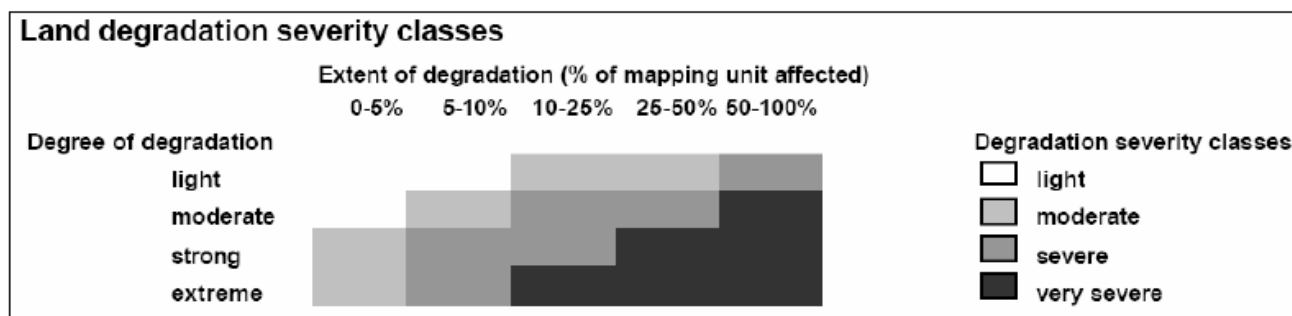
### 3. SOVEUR

“Оценка деградации почвы в Центральной и Восточной Европе” (проведенная в 1997-2000 гг. как часть проекта “Картирования уязвимости почвы и грунта в Центральной и Восточной Европе» (SOVEUR), реализуемого ISRIC и ФАО, использовала слегка измененную методологию GLASOD, сосредоточившись на рассеянном загрязнении. Исследование также включает в себя данные по водяной и ветровой эрозии и засолению. Также исследуются несколько других типов деградации, вызванной деятельностью человека. Статус деградации оценивается как по типу и интенсивности процесса (степени), так и воздействию деградации на различные функции почвы (шкала: незначительное, легкое, умеренное, сильное, очень сильное). Воздействие деградации оценивается как сочетание изменений продуктивности (текущая средняя продуктивность в сравнении со средней продуктивностью в недеградированной или неуплучшенной ситуации) и уровня управления (высокий, средний, низкий).

База данных разрабатывалась в масштабе 1:2.5 М. физиографической карты и основывалась на оценках экспертов. Результаты исследования, которое включает данные по 13 странам, опубликованы в работе van Lynden (2000) ([http://www.isric.nl/Docs/SOVEUR\\_Rep2000\\_05.PDF](http://www.isric.nl/Docs/SOVEUR_Rep2000_05.PDF)). SOVEUR предоставляет больше информации по наложению типов деградации (по сравнению с ASSOD), и позволяет складывать различные (под)типы водяной и ветровой эрозии. Для этого нужно использовать более подробные первоначальные данные SOVEUR, а не данные, представленные в публикации SOVEUR.

Мнение экспертов о статусе деградации (тип, распространенность, степень, скорость и причина) для индивидуальных многоугольников на национальном/субнациональном уровне оценки для каждой физически-однородной отображаемой единицы

- Тип деградации: (водяная/ветровая эрозия; ухудшение химического/физического состава почвы)
- Степень деградации: (легкая, умеренная, сильная, очень сильная)
- Относительная протяженность деградации (% от затронутых деградацией отображенных единиц)
- Причины: (вырубка леса, выбивание пастбищ, сельскохозяйственная деятельность, чрезмерная эксплуатация растительности, промышленная деятельность)



(Источник: <http://unstats.un.org/unsd/environment/session122land.pdf>).

#### 4. SOTER (Всемирная цифровая база данных по почве и топографии)

Проект SOTER был инициирован Международным Обществом Почвоведения (ISSS) в 1986 году. Он предназначен для получения глобального охвата в масштабе 1:1 миллион, но позднее, из-за нехватки средств эта цель была снижена до 1:5 миллион. Другие международные организации, такие, как ЮНЕП, ФАО и Международный центр по почвенным эталонам и информации (ISRIC) присоединились к проекту и поддержали идею о полезности базы почвенных и топографических данных в глобальном масштабе для ряда применений. Был назначен международный комитет из нескольких лиц для разработки "универсальной системы обозначений на картах" и определения минимально необходимого набора почвенных и топографических признаков, подходящего для составления карты почвенных ресурсов в малом масштабе. Эта база данных может представлять информацию для широкого круга применений, например, пригодность культуры для определенной почвы, деградация почвы, продуктивность лесных угодий, глобальное изменение почвы, пригодность конкретного метода ирригации, агроэкологическое зонирование и риск засухи (<http://euПочvas.jrc.it/projects/soter/index.htm>).

Главные цели:

- 1). Предоставить надлежащую информацию по почвенным и топографическим ресурсам в глобальном масштабе (1:5 Миллионам). Пользователи - глобальные и континентальные модели, имитирующие потенциал производства продовольствия, изменения климата, моделирование речного стока, распределение домашнего скота, приоритеты исследований, ограничение земельных ресурсов и (очень) общие рекомендации по управлению земельными ресурсами.
- 2). Обеспечить образовательный инструмент для Сообщества почвоведов.
- 3). Обеспечить согласованные нормы для почвенного картирования, классификации почв, анализа почв и интерпретации информации по почвенным ресурсам.

#### 5. GLC2000

GLC 2000 (<http://www.gym.sai.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm>) - это успешный пример международного сотрудничества в области экологического картирования на основе дистанционного сбора данных. Общая цель проекта состояла в том, чтобы предоставить согласованную базу данных по земному покрову за 2000 год по всему земному шару. Специальный упор в картах земельного покрова делался на лесах, заболоченных угодьях и опустынивании. Во время проекта было задействовано много региональных и местных экспертов.

Новая глобальная база данных по земному покрову на 2000 год была подготовлена международными партнерами примерно из 30 исследовательских групп, координируемых Объединенным Исследовательским Центром Европейской Комиссии. База данных содержит карты земельного покрова с подробными, понятными на региональном уровне, обозначениями и глобальный продукт, который объединяет все региональные классы в одну последовательную легенду. База данных предназначена для того, чтобы служить пользователям из научных программ, тем, кто разрабатывает политику, секретариатам экологических конвенций, международным и неправительственным организациям и проектам помощи развитию.

### **С. Европейский опыт**

#### 1. Проект MEDALUS

С 1989 года Европейское Сообщество разработало и финансировало ряд международных исследовательских программ, которые обращались к проблемам опустынивания или деградации земель, и растущему спросу на водные ресурсы в странах южной Европы. MEDALUS (Опустынивание и Землепользование в Средиземноморском регионе) был одним из проектов этой программы (DGXII, Экологическая Программа). Он был направлен на расширение понимания широкого круга физических и экологических проблем, и предложение и разработку вариантов для их улучшения. С самого начала в 1991 году, было выполнено три фазы проекта, при этом третья фаза была завершена в июне 1999 г. (<http://www.medalus.ЦMPon.co.uk/outline.htm>).

Деградация земель в Средиземноморском регионе характеризуется, в основном, физической потерей почвы за счет водяной эрозии, и связанной с ней потерей питательного статуса почвы. В более засушливых районах, большую озабоченность вызывают проблемы, связанные с ветровой эрозией и засолением, но они считаются не так важными, как водяная эрозия для районов северного Средиземноморья (Kosmas и другие, 1999).

Методология, используемая в проекте MEDALUS для характеристики опустынивания, предполагала нанесение на карту экологически чувствительных областей (ESAs). Ключевые индикаторы определения ESAs к опустыниванию, используемые на региональном или национальном уровне, можно разделить на четыре широких категории: качество почвы, климат, растительность и управление (индикаторы стрессогенных факторов). Этот подход включает параметры, которые можно без труда найти в имеющихся отчетах по почве, растительности и климату. Индикаторы качества почвы включают в себя: материнскую породу, фрагменты камней, глубину почвы, наклонный градиент, снижение структуры почвы и засоление. Индикаторы качества климата – это уровень осадков, засушливость и аспект. Индикаторы качества растительности включают в себя пожароопасность и способность к восстановлению, защиту от эрозии почвы, сопротивляемость к засухам и растительный покров. И, наконец, человеческие факторы, влияющие на опустынивание – это землепользование и интенсивность землепользования, выбивание пастбищ, отказ от террасного расположения земельных участков и пожары.

На основании стадии деградации почвы можно выделить три общих типа ESAs к опустыниванию:

Тип А: Уже чрезвычайно деградированные области как результат прошлого неправильного землепользования, представляющие угрозу окружающей среде ближайших областей (например, интенсивно эродированные области, подверженные высокому поверхностному стоку и потере осадочных пород). Это может вызвать серьезное затопление вниз по течению и заиление водохранилищ. Они считаются критическими ESAs.

Тип В: Области, в которых любое изменение тонкого баланса между естественной активностью и человеческой деятельностью может привести к опустыниванию. Например, воздействие прогнозируемого изменения климата вследствие парникового потепления, вполне вероятно, может привести к снижению биологического потенциала из-за засухи, приводящей к тому, что эти области теряют свой растительный покров, подвергая их еще большей эрозии, и, в итоге, они переходят в категорию Тип А. Изменение землепользования, например, переход к выращиванию зерновых культур, на чувствительных почвах может привести к резкому увеличению поверхностного стока и эрозии, и, возможно, загрязнению воды вниз по течению пестицидами и удобрениями. Они считаются хрупкими ESAs.

Тип С: Области, которым угрожает опустынивание при существенном изменении климата, если применяется специфическая комбинация землепользования или где

внешнее воздействие приводит к серьезным проблемам в другом месте, например, перенос пестицидов в области, находящиеся ниже по склону или вниз по течению при переменном землепользовании или социально-экономических условиях. Это также включает заброшенные земли, которые не управляются должным образом. Это - наименее серьезная форма деградации.

Детали проекта можно найти в проектном отчете, в Руководстве по ключевым индикаторам опустынивания и карте областей, экологически чувствительных к опустыниванию - Проект Medalus по Опустыниванию и Землепользованию в Средиземноморском регионе.

## 2. DeSurvey: Система наблюдений для оценки и мониторинга опустынивания

DeSurvey – это проект, финансируемый Европейской Комиссией в рамках 6-ой Рамочной программы (Глобальное Изменение и Экосистемы) «Механизмы опустынивания» и «Оценка уязвимости к опустыниванию и варианты раннего оповещения» в рамках «Глобальное Изменение и приоритет Экосистем».

Проект DeSurvey предлагает дополнительную оценку статуса опустынивания, вместе с ранним оповещением и оценкой уязвимости вовлеченных систем землепользования. В этом контексте, будет динамично учитываться интерактивное воздействие климатических и человеческих факторов, способствующих опустыниванию. Цель состоит в том, чтобы предоставить компактный набор интегрированных процедур оценки опустынивания и прогноза, с указанием областей применения и инструктивных примеров на уровне ЕС и на национальных уровнях. Эти процедуры будут проверяться относительно других доступных методов и процедур (<http://www.desurvey.net/>).

Этот 5-летний проект начался в марте 2005 г. Разрабатывается Модель низкокзатратной и гибкой системы наблюдения (система DeSurvey), чтобы облегчить:

- 1). Системное и динамичное понимание процесса опустынивания.
- 2). Мониторинг и оценку опустынивания и статуса деградации земли на больших территориях, используя объективные и воспроизводимые методы, включая диагноз движущих сил.
- 3). Различия между *текущим* и *унаследованным* опустыниванием, и определение *горячих точек* опустынивания.
- 4). Прогноз опустынивания при выбранных климатических и социально-экономических сценариях.
- 5). Устранение пробела между научными знаниями, собранными проектом и связанными с процессами, лежащими в основе опустынивания, и практикой формулирования политики и управленческими действиями, направленными на выявление, предотвращение и разрешение рисков опустынивания.

Проект состоит из 10 моделей: 1). Климатическое стимулирование. 2). Социально-экономическое стимулирование. 3). Уязвимость систем землепользования. 4). Наземная оценка и прогноз состояния земель. 5). Методы интегрированного дистанционного сбора данных и геоматики для оценки и мониторинга состояний поверхности земли. 6). Оценка состояния водных ресурсов. 7). Системы данных и информационные системы. 8). Интеграция и проверка данных. 9). Деятельность в связи с инновациями. 10). Мониторинг и оценка проекта, планирование на случай чрезвычайных обстоятельств и управление.

DeSurvey не предназначен для разработки новых подходов к оценке деградации земель. Наоборот, в рамках проекта были внимательно изучены все существующие методы и определены наилучшие модели. Это модели наземных физических процессов, используемые для оценки деградации земли (например, модель эрозии почвы PESERA,

биофизическая модель PATTERN и т.д), индексы оценки состояния земель на базе дистанционного зондирования (плотность растительного покрова, температура и другие переменные для применения в разных масштабах) и среднесрочные временные изменения продуктивности растительности (используя архив MEDOKADS AVHRR 1989-2000). Эти временные изменения включают не только анализ тенденций, но также и определение сезонных моделей, которые дают важную информацию для определения землепользования и других важных для опустынивания изменениях и процессах деградации земли. До настоящего времени, этот метод применялся в масштабах таких стран, как Португалия, Испания, Италия и Греция. Примеры применения в субнациональном масштабе проводились в Марокко, Алжире, Тунисе, Сенегале, Китае и Чили. Алгоритмы получения индикаторов прерывистости и точек прерывания в предполагаемой траектории областей, которым угрожает деградация, на систематической основе можно найти в работе (Резюме, [http: // www.desurvey.net/](http://www.desurvey.net/)).

## **D. Исследование ФАО в пилотных странах LADA**

### **1. Китай**

Китай выбран в качестве одной из трех пилотных стран для проведения начальных мероприятий.

В Китае созданы учреждения и подобран технический контингент, которые будут заниматься мониторингом и оценкой опустынивания, как на национальном, так и региональном уровнях. Большинство территорий находится в ведении государственных департаментов лесного хозяйства на всех уровнях. Ряд научно-исследовательских институтов и университетов также участвуют в деятельности по мониторингу опустынивания (*Yang и другие*, дата неизвестна).

Мониторинг опустынивания в Китае проводится на трех уровнях - макро мониторинг на национальном уровне, периодический тематический мониторинг и оценка в чувствительных регионах, и мониторинг *на местах* в типичных регионах (*Yang и другие*, дата неизвестна).

Макро мониторинг на национальном уровне проводится каждые 5 лет по всей стране. В основном используются два метода: 1). Исследование методом выборки, принятое в 10 главных провинциях, затронутых опустыниванием. При проведении выборки берется линия длиной 1000 метров. 2). Полевые исследования и схемы. Фактические измерения и составление схем участков, обозначенных на карте, проводятся в остальных 20 провинциях, где рассеяно опустынивание. Главной задачей Макро мониторинга является предоставление данных о состоянии опустынивания и динамических изменениях.

Тематический мониторинг и оценка в чувствительном регионе проводятся в областях с усиленным вторжением опустынивания или там, где ведется активная борьба с опустыниванием. Они сосредоточены на анализе первопричин и динамических изменений.

Цель мониторинга *на местах* состоит в том, чтобы собрать данные, соответствующие индикаторам формирования опустынивания, и разработать полевые наблюдения долгосрочного позиционирования, служащие для создания режима раннего оповещения об опустынивании. В данное время уже развернуто 20 полевых станций, готовых проводить мониторинг.

На национальном уровне интерпретация спутниковых изображений объединена с наземной выборкой для того, чтобы проводить мониторинг деградации земель.

Исследование на основе выборки проводилось в 10 крупных провинциях, затронутых опустыниванием, при этом область выборки составляет 84 % всей области, охваченной мониторингом. Область покрытия, с использованием спутниковых изображений и данных на магнитной ленте заняла 98 % всей области мониторинга. Полевые исследования проводились при помощи GPS, а ГИС использовался для квадранта обработки данных и редактирования карты. Таблица ниже показывает выбранные индикаторы и методы их оценки.

Таблица 2. Индикаторы и методы, которые использовались в пилотном проекте в Китае

Типы	Индикаторы	Методы	
		Полевой	Дистанционный
Ветровая эрозия	Растительный покров	√	√
	Структура почвы или содержание гравия	√	
	Перекрывающий слой песка	√	
	Биомасса или урожайность	√	√
	Морфология поверхности (песчаные дюны)	√	√
Водяная эрозия	Растительный покров	√	√
	Наклон	√	√
	Процент длины или области водостока	√	√
	Биомасса или урожайность	√	√
Засоление почвы	Содержание соли в почве	√	
	Процент солевой линии	√	√
	Доля галофитов	√	
	Растительный покров	√	√
	Биомасса или урожайность	√	√

Был сделан вывод о том, что на основании существующей программы мониторинга, индикаторы мониторинга и методы исследования должны быть оптимизированы с тем, чтобы точнее и более объективно отражать физический факт и повысить точность мониторинга. Для своевременного мониторинга деградации земли на национальном уровне было предложено использовать спутниковые изображения со средним и низким разрешением, типа MODIS и NOAA/AVHRR. Однако социально-экономические факторы не были интегрированы в оценку. Поэтому, в дальнейшем было рекомендовано, среди прочего, организовать пилотные участки для исследования технологий и методов оценки опустынивания, и чтобы глобальный мониторинг и оценка опустынивания учитывали характерные особенности каждой страны и региона.

## 2. Аргентина - Подход службы Экосистем (Источник: Институт всемирных ресурсов, 2004)

Пилотный проект ФАО LADA в Аргентине проводился Институтом всемирных ресурсов, вместе с Рабочей группой LADA Аргентины.

Сильные стороны отчета – это адаптация концептуальной структуры для оценки деградации в засушливых районах Аргентины. Методология применения подхода на основе экосистем была разработана специально для оценки на национальном уровне, с использованием особенностей, которые можно легко внедрить в подобную оценку в

других странах. Отчет четко определяет службы экосистем в засушливых областях Аргентины, и выгоды, которые они несут населению, наряду с тенденциями устойчивости потенциала услуг в течение долгого времени. Отчет выдвигает на первый план и подчеркивает важность исследования деградации засушливых земель, выходя за рамки физических свойств почвы. Описание и анализ служб экосистем засушливых районов показывают, что деградация затрагивает всю экосистему, включая службы снабжения и регулирования, культурные и вспомогательные службы.

Три главных компонента структуры применения подхода к деградации в засушливых районах Аргентины на основе экосистем – это факторы, способствующие изменениям, службы экосистем и благосостояние населения. Там, где это было возможно, при анализе каждого компонента использовались временные и пространственные данные в национальном и субнациональном масштабе. Четыре субнациональных засушливых региона, включенные в этот анализ - Чако, Драй Пампас, Патагония и Пуна. Внутри засушливых областей Аргентины выделены дополнительные регионы (например, Валеес, Болсонес и Кuebaдас; Альтоандино; и Большонес и Траверсияз), но из-за ограниченности времени и данных, анализ региона за регионом не был выполнен.

Анализ факторов, провоцирующих изменения, включает косвенные и прямые факторы. Были определены важные факторы изменений в каждом из четырех субнациональных засушливых регионов, а также факторы, имеющие значение в общем национальном масштабе. Услуги экосистем описаны для каждого региона, вслед за широкой классификацией услуг в засушливых районах - службы снабжения, регулирования, культурные и вспомогательные услуги. Измерение благосостояния людей основано на статистике национального уровня, собранной в Аргентине и представленной в отчете ФАО и других отчетах, а также субнациональных данных, собранных в Аргентине.

В заключение можно сказать, что при проведении данного пилотного исследования был применен подход к оценке деградации засушливых земель Аргентины на основе экосистем. Вместо того, чтобы исследовать только биофизические компоненты окружающей среды, анализировались тенденции широкого круга служб экосистем. Описание деградации в этом более широком смысле способно привлечь более широкую аудиторию, включая потенциальных доноров, заинтересованных в снижении бедности и улучшения жизненных условий людей. Более широкая аудитория также открывает возможность для более широкого спектра ответных мер, предпринимаемых для обращения к проблемам, наблюдающимся в засушливых экосистемах, которые будут обсуждаться и осуществляться.

### **3. Сенегал**

Заключительный отчет пилотного исследования в Сенегале доступен на странице ([http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub\\_id=91161](http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub_id=91161)). Отчет написан на французском языке. Lantieri (2003) отметил, что в отношении оценки биомассы, очень хорошие результаты были получены в Сенегале (CSE) (<http://www.cse.sn/>), а также в ряде других стран с засушливыми регионами, с помощью данных NOAA AVHRR. Корреляция на изображении R<sup>2</sup> выше 0.75 была найдена между измеренными значениями биомассы на земле и значениями NDVI. Они могли быть еще выше, если бы информация о земельном покрове и топографии была объединена с информацией NDVI.



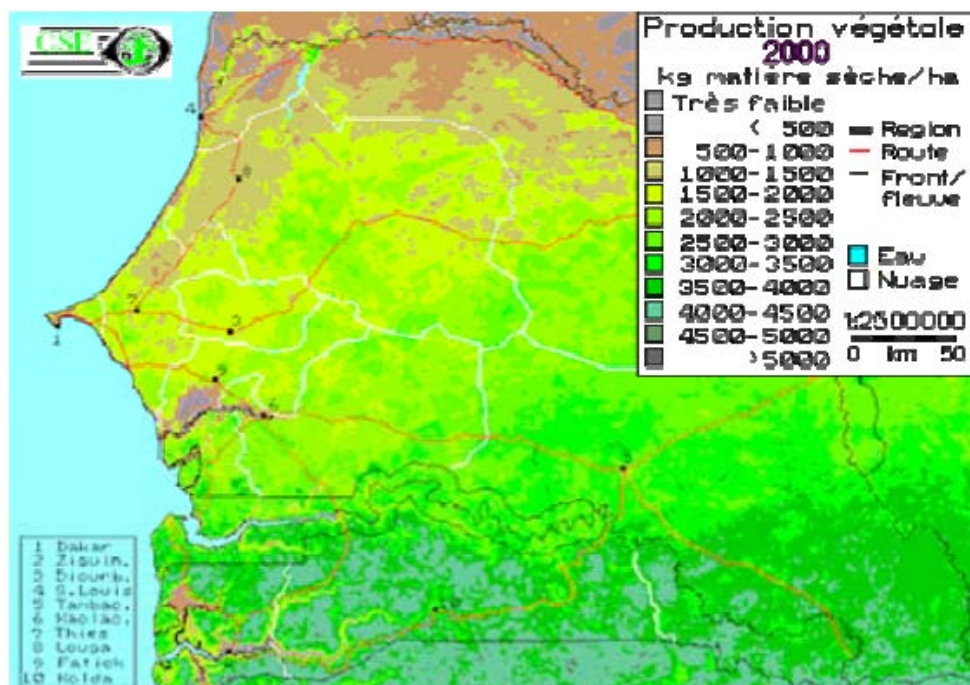


Рисунок 2. Оценка производства биомассы в 2000 г. На северо-востоке Сенегала (Источник Lantieri, 2003).

4. Подход LADA\_WOCAT в Сомали (FAO\_SWALIM)  
(Источник: в основном из FAO\_SWALIM, Отчет по проекту No.L-10, 2007)

#### a. LADA-WOCAT

ФАО, ГЭФ и ЮНЕП разработали платформу мировых стандартов для изучения и борьбы с деградацией земель в рамках структуры, известной, которая известна под названием LADA-WOCAT (ФАО, 2003).

WOCAT (Всемирный обзор подходов и технологий охраны природы) - проект Всемирной Ассоциации Охраны Почвы и Водных Ресурсов (WASWC), запущенный в 1992 г., в сотрудничестве с рядом учреждений и координируемый Университетом Берна, Швейцария. Подробная информация об этой методологии доступна на сайте [www.wocat.net](http://www.wocat.net). Миссия WOCAT состоит в том, чтобы обеспечить инструменты, которые позволят специалистам SWC поделиться своими ценными знаниями по управлению почвенными и водными ресурсами, которые помогают им в поисках соответствующих технологий и подходов SWC, и которые поддерживают их в принятии решений в поле и на уровне планирования.

WOCAT разработал три комплексных вопросника, которые представляют собой структуру для оценки охраны почвы и воды и одновременно методологию сбора данных. Данные вводятся в интерактивную систему управления базой данных и анализа. Продукты WOCAT состоят из книг и отчетов по соответствующим технологиям и подходам SWC, картам деятельности SWC, базам данных, системам поддержки решений, и всемирно доступной информации в бумажном или цифровом формате и через Интернет ([http://www.fao.org/catalog/book\\_review/giii/w8681-e.htm](http://www.fao.org/catalog/book_review/giii/w8681-e.htm)).



#### b. Проблемы деградации земель

Доказано, что потеря растительности и потеря почвы являются наиболее типичными видами деградации земель в Сомали. Также наблюдалось снижение питательного статуса почвы, особенно в тех районах, где практикуется пахотное сельское хозяйство. Потеря растительности имеет особенное значение для Сомали, поскольку местное население, в основном, занимается скотоводством и в значительной степени зависит от растительности, которую поедает их скот.

#### c. Цели и общая методология

Команда FAO-SWALIM провела детальную оценку деградации земель в выбранной для исследования области на северо-западе Сомали, используя структуру LADA-WOCAT. Это детальное исследование служит примером испытания применимости этой структуры на местном уровне и возможностей ее распространения с охватом всей страны.

Структура LADA была объединена с WOCAT не только для оценки деградации земли, но также и для документирования различных и успешных стратегий борьбы с деградацией. Конкретными целями этой детальной оценки были:

- 1). *Определение соответствующих типов деградации земли и индикаторов в отобранной области, представляющей определенный интерес на северо-западе Сомали, используя доступные наборы данных*
- 2). *Успешное применение методологического подхода LADA-WOCAT для оценки деградации земли в вышеупомянутой области*
- 3). *Предложение структуры для будущих оценок деградации земли по всему Сомали, используя подход LADA-WOCAT.*

В течение всего срока проекта тщательно соблюдался подход LADA на основе семи шагов.

#### d. Данные

Область исследования покрывает около 13 000 км<sup>2</sup>. Следующие данные были доступны для выбранной области исследования – временные ряды изображений с разрешением 7.5 км AVHRR NDVI (с 1981 до 2003), глобальная почвенная карта (SOTER, 1:1,000,000), карта изменений земельного покрова от GLCN, SRTM ЦМР, карты рельефа, карты землепользования и данные по количеству осадков, полученные с восьми станций, разбросанных по всей области исследования. Все наборы данных имели географическую привязку к общей базовой карте. Потом проводилась повторная выборка для разрешения почвенной карты (которая имела самое грубое разрешение из этих наборов данных). Данные по количеству осадков были интерполированы с тем же самым разрешением, используя геостатистические методы, как описано в работе Nielsen и Wendroth (2003).

#### e. Потеря растительности и физическая деградация почвы

Потеря растительного покрова оценивалась с помощью временного ряда NDVI. Основываясь на подходе, предложенном Budde и др. (2004), NDVI из видов временного ряда (1981 - 2003) были объединены, чтобы получить карту долгосрочного среднего NDVI. Можно считать, что области, которые показали отрицательные изменения между долгосрочными и недавними индексами NDVI, имеют потери растительного покрова. После наложения на карту земельного покрова и карту систем землепользования, были

определены области, которые могли представлять потерю растительности (производство древесного угля).

Была использована модель RUSLE (Пересмотренное универсальное уравнение потери почвы, Renard и др., 1997), как предложено Nachergaele и др. (2007);

$$\text{Эрозия } (E) = R * K * LSt * C * P (1)$$

где  $E$  - риск ежегодной потери почвы,  $R$  – эрозионное действие осадков,  $K$  – подверженность эрозии,  $LSt$  – коэффициент длина-откос,  $C$  - индекс земельного покрова, и  $P$  - индекс практики управления земельными ресурсами. Факторы на входе этой модели поставлялись как слои карты, а затем пересекались в среде ГИС. Карта эрозионного действия осадков ( $R$ ) была получена из карт ежемесячной средней толщины слоя атмосферных осадков на 2003 год. Фактор  $C$  в Уравнении оценивался из NDVI для изображения 2003 года.  $P$ -фактор, с другой стороны, оценивался из многоугольников на карте землепользования.

Стратификация исследуемой области в однородные области была проведена с использованием единиц системы землепользования и для создания карты единиц ресурсной базы. Данные, используемые в этом процессе - почва, ЦМР, растительность и землепользование. Было собрано 82 образцов почвы. Карта химической деградации почвы была разработана на основании образцов почвы.

#### f. Карта деградации земель

Была подготовлена карта деградации земель в исследуемой области с высоким разрешением, путем объединения трех типов индикаторов деградации (потеря растительности, физическая деградация почвы и химическая деградация почвы). Было получено четыре класса - легкая, умеренная, сильная и очень сильная деградация, в зависимости от величины ежегодной потери почвы, дефицита питательных веществ в почве, и потери растительного покрова. Была также составлена карта «горячих точек» и «ярких пятен».

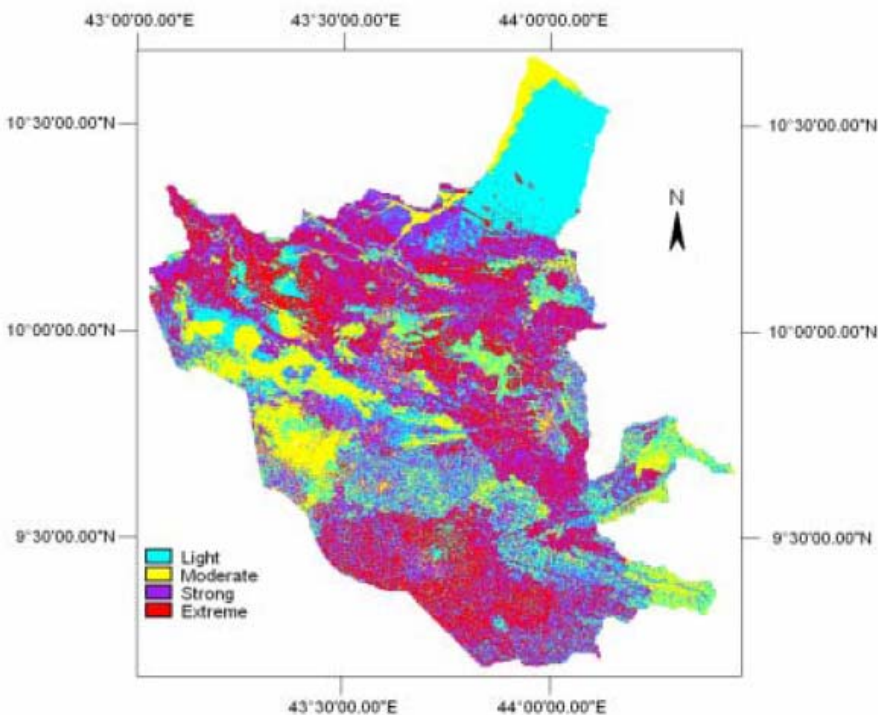


Рисунок 3. Объединенная карта деградации почвы в исследуемой области в Сомали.

## 5. GLADA в Кении

### а. GLADA

Глобальная Оценка Деградации и Мелиорации Земель (GLADA) направлена на определение состояния и тенденций деградации земель, областей «горячих точек», испытывающих чрезвычайное давление или серьезный риск, и «ярких пятен», где деградация была приостановлена или получила обратный ход. ФАО уполномочила ISRIC на проведение следующих мероприятий:

- Разработку общего подхода к картированию глобальной деградации земель на основе анализа набора данных GIMMS данных NDVI с разрешением в 8 км;
- Анализ других глобальных баз данных, в частности Базы почвенных и топографических данных (SOTER), в поддержку общей методологии NDVI;
- Иллюстрация подхода, разработанного в рамках 1 и 2 с приведением конкретных примеров из Кении (PDF) и Северного Китая (PDF);
- Сравнение результатов, полученных для Кении, с результатами исследования изменения земельного покрова высокого разрешения, проведенного Глобальной Сетью Земельного покрова.

Общий подход, разработанный для GLADA, включает в себя несколько аналитических исследований, проводимых с целью определения горячих точек деградации земли с помощью дистанционного сбора данных и существующих наборов данных, используя, во-первых, простые индикаторы NDVI, такие, как среднегодовая сумма NDVI (взамен среднегодового производства биомассы) и тенденции производства биомассы; во-вторых, интеграцию биомассы и климатических данных (эффективность использования осадков); в-третьих, стратификацию ландшафта, используя данные по земному покрову и почве и топографические данные, чтобы провести более

локализованный анализ данных NDVI. Большинство разработок было связано с алгоритмами, которые позволяли автоматически проводить эти виды отборочного анализа (скрининг). На следующей стадии, будут вручную характеризоваться выявленные горячие точки, используя данные Landsat с 30м-разрешением, чтобы определить возможные виды деградации земель до полевых исследований, которые будут проводить национальные команды в рамках более широкой программы LADA. (Источник: <http://www.isric.org/>).

Цель GLADA состоит в том, чтобы определить:

- 1). Состояние и тенденции деградации земли.
- 2). Горячие точки - Области, испытывающие серьезную деградацию или серьезный риск.
- 3). Светлые пятна - Места, где деградация была остановлена или полностью изменена.

По поручению ФАО ISRIC провела в Кении пилотное исследование. Детали этого пилотного проекта можно найти в работе Bai и Dent (2006).

#### b. Задачи

Пилотное исследование в Кении, проводимое по поручению ФАО направлено на то, чтобы:

- 1). Получить и нанести на карту индикаторы деградации земли с помощью анализа данных GIMMS NDVI (8 км, 23 года).
- 2). Поддержать другими глобальными данными (климат, SOTER, земельный покров, социально-экономические данные).
- 3). Иллюстрировать на основе конкретного примера в Кении, включая данные с высоким разрешением по изменениям земельного покрова из глобальной сети земельного покрова.

#### c. Общая методология

Подход GLADA включает в себя несколько последовательных анализов, проводимых с целью определить горячие точки деградации земли, используя дистанционный сбор данных и существующие наборы данных.

- 1). Простые индикаторы NDVI (среднегодовая сумма NDVI, которая считается заменой среднегодовой производительности биомассы).
- 2). Объединение данных по биомассе и климатических данных (эффективность использования осадков).
- 3). Привязка NDVI к чистой первичной производительности и расчет изменений в производстве биомассы для доминирующих типов землепользования.
- 4). Стратификация ландшафтов, используя данные земельного покрова, почвенные данные и топографические данные, чтобы провести более локализованный анализ данных NDVI.

Следующий шаг - горячие точки характеризуются вручную, используя данные Landsat с 30м-разрешением, чтобы определить вероятный тип деградации земли. Непрерывное поле индекса деградации земли, полученное из NDVI и климатических данных, позволит провести статистический анализ других данных, которые не дают непрерывный пространственный охват (например, точечные измерения характерных признаков почвы, и социально-экономические данные).

#### d. Область исследования и данные

Область исследования – это вся территория Кении (более, чем с 80 % засушливых земель).

##### 1). Данные NDVI

Набор данных GIMMS (Глобальный список исследований на основе моделирования и картирования, НАСА, Годдардовский центр космических полетов, подробности на сайте [http://gimms.gsfc.nasa.gov/ndvi/ndvie/GIMMSdocumentation\\_NDVle.pdf](http://gimms.gsfc.nasa.gov/ndvi/ndvie/GIMMSdocumentation_NDVle.pdf)) включает в себя изображения NOAA/AVHRR с разрешением 8 км. Эти данные откорректированы с учетом калибровки приборов, геометрии наблюдений, вулканических аэрозолей и других эффектов, не связанных с фактическими изменениями биомассы. Доказано, что точность GIMMS соответствует глобальной оценке и совместима с данными NDVI, полученными из других систем датчиков, типа MODIS, SPOT Vegetation, SeaWiFS и Landsat ETM+. Были использованы данные с июля 1981 г. по декабрь 2003 г.

##### 2). Климатические данные

Набор данных CRU TS 2.1, подготовленный Отделом климатических исследований Университета Восточной Англии, Великобритания, включает в себя 1224 ежемесячных сеток данных наблюдения метеорологических станций на период 1901-2002 гг., охватывая глобальную поверхность земли с разрешением в 0.5 градусов. Этот набор данных был калиброван, используя данные по высоте через интерполяцию тонкого сплайна. Он содержит, например, ежедневные средние, минимальную и максимальную температуру, суточный диапазон температуры, осадки, давление пара и облачный покров и т.д. Для исследования в Кении использовались данные по ежемесячным осадкам с января 1980 г. по декабрь 2002 г.

##### 3). Землепользование

Карта земельного покрова доступна из предыдущего исследования ФАО (2005) в Кении. Эта карта была создана с помощью визуальной интерпретации спутниковых изображений. Земельный покров был обобщенно представлен в трех широких типах землепользования - пахотные угодья, поля, леса и лесистая местность.

##### 4). Почва и физические особенности местности

Глобальная почвенная и топографическая база данных (SOTER) содержит данные по признакам почвы, включая цифровую модель рельефа SRTM. В Кении был подготовлен отрывок в 1:1м для стратификации исследуемой области по типам почвы и местности.

##### 5). Чистая первичная производительность (NPP)

MODIS NPP (MOD17A3) – это глобальный набор данных по общей и чистой первичной продуктивности земли, полученный с разрешением 1 км с интервалом в 8 дней. 8-дневная NPP вычисляется из PAR (Фотосинтетически активное излучение),  $f_{APAR}$  (доля поглощенного PAR) и коэффициентов эффективности конверсии, полученных из MOD15A2 и вспомогательных данных. Использовались данные MODIS NPP с 2000 по 2003 гг.

#### 6). Распространенность в городской/сельской местности

Данные о населении мира доступны из Глобального проекта картирования сел и городов (GRUMP) CIESIN. Эти данные предоставляются в обычной структуре с географической привязкой. Они включают в себя население земного шара с географической привязкой и перераспределением по городам, причем пространственные данные и данные о численности населения по административным единицам и в пределах города привязаны с разрешением в 30 секунд дуги; с привязкой в 30 секунд дуги участка, показывая пределы городского ареала по всему миру; и база данных поселений, их пространственные координаты и численность населения (CIESIN, 2004). Эти данные можно бесплатно загружать с [http:// sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/](http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/). В исследовании GLADA в Кении, набор данных для городской/сельской местности используется для маскировки городских районов.

#### 7). Глобальная карта орошаемых территорий - GIAM

GIAM<sup>4</sup> (<http://www.iwmigiam.org/info/main/index.asp>) составляется в Университете Йохана Вольфганга Гете во Франкфурте под эгидой ФАО. Она составляется с помощью спутниковых изображений с разрешением по местности в 10 км. Имеется также Глобальная карта богарных земель (GMRCA).

Карта GIAM показывает процент каждой ячейки 5 x 5 минут дуги, которые использовались для маскирования орошаемых территорий. Дальнейшее исследование выбрало те пиксели или элементы изображения, в которых орошаемые земли занимают более 5 % площади.

#### е. Анализ

Индикаторы биомассы (например, NDVI минимальные, максимальные, средние, максимальные-минимальные, сумма, стандартное отклонение и разница) рассчитывались в системах ГИС и RS. Данные NDVI за 2 недели привязывались к географии и усреднялись по месячным и годовым индикаторам NDVI для каждого пикселя. Их временные тренды определялись посредством линейной регрессии и наносились на карту, чтобы изобразить пространственные изменения. Отрицательный наклон линейной регрессии указывает на снижение зеленой биомассы, а положительный наклон указывает на ее увеличение.

Ежемесячные сетки данных по сумме осадков за период 1980-2002 гг. также привязывались к географии и повторно отбирались до 8 км (как и NDVI). Пространственная и временная картина распределения количества осадков на каждый пиксель определялись на основе регрессионного и статистического анализа в SPSS. Эта информация также используется для корреляционного анализа и анализа достоверности.

Горячие точки определялись в соответствии с их отрицательными тенденциям биомассы и эффективностью использования осадков и маскировались нанесенными на карту городскими и орошаемыми территориями.

---

<sup>4</sup> Продукты GIAM получены с использованием данных временных рядов: (a) AVHRR 10 км ежемесячно с 1997 по 1999 г., (b) SPOT с 1 км ежемесячно на 1999 г., (c) GTOPO30 с 1-километровым возвышением, (d) CRU 50-километровая сетка ежемесячной суммы осадков с 1961 по 2000 г., (e) лесной покров, полученный из AVHRR с 1-км (f) AVHRR 10-километровым верхним слоем. Кроме того, для африканских и южноамериканских тропических лесов использовались данные JERS SAR. Источник: <http://www.iwmigiam.org/info/main/index.asp>

f. Полученные данные

Области горячих точек определяются с точки зрения процентных изменений (Рисунок 4), а также абсолютных изменений. Дальнейший анализ продолжается с целью определения причин (инициаторов) деградации.

Bai и Dent (2006) выяснили, что за период 1981-2003 гг., зеленая биомасса и чистая первичная производительность увеличились более, чем на 80 % площади, хотя 20 % говорят о снижении.

Они сделали вывод о том, что (среди прочего):

1). Дистанционный сбор данных по индикаторам биомассы может указывать на горячие точки деградации земли. Сочетание тенденций биомассы с тенденцией эффективности использования осадков – это более устойчивый индикатор деградации, чем общий объем биомассы в тех регионах, где производительность ограничивается осадками.

2). Интерпретация не является прямой. Образцы NDVI должны подкрепляться полевыми исследованиями, чтобы установить фактические условия в данной местности.

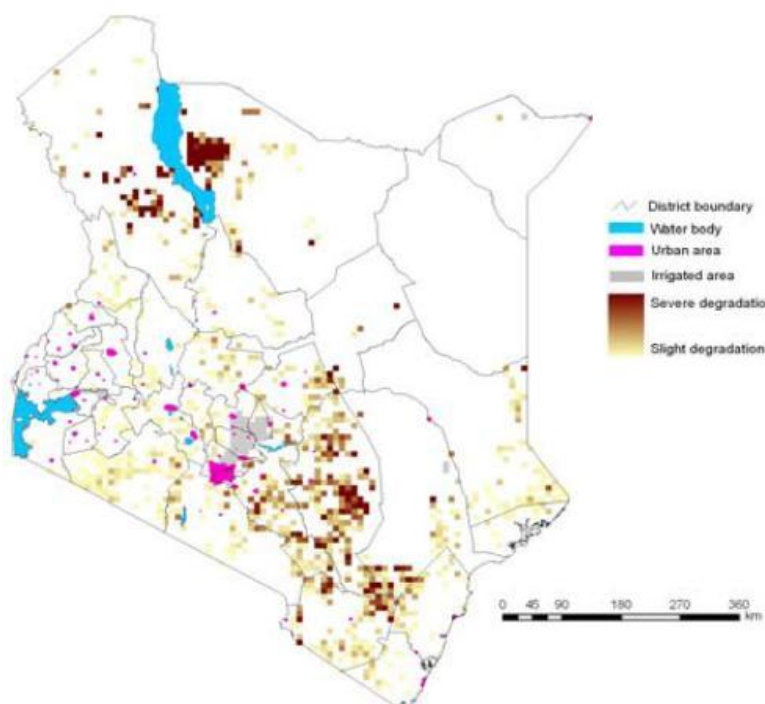


Рисунок 4. Территория «горячих точек», выраженная в процентном изменении (Источник: Bai and Dent, 2006).

## 6. GLADA в Северном Китае

Методология GLADA была изначально разработана и прошла испытание в Северном Китае (Bai и Dent, 2005). Данные изображения NOAA/AVHRR были взяты также из набора данных GIMMS (Евразия). Другие глобальные наборы данных не использовались.

Анализ и моделирование данных AVHRR проводились с помощью MS Access. Пространственные характеристики NDVI сравнивались и объединялись с данными по количеству осадков, температуре, чистой первичной производительности (NPP) и деградация земли, полученными из исследуемой области. Корреляция индикаторов, полученных из NDVI и их зависимость от количества осадков, температуры, NPP и эффективности использования осадков была статистически проанализирована. Основные выводы перечислены ниже.

1). Все индикаторы NDVI (минимум, максимум, среднее и т.д.) имеют биологическое значение.

2). Признаки снижения производства зеленой биомассы, указывающие на активную деградацию почвы, можно локализовать, исследуя форму ежегодной кривой NDVI, которая затухает задолго до климакса сельскохозяйственного сезона.

3). Исследование не рассматривало, повысилось ли качество земель в результате увеличения зеленой биомассы, выраженной как NDVI. Хотя увеличение растительного покрова приводит к сокращению почвенной эрозии и увеличению инфильтрации, аккумулярованию воды и органических веществ в почве. Когда это демонстрируется и подтверждается в поле, то разработанные индексы можно использовать в качестве исходных данных для системы раннего оповещения о деградации земли.

### pilot study in North China

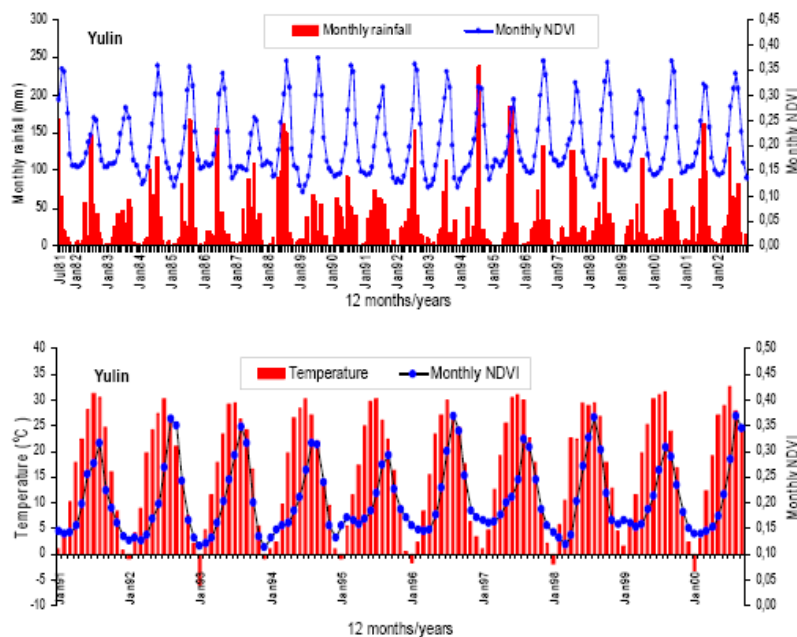


Рисунок 5. Профиль NDVI, исследование GLADA в Северном Китае. (Источник: Bai & Dent, 2005).

## 7. Подход FAO AEZ/ГИС

Методология FAO агроэкологического зонирования (AEZ) – это система оценки земельных ресурсов. Концепция AEZ включает в себя представление земли слоями пространственной информации и сочетание слоев пространственной информации с помощью ГИС. AEZ, в применении к исследованиям FAO, определяет зоны на основе



комбинации характеристик почвы, формы рельефа и климатических характеристик. С тех пор эта методология используется для обращения к различным вопросам, связанным с учетом земель, оценкой земель, планированием и управлением землепользования, оценкой деградации земель и картированием землепользования на глобальном, региональном, национальном и субнациональном уровнях.

Методология AEZ вначале применялась в глобальном масштабе для оценки потенциала производства продовольствия и возможности поддержки населения в развивающихся странах, используя почвенную карту мира ФАО в масштабе 1:5 миллионов. Впоследствии, была разработана глобальная цифровая база данных по земельным ресурсам AEZ, под названием Глобальные агроэкологические зоны 2000 (GAEZ). Эта база основана на цифровой почвенной карте мира (DSMW), цифровой глобальной почвенной и топографической базе данных (SOTER) и цифровых глобальных климатических баз данных (ФАО 20005).

Другой важной областью применения AEZ является оценка деградации земель. База данных GAEZ будет использоваться в проекте LADA. По инициативе LADA запускается широкая многолетняя международная программа по оценке деградации земель в засушливых районах, определению причин и последствий, с предложением коррективных мер. Задачей проекта является разработка практических методов оценки деградации земель и систем мониторинга, включающих как биофизические, так и социально-экономические факторы, критически необходимые для целенаправленных соответствующих и легко приспособляемых коррективных и восстановительных мер и инвестиций. Эти методы будут основаны на новых моделях агроэкологического зонирования, дистанционном сборе данных с высоким разрешением и применению ГИС.

Подход AEZ к оценке деградации земель применялся в странах Юго-восточной Азии, таких, как Бангладеш, Индия, Малайзия, Мьянмар, Непал и Таиланд.

## **Е. Опыт Азиатского региона**

Для Азии имеются различные карты и наборы данных. Список этих карт и наборов данных доступен на сайте <http://www.fao.org/ag/agl/agll/drylands/mapsasia.htm>.

### **1. Карта опустынивания засушливых районов Азии**

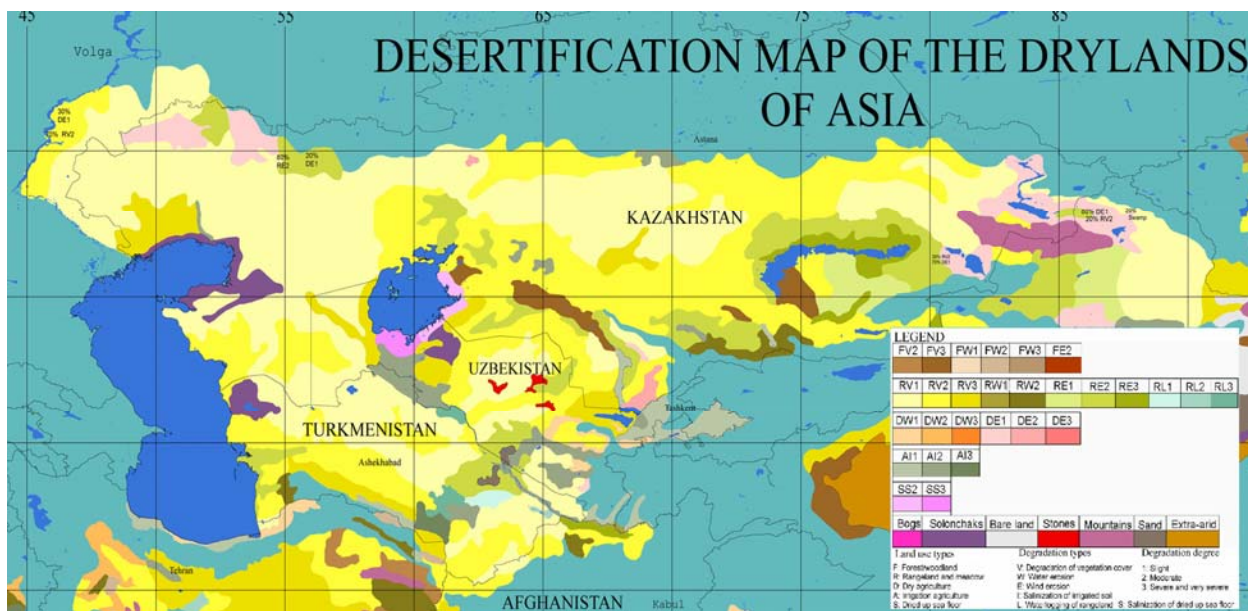


Рисунок 6. Карта опустынивания засушливых районов Азии (вырезка показывает только регион Центральной Азии). Источник: Khraim *et al*, 1999. Доступно на сайте [http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub\\_id=96960&app=0](http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub_id=96960&app=0).

Эта карта составлена Центром экологического дистанционного зондирования (CEReS) университета Чибя, Японии. Разрешение – 4 на 4 минут дуги. Можно запросить отчет по адресу [tateishi@ceres.cr.chiba-u.ac.jp](mailto:tateishi@ceres.cr.chiba-u.ac.jp). Текстовый файл, дополняющий карту, можно скачать с сайта

[http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub\\_id=96960&app=0](http://lada.virtualcentre.org/eims/download.asp?pub_id=96960&app=0). Хотя сами методологии не описываются в вышеупомянутом текстовом файле, можно предположить, что карта составлена с учетом мнения экспертов и, возможно, с использованием других источников данных, например, глобальных почвенных карт (как SOTER). В этом исследовании рассматриваются следующие типы опустынивания:

1- Деградация растительного покрова, 2- ветровая эрозия, 3-водная эрозия, 4-засоление почвы, 5- засоление почвы, вызванное падением уровня моря, 6-Заболачивание естественных пастбищ в Центральной Азии.

Степень опустынивания классифицируется по трем типам (1) легкое, (2) умеренное, (3) серьезное и очень серьезное. Типы землепользования, показанные на карте в данном исследовании - (1) лес/лесистая местность, (2) природное пастбище и луг, (3) богарное земледелие, (4) орошаемое земледелие, и (5) осушенное морское дно.

CEReS также подготовила следующее:

- (1) Набор данных по земному покрову (Азия)
- (2) Данные для карты опустынивания (Азия)
- (3) Двадцатилетний глобальный набор данных AVHRR NDVI (глобальный) в 4 минуты
- (4) База данных подспутниковых наблюдений земельного покрова (глобальная).

Описание каждого из наборов данных можно найти в “Данные по земному покрову и Данные по опустыниванию Азии” на сайте <http://www.fao.org/ag/agl/agll/drylands/mapsasia.htm>.

## 2. Тридцатисекундный набор данных по земному покрову

Рабочая группа по земному покрову (LCWG) Азиатской Ассоциации Дистанционного зондирования (AARS) разработала 30-секундный набор данных по земному покрову для Азии (<http://www-cger.nies.go.jp/lugec/Proceedings/14>) Tateishi.pdf). Набор данных AVHRR Global Land в 1-км использовался как источник спутниковых данных. Использовались 10-дневные смешанные данные AVHRR NDVI, полученные в период между 1 апреля 1992 г. и 31 марта 1993 г. и данные каналов 4 и 5 за период 1 апреля 1992 г. - 31 октября 1992 г.. Более широкую информацию о Наборе данных AVHRR Global Land 1-км см - Базисное поднятие в 1 км Global Land (GLOBE). В этом проекте использовалась Версия 1.0. Данные GLOBE – это глобальная сетка цифровых данных возвышения в 30 угловых секунд (более полная информация доступна в <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>). Для геометрической регистрации использовались береговые линии и национальные границы из данных Цифровой таблицы мира (DCW) базовой карты мира в масштабе 1:1 миллиону. Система классификации земельного покрова была разработана на основе обсуждений с членами LCWG/AARS (см. Tateishi и другие, 1997). По существу, имеются 3 основных группы классов земельного покрова - растительность, нерастительность и водоемы. Растительность подразделяется на 5 классов (Леса и местность, покрытая кустарниками; луга, заболоченная территория, смешанная растительность и редкая растительность). Нерастительность и водоемы, делятся на 3 подкласса каждый. 5 подклассов растительности также делятся по конкретным типам растительности. В Приложении II приводится система классификации. Неуправляемая классификация (ISODATA) проводится с использованием следующих данных на входе - соотношение температуры поверхности земли и NDVI (температура поверхности земли получена из 4 и 5 каналов AVHRR), максимальные месячные NDVI, минимальные месячные NDVI и цифровые данные возвышения.

## 3. Карта уязвимости к опустыниванию в Центральной и Восточной Азии

Эта карта была составлена Американским министерством сельского хозяйства (USDA) на основании наложения почвенной карты Азии и карты плотности населения. Для оценки уязвимость земли к опустыниванию использовалось сочетание классов качества земли, информации о свойствах почвы, климатических индикаторов и данных о численности населения. (Дальнейшую информацию по методологии см. на сайте <http://Почvas.usda.gov/use/worldПочvas/papers/desertification-africa.html> и <http://Почvas.usda.gov/use/worldПочvas/papers/tensionzone-paper.html>).

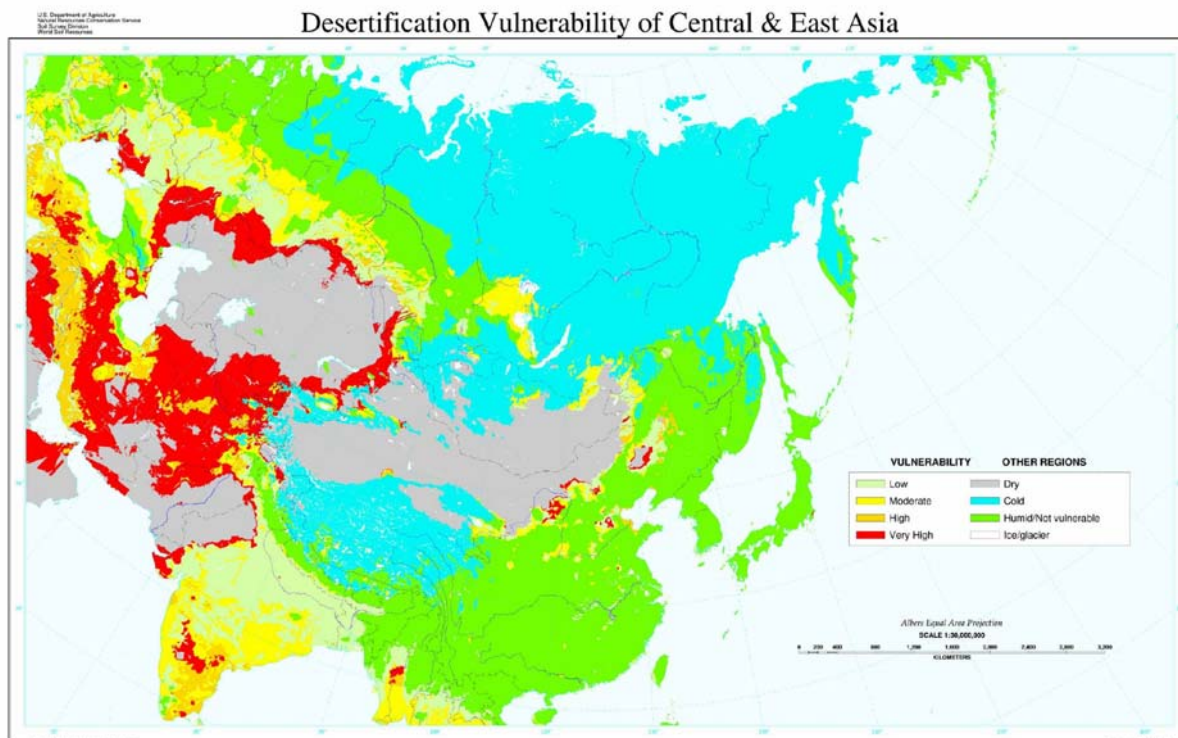


Рисунок 7. Уязвимость к опустыниванию в Центральной и Восточной Азии.

#### 4. Монголия

Монголия относится к странам, страдающим от серьезной деградации пастбищ. Пастбища занимают восемьдесят один процент всей территории страны. Около 90 процентов всей территории находится под угрозой опустынивания, а 45 процентов считаются зоной пустыни и пустынной степи. Большая часть земель затронута деятельностью человека. Особенно сильно сократилась территория целинных земель. При этом территория пустыни Гоби и пустынной степи увеличилась с 41 до 45 процентов. Тридцать четыре процента степи, пустынной степи и лесной степи деградированы. Исследования показали, что площадь деградированных земель увеличилась на 8-10 процентов за прошедшие десять лет. Присельные пастбища и природные источники воды испытали особенно сильное давление за последние годы (Borjigdkhan, 2005).

В 2000-2001 гг была составлена цифровая карта деградации земли и опустынивания в масштабе 1:3,000,000. Эта карта основана на широкой оценке исследовательских материалов, карт и данных дистанционного зондирования, и результатах национальных и международных проектов. Данные NOAA/AVHRR из данных NOAA и Landsat TM были проанализированы и классифицированы, чтобы получить такие данные, как относительная разность индекса растительности (NDVI). Спутниковые данные обрабатывались для получения динамики долгосрочного индекса засухи. Была разработана регрессионная модель для спектрального коэффициента отражения и биомассы растительности; была разработана модель относительной разницы индекса растительности и осадков; корреляционный и регрессионный анализ проводились для NDVI и биомассы растительности; и была рассчитана модель для температуры поверхности земли, NDVI и осадков. Были выделены основные категории земельного покрова, которые будут подразделяться в будущем, с оценкой каждой области, используя

ГИС – это водоемы; обрабатываемые земли; целинные земли, лесная степь и лес; деградированные пастбище; и область пустыни.

## **Ф. Центральная Азия**

### 1. Карта интенсивности деградации земель в Туркменистане

2.

Институт пустынь, Туркменистан (Бабаев (Babaev), 1985) составил карту интенсивности деградации земли в засушливых регионах Центральной Азии. При составлении карты использовались критерии ПРООН/ФАО деградации земли (например, деградация растительности, засоление, водяная и ветровая эрозия), основанные на данных предыдущих исследований, анкетах и спутниковых изображениях. Целью этой работы была классификация деградации по пяти классам – отсутствие деградации, слабая, умеренная, серьезная и очень серьезная деградация. Однако, в документах, прилагаемых к карте, нет описания методологии классификации (Kharin и Kiriltseva, 1988; Kharin *и др.*, 1986). Критерии, которыми пользуется Бабаев (Babaev)(1985) для классификации деградации растительности, включают, как индикаторы продуктивности, так и индикаторы видового состава. Однако, только для категорий серьезной и очень серьезной деградации отмечена низкая продуктивность и высокий процент несъедобных видов (Kharin *и др.*, 1986). Например, с умеренной деградацией 'связано присутствие более или менее устойчивых ассоциаций, которые были продуктивными в течение долгих периодов, но до сих пор содержат разновидности сорняков, в то время, как слабая деградация связана всего лишь с небольшими изменениями видового состава, при этом не даются количественные индикаторы (Robinson *и другие*, 2003).

В 1998 г. институт ботаники Казахской Академии Наук провел предварительную оценку деградации пастбищ в Казахстане. В этой работе говорилось о том, что естественные пастбища в Центральном Казахстане, в основном, находятся в очень хорошем состоянии, не считая локализованных участков вокруг сел (Садвокасов, 2000).

Исследование, проводимое совместно университетом Бен Гуриона, Израиль, и министерством охраны природы Туркменистана (Орловский *и другие*, 2006) использовали изображения Landsat TM и ETM+ для картирования изменений землепользования/земельного покрова в северном Туркменистане. Потом полученные данные обрабатывались в ГИС, показав сокращение и деградацию территории пастбищ. С 1970-ых в общей сложности ~4000км<sup>2</sup> пастбищ были переведены в категорию пахотных земель, тем самым, увеличив пастбищную нагрузку на остальной территории. На основе изображений был проведен спектральный анализ без смешивания, чтобы получить дробную карту в подпикселях для каждого конечного члена. Фракции почвы и растительности подчеркивают наиболее деградированные/восстановленные сектора в исследуемой области. Их результаты показали сокращение растительности в определенных областях, в то время как на большинстве участков пустыни происходило увеличение растительного покрова.

### 2. Деградация земель в Узбекистане

Институт государственного проектирования и исследований Узгипромелиоводхоз (УЗГИП) при министерстве сельского хозяйства и водных ресурсов Узбекистана (МСХВР) в 2003 г. провел оценку деградации земель по поручению ФАО (Технический отчет ФАО LADA, подготовленный УЗГИП).



В отчете освещаются основные компоненты деградации земли в стране, подкрепленные имеющейся статистикой по протяженности площади каждого типа деградации для всех 13 областей. Выделены следующие типы деградации - засоление почвы, гипсосодержание, снижение плодородия, водяная эрозия, ветровая эрозия и уплотнение почвы. Однако, в этом отчете LADA упор делается на вторичном засолении, так как оно признано главным типом деградации на орошаемых землях в стране. В отчете обсуждаются основные причины и процессы засоления, а также приводятся успешные примеры и неудачные случаи.



Рисунок 8. Зброшенныя землі ў Джызакскай стэпі. (Істочнік: Тэхнічны адчет ФАО LADA, УЗГІП, 2003. Фота зробана ў 2001 г.).

Два дзяржаўных дэпартаменты адказваюць за моніторынг і кантроль засаленнасці пачвы на нацыянальным, абласным і ўнутрыхазяйствеўным узроўнях. Гэта -

1). Дзяржаўны камітэт па зямельным рэсурсам (Узгосзем) кожныя пяць лет праводзіць моніторынг засаленнасці пачвы на орошаемых і богарных землях. Он такжэ праводзіць моніторынг другіх індыхатараў прайзводітэльнай спасыбнасці зямлі на орошаемых землях, затронутых засолением (пыхатэльныя вешчэства ў пачве, плодородие и т.д).

2). Спецыяльная служба меліорачыі пры дэпартаменте водных рэсурсаў міністэрства сельскага хазяйства і водных рэсурсаў праводзіць моніторынг за асновнымі індыхатарамі меліорачыі на орошаемых землях (засаленнасць пачвы, глыбшына і соленасць грунтоўных вод, дрэнажны сток и т.д).

Согласно Тэхнічэскаму заданію, на аснованні імеючыхся данных і адчытаў было падрыхтавана тры чыфровыя карты.

- 1). Пачвенная карта Узбекыстана ФАО (ФАО SMU) ў маштабе 1:1,000,000.
- 2). Карта засаленнасці пачвы ў Кашкадарыньскай абласці ў маштабе 1:200,000.
- 3). Карта засаленнасці пачвы Сырдарыньскай абласці ў маштабе 1:200,000.

ФАО SMU паказывае карреляцыю між пачвеннымі групамі ў саотвештвіі са Всеірнай справачнай базой па пачвенным рэсурсам (WRB). Она такжэ іспыхавалася для ацэнкі тэкущэга састання кожнага тыпа засаленнасці пачвы, степені і рыска працэсаў дэградачыі на неваздаданных і орошаемых пачвах, затронутых засолением на нацыянальным і рэгіянальным узроўнях.

А основании данных MAWR составлено две цифровых карты засоленности, при этом деградация сгруппирована по 3 уровням (незначительная, умеренная и серьезная).

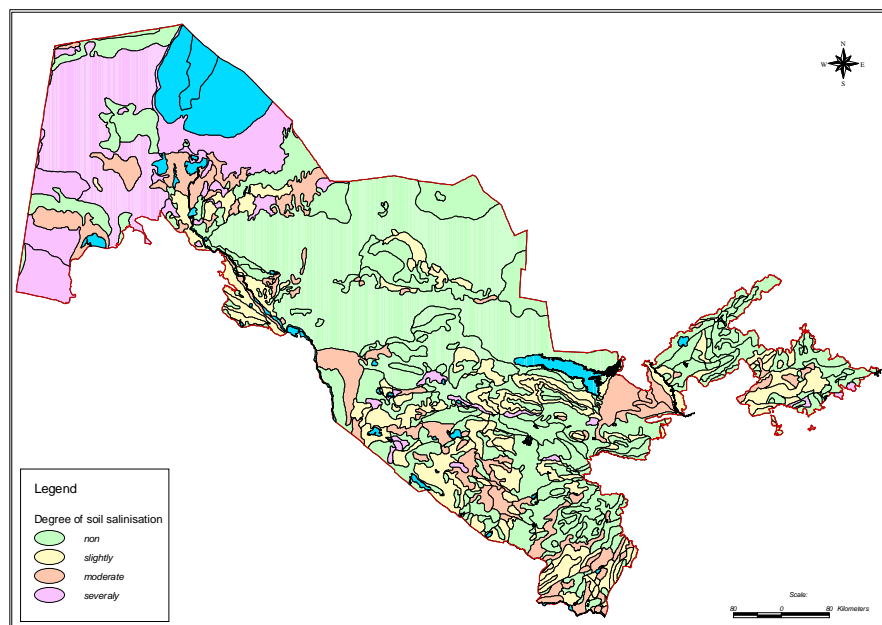


Рисунок 9. Степень засоленности почвы в Узбекистане. (Источник: УЗГИП, 2003 г.).

Было заявлено, что существующие различия между местной системой классификации и системой ФАО, слабый уровень лабораторных возможностей, а также отсутствие переносного оборудования служат главным ограничением при реализации международных процедур и стандартов оценки и мониторинга затронутых засолением почв являются.

Более подробную информацию по вопросам деградации земель в Узбекистане можно найти в работе Сайгала (2003).

### 3. Деградация земель в Казахстане (ADB TA 6155 и TA 4375)

#### a. ADB TA4375

В конце 2007 года был успешно завершен Проект АБР 4375 по технической помощи, называемый “Экологический мониторинг и система управления информацией для устойчивого землепользования” (EMIMS-SLU). Этот проект был нацелен на разработку руководящих принципов для экологического мониторинга и устойчивого землепользования. Основные результаты этого проекта ТП следующие.

1). Сформулированы руководящие принципы создания подсистемы ГИС/МИС SKO EMIMS на основании 19 основных принципов, включая, среди прочих, практичность, устойчивость системы, совместимость с существующими системами, способность обслуживать потребности в информации на различных уровнях администрирования, использование ГИС, масштабов, общность индикаторов, эффективность издержек, эффективное использование существующих данных. При разработке системы упор был сделан на предложенных индикаторах деградации земельных и водных ресурсов и практических шагах, которые необходимо

предпринять для того, чтобы получать и обрабатывать информацию, необходимую для каждого из этих индикаторов. Руководящие принципы предоставляют информацию относительно обоснования для выбора той или иной группы индикаторов, наличия данных, ввода данных и контроля качества, обработки данных и выходных данных по каждой группе индикаторов.

2). Были определены потенциальные ключевые игроки EMIMS на каждом уровне администрации (национальный и международный уровень, областной и более низкие уровни, и отдельные сельскохозяйственные предприятия).

3). Была спроектирована и установлена компьютеризированная подсистема SKO EMIMS. Конфигурация системы включает в себя программное обеспечение для базы данных *ESRI ArcGIS9.2*, *MS Access* и *Excel*. Данная конфигурация должна быть совместимой с существующей и будущей предлагаемой системой, как *GosNPCZem*, так и *MoEP-IAC*, а также с автономными базами данных, имеющихся во многих других учреждениях. Система имеет 6 компонентов с точки зрения потока информации - первичные данные (аналоговые карты, отчеты), обработанные данные (цифровой формат), ГИС (*ArcGIS9.2*), внешние инструменты (таблицы *Excel*), отчеты (дисплей) и распространение информации (вебсайты).

4). Определены главные причины деградации земель в SKO для 4 главных экосистем (а также промышленной деятельности, которая приводит к загрязнению водных ресурсов), а именно – вопросы богарного земледелия, орошаемого земледелия, природные пастбища и проблемы бассейна и водораздела. Рекомендованы коррективные меры.

Для природных пастбищ, занимающих 85 % области SKO, главной проблемой, приводящей к деградации пастбищ, сокращению интенсивности инфильтрации почвы и увеличению скорости распространения эрозии почвы служит выбивание пастбищ и неправильное управление природными пастбищами, например, отсутствие заборов и лесозащитных полос.

Большая часть богарных пахотных земель имеет средний и достаточно крутой уклон, поэтому, там главной и постоянной проблемой является водная эрозия. Проблема эрозии усиливается неправильными методами управления землей.

Более 42 % орошаемых земель страдают от засоленности почвы (включая 1 %, от воздействия натрия). Небольшая часть орошаемой пахотной земли (заливаемой водой) подвергается водной эрозии. Хлопковая монокультура и засоленность почвы определены в качестве главных проблем.

С точки зрения управления бассейном и водоразделом, попуски воды в Сыр Дарью при выработке электричества в Кыргызстане приводят к затоплению и ухудшению проблемы засоленности. Постоянно поднимаются и обсуждаются трансграничные проблемы.

#### 5). Индикаторы деградации земли

Kaz4375 определил многочисленные индикаторы, связанные с деградацией земель. Эти индикаторы сгруппированы под тремя главными категориями - физические, биологические и социально-экономические.

Для природных пастбищ и сенокосных угодий, ключевыми индикаторами являются эрозия почвы и инфильтрация почвы, наличие питательных веществ в почве и все биологические индикаторы, такие, как чистая фотосинтетическая производительность, полезная биологическая производительность, индекс листовой поверхности и связанный углерод, представленный растительностью.



Для богарного земледелия ключевыми индикаторами служат эрозия и инфильтрация почвы, большинство индикаторов плодородия, такие, как питательные вещества и органика, а также многие биологические индикаторы.

Ключевые индикаторы, выявленные для орошаемого земледелия, - это повышение уровня грунтовых вод, инфильтрация почвы, засоленность и перенасыщенность натрием.

6). Сформулированы методологии мониторинга природных пастбищ.

Рекомендуется, чтобы мониторинг природных пастбищ осуществлялся на основе дистанционного зондирования, с помощью которого можно получать последнюю информацию о состоянии и условиях деградации растительности.

#### **Комментарии:**

1). Успешный и продуктивный конкретный пример.

Проект надлежащим образом обратился к проблемам, связанным с деградацией земель и экологическим мониторингом. Была разработана и внедрена информационная система. Результаты проекта очень ценны для продолжения дальнейших усилий в этом направлении, а достижения заложили серьезный фундамент для дальнейшего развития устойчивой информационной системы управления земельными ресурсами для Центрально азиатских стран.

2). Проблема обмена информацией.

Вопрос обмена данными поднимается в заключительном отчете проекта Kaz4375. Этот вопрос, несомненно, заслуживает дальнейшей разработки. Reeves и Bedunah (2006) выяснили, что получение топографических карты или аэрофотоснимков сдерживается из-за их стоимости и проблем безопасности в Центральной Азии. В одном случае во время работ в Центральной Азии служба безопасности конфисковала топографические карты, а в других случаях использование топографических карт было ограничено внутренним использованием в пределах конкретной страны.

Также представляет проблему обмен данными между государственными организациями. Проект выполнялся в течение года. По словам сотрудников местной НПО, отвечающей за наблюдение за проектом, много времени (около 6 месяцев) было потрачено на инициацию проекта и сбор карт и материалов. Многие организации с неохотой предоставляют данные.

3). Изображения Земли в системе Google.

В США, исходные изображения делаются с разрешением в 15м, некоторые штаты полностью охвачены изображениями с разрешением в 1м (или даже выше). Самое высокое разрешение имеют изображения по Кембриджу, Бостон (15см). Данные изображений можно видеть из квадратов, получаемых при активировании цифрового охвата. Дата рядом с защищенной информацией не является точной датой получения изображения. Увеличение или уменьшение масштаба изображения может изменить дату картинки. Большинство международных городских изображений датируются 2004 годом и с тех пор не обновлялись. Однако, большинство американских изображений постоянно обновляется.

Google Earth – это, наверное, самый лучший из всех имеющихся инструментов визуализации ГИС. Можно чертить и редактировать. В Google Earth можно даже загрузить собственные изображения, слои ГИС и измерения GPS. Google Earth обеспечивает прекрасный инструмент визуализации детализированных наземных особенностей. С его помощью становится возможным картирование землепользования/земельного покрова для маленьких областей путем загрузки изображений (экран за экраном) и использования их в ГИС для визуальной интерпретации. Большинство изображений для Центральной Азии современны (многие получены в 2006 г.), как отмечено KAZ4375. Типы растительности, эрозия с образованием оврагов, перевыпас, засоленность почвы, проявляемая в заброшенных землях и плохого состояния растительности, и много других подробностей можно четко различить на базовых изображениях. Но это инструмент непригоден для картирования больших районов.

Спектральный анализ невозможен, потому что нет первоначальных спектральных полос, а изображения показаны уже в цветной комбинации (которые можно загружать как файлы JPEG). Поэтому, расчеты индексов растительности и компьютерная классификация невозможны.

#### 4). Дистанционный сбор данных

Компонент дистанционного зондирования не получил должного внимания. Хотя в отчете упоминалось о том, что дистанционное зондирование должно обеспечить информацию для мониторинга состояния природных пастбищ. Возможно из-за сроков проекта, этот вопрос не был рассмотрен соответствующим образом. Кроме мониторинга природных пастбищ, также не была рассмотрена возможность обновления других типов информации, например, изменения землепользования и земельного покрова.

#### в. ADB TA6155-REG

(Развитие потенциала систем управления экологической информацией в Центральной Азии)

Проект получил самую низкую оценку среди 8 проектов по экологическим проблемам Центральной Азии и отмечен как неудовлетворительный (см. АБР, 2007), главным образом из-за того, что ни один из результатов не получил должное завершение. Разрабатывается прототип системы управления экологической информацией, EIMS. Система предназначена для того, чтобы предоставить лицам, принимающим решения, свободный доступ к экологической информации. Миссия АБР по оценке операций (ОЕМ) заключила, что этот прототип далек от уровня, который можно оперативно использовать для обращения к трансграничным экологическим проблемам или любым другим вопросам управления экологией. Миссия по оценке операция далее заявила, что прототип EIMS – это не "система", так как она не связывает правительства четырех стран, а лишь предоставляет один "слой" экологической информации для очень ограниченной области. Хотя научные информационные центры первоначально рассматривались как ключевые учреждения по реализации EIMS, на начальной стадии реализации RETA, эти центры, представленные одним человеком на страну, как оказалось, не имели необходимого потенциала (АБР, 2007).

Тем не менее, стоит упомянуть некоторые аспекты этого проекта.

1). Прототип EIMS - это система на основе Интернет, которая обеспечивает прекрасную платформу для распространения и обмена информацией между всеми

заинтересованными сторонами. Она способна обслуживать карты ГИС, а также дистанционные изображения через Интернет. Используемый пакет WebГИС – это MapServer университета Миннесоты, открытой системы Интернет ГИС. Это – новейшие тенденции ГИС технологий по распространению ГИС данных через Интернет с целью обмена информацией. MapServer – один из самых популярных пакетов прикладных программ по веб-картированию. Системы открытых программных средств (OSS) популярны в силу таких причин, как легкий доступ, легкая установка, превосходные сети поддержки, экономичность, легкое хранение, легкое распространение, помощь в обмене данными, и способность интегрировать данные из множества источников и настройки продуктов и услуг. Технология картирования средствами Интернет рекомендуется для ИС-УУЗР ИСЦАУЗР. ГИС Интернет не является новшеством для Казахстана и Узбекистана. В Казахстане, информационно-аналитический центр министерства охраны окружающей среды в настоящее время имеет систему, основанную на ESRI ArcIMS. Информация о биоразнообразии, рыболовстве, воздухе и воде предоставляется примерно 40 государственным органам. Система WEB ГИС, разработанная при межгосударственной комиссии в Узбекистане использует MapServer.

Согласно описаниям, предоставленным в Техническом документе Справочника программиста (Хельсинская Консалтинговая группа, 2006), MapServer используется просто для демонстрации картографических источников и изображений ГИС по Интернету. Дизайн системы кажется слишком простым, а программный интерфейс ГИС имеет всего 13 простых функций, таких, как изменение масштаба изображения, параметров карты, выбора слоя и снимка (кадра). Кажется, что система может только показывать карты ГИС, но при этом не показывает графики и таблицы информации о качестве воды и нет возможности создавать отчеты в процессе работы. Кроме того, отсутствуют функции анализа данных.

2). Список индикаторов, используемых в Центрально азиатских странах, предоставлен в конце заключительного отчета (Хельсинская Консалтинговая группа, 2007). Перечисленные индикаторы, главным образом, касаются воздушной эмиссии и качества воды, и только 5 из них связаны с деградацией земель.

## **Г. Заключение**

Оценка деградации земель в значительной мере сдерживается серьезными пробелами в наших знаниях о текущей ситуации (Pagiola, 1999; Branca, 2001). По мнению некоторых аналитиков, деградация земель представляет главную угрозу для продовольственной безопасности; она свела на нет многие аспекты повышения производительности в прошлом, и со временем она только усиливается (Pimentel и др., 1995; UNEP, 1999; Bremen, Groot и van Keulen, 2001). Другие авторы полагают, что серьезность ситуации переоценивается на глобальном и местном уровне (Crosson, 1997; Scherr, 1999; Lindert, 2000; Mazzucato и Niemeijer, 2001). (Источник: Мировое сельское хозяйство: К 2015/2030. Перспектива ФАО).

Предпринимавшиеся ранее усилия по оценке деградации, главным образом, базировались на мнении экспертов. За последнее время огромные успехи достигнуты в области методов и технологий, применяемых к оценке деградации. ГИС и дистанционные методы сейчас широко применяются во многих странах для исследования причин, воздействия и тенденций деградации земли. Подход ФАО-WOCAT и метод GLADA представляют собой наивысший уровень технологических стандартов.

Несмотря на совершенствование методов оценки, остается много серьезных проблем, связанных с их применением для перспективного анализа. Они до сих пор в значительной мере основаны на мнении экспертов, по вполне обоснованным причинам. Нет явного согласия относительно площади деградированной земли, даже на национальном уровне. В Индии, например, оценки разных государственных органов разнятся от 53 до 239 миллионов га (Katyul и др., 1997). Деградация земель – весьма изменчива даже внутри небольшой области, как следствие, например, различных типов почвы, топографии, возделываемых культур и практики управления. Поэтому, воздействие деградации в значительной мере зависит от конкретной территории. Оно может также зависеть от времени - воздействие эрозии почвы может меняться в ближайшей перспективе из-за разницы в уровне осадков по годам, причем в год с высоким количеством осадков урожайность не снижается, тогда как в засушливый год отмечаются значительные потери урожайности (Moуо, 1998). Некоторые формы деградации не так легко увидеть, например, уплотнение грунта, окисление и снижение биологической активности. Отсутствие данных и аналитических инструментов для измерения таких различий мешает или ограничивает оценку их воздействия на производительность, что делает проблематичным пропорциональное расширение проводимой оценки до национального или регионального уровня. Отсутствуют согласованные на международном уровне критерии или процедуры оценки серьезности деградации, при том, что большинство исследований не проводят надежные оценки. Вряд ли многие страны проводят систематическую оценку с регулярными интервалами, которая позволила бы оценить скорость изменений. Наконец, серьезные изменения социально-экономических условий, улучшение возможностей рынка, инфраструктуры и технологий в средне- и долгосрочный период могут побудить фермеров бороться с деградацией (Tiffen, Mortimore и Gichuki, 1994).

#### **IV. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

##### **A. Введение**

###### **1. Дистанционные методы измерения - Определение**

Дистанционное измерение широко определяется как наука получения информации об объекте, не входя с ним в физический контакт. В наших целях, дистанционное измерение определяется как измерение свойств объекта на поверхности земли, используя данные, полученные с самолетов и спутников. Следовательно, это - попытка измерить что-то на расстоянии, а не *на месте* (Schowengerdt, 1997).

Принцип дистанционного измерения для изучения особенностей земной поверхности состоит в том, что каждая особенность поверхности, как считают, отражает или поглощает разное количество энергии в разных спектральных областях (Рисунок 10). Спектральные отражательные способности особенностей поверхности известны как характеристики системы.

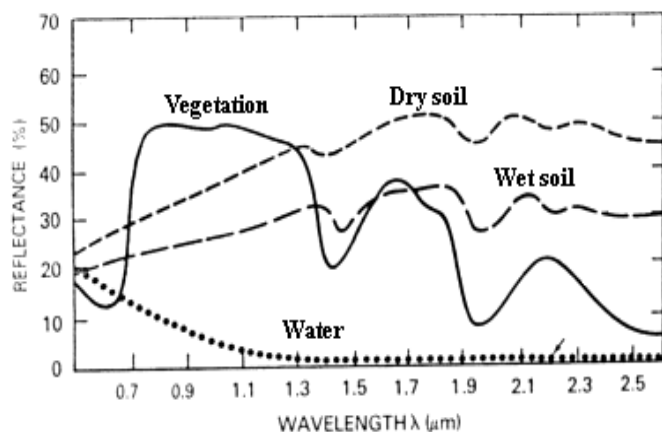


Рисунок 10. Кривые спектральной отражательной способности для почвы, воды и растительности.

## 2. Краткая история

В 1972 году был запущен спутник Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1) или Спутник Технологий Земных Ресурсов. Впоследствии, он был переименован в Landsat. Это был первый из очень успешной серии Landsat платформ дистанционного измерения (самый последний Landsat 7 запущен 15 апреля 1999 г.). Было запущено в космос много других приборов дистанционного зондирования с упором на мониторинг растительности, включая серию Systeme Probatoire de la Observation de la Terre (SPOT, 1986, Франция), European Radar Satellite (Европейский радиолокационный спутник, 1991), IKONOS (частный, 1991), спутник OrbView-2 (1997), и дополнительные устройства дистанционного зондирования с миссией полезного груза на американском космическом корабле Шаттл.

Современные данные дистанционных измерений получены со спутников, высоко летающих и низко летающих самолетов. Каждый способ платформенного транспорта имеет свои преимущества и свои недостатки.

## 3. Системы дистанционных датчиков

Удаленные системы дистанционных датчиков обнаруживают отраженную или испускаемую радиацию в диапазоне конкретной длины волны электромагнитного спектра. Сенсорные системы, работающие в оптической и ближней инфракрасной областях (NIR) спектра, включают ряд Landsat (MSS, TM, и ETM +), SPOT, LISS и AVHRR, которые чрезвычайно полезны для исследований растительности. Спутниковые датчики СВЧ-излучения (длинные волны) дистанционного измерения измеряют количество отраженного радиолокационного сигнала, излучаемого датчиком и отраженного от объекта, они включают, например, RADARSAT, ERS1 и 2, и ASAR. Радиолокационные изображения особенно полезны для опознавания и считывания содержания влаги в почве и растительности (см. Merzouki и другие, 2005). Однако, существуют приборы, которые работают в тепловом спектре, типа Landsat TM 4 и 5, и ETM + (Landsat 7) и AVHRR. Изображения из этого спектра могут использоваться для получения температуры поверхности земли. Гиперспектральные дистанционные датчики спроектированы с узким спектральным разрешением (узкий диапазон волн, обычно 5-10нм) для измерения отраженной энергии от видимого спектра до коротковолнового инфракрасного последовательно. Например, Hyperion имеет 220 спектральных полос из спектра 0.4 до 2.5μm. Гиперспектральные приборы с высоким спектральным разрешением особенно полезны для изучения пустынной растительность и деталей рельефа местности (см. Weber и другие, 2005). Гиперспектральное дистанционное измерение – это новая технология, дающая возможность определять виды растений, картировать растительность, характеризовать свойства почвы, определять загрязнение,

классифицировать экологические элементы и характеристики среды обитания, и дифференцировать причины нагрузок на растительность.

Изображения, полученные с помощью дистанционного измерения, можно также разделить по категориям согласно пространственному разрешению (см. Lantieri, 2003). Изображения низкого разрешения относятся к изображениям, полученным с разрешением на местности свыше 250м или около этого. Например, местный охват NOAA/AVHRR имеет разрешение точки надира в 1км. Датчики со средним разрешением – это такие, которые имеют разрешение в пределах от 100м до 250м. Как правило, эти изображения имеют намного более высокую частоту повторной съемки и, поэтому полезны для глобальных/региональных исследований и мониторинга растительности, мониторинга засухи и раннего оповещения. MODIS (видеоспектрометр с умеренным разрешением) обеспечивает данные в 3 разных разрешениях (250м, 500м и 1км). Данные MODIS используются, например, в фенологической эволюции растений (Palacio-Orueta *и другие*, 2005), поверхностных потоков на земле (Garcia *и другие*, 2005). Изображения с высоким разрешением в десятки метров, такие, как Landsat и LISS были задействованы в разных случаях оценки деградации земли. Изображения с очень высоким разрешением - это те, которые получены с разрешением на местности меньше уровня от 10м до субметра. Например, изображения QuickBird с 0.6м разрешением доступны в GoogleEarth для основных городских центров. Только эти изображения имеют очень ограниченный охват (от 100км<sup>2</sup> примерно до 250км<sup>2</sup>). Изображения с самым высоким разрешением показывают мельчайшие детали на земле и могут использоваться как данные подспутниковых наблюдений, однако стоимость этих изображений высока. 1м панхроматической полосы IKONOS можно использовать для подсчета отдельных деревьев и кустарников и сравнения с историческими аэрофотоснимками (см. Tucker, *и другие*, 2005).

За более подробной информацией по терминологии, пространственному охвату и разрешению, спектральному охвату и разрешению, временным и другим характеристикам дистанционных данных, пожалуйста, обращайтесь в Учебник по дистанционному сбору данных для начинающих, доступный в онлайн-режиме на <http://tncweeds.ucdavis.edu/products/sensing/primer.html>.

#### 4. Индексы растительности

Растительный покров – это, возможно, самый важный биофизический индикатор деградации земель и опустынивания. Исследования растительности часто проводятся с использованием, так называемого, индекса растительности. Обычно, спектр отражения в красной и инфракрасной области объединяется, так как растительность интенсивно поглощает падающее излучение в красной области спектра (до 90 %, вызванных пигментом листа). В то же время, в инфракрасной области зеленые листья являются сильным отражателем. Сильный контраст коэффициента отражения наблюдается только в зеленой растительности, тогда как лишенная растительности почва представляет одинаковый коэффициент отражения, как в красной, так и в инфракрасной области.

NDVI – это индекс, который предоставляет стандартный метод сравнения зеленого цвета растительности между спутниковыми изображениями. NDVI вычисляется по следующей формуле:

$$\text{NDVI} = (\text{ближняя ИК область} - \text{красная область}) / (\text{ближняя ИК область} + \text{красная полоса})$$

Величина индекса может колебаться от - 1.0 до 1.0, но величина индекса растительности обычно колеблется от 0.1 и 0.7. Более высокая величина индекса связана

с более высоким уровнем здорового растительного покрова, тогда как облака и снег дают величину индекса в районе нуля, создавая представление о том, что растительность на этом участке менее зеленая.

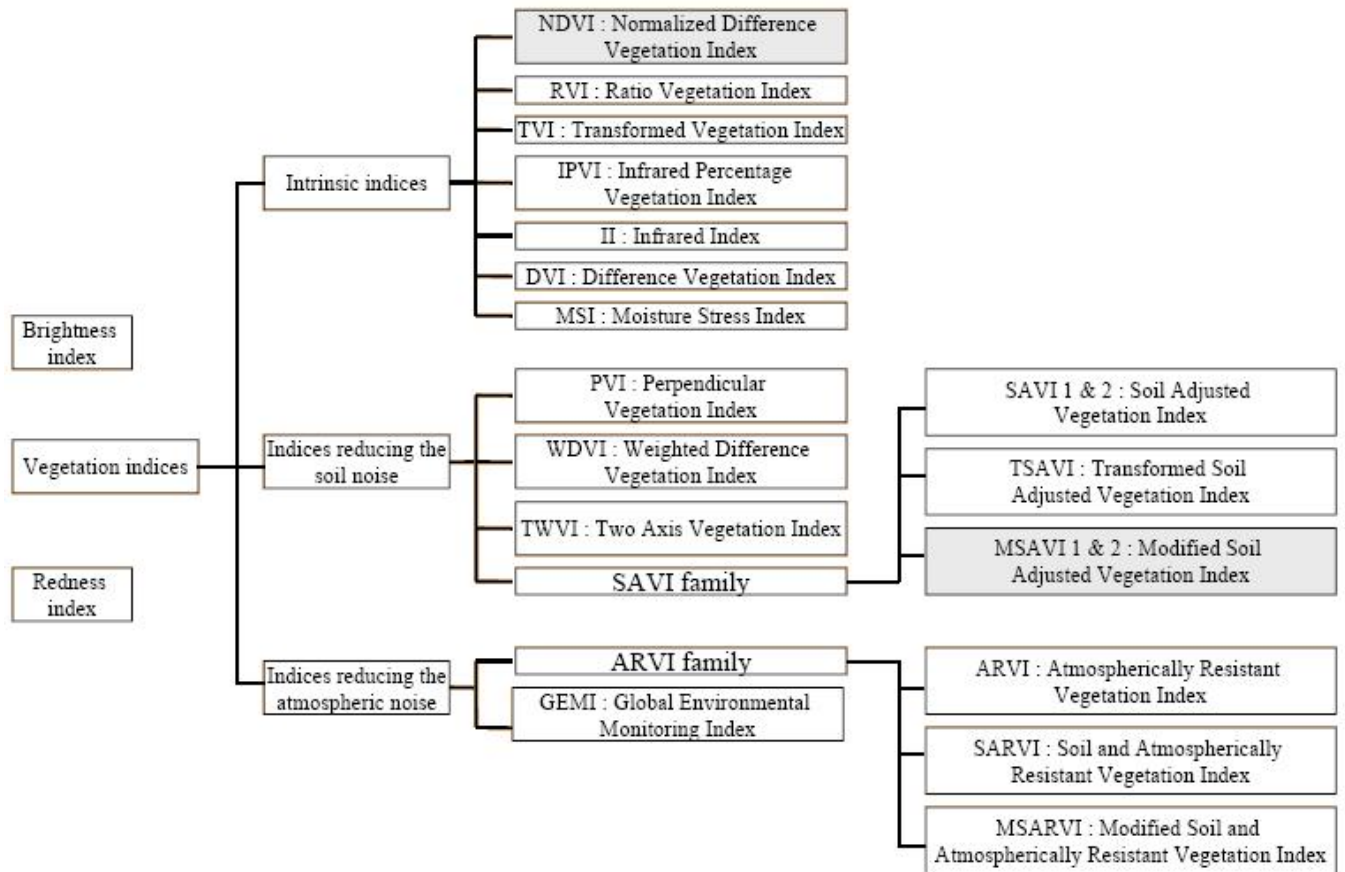


Рисунок 11. Индексы растительности, полученные с помощью дистанционных измерений. (Источник: Lantieri, 2003).

## 5. Применение дистанционных измерений для деградации земель

Наземные исследования, проводимые с целью картирования и оценки растительности и других биофизических индикаторов деградации земель, служат в качестве фундаментальных методов оценки и определения типа, степени и серьезности деградации земель. Однако, полевые исследования могут проводиться только на ограниченной территории. Изображения, полученные с помощью дистанционных методов, используются в качестве источника первичных данных для картирования протяженности и состояния экосистем на большой территории. Такую всеохватывающую информацию невозможно получить на основе полевых исследований или данных переписи. В отличие от наземных измерений, дистанционные данные обеспечивают измерения, совместимые по всей наблюдаемой области и не подверженные изменяющимся методам сбора данных в разных местах. С помощью повторных наблюдений с тем же самым дистанционным прибором можно также проводить измерения, совместимые во времени и в пространстве. Большинство дистанционных данных, полезных для оценки состояния и тенденций экосистем, получены с датчиков, установленных на спутниках. Спутниковые данные, как правило, цифровые, а,

следовательно, подлежат компьютерному анализу для классифицирования типов земельного покрова и оценивания тенденций. Существует несколько типов цифровых дистанционных данных (Jensen 2000).

Оптическое дистанционное зондирование обеспечивает цифровые изображения количества электромагнитной энергии, отраженной или излученной с поверхности Земли с различной длиной волн. Активное дистанционное зондирование длинными СВЧ-волнами (RADAR), коротковолновым лазерным излучением (LIDAR) или звуковыми волнами (SONAR) измеряет количество обратного рассеяния от электромагнитной энергии, излучаемой самим датчиком. Пространственное разрешение (область земли, наблюдаемая на элементе изображения или пикселе), временное разрешение (как часто датчик записывает изображения из конкретной области), спектральное разрешение (количество определенных интервалов длин волн в электромагнитном спектре, к которым данный датчик чувствителен) и радиометрическое разрешение (точность обнаруженного сигнала) определяют полезность данных для конкретного применения. Например, данные с очень высоким пространственным разрешением могут использоваться для картирования среды обитания на местных территориях. Однако, низкое временное разрешение ограничивает возможность картирования изменений во времени. Ключевым элементом интерпретации дистанционных данных является калибровка и сверка с данными, полученными *на месте*. Наземные данные помогают в интерпретации спутниковых данных, определяя местоположение конкретных особенностей рельефа на поверхности земли. Эти места можно затем пометить на спутниковом изображении, чтобы получить спектральные характеристики различных особенностей рельефа. Наземные данные также чрезвычайно важны для проверки точности и надежности интерпретации спутниковых данных. Привязка наземных данных к спутниковым создает логистические вызовы, если нужные территории недоступны. Кроме того, поверхность земли часто неоднородна, так, что в одном пикселе, наблюдаемом со спутника, содержится много разных типов растительности. Затем наземные наблюдения нужно отмасштабировать до пространственного разрешения датчика. Несмотря на эти вызовы, использование наземных данных для калибровки и проверки чрезвычайно важно для эффективного использования спутниковых данных для оценки экосистем. (Оценка экосистем тысячелетия, [http://www-tem.jrc.it/PDF\\_publis/2005/DeFries\\_etal\\_MEA\\_Nov05\\_fulltext.pdf](http://www-tem.jrc.it/PDF_publis/2005/DeFries_etal_MEA_Nov05_fulltext.pdf)).

Среди множества возможных применений дистанционных технологий для исследования деградации почвы, ЮНЕП-ГЭФ (2001) выделили следующие:

- (a) Картирование изменений земельного покрова между двумя датами, калиброванных на количество осадков и проверенных в Sahel, и применимых, главным образом, для резких изменений земельного покрова;
- (b) Выявление территорий, где растительный покров всё меньше и меньше реагирует со временем, проверенное на пилотной основе, используя индекс растительности NOAA и количество осадков, измеренное с метеорологических станций и при возможности дополненных данными Meteosat;
- (c) Использование дистанционных измерений для стратификации земли на однородные единицы относительно риска опустынивания, калиброванных к наземной полевой выборке, используя спутниковые данные с высоким разрешением (например, Landsat TM, SPOT, RADARSAT, и т.д.), чтобы нанести на карту земельный покров и рельеф местности, вместе с агроэкологическими зонами;
- (e) Контролируемая или полуконтролируемая классификация спутниковых данных с высоким разрешением для картирования типов земель и типов растительности;



(f) Картирование риска эрозии или деградации земли, используя ГИС, наложение различных тематических слоев и модели, проверенной в ряде исследований, например исследование ФАО в Паране, Бразилия.

#### 6. Некоторые вызовы в связи с применением дистанционных измерений в засушливых районах

Okin (2000) указывал на то, что большинство современных методов дистанционного измерения растительного покрова основаны на характеристиках влажной растительности с большой листовой поверхностью, почти непрерывным листовым пологом, высоким содержанием хлорофилла и тонкими прозрачными листьями. Следовательно, мониторинг протяженности опустынивания требует таких индексов растительности, которые специально разработаны для использования в засушливых регионах (с низким растительным покровом). Однако, извлеченные количественные данные о типах растительности, покрове, биомассе или индексе площади листовой поверхности (LAI) на территориях с низким покровом очень трудно анализировать дистанционно, потому что: (1) растительный покров, как правило, редок по сравнению с фоном почвы, (2) спектральные характеристики почвы и растений имеют обыкновение смешиваться нелинейно, вследствие многократного рассеивания лучей света, что может привести к переоценке зеленого растительного покрова и недооценки теневой области, и (3), у засушливых растений, как правило, отсутствует ярко выраженный красный край, видимый в растениях во влажных регионах, вследствие экологической адаптации к суровой среде пустыни (маленькие листья, вертикально ориентированные, сокращают площадь поверхности листа, и открытые пологи означают, что значительная часть почвы просматривается через большинство пологов засушливой растительности) (Huete, 1988, Liu и Huete, 1995, Okin, 2000).

Вышеупомянутое понятие указывает на то, что используемые обычно индексы растительности, возможно, не совсем подходят для территории со скудной растительностью. Применяя анализ изображений дистанционного зондирования, более полезными будут индексы растительности, менее чувствительные к фону почвы. Поэтому, при картировании природных пастбищ в пустыни, вероятно, придется использовать индекс растительности, приспособленный к конкретной почве (Huete, 1988).

## **В. Изменение землепользования и земельного покрова**

### 1. Краткий обзор картирования землепользования/земельного покрова

Важность информации по землепользованию/земному покрову трудно переоценить. Информация по землепользованию/земному покрову, наверное, самая важная для принятия решений и планирования устойчивого землепользования. Эта информация может также использоваться во многих других применениях, например, в экологической экспертизе и аудиту, связанному углероду и т.д.

Земельный покров – это биофизическое состояние земной поверхности и слоя, находящегося непосредственно под поверхностью земли. Землепользование касается, как способа воздействия на биофизические признаки земли, так и намерения, лежащего в основе этого воздействия - цели, в которой земля используется (Turner и другие, 1995). Данные по землепользованию необходимы для анализа экологических процессов и проблем, которые необходимо знать, принимая решение об улучшении или поддержании на существующем уровне условий и стандартов жизни (Anderson и другие, 1976).

Земельный покров и землепользование представляют собой объединяющие элементы ресурсной базы. Изменения земельного покрова и землепользования затрагивают глобальные системы (например, атмосферу, климат и уровень моря). Даже если они происходят локально, но во многих местах, вместе взятые они оказывают существенное влияние (Meуег и Turner, 1992). Земельный покров - это выражение человеческой активности, и как таковое, он меняется с изменениями в человеческой деятельности. Следовательно, земельный покров – это географическая особенность, которая может сформировать опорную базу для различных применений – начиная с мониторинга лесов и природных пастбищ, производство статистики, планирования, инвестиций, биоразнообразия, изменений климата, и заканчивая контролем за опустыниванием (ФАО, 2000b).

Пространственно-временная информация относительно землепользования и изменения покрова – это веское доказательство 'состояния' земли. Эта информация может быть связана с движущими силами и давлениями на охваченной территории (Smaling, 2005). В настоящее время в Азии – самая большая концентрация областей с быстрыми изменениями земельного покрова, и в частности, деградации засушливых земель (Lepers *и другие*, 2004).

Определение UNCCD деградации земли не дает четкого определения самой LUCS как деградация земли, но когда она приводит к потере производительности и функций и услуг экосистемы, тогда это - часть деградации земли. LUCS имеет прямые пространственные и временные измерения, позволяя проводить измерения, мониторинг и количественное выражение изменений и воздействия, используя спутниковые изображения, вместе с цифровыми моделями возвышения и другими инструментами на базе ГИС. Пространственная шкала также важна, поскольку факторы, способствующие изменению землепользования, как правило, отличаются от одного масштаба к другому (De Koning и др., 1998; Veldkamp и др., 2001). То же самое относится и к оценке риска эрозии (Okoth, 2001), подтверждая концепцию «появляющихся свойств», характерных для каждого масштаба. Теория иерархии указывает, что работа в определенном масштабе часто требует глубокого знания, по крайней мере, двух других масштабов (например, Allen и Starr, 1982). Характеристика изменений землепользования во множественном масштабе также показала, что землепользование в каждом масштабе объясняется с помощью различных индикаторов (De Koning и др., 1998). Литература по моделированию изменений землепользования и изменений земельного покрова имеется в большом количестве (например, Veldkamp и Lambin, 2001; Verburg *и др.*, 2002).

Несколько инструментов мониторинга LUCS и LD обсуждаются в работе Bridges *и др.* (2001). Засоление, например, можно очень хорошо изучать, используя методы дистанционного измерения (Караванова *и др.*, стр 261-273 в Bridges *и др.*, 2001).

Инвентаризация изменений земельного покрова необходима для анализа тенденций, причин и последствий природных и искусственных процессов, оценки воздействия, поддержания экологической устойчивости и ее соблюдение в процессах принятия решения ([http:// image2000.jrc.it/clc/index.cfm](http://image2000.jrc.it/clc/index.cfm)).

## 2. Существующие системы классификации земельного покрова и методы картирования земельного покрова

### а. Системы классификации

Anderson *и другие* (1976) предложил систему классификации землепользования/земельного покрова, восприимчивую к данным дистанционного измерения. Эта система с тех пор принята международными сообществами как мировой стандарт. Она использует особенности существующих широко используемых систем

классификации, восприимчивых к данным, полученным из источников дистанционного измерения. Эта система характеристики землепользования/земельного покрова является ресурсно-ориентированной в противоположность ориентированности на человека. В системе присутствует всего два уровня. Система не является окончательной, допуская гибкость в разработке более детальных классификаций землепользования на третьем и четвертом уровнях.

Существует 9 широких корневых классов (городские/застроенные, сельскохозяйственные земли, природные пастбища, лесные угодья, вода, заболоченные территории, пустошь, тундра и вечные снега или лед), и 37 подклассов уровня 2.

Система классификации Андерсона построена на иерархии, естественным образом группируя аналогичные типы покрова в общие широкие корневые классы на разных уровнях. Этот стиль был сохранен при разработке современных систем классификации, таких, как Система Классификации Земельного покрова (LCCS), которая в настоящее время используется в проекте AFRICOVER, и системы EC CORINE, которые обсуждаются в следующих разделах. Другие всемирно признанные системы, например, классификация земельного покрова IGBP (Belward, 1996), и Глобальный Земельный покров 2000 (GLC2000, <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/objectivesGLC2000.htm>) использовались для Оценки Экосистем Тысячелетия.

#### б. Методы картирования земельного покрова

Обычно для картирования земельного покрова используется два типа методов. Один из них – это компьютерная классификация, в соответствии с которой отдельные пиксели или группа пикселей классифицируются (или сортируются) по различным классам земельного покрова с помощью компьютерных программ или классификаторов. Другой метод – это визуальная интерпретация.

Можно использовать разные критерии для группирования алгоритмов компьютерной классификации. Например, контролируемая и неконтролируемая классификация, которая зависит от объема вмешательства человека. Контролируемая классификация требует, чтобы были установлены спектральные характеристики каждого класса покрова (называемая учебной фазой). Затем эти характеристики используются компьютером для маркировки каждого пикселя в изображении в соответствии с каждым из классов покрова, согласно определенной форме математического правила (например, Евклидово расстояние). Обучение требует репрезентативной выборки пикселей для каждого класса, и эти учебные пиксели можно определить с помощью собранных данных подспутниковых наблюдений. Результатом контролируемой классификации является карта изображений, в которой каждый пиксель помечен разными тематическими классами земельного покрова. В то время, как неконтролируемая классификация не требует человеческого вмешательства (или минимального, возможно только указание нужного количества классов), группировка пикселей по разным спектральным классам (пока еще не тематических) проводится автоматически компьютером также согласно определенной формы измерения расстояния. Этот тип классификации также называют компьютерным кластером. На этой стадии не требуются выборочные наземные данные. В результате получают спектральные классы, которые аналитик (человек) должен еще отнести к тому или иному физическому или тематическому классу, используя собранные наземные данные. Каждый из этих алгоритмов имеет свои преимущества и недостатки. Неконтролируемая классификация может проводиться до сбора наземных данных, так как результаты неконтролируемой классификации дают подсказку о том, в какой степени классы покрова можно разделить спектрально. Наземные данные можно собирать объективно, чтобы обеспечить более точные типовые данные для обучения контролируемой классификации, которая может последовать за контролируемой.

Алгоритмы компьютерной классификации можно также помечать по разному, например, гибкая классификация против жесткой классификации, обычная против искусственного интеллекта, параметрическая против непараметрической и т.д. При жесткой классификации каждый пиксель маркируется по уникальному классу, то есть, каждому пикселю разрешается иметь всего одну уникальную метку. В то время, как при гибкой классификации, пиксель может помечаться как принадлежащий ко многим классам, и принадлежность к определенному классу изображается как мера вероятности. Эта методика также называется классификацией подпикселей или несмешиванием, с помощью которой делается попытка разделения пропорций компонентов с пикселем.

При процедуре визуальной интерпретации, обычно изображение готовится посредством контрастного расширения, чтобы выделить появление различных классов покрова. Интерпретатор (человек) должен определить визуально различные классы по цвету или серым тонам, структуре, контексту, и так далее. Для этого требуется хорошее знание классов в различаемой области, и интерпретатор должен пройти специальную подготовку, чтобы выполнить интерпретацию.

В зависимости от количества классов, сложности классов покрытия, и объема спектральной информации, предоставленной дистанционно-полученными изображениями, точность компьютерной классификации значительно меняется от одного географического местоположения до другого, и между классами покрова. В небольших масштабах, можно попытаться провести компьютерную классификацию. Напротив, визуальная интерпретация намного более надежна, и уровень точности обычно не достижим при компьютерной классификации. Однако, она довольно трудоемка и требует много времени. Мы настоятельно рекомендуем применять визуальную интерпретацию для данной цели.

### 3. Опыт применения главных классификаций земельного покрова

#### а. AFRICOVER

Цель Проект ФАО AFRICOVER ([http:// www.africover.org/](http://www.africover.org/)) - создать цифровую базу данных по земному покрову с географической привязкой для всей Африки, включая дороги, гидрографию и так далее. Многоцелевая база данных Africover для экологических ресурсов (MADE) составлена в масштабе 1:200,000 (1:100,000 для небольших стран и конкретных районов. Цель состоит в том, чтобы предоставить надежные карты земельного покрова для надлежащего планирования природных ресурсов для устойчивого управления и укрепления национального потенциала для оперативного применения технологии дистанционных измерений и информационных технологий для планирования земельных ресурсов, в особенности в засушливых районах (Lane и Bunning, 2003). Принятая система классификации - LCCS (Система классификации земельного покрова). Изображения Landsat используются для картирования земельного покрова (затраты - 1.1USD/км<sup>2</sup>). Восточная и Центральная Африка уже охвачены проектом. К настоящему времени, 12 стран Восточной Африки завершили картирование на национальном уровне.

LCCS – это комплексная стандартная *априорная* система классификации, разработанная для удовлетворения конкретных требований пользователя и созданная специально для картирования, независимо от масштаба или средств, используемых для картирования. Ее можно использовать для любого земельного покрова, определенного для любой точки земного шара. Данная классификация использует ряд независимых диагностических критериев, которые обеспечивают корреляцию с существующими классификациями и обозначениями. LCCS - свободно распространяемая программа, которую можно загрузить с сайта [http:// www.africover.org/software.htm](http://www.africover.org/software.htm).

Классы земельного покрова определяются путем комбинации набора независимых диагностических критериев, так называемых классификаторов, которые организованы иерархически, чтобы гарантировать высокую степень географической точности. Из-за разнородности земельного покрова, нельзя использовать один и тот же набор классификаторов для определения всех типов земельного покрова. Иерархическая структура классификаторов может отличаться от одного типа земельного покрова к другому. Поэтому, эта классификация имеет две главных фазы - начальную *Дихотомическую фазу*, на которой происходит дифференциация между восемью главными типами земельного покрова; и последующую - *Модульно-иерархическую фазу*, на которой набор классификаторов и их иерархическая организация приспосабливаются к основному типу земельного покрова.

Этот подход позволяет использовать наиболее подходящие классификаторы и сокращает общее количество непрактичных комбинаций классификаторов. Ввиду сложности этой классификации и необходимости стандартизации, была разработана компьютерная программа, помогающая в процессе интерпретации. Это уменьшит разнородность между интерпретаторами и между интерпретациями со временем. Из-за своей гибкости с установлением классификации, с созданием классов на различных уровнях системы и дополнительного использования комбинации модификаторов, экологических признаков и определенных технических признаков, в сочетании с огромным количеством возможных классов, это применение инновационного программного обеспечения помогает пользователю выбирать соответствующий класс, используя постепенный процесс, то есть, классификатор за классификатором. Применение этой программы будет доступно и как автономный продукт и как часть комплекта программного обеспечения для интерпретации цифровых изображений, который обеспечивает интерпретацию изображений, с последующей маркировкой единиц картирования классами земельного покрова, Системой интерпретации и картирования Africover (AIMS). Эта система классификации приводит к взаимно исключаящим классам земельного покрова, которые включают в себя: (1) уникальную Булеву формулу (кодированную строку используемых классификаторов); (2) стандартное имя; и (3) уникальный цифровой код. Цифровой код и стандартное имя могут использоваться для построения автоматически создаваемого обозначения, при этом создаваемые классы группируются согласно основным категориям земельного покрова и их доменам в соответствии с уровнем детализации. Система обозначений может быть привязана к имени, определенному пользователем на любом языке.

Дальнейшее определение Класса земельного покрова можно получить путем добавления определяющих признаков. Различают два типа признаков, составляющих отдельный уровень в классификации:

- *Экологические признаки*: это такие признаки (например, климат, рельеф местности, высота, почва, литология и эрозия), которые влияют на земельный покров, но не являются его внутренними особенностями и их не следует смешивать с "чистыми" классификаторами земельного покрова; и
- *Конкретные технические признаки*: они связаны с конкретной технической дисциплиной (например, для полу естественной и естественной растительности можно добавить флористический аспект; для возделываемых площадей - тип культуры; а для пустошей - тип почвы).

Все классы земельного покрова, изначально покрытого растительностью, получены из последовательного физиогномического/структурного концептуального подхода, который комбинирует классификаторы *Формы жизни*, *Покрытия* и *Высоты рельефа* (в полустественной и естественной растительности) и классификаторы *Формы жизни* (в

культивируемых районах) с *Пространственным распределением*. Классы *изначально непокрытых растительностью территорий* имеют аналогичный подход, используя классификаторы, которые касаются поверхностных аспектов, распределения/плотности и высоты/глубины.

Классификаторный или параметрический подход имеет множество преимуществ. Созданная система является очень гибкой *априорной* классификацией земельного покрова, в которой четко и систематически определен каждый класс земельного покрова, таким образом, обеспечивая внутреннюю последовательность. Система является действительно иерархической и применимой в разных масштабах. Перестановка классов на основании перегруппировки используемых классификаторов облегчает широкое использование полученных результатов самими разнообразными конечными пользователями. Точность конечного продукта можно оценить по классу или по отдельному классификатору, формирующему данный класс. Все типы земельного покрова можно вместить в эту очень гибкую систему; поэтому эта классификация может служить универсально применимой опорной базой для земельного покрова, таким образом способствуя гармонизации и стандартизации данных.

Было ряд дискуссий по поводу распространения методов Africover на другие страны Африки, а также на другие районы (Восточная Европа и Азия). Например, Болгария в настоящее время занимается нанесением на карту своего земельного покрова, используя метод LCCS. (Источник: Lantieri, 2003).

#### b. Земельный покров CORINE - CLC (Источник: <http://reports.eea.europa.eu/COR0-part1/en>)

Европейский Союз разработал свою собственную систему классификации земельного покрова - CORINE (Координация информации об окружающей среде) Земельный покров - CLC. CORINE – это панъевропейский проект, предназначенный для усиления потенциала в области управления природными ресурсами и экологического управления, обеспечивая самую последнюю информацию о статусе окружающей среды. Задача CLC – предоставить уникальный и сопоставимый набор данных по земному покрову для Европы. Картирование земельного покрова и землепользования проводилось на основе спутниковых дистанционных изображений в масштабе 1:100,000. Наименьшая единица картографии - 25 га. Проект покрывал 2.3 миллиона км<sup>2</sup> в 12 странах. Первая база данных CLC1990, которая завершилась в 1990-ых, последовательно предоставляла информацию по землепользованию, состоящую из 44 классов. В настоящее время проводится CLC2000, нацеленная на обнаружение изменений, произошедших за 10-летний период (1990 – 2000 гг.). Спутниковые изображения, используемые в проекте CORINE включают в себя – Landsat MSS (80м), TM (30м) и SPOT HRV XS (10м). Для воспроизведения особенностей земельного покрова используется процедура, известная как «автоматизированная фотоинтерпретация псевдоцветных изображений».

В Системе классификации земельного покрова CORINE (CLC) или спецификации земельного покрова CORINE присутствует 3 уровня. Логическая структура показана на Рисунке 12. Это - прямая система классификации, в которой перечислены большинство всем известных классов земельного покрова и землепользования. Самый высокий уровень (уровень 1) перечисляет 5 широких классов - искусственные поверхности, сельскохозяйственные земли, леса и полустественные области, заболоченные участки и водные объекты. Второй уровень включает 15 пунктов, которые являются подклассами классов, определенных на уровне 1. Это еще широкие классы подходят для картирования в масштабе 1:500,000 - 1:1,000,000. Третий уровень содержит 44 класса, которые

подходят для картирования в 1:100,000. Четвертый уровень можно еще добавить для национальной или региональной системы обозначений, при условии, что третий уровень должен быть завершен до начала четвертого уровня системы обозначений.

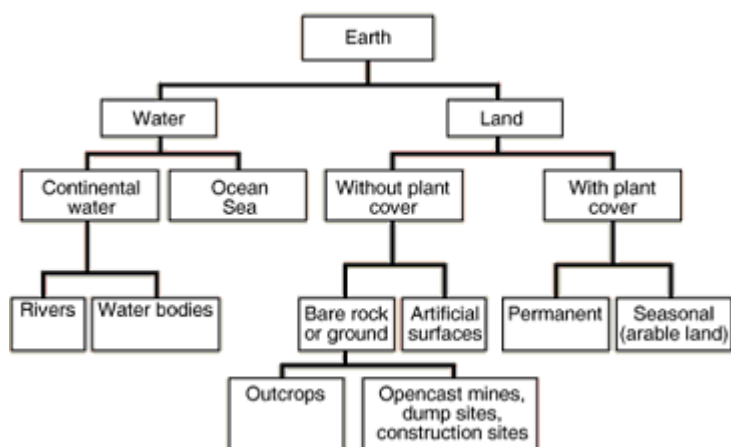


Рисунок 12. Логическая структура CLC.

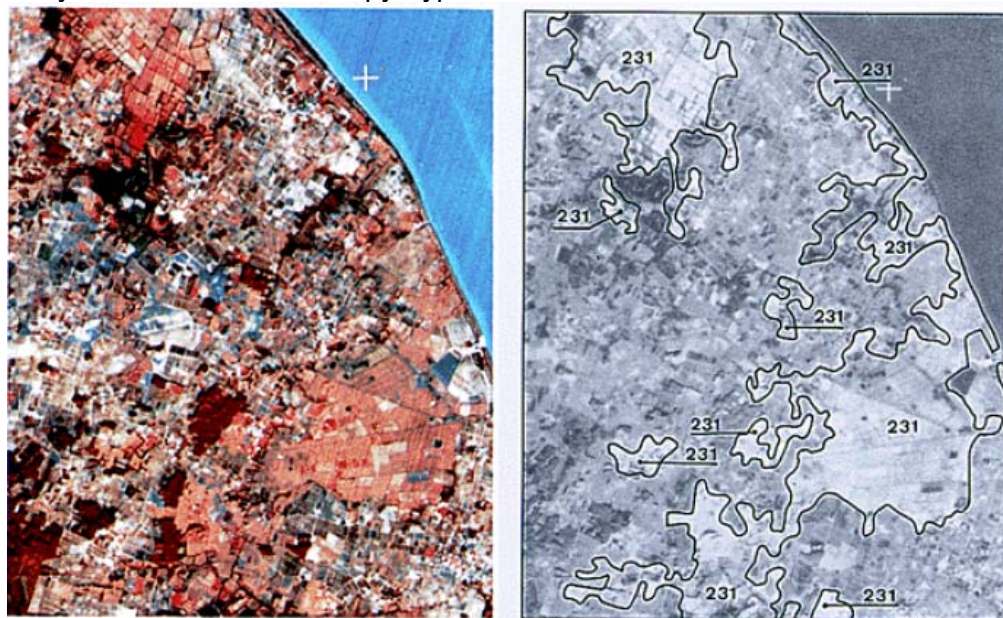


Рисунок 13. Определение границ пастбища во Франции с помощью изображения SPOT. (Источник: Bossard, *et al*, 2000)

#### 4. Применение земельного покрова для LADA

Lantieri (2003) рекомендовал, чтобы LADA применяла технику картирования земельного покрова в трех следующих областях:

1). Картирование особенностей деградации земли непосредственно из изображений дистанционного зондирования.

Эти особенности включают, например, характер ветровой эрозии, характер засоления, особенности выбивания пастбищ и отложение осадков в озерах и реках. Однако некоторые особенности на спутниковых изображениях не видны, например, пластообразная эрозия, канавки, истощение древесного топлива на деревьях, потеря плодородия почвы.



2). Косвенное картирование типов опустынивания с карт земельного покрова и полевых обзоров.

Например, данные Landsat TM использовались для картирования классов земельного покрова, потенциально затронутых процессом опустынивания (например, отдельные категории растительности, пустошей или водных объектов). После картирования, в пределах выборки по каждой категории классов земельного покрова проводится довольно плотный полевой обзор. На земле, оценивается (качественно и/или количественно) состояние и тип опустынивания. За подробностями обращайтесь на сайт <http://www.din.net.cn>.

Этот достаточно прямой метод использования карт земельного покрова для оценки опустынивания является надежным и довольно точным, но до сих пор ограничивается оценкой физического состояния опустынивания.

3). Картирование изменений земельного покрова, отражающих процесс деградации земли

Сравнение двух изображений, полученных в разное время (5, 10 или 15 лет и более) может показать те области, на которых изменился земельный покров, как в отрицательную сторону (опустынивание, или горячие точки), так и положительную сторону (восстановление, яркие пятна). Изменения земельного покрова не всегда можно правильно понять, нужны еще наземные исследования и опрос фермеров, чтобы проверить качество этих изменений и их воздействие на ресурсы.

Для LADA, например, главный интерес представляет интенсификация сельского хозяйства, интенсивное обезлесение, практика вырубки и сжигания лесов и изменения пастбищного покрова.

### **С. Определение горячих точек и ярких пятен**

Горячая точка – это территория, требующая немедленных восстановительных мер, потому что на этих участках деградация земли особенно серьезна или быстро развивается, с фактическим или предполагаемым особенно пагубным или обширным воздействием, локальным или выходящим за пределы территории, или потому что земля очень уязвима и ей угрожает деградация. Яркое пятно может быть областью без сколь угодно существенной деградации земли, которая является устойчивой, естественно или при существующих условиях устойчивого управления, или прежде была деградированной или уязвимой областью, где защита или восстановление земель было успешным или происходит в настоящее время (Koohafkan *и другие*, 2003).

Биомасса служит интегрированной мерой биологической производительности. Ее отклонение от местной нормы можно считать мерой деградации или мелиорации земли (Bai и Dent, 2006). Хотя местные и региональные нормы можно рассчитать путем стратификации территории по климату, почвам, ландшафту и земному покрову (Bai *и другие*, 2005), изменения в биомассе можно измерить путем дистанционного зондирования NDVI для выявления горячих точек и ярких пятен. Другой подход – это пост классификационное сравнение. Два изображения, полученных достаточно давно, сначала классифицируются по типу земельного покрова, а затем полученные результаты сравниваются. Подход с точки зрения горячих точек позволяет быстро определять и зондировать те области, где происходят интенсивные изменения, чтобы таким образом сэкономить существенные временные и финансовые ресурсы. Для выявления изменений биомассы (второй продукт) можно также использовать SAR. Обратное рассеяние SAR – это функция биомассы (Dobson *и другие*, 1992) особенно используя кросс-поляризацию.



Подход с точки зрения горячих точек изучался в пилотных проектах ФАО GLADA в Северном Китае и Кении, о чем говорилось выше. Более ранние работы по этому подходу включают региональный проект UNEP в Юго-Восточной Азии (Chandra, *и другие*, 1996). Две области горячих точек были исследованы в Лаосе и Вьетнаме, используя SPOT XS с высоким разрешением, в сочетании с полевым исследованием движущих сил быстрых изменений в динамике землепользования/земельного покрова. Для региона CWANA (Центральная и Западная Азия, Северная Африка, и Африканский рог). Cellis и De Pauw (2005) использовали AVHRR для оценки горячих точек изменения земельного покрова в регионе CWANA. NDVI 10-дневные обобщенные данные с 1982 по 2000 гг. (загружены с вебсайта NASA) были объединены в месячные наборы данных. Классификация земельного покрова выполняется на основании средних и максимальных значений NDVI и настраивается для разных агроклиматических зон, чтобы объяснить изменчивость. Была подготовлена карта земельного покрова на каждый год периода 1982-2000 гг. Затем определялись области горячих точек в соответствии с изменениями земельного покрова. Они выяснили, что северная часть Центральной Азии<sup>5</sup> и Ближний Восток (среди других областей в Африке) испытали заметную степень интенсификации сельского хозяйства, главным образом за счет перехода от богарного к орошаемому земледелию. Они отметили, что существуют значительные ограничения, как следствие низкого разрешения используемых изображений и предложили, чтобы они дополнялись наземными данными с высоким разрешением.

Ожидается, что глобальный продукт изменения земельного покрова Спектрорадиометра, формирующего изображения с умеренным разрешением (MODIS) системы наблюдения за землей NASA будет играть важную роль в мониторинге изменений земельного покрова.

#### **D. Картирование вторичного засоления в орошаемом земледелии**

Деградация орошаемых пахотных земель, в основном, приписывается вторичному засолению как следствие неумелого руководства ирригационными схемами. Засоление/подщелачивание определяется как чистое увеличение содержания соли в (верхнем слое) почвы, которая приводит к снижению продуктивности. Засоление - один из подтипов ухудшения химического состава почвы. Подробное описание этого явления можно найти в работе van Lynden и Oldman (1997). Накопление в почве солей – это яд для растений. Это явление часто вызывается ирригацией и может сделать землю бесполезной для возделывания. Засоление земли и воды – это возрастающая проблема во многих областях мира, особенно в засушливых и полусушливых регионах, где этому способствует ирригация.

---

<sup>5</sup> Для Центральной Азии: “Интенсификация сельского хозяйства происходила, главным образом, в форме перехода от сенокосных угодий/открытой местности, покрытой кустарниками к богарному земледелию; обратная тенденция – переход от богарного земледелия к сенокосным угодьям/открытым землям с кустарниками составляет основной компонент сокращения сельского хозяйства. Интенсификация естественной растительности - другая важная тенденция, главным образом благодаря переходу от территорий со скудной растительностью к сенокосным угодьям/открытой местности, покрытой кустарниками. Эта тенденция интенсификации очень заметна в Юго-западном Казахстане вблизи Каспийского моря. Обратная тенденция перехода от сенокосных угодий/открытой местности, покрытой кустарниками к пустошам/территориям со скудной растительностью особенно заметна в Центральном Казахстане”. (Источник: Celis и De Pauw, 2005).

Картирование солёности началось с использования аэрофотоснимков в ранние годы, что и сейчас можно рассматривать в качестве общепринятого метода. Аэрофотоснимки использовались для картирования распределения затронутых засолением почв во многих странах и на многих рельефах (Honey *и др.*, 1984; Rao и Venkataratnam, 1991; Howarth, 2001). Аэрофотографии дают важную информацию особенно там, где требуются детали. Они также могут служить источником ключевых исторических данных в тех регионах, где отмечается заметное изменение практики землепользования.

Metternicht и Zinck (1997) применяли синергистический подход при картировании поверхностей, страдающих от соли и натрия, комбинируя классификацию цифровых изображений и полевые наблюдения за особенностями деградации почвы и лабораторные измерения. Оператор формирования окрестностей, с помощью пространственных и спектральных ограничений, определенных пользователем, определил спектральные объекты, составляющие учебный набор. Шесть объединенных полос Landsat TM (1,2,4,5,6,7) обеспечили самое высокое разделение между классами, почвы, затронутыми солью, и классами, затронутыми натрием. Хотя общая точность была несколько низкой (64 процента), для некоторых классов была получена точность в 100 процентов. Тип и распространенность терпимого к соли растительного покрова, структуры верхнего слоя почвы и смешивание свойств верхнего слоя почвы при полевых условиях послужили главными причинами спектральной путаницы, маскирующей различные степени щелочности-солёности.

Большинство исследований засоления проводится на относительно малых орошаемых площадях, с использованием изображений Landsat, хотя СВЧ-изображения также использовались для обнаружения затронутых солью территорий (например, Singh и Srivastav, 1990). Данные с недавно запущенного ASTER также использовались для исследований солёности в Сирии (Khaier, 2003). Точность этих измерений была в пределах 50 % - 90 % в зависимости от исследуемой области, типа используемых данных, и количества различаемых классов.

В Таиланде, уровень солёности определяется как процент соляной корки на поверхности почвы в сухой сезон. Территория, более 50 % которой покрыта соляной коркой, определяется как очень серьезно затронутый засолением класс, 10-50 % как серьезно затронутый класс и 1-10 % как умеренно затронутый класс. Sukchan и Yamamoto (2002) использовали контролируемую классификацию для классифицирования данных Landsat TM (полоса 1, 4, и 7) в эти три класса, при этом карты с почвенным рядом и карта рельефа помогали при разделении низменных участков. Заявленная точность составила 85 %.

Большинство вышеупомянутых исследований сосредотачивается на затронутых солью почвах, игнорируя культуры. На самом деле, оценка условий произрастания культур также может показывать солёность. Соотношения полос видимых к NIR и между инфракрасными полосами, оказывается лучше для определения культур, страдающих от солей, чем отдельные полосы. Eldiery *и другие* (2005) сообщали в своем исследовании по оценке солёности на кукурузных полях с использованием данных IKONOS. Многоспектральные данные IKONOS имеют разрешение 4м, тогда как панхроматические – 1м. Они определили, что красная область спектра, ближняя ИК, и ближняя ИК/красная области сильно связаны с солёностью почвы.

Гиперспектральные данные исследовались при картировании солёности в Австралии. Spies и Woodgate (2005) предоставили подробную оценку различных дистанционных технологий и их применимости для картирования солёности на засушливых территориях в Австралии. Солёность в засушливых землях относится к солёности на неорошаемых землях, которая спровоцирована человеком. Несколько методов дистанционного зондирования применялись для изучения поверхностной и подповерхностной степени засоленности, например, аэрофотосъёмка, многоспектральные спутники и аэрометоды геофизики. Они отметили, что гиперспектральные изображения, полученные с самолета, подходят для картирования, как отдельных участков, так и на региональном уровне. Они обеспечивают превосходную возможность многоспектральным спутникам для управления природными ресурсами. Они сделали вывод о том, что гиперспектральные изображения способны не только повышать точность картирования текущих областей, страдающих от засоленности засушливых земель, но также помогают при мониторинге распространения солёности, как в региональном масштабе, так и в более мелком масштабе целевых сельскохозяйственных районов, имеющих высокую ценность.

Ряд исследований также проводился в Центральной Азии. КАРАВАНОВА и другие (2001) использовали аэрофотоснимки (масштаб 1:2,000) для изучения спектральной чувствительности различных почвенных групп, распространенных в Джизакской степи в Узбекистане. Спутниковые фотографии (разрешение между 15 и 30 м) сделанные на борту российского спутника были оцифрованы и использовались для картирования засоленных почв в этой области. Также были взяты образцы почвы с верхних 3 см поверхностных горизонтов. Использовалась обычная техника интерпретации аэрофотоснимков. В лаборатории был произведен анализ содержания перегноя, общего объема и состава легко растворимых солей, гипса, карбонатов, и несиликатных соединений железа. Полученные данные использовались для классификации засоленных почв, которая позволяла установить пять классов уровня солёности с предполагаемой точностью около 70 %. Они определили, что зеленая полоса обеспечивает больше всего информации относительно солёности. Главными факторами, влияющими на характеристики спектральной отражательной способности солевых почв, в дополнение к вариациям влажности почвы, являются содержание перегноя, карбонатов, гипса и растворимых в воде солей, из которых последние, без всякого сомнения, оказывают самое большое воздействие. Они заключили, что растворимые в воде соли играют доминирующую роль в спектральном коэффициенте отражения от солевых почв.

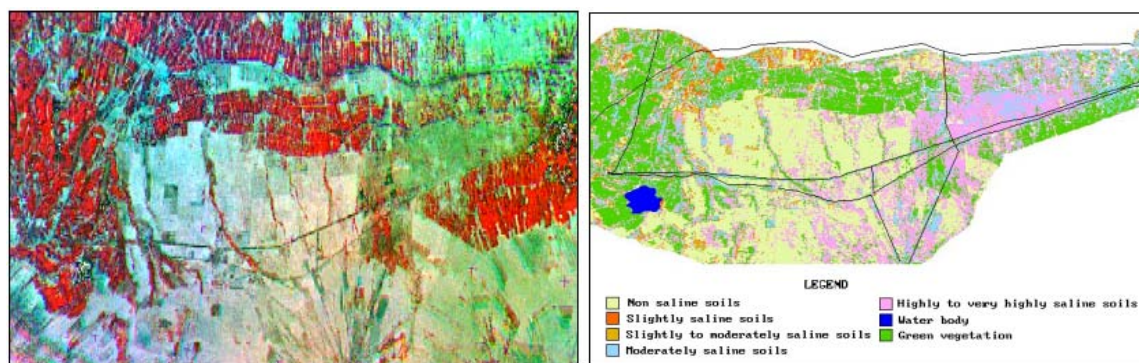


Рисунок 14. Картирование засоленности в Узбекистане. Слева: ложноцветная комбинация территории Джизакской степи, Узбекистан. Справа: Оцененные уровни солёности в этом районе.

Более поздние обзоры различных методов картирования солености представлены George *и другими* (2004), и Spies и Woodgate (2005).

Следует отметить, что спутниковые изображения, когда они используются для картирования солености, обнаруживают соленость только тогда, когда она происходит на поверхности или в корнеобитаемой зоне. Они не используются для получения прямых выводов о более глубоком местоположении солевой нагрузки или более глубоких процессах, которые управляют движением соли (Spies и Woodgate, 2005).

## **Е. Картирование деградации пастбищ**

Деградация пастбищных земель вызвана несколькими факторами, такими, как перевыпас, ветровая эрозия, водная эрозия, засоленность засушливых территорий, химическое загрязнение почвы и так далее. Последующее обсуждение, главным образом, сосредоточено на проблеме выбивания пастбищ. Выбивание пастбищ связано с практикой допущения намного большего числа животных для пастбы в определенном месте, чем оно фактически может выдержать. В результате выбивание пастбищ различными типами домашнего скота представляет, возможно, самую существенную антропогенную деятельность, которая ухудшает природные пастбища и приводит к опустыниванию с точки зрения плотности растений, содержания химических веществ в растениях, структуры сообщества и эрозии почвы (Manzano и Navar, 2000).

### **1. Изображения с низким разрешением**

Анализ дистанционных данных с низким разрешением в небольших масштабах (например, 250м – 8км) обеспечивает превосходный инструмент для изучения засушливых и полусушливых территорий, их изначальной производительности, и воздействия климата на растительность в этих сухих зонах (Tucker *и другие*, 2005).

Начиная с 1981 года, когда был запущен NOAA-7, то есть, уже в течение 27 лет, доступны 4-километровые данные с современного радиометра с очень высоким разрешением (AVHRR) с нескольких полярно-орбитальных метеорологических спутников серии NOAA. Эти 4км данные дополняются 1км данными, полученными теми же самыми приборами в региональных областях (охват местной территории или LAC), где они были получены и поддержаны. 4 км данные SeaWiFS были доступны глобально с конца 1997 г., а данные по растительности SPOT (1км), были доступными глобально с мая 1998 г. Данные с приборов MODIS (видеоспектрометр с умеренным разрешением) обеспечивают данные во многих масштабах, 500м данные были доступны глобально с 2000 и 2002 с платформ TERRA и AQUA, соответственно, и были доступны регионально во многих областях с 250м (Tucker *и другие*, 2005).

Спутниковые изображения с низким разрешением, получаемые, например с NOAA/AVHRR, обеспечивают более широкий и частый пространственный охват и, поэтому, идеально подходят для мониторинга состояния природных пастбищ на региональном и глобальном уровнях. Относительная разность между значениями индекса растительности (NDVI) является наиболее широко принятым продуктом дистанционного измерения для характеристики растительности. Огромный архив данных AVHRR доступен из ряда источников. Набор данных NDVI уникален в том смысле, что он является глобальным, многосезонным и многолетним. Эти особенности полезны для экологических исследований, особенно для мониторинга пастбищ в тех регионах, где имеются большие пастбища и где пастбищное животноводство зависит от природных условий. В частности

эти наборы данных позволяют проводить анализ тенденций в деградации растительности, вызванной либо действиями человека, либо изменением климата.

Ряды AVHRR NDVI используются для мониторинга деятельности в связи с растительностью во многих частях света, например, Африке (напр., Hountondji *и другие*, 2005) и Средиземноморский регион (напр., Stellmes *и другие*, 2005, Udelhoven *и другие*, 2005).

Pickup *и другие* (1998) продемонстрировали возможности применения дистанционных технологий для выявления тенденций деградации земли в неравновесных природных пастбищах засушливой Австралии. Они показывают, как из изменений картины роста растительности во времени по градиентам различающейся интенсивности выпаса можно выявить тенденции в состоянии природных пастбищ. Интенсивность выпаса измерялась косвенно, используя расстояние от воды. Рост растительности был получен из дистанционно полученных значений индекса растительности до и после сильных осадков. Величина роста регулировалась с учетом первоначального растительного покрова, чтобы получить стандартную меру реакции растительности. Коэффициент реакции растительности был получен путем сравнения территорий, удаленных менее, чем на 4 км от воды, с эталонными территориями, расположенными еще дальше. Систематические изменения этого коэффициента со временем показывают наличие определенной тенденции. Значения коэффициента в испытательных областях говорят о снижении, улучшении и отсутствии изменений, совпадающих с современной историей управления. Этот метод можно применять там, где вся область затронута выпасами и где отсутствуют относительно старые точки отчета. Следовательно, он может быть полезным в полусухих природных пастбищах, где выгулы меньше, чем в засушливой части Австралии. Он также может применяться на природных пастбищах Африки и Америки. Существует возможность применения этого метода также и к традиционным системам выпаса, а также к коммерческому пасторализму. Этот метод дешевле и более эффективен, чем другие методы, повышая потенциал схем мониторинга выпаса в засушливых и полусухих землях на основе градиентов.

В Монголии, 10-дневные обобщенные данные NOAA/AVHRR с 8км разрешением, полученные с 1981 до 2001 гг. были подвергнуты анализу с целью определения роста пастбищ и производительности пастбищ и получения тенденции изменения климата (Erdenetuya, 2004). Имеются наземные измерения биомассы, проводившиеся в течение более, чем 40 лет для 60 наземных станций. Эти данные были анализированы по сравнению со спутниковыми данными. Из набора данных было определено пять естественных пастбищных зон; при этом значения NDVI показывают сходные тенденции с наземными измерениями биомассы.

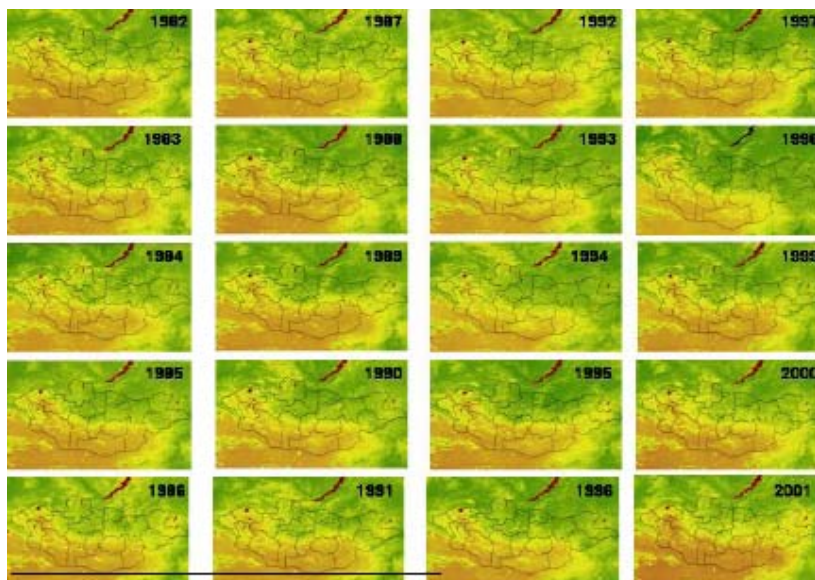


Рисунок 15. Изображения NOAA/AVHRR, полученные с 1981 по 2001 г. (август). Источник: Erdenetuya, 2004).

Данные AVHRR широко используются при мониторинге зелени растительности и предоставления валового показателя первичной продуктивности по всему миру.

#### *Вызовы:*

Не все исследования приводят положительные результаты. Исследование, проводимое Bastin и другие (1995) исследует, можно ли использовать данные AVHRR для определения степени деградации земли на засушливых природных пастбищах при моделировании динамики растительности для коммерческого выпаса и моделировании поведения животных при выпасе, разработанном для данных Landsat-MSS. Эти модели применяются после событий обильных осадков и либо ищут систематические изменения среднего растительного покрова по относительно однородным ландшафтам с увеличивающимся расстоянием от источников воды, либо анализируют величину реакции растительности на осадки для каждого пикселя. Они применяли эти модели там, где предыдущая работа с Landsat-MSS показала значительную степень воздействия выпаса. Индекс растительного покрова, с использованием отрегулированных значений канала 1 AVHRR, показал тенденции среднего растительного покрова во влажный период с увеличением расстояния от воды, аналогичный, но менее выраженный, чем результат, полученный с помощью данных MSS. NDVI давало противоречивые и часто неоднозначные результаты при сравнении с данными MSS. Индексы растительности, полученные с AVHRR, были непригодны для процедур оценки деградации, которые требуют моделей реакции растительности в масштабе пикселей. Большой пиксель AVHRR, даже в режиме LAC, создает трудности с выявлением воздействия выпаса. Изменения ландшафта в результате выпаса происходят в более мелком масштабе и, поэтому, относятся к категории пикселя. Ошибка в регистрации динамических изображений еще больше снижает возможность обнаружения воздействия выпаса на базис пикселя, когда такое изменение отмечается в пределах пикселя. Они сделали вывод о том, что несмотря на привлекательность стоимости данных AVHRR, они не подходят для надежного выявления воздействия выпаса, с использованием методов градиента выпаса в больших выгулах на засушливых природных пастбищах.

Запуск инструментов MODIS Системы для наблюдения за поверхностью земли (EOS) НАСА в 2000 году привлек значительное внимание мирового сообщества к управлению ресурсами. Данные MODIS - многомасштабны (разрешение 250м, 500м и 1км), а также представлены в нескольких спектрах (в общей сложности 36 спектральных диапазонов), предлагая улучшенный и более своевременный мониторинг растительности природных пастбищ. В отличие от всех предыдущих спутниковых датчиков, общедоступный поток данных MODIS включает в себя оценки продуктивности природных пастбищ с разрешением в 1км каждые 8 дней. MODIS получил оценки продуктивности природных пастбищ, объединив информацию дистанционных измерений с ежедневными метеорологическими данными как вход математической модели фотосинтетического преобразования солнечного излучения в углеводы растений (Reeves *и другие*, 2001). Продуктивность растительности – это мера энергии природных пастбищ и потенциал роста растительности, которые являются важными компонентами управления природными пастбищами и оценки их здоровья. Поэтому, можно характеризовать сезонность растительности природных пастбищ, оценивать количество трав и проводить мониторинг скорости и тенденций изменения в первичной продуктивности. Последовательные, объективные и частые оценки продуктивности будут доступны даже для самых недоступных природных пастбищ.

Данные MODIS защищены от облачности и собираются для всего земного шара каждые 1 - 2 дня. Временные сводные данные, как правило, составляются таким образом, что даже если один пиксель покрыт облачностью в данный день, он может быть заменен следующей безоблачной величиной во временной последовательности. Так обстоит дело со стандартным продуктом MODIS NDVI (MOD13), который представляет собой сводные данные за 16 дней. В Австралии, CSIRO установлена программа, которая предлагает детальную информацию о темпах роста пастбищ (PGR) и имеющемся корме (FOO) ([http:// www.pasturesfromspace.csiro.au](http://www.pasturesfromspace.csiro.au)). Данные по индексу растительности MODIS в настоящее время используются для оценки PGRs и FOO, которые затем проверяются относительно наземных измерений. Сообщают, что информация доступна на уровне загона для любой области более, чем в шесть гектаров.

Главными недостатками изображений низкого и среднего разрешения являются следующие - 1) они пригодны для мелкомасштабного картирования состояния пастбищ, 2) отсутствие детальной информации, возможно, не выявит состояния пастбищ, которые являются более разнородными по своей природе.

## 2. Изображения высокого разрешения

Schlesinger *и другие* (1996) отмечали, что основные изменения, происходящие в деградированных засушливых и полусухих землях – это изменения степени разнородности. Поскольку относительно однородные сенокосные угодья деградировали в местность, покрытую разнородными кустарниками, степень пространственной изменчивости возрастает. Это явление четко прослеживается в изображениях дистанционного измерения. Schlesinger *и другие* (1996) использовали пространственную статистику по образцам почвы в пустыне Северный Чихауан в штате Нью-Мексико (США), чтобы определить эти изменения в масштабе. Обзор теории и методы использования пространственной статистики можно найти в работах Bailey и Gatrell (1995), и Chiles и Delfiner (1999). Замещение лугов древесным кустарником – это процесс деградации. Однако, этот процесс можно обнаружить только на спутниковых изображениях и аэрофотоснимках очень высокого разрешения. Это хорошо показано в работе Okin и Roberts (2004).



Данные Landsat служат основным источником изображений высокого разрешения для детальных исследований пастбищ. На изображениях высокого разрешения видно много особенностей, таких, как разное состояние пастбищ, бесплодные области, образовавшиеся в результате перевыпаса вблизи водоемов, и скопление следов скота, излучаемых отверстиями и так далее. Методы обработки изображений можно применять для выделения этих особенностей.

Пространственное разрешение Landsat TM недостаточно для характеристики растительного сообщества в засушливых и полувзасушливых зонах. Это привело к несмешиванию спектров с целью извлечения более детальной информации о засохшей растительности, почве, и фотосинтетически активной растительности. Алгоритм разработан для достижения точности на уровне подпикселя. Расслаивание спектров означает выявление спектральных конечных элементов (чистые спектральные классы, например, растительности и почвы). В большинстве случаев используется техника линейного смешивания, которая оценивает долю каждой области наземного пикселя, принадлежащей к разным типам покрова. Спектральный коэффициент отражения для конечных элементов может быть получен из спектральных библиотек, основанных на измерениях при контролируемых условиях в лаборатории или в поле, или путем определения чистых пикселей, которые содержат один спектральный класс. В пределах одного пикселя, вклад от одного конечного элемента в общую яркость или коэффициент отражения пропорционален локальному охвату этим конечным элементом. Используется простой алгоритм линейного расслоения или несмешивания, и, общее количество конечных элементов не превышает количество спектральных полос, используемых для расслоения (несмешивания), что позволяет найти решение (больше известных параметров, чем неизвестных параметров). Результат несмешивания – это доля каждого конечного элемента в каждом отдельном пикселе. Спектральный анализ несмешивания, наверное, - наиболее надежная альтернатива индексам растительности для изучения растительности в засушливых районах.

Последнее исследование по оценке деградации пастбищ в Рондонии в Бразильской Амазонке, проводимой Numata *и другие* (2007) использует Landsat TM для получения четырех спектральных индексов и фракций растительности из анализа смешения спектров, (нефотосинтезирующая растительность – NPV: зеленая растительность - GV, почва, тень и NPV+почва). Эти индексы сравниваются с полевыми измерениями травы. Для действующих пастбищ в сухих условиях, инфракрасный индекс с относительной разностью (NDII5 и NDII7), имел более высокие корреляции с биофизическими измерениями, чем индекс растительности с относительной разностью (NDVI) и индекс растительности для каждого вида почв (SAVI). NPV имел самые высокие корреляции со всеми полевыми измерениями, что говорит о том, что эта фракция служит хорошим индикатором характеристики пастбищ. Высота нахождения пастбищ была скоррелирована по отношению к фракции тени. Затем была построена концептуальная модель для биофизических изменений пастбищ, используя три фракции, то есть, NPV, Тень и GV, для того, чтобы охарактеризовать процессы возможной деградации пастбищ в Рондонии. На основании полевых измерений было выяснено, что интенсивность выпаса оказывала самое сильное воздействие на биофизические свойства пастбищ по сравнению с рангом почвы и возрастом землепользования. Воздействие выпаса на пастбища в сухой сезон можно потенциально измерить, используя дистанционные методы, такие, как NPV.

Другой пример - исследование, проведенное в Аргентине (см. Collado *и другие*, 2002). Последнее исследование в Северном Туркменистане использовало Landsat ETM + для выявления изменений в пастбищах, а также других типов земельного покрова (Kaplan



*и другие*, 2006). Использовался метод спектрального расслоения (несмешивания), чтобы извлечь фракции подпикселя растительности и почвы. Были подготовлены карты изменения земельного покрова. Результаты показали, что с 1907 г. около 4000 км<sup>2</sup> природных пастбищ были преобразованы в орошаемую землю. Результаты также показали, что на большинстве территорий в пустыне происходит восстановление растительности



Рисунок 16. Монгольские пастухи, определяющие различные ресурсы с помощью плана Landsat ETM+ в национальном парке Гоби Гурван Сайхан. (Источник: Reeves и Vedunah, 2006).

Karnieli *и другие* (2005) провел исследование на плато Устюрт в Казахстане, с целью определения характеристик пространственных и временных схем деградации/восстановления пастбищ, путем анализа выявленных изменений. Для анализа использовались изображения Landsat, полученные за три разных периода (MSS-1975, 80м, 1987 TM, 30м, и ETM+-2000, 30м). Они обнаружили, что индекс яркости, выведенный из растения Tasseled Cap (BI, представляя, главным образом, яркость почвы) создает лучший контраст, а также не зависит от пространственных измерений. Значения BI, рассчитанные по трем разным годам совпадают с точки зрения гистограмм изображений, так что можно провести прямое сравнение путем дифференцирования изображений.

Пространственные вариации значений яркости почвы в области исследования были смоделированы на основе использования полу-вариограмм и нанесены на карту с помощью использования «криггинга» (интерполяции).

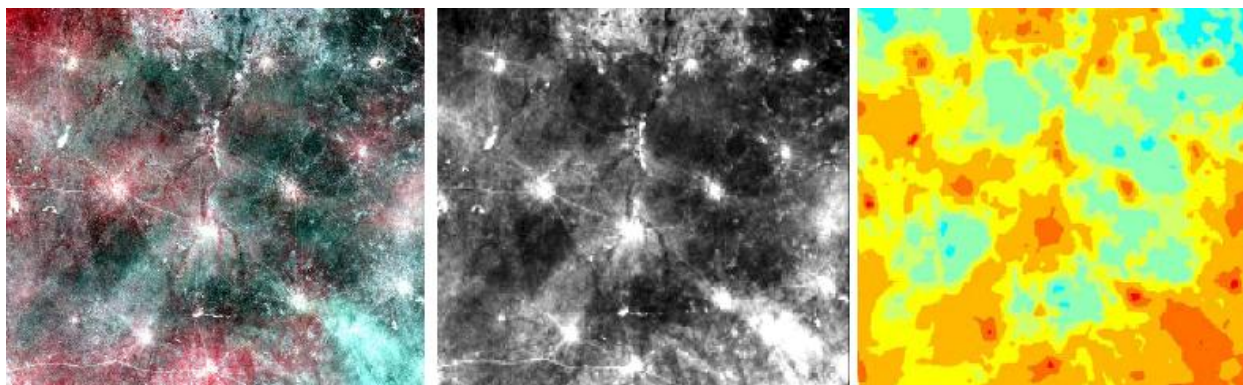


Рисунок 17. Картирование градиента выпаса. Слева: Landsat TM, 1987 г.. В центре: индекс яркости. Справа: интерполированная карта VI. Пункты водопоя видены как яркие пятна, разбросанные по всему изображению. (Источник: Karnieli *и другие*, 2005).

Сравнивая интерполированные карты для этих трех дат, можно характеризовать их как динамические изменения состояния поверхности. Они выяснили, что в течение 1975 – 1987 гг., 21 % территории испытали отрицательные изменения (опустынивание), тогда как 12 % территории имеют положительные изменения (восстановление). Во второй период происходила значительная деградация.

Было выявлено, что изображения ASTER имеют большой охват территории Центральной Азии и рекомендуются для планирования выпаса в этом регионе (Reeves и Bedunah, 2006).

## Ф. Эрозия, вызванная ветром

Ветровая эрозия наносит непоправимый вред земле. Она может привести к значительным затратам в результате потери продукции и увеличения затрат на борьбу с песчаными заносами поверх растущих культур, потери питательных веществ, снижения урожайности, роста расходов на пересев и сокращения выпаса (Palmer *и другие*, 1994).

Крупные элементы ландшафта, сформированные ветровой эрозией, такие, как движущиеся песчаные дюны и фреатические отстойники, можно без труда интерпретировать из изображений дистанционных измерений. Антропогенное воздействие, такое, как разработка месторождений, каменотесные участки и расчистка местности могут обострить процесс ветровой эрозии. Обнаружение изменений при использовании двух изображений, полученных в отдаленные дни, может выявить и обнаружить области вторжения пустыни и активных дюн. В Центральной Азии, потенциал ветровой эрозии, наверное, наиболее значительный в засушливых и полузасушливых прериях и пастбищных землях. Сельскохозяйственные пахотные земли также страдают в различной степени от ветровой эрозии (UNCCD, 2003).

Спутниковые данные можно использовать для картирования ветровой эрозии, вычисления областей, затронутых ветровой эрозией и регистрирования времени, которое уходит на восстановление участков, затронутых ветровой эрозией. Было использовано дистанционное измерение, чтобы выявить и охарактеризовать песчаные дюны и их временную динамику (Chen *и другие*, 1998, Smith *и другие*, 1990, Tucker *и другие*, 1991, 1994). Collado *и другие* (2002) применил подход динамического или мультивременного сравнения для картирования территорий в процессе опустынивания в Аргентине, используя два изображения Landsat TM (полученные в 1982 и 1992 гг.). Спектральное несмешивание компонентов растительности, воды и песка облегчило анализ областей неоднородного покрова. Простые различия между несмешанными изображениями

показали движение песчаных дюн, тенденции восстановления растительности и вариации водных объектов.

Чтобы оценить объем потери почвы вследствие ветровой эрозии, Woodruff и Siddoway (1965) предложили модель ветровой эрозии, как показано в уравнении ниже:

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

Где, E – среднегодовая ветровая эрозия; I - индекс эрозионности почвы; C - климатический фактор (энергия ветра); L - срединная длина незащищенного перемещения ветра по полю; V – эквивалентный растительный покров. Это уравнение широко принято для оценки опасности эрозии на сельскохозяйственных землях. Более подробную информацию предоставляют Rostad и Padbury на сайте [http://www.agr.gc.ca/env/naharp-pnarsa/pdf/aer\\_e.pdf](http://www.agr.gc.ca/env/naharp-pnarsa/pdf/aer_e.pdf).

Риск ветровой эрозии можно картировать с точки зрения подверженности эоловой эрозии. ГССША разработала простой метод оценки эоловой эрозии, используя цифровые данные многоспектральных спутниковых наблюдений (<http://terraweb.wr.usgs.gov/projects/RSDust/>). Эта простая модель позволяет создавать изображения, выделяющие области с низкой плотностью растительности и почвы с высоким коэффициентом отражения. Обычно, она автоматически выделяет два важных параметра эоловой эрозии (а именно, - объем растительного покрова/плотности и общий тип поверхности почвы). Используя этот алгоритм, можно создать изображение, которые показывают те области, где эти два состояния наблюдаются одновременно. В этом алгоритме используются красная и ближняя ИК область спектра, вместе с их соотношением. В этой карте изображений подверженности эоловой эрозии первого порядка, различные оттенки желтого указывают на различные уровни низкой плотности растительности и высокий коэффициент отражения почвы, и служат руководством для относительного уровня потенциала/подверженности эрозии ветру, и могут использоваться для получения величины **Индекса картирования эоловой эрозии (EMI)** в каждом пикселе. В целом, в продуктах изображения Landsat TM и WiFS желтый цвет показывает большой потенциал эоловой эрозии, а обозначенные другим цветом области обладают незначительным или вообще никаким потенциалом ветровой эрозии.

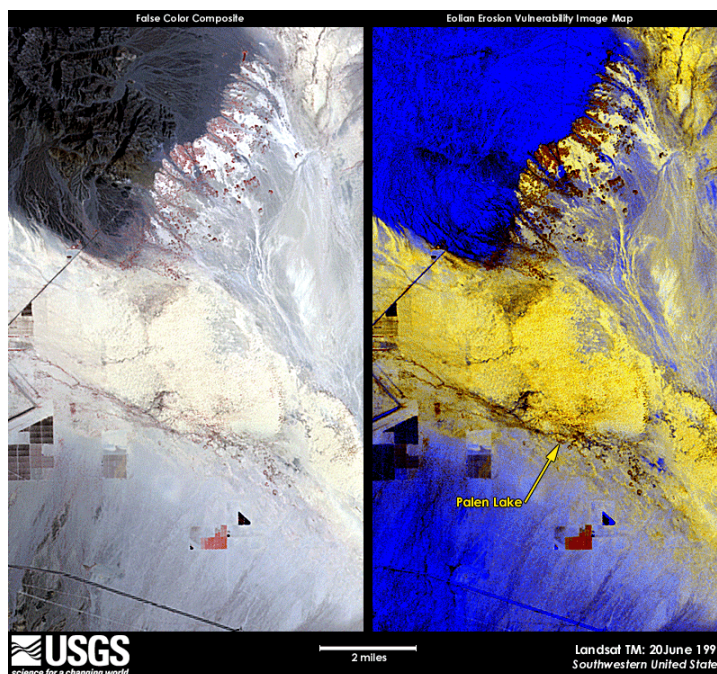


Рисунок 18. Картирование ветровой эрозии. (Источник: <http://terraweb.wr.usgs.gov/projects/RSDust/>)

В Австралии, CSIRO разработал методологию картирования серьезности ветровой эрозии ([http://www.cmis.csiro.au/rsm/papers/wind\\_erosion.pdf](http://www.cmis.csiro.au/rsm/papers/wind_erosion.pdf)). Можно применять определенный индекс и создавать карты, показывающие области, затронутые ветровой эрозией на каждый год. Можно без труда проводить мониторинг влияния изменений практики управления фермами, комбинируя карты ветровой эрозии за разные годы, и выявлять области, подверженные ветровой эрозии.

Этот индекс рассчитывается как  $(Green+NIR)/2$ . Можно определить порог для отделения эродированных областей из ярких участков, не подверженных эрозии. NDVI использовался как дополнительное ограничение и только пиксели, показывающие низкий растительный покров (или NDVI - ниже пороговой величины), будут рассматриваться как яркие области и эродированные участки.

## Г. Эрозия, вызванная действием воды

### 1. Краткий обзор

Эрозия почвы, вызванная действием воды – это один из чаще всего наблюдаемых типов деградации земли, которая происходит во многих частях света. Ее воздействие на почву включает в себя снижение плодородия почвы (например, содержание перегноя), потерю верхнего слоя почвы, деформацию ландшафта и разные другие воздействия. Существует много различных методов оценки водной эрозии. ФАО сформулировало руководящие принципы для картирования и измерения процессов эрозии, вызванных осадками (ФАО, 1997).

Существует много моделей прогнозирования эрозии – модель, основанная на событиях, или долгосрочная модель, эмпирическая или физически обоснованная модели, модель в масштабе бассейна или в масштабе отдельного участка. Большинство исследований и отчеты проектов основывались на водоразделе и использовали универсальное уравнение потери почвы (USLE) для оценки риска эрозии. Модель USLE была разработана Wischmeier *и др.* (1971) как средство вычисления в полевом масштабе



оценки потерь почвы на пахотных землях в результате дождей. USLE определяет потерю почвы как продукт пяти следующих основных факторов:

(i) подверженность почв эрозии (k), которая сама по себе является функцией таких свойств почвы, как структура, содержание органических веществ, коэффициент фильтрации и общая плотность;

(ii) эрозионность под действием осадков (r), вычисленная в USLE как общая кинетическая энергия осадков данного события, помноженная на кинетическую энергию максимального 30-минутного ливня;

(iii) условия наклона (sl), продукт взаимодействия угла наклона и длины наклона;

(iv) практика управления (p), включая методы культивации почвы, практику охраны и правильного использования почвенных ресурсов и т.д.;

(v) растительный покров (v), с учетом плотности и структуры растительности.

На основании многолетних эмпирических наблюдений, полевых испытаний и лабораторных экспериментов, USLE определяет строгие процедуры, в соответствии с которыми каждый из этих факторов может быть количественно оценен. Затем результаты вводятся в следующее уравнение, чтобы вычислить потерю почвы (E):  $E = K \cdot R \cdot SL \cdot P \cdot V$ .

Усовершенствованный USLE (RUSLE) использует те же самые эмпирические принципы, что и USLE. Он включает в себя многочисленные усовершенствования, например, ежемесячные факторы, влияние выпуклости/вогнутости профиля, используя сегментацию склонов сложной конфигурации и усовершенствованные эмпирические уравнения для вычисления фактора LS (Renard *и другие*, 1991). Полный документ по RUSLE доступен в <http://www.ott.wrcc.osmre.gov/library/hbmanual/rusle703.htm>.

В настоящее время для оценки, моделирования и мониторинга риска возникновения эрозии почвы широко используются методы дистанционных измерений. Многие характерные особенности эрозии почвы, такие, как эрозия с образованием оврагов, можно без труда заметить на изображениях высокого разрешения, например, SPOT и Landsat TM. Пространственную информацию относительно, по крайней мере, двух факторов USLE можно оценить непосредственно, используя данные дистанционных измерений. Растительный покров можно рассчитать, используя изображения NDVI. Карты землепользования/земельного покрова, полученные из классификации дистанционных изображений, позволяют оценить фактор практики P. По сообщениям, некоторые исследования оценивали эрозионную деятельность почвы по спутниковым изображениям (например, Latieri *и другие*, 1990). С помощью данных SRTM90м ЦМР, которые в настоящее время доступны почти для любой части глобальных областей земли, облегчается выведение топографических факторов.

Во многих исследованиях сообщалось об использовании дистанционных данных для оценки эрозии через USLE. Данные Landsat TM и ETM+ были исследованы для того, чтобы оценить процент растительного покрова (Ramsey *и другие*, 2004). Подобные исследования проводились в Пакистане (Ogawa *и другие*, 1997), Индии (Rinos *и другие*, 2001), Испании и Греции (Symeonakis *и другие*, дата неизвестна).

## 2. Подход ЕС CORINE

В рамках проекта ЕС CORINE, изучающего риск возникновения эрозии почвы и важные земельные ресурсы в южных регионах Европейского Сообщества, составлена карта риска эрозии в масштабе 1:1 миллиону. Подход CORINE использует упрощенную версию USLE, в которой учитываются всего 4 параметра (CORINE (1992):

(i) эрозионность почвы (определяемая на основе структуры почвы, глубины, каменистости и других меняющихся свойств);

(ii) эрозионная деятельность (вычисленная из индекса Фурнье и индекса засушливости Багнулса-Госсена);

- (iii) топография; и
- (iv) растительный покров.

Эти 4 индекса объединяются для оценки потенциального риска эрозии почвы и фактического риска эрозии. Потенциальный риск эрозии почвы определяется как внутренняя склонность почвы к эрозии, вызванной осадками, независимо от растительного покрова или землепользования. Это представляет наихудший возможный случай. Он выводится следующим образом:

*Индекс потенциального риска эрозии почвы = индекс эрозионности почвы x индекс эрозионной деятельности x индекс наклона*

Индекс потенциального риска эрозии почвы делится на 4 класса: Отсутствует (0), Низкий (> 0 до 5), умеренный (> 5 до 11), и высокий (> 11). Индекс фактического риска эрозии почвы относится к текущему риску эрозии при существующей растительности и условиях землепользования. Он получен путем изменения предполагаемого индекса потенциального риска эрозии почвы в соответствии с растительным покровом. Утверждается, что дистанционные измерения можно использовать для получения растительного покрова, однако во время реализации проекта, карта классификации земельного покрова еще не была составлена. Дальнейшие исследования:

### 3. Пилотное исследование ФАО в Бразилии

ФАО выполнил пилотное исследование по картированию эрозии почвы в Паранье, Бразилия, используя изображения SPOT (Lantieri и другие, 1990). Было продемонстрировано, что USLE и другие методы имеют определенные ограничения и не могут применяться оперативно в условиях Параньи в крупном масштабе (1:50,000 - 1:100,000), как требовалось исследованием. Также они не применимы для информации со спутника SPOT. Выяснилось, что самым лучшим подходом для картирования склонности к эрозии было применение эмпирической модели, объединяющей все условия земельных ресурсов. Эта модель объединяет однородные карты дождевых зон, карты землепользования и карты управления земельными ресурсами, почвенные карты, карты длины наклона и карты угла наклона в среде ГИС, при этом учитывая результаты сотен измерений эрозии, выполненных на экспериментальных участках, вместе с обширным полевым опытом. Типы параметров, нанесенных на карту со спутниковых данных высокого разрешения (SPOT) также использовались в построении модели. Это:

1) **Карты землепользования и карты управления.** Эти карты были составлены на основе цифрового и визуального анализа данных SPOT XS и панхроматических данных. Классификация данных SPOT XS, управляемая минимальным расстоянием, позволила определить основные классы землепользования и земледелия, такие, как лес, однолетние культуры, кофе и сахарный тростник, а также поля "прямых насаждений", только те, которые не были вспаханы во время получения изображения (конец полевой подготовки). Фактически выбор этой даты, как оказалось, был очень важным для обеспечения производства надежных карт. Также была проведена дифференциация между пастбищами с высоким и низким покровом путем установления порога индекса растительности. В конце, был выполнен определенный визуальный анализ (структурный и контекстуальный), чтобы лучше различать определенные классы (например, посевы сахарного тростника и пастбища). Визуальная интерпретация данных SPOT Pan, усиленных цифровой обработкой (местная оптимизация с последующим применением фильтра высоких частот), которые получены в конце сезона урожая, использовалась для определения существующих террас, а, следовательно, для дифференцирования полей с хорошим и слабым управлением.

2) **Почвенная карта.** Почвенная карта была составлена на основе визуального сообщения о стереопаре SPOT (одно изображение Pan и одно XS). Почвенные пределы в минутах на почвенной карте 1: 300 000, которая была первоначально построена на старых аэрофотоснимках 1:70,000.

3) **Карта угла наклона.** Эта карта составлялась автоматически после оцифровки контурной карты с имеющихся топографических карт 1:50,000.

4) **Карта протяженности уклона.** Эта карта была подготовлена путем измерения вручную (по направлению уклона) длины каждого многоугольника на карте угла наклона.

Фактор осадков при оценке восприимчивости во внимание не принимался, потому что он оказывает одинаковое воздействие в однородной зоне осадков. Сравнивались шесть разных дистанционных методов, которые могут использоваться для картирования и мониторинга эрозии (источники данных - SPOT, аэрофотоснимки; и методы, например, визуальная интерпретация или цифровой анализ).

#### 4. Подход на основе оценки плодородия почвы ICRAF

Подход на основе спектральной библиотеки, разработанный недавно Всемирным центром агролесоводства (ICRAF) в Кении, предназначен для быстрого определения свойств плодородия почвы и оценки риска. Измерения VIS-NIR образцов почвы из засушливой-сухой зон, проведенные в лаборатории при стандартных условиях были калиброваны по свойствам почвы, определенным с помощью химического анализа для широкого разнообразия африканских почв (Sheperd and Walsh, 2002). Vagen и другие (2006) проанализировали потенциал спектральных почвенных библиотек VIS-NIR для прогнозирования и картирования свойств почвы на восточном нагорье Мадагаскара. Были разработаны устойчивые калибровочные модели для нескольких ключевых свойств почвы. Значения  $r^2$  после перекрестной проверки - почвенный органический углерод (SOC), 0.94; общий азот (TN), 0.96; и потенциал катионообмена (CEC), 0.80. Спектральный индекс плодородия почвы (SFI) был разработан на основании десяти обычно используемых агрономических индикаторов плодородия почвы. SFI значительно менялся при сравнении текущего состояния и исторического землепользования. Этот индекс был успешно калиброван и к коэффициенту отражения почвы, измеренному в лаборатории ( $p = 0.003$ ) и коэффициенту отражения Landsat TM ( $p = 0.003$ ), что позволило картировать этот индекс.

Wolfgramm и другие (2005) распространили опыт, полученный в Африке, на лесовую зону Таджикистана, где большая часть земель на крутых склонах, которые раньше использовались для пастбищ, за последние 15 лет была распахана и использовалась в сельском хозяйстве. Измерения VIS-NIR коэффициента отражения образцов почвы показывают сильную взаимосвязь с  $\text{CaCO}_3$  и цветом почвы. Была успешно построена регрессионная модель дерева для проверки общего содержания питательных веществ, определенного из химического анализа (обоснованное  $r^2$  для регрессии составило 0.71). Классификационная модель дерева, прогнозирующая области с водной эрозией показывает возможность моделирования дерева решения при комбинировании различных наборов данных (ЦМР и Landsat TM), и предсказание, определенное 10-кратной перекрестной проверкой, составило 72 % и 61 % для классов эрозии и отсутствия эрозии, соответственно.

Системы гиперспектральных датчиков собирают отраженные данные в диапазоне от видимого спектра до коротковолнового инфракрасного спектра (SWIR) последовательно, и эти данные с высоким спектральным разрешением значительно обогатили все исследования поверхности земли. Farifteh и Farshad (2002)

#### 5. Моделирование риска эрозии почвы в ГИС

Чаще всего используется метод на основе пересмотренного универсального уравнения потери почвы (RUSLE), поскольку его можно применять во многих ситуациях, даже на топографически сложных единицах ландшафта (Desmet и Govers, 1996), и он может поддерживаться ГИС. Университет Мичигана предлагает онлайн-возможность оценки эрозии для сельскохозяйственных территорий и для строительных площадок ([http://www.iwr.msu.edu/rusle/Почва\\_loss.htm](http://www.iwr.msu.edu/rusle/Почва_loss.htm)).



## **V. Методология определения базисной информации по деградации земельных ресурсов**

### **A. Описание общего подхода, который будет использоваться для установления базиса или исходной информации**

#### **1. Исходная информация**

Базисные данные – это основная информация, которая собирается до начала проекта. Позднее, она используется для сравнения при оценке воздействия программы. В целях оценки и мониторинга деградации земельных ресурсов, исходная информация описывает статус деградации почвы до реализации проекта, который направлен на изменения в обратную сторону процесса деградации. В этом отношении, выбор индикаторов играет решающую роль.

Методологическая структура оценки деградации земли, предложенная ЮНЕП/ФАО (1984), использует экологические индикаторы, включая деградацию растительного покрова, водную и ветровую эрозию, и ухудшение качества почвы, например, засоление и заболачивание. Эти экологические индикаторы использовались в различных формах для оценки деградации земель в Азии (Babaev, 1985; Kharin *и др.*, 1999) и глобальной оценки Dregne и Chou (1992). Различные типы ущерба затем оценивались с помощью таких категорий, как легкий, умеренный, серьезный и очень серьезный (UNEP/FAO, 1984; Babaev, 1985; Dregne и Chou, 1992; Kharin, *и др.*, 1999). Точно так же Dregne (1986) определил три процесса, приводящих к опустыниванию: 1) ухудшение растительного покрова за счет выбивания пастбищ, вырубки деревьев и пожаров, 2). Ветровая и водная эрозия в результате несоответствующего управления земельными ресурсами, и 3). Засоление в результате ненадлежащего управления ирригационными процессами.

Вышеупомянутые типы деградации земельных ресурсов встречаются почти в каждой стране в Центральной Азии (Технический отчет ФАО AGLL LADA - Республика Узбекистан, 2003, НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ДЕЙСТВИЙ ПО БОРЬБЕ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ В ТУРКМЕНИСТАНЕ, Национальная Рабочая группа UNCCD В Кыргызской Республике, 2006). Поэтому, рекомендуется, чтобы базисная информация была определена для 4 главных форм деградации в Центрально азиатских странах - деградация растительности на пастбищных землях, водная эрозия, ветровая эрозия и засоление орошаемой пахотной земли. На субнациональном уровне, базисная информация должна отражать причины, площадь и характер 4 главных типов форм деградации. Кроме того, картирование земельного покрова чрезвычайно важно для устойчивого управления земельными ресурсами, а существующие карты земельного покрова уже устарели. Также рекомендуется провести картирование земельного покрова.

Оценка деградации земельных ресурсов не может ограничиваться одноразовым обзором текущего состояния земли и оценкой характера, серьезности и распространенности различных видов деградации, наблюдаемой сегодня. Для этого требуется понимание прошлых и настоящих тенденций, связывание их причины с воздействием, прогнозирование будущих тенденций, и анализ факторов и процессов, которые влияют на них (Koohafkan *и другие*, 2003). В этом отношении, базисная информация может также включать в себя анализ тенденции перехода состояния земли в прошлом в текущее состояние. Сравнение прошлого с настоящим может также выявить области горячих точек и ярких пятен. Поэтому, информация о динамических

изменениях от прошлого в настоящее также рассматривается как часть базисной информации на уровне страны.

## 2. Общие цели и методологии

Эта структура рекомендуется для оценки деградации для Центрально азиатского региона. Будут рассмотрены четыре типа биофизической деградации - эрозия, вызванная водой и эрозия, вызванная ветром, засоление почвы и деградация растительного покрова.

Для каждого типа деградации, будет выбран ряд биофизических индикаторов, исходя из возможных индикаторов, которые обычно используются, их применимость к конкретному типу деградации, и, самое главное, чтобы эти индикаторы могли использоваться для последующего ежегодного мониторинга с дистанционным измерением. Методологии, предложенные здесь, будут основываться на теме дистанционного измерения с целью выявления индикаторов, который можно будет измерить посредством дистанционных методов. И это касается каждого из четырех типов деградации.

Фундаментальный принцип создания базисной информации с помощью дистанционных методов – это объединение анализ изображений дистанционного измерения, будь то компьютерная обработка или визуальная интерпретация, с наземной выборкой. Всем известно, что дистанционные методы не могут использоваться сами по себе, так как результаты анализа изображений подвержены многим факторам, таким, как тип используемого изображения, дата получения изображения и сезонность растительности.

Методы измерения физических индикаторов или определения их серьезности не являются стандартом, которого придерживаются исследователи от исследования к исследованию (Dregne, 1998; Eswaran *и др.*, 2001). Система сортировки, используемая при составлении многих карт (то есть, легкая, умеренная, серьезная) может также использоваться для передачи информации о текущем статусе деградации. Это, однако, не важно, если отобранное базисные индикаторы были охарактеризованы количественно.

## 3. Выбор индикаторов

Индикатор – это количественный или качественный фактор или переменная, которая дает простое и надежное основание для оценки достижений, изменений или выполнения определенного задания. Единица информации, измеряемая во времени, которая может показывать изменения определенных условий или состояния. Данная цель или задача могут иметь множество индикаторов (IFAD, 2002).

Базисная информация о деградации земельных ресурсов – это статистика или измерения, которые касаются текущего статуса деградации. Эта информация должна описывать состояние явлений деградации, быть полезной при мониторинге динамических изменений и предоставлять средства для сравнения тенденций и прогресса во времени. Базисная информация будет описываться набором биофизических индикаторов.

Оптические дистанционные изображения, полученные со спутников для исследования ресурсов Земли, отображают только особенности земной поверхности, и

некоторые из этих особенностей связаны с деградацией земельных ресурсов. Для особенностей, которые связаны с или указывают на явление деградации, которое будет выявляться из изображений дистанционного измерения, они должны проявить различимый сигнал на изображениях. В этой связи, можно выбрать только некоторые биофизические индикаторы. Важно хорошо понимать, что можно, а что невозможно достичь посредством дистанционных методов. Поэтому индикаторы, поддающиеся обработке в рамках дистанционных технологий, должны также быть SMART (см. Schomaker, 1997). В общем, при выборе индикаторов нужно принимать во внимание следующие факторы.

#### 1). Пространственное разрешение

Различные уровни пространственного разрешения соответствуют различным масштабам картирования. Особенности, которые видны на изображениях высокого разрешения, могут не разлагаться на изображениях более низкого разрешения. Например, панхроматические изображения 1м IKONOS могут использоваться при подсчете отдельных деревьев и зданий. Однако, это невозможно с изображениями Landsat TM с 30м разрешением. Хотя эффект градиента выпаса невозможно с легкостью определить в данных MODIS 250м, этот эффект можно четко увидеть на изображениях Landsat TM.

#### 2) Спектральные характеристики датчика

Существует несколько разновидностей систем дистанционных датчиков. Разные датчики часто имеют разные конфигурации спектральных измерений. NDVI можно рассчитывать из многоспектральных данных, таких, как Landsat TM. Однако, с помощью изображений RADAR нельзя вычислить NDVI. И, наоборот, индекс влажности почвогрунта, полученный из изображений RADAR, можно использовать в качестве надежного индикатора дефицита воды растительности, а подобный индекс, полученный из оптических изображений, менее надежен.

#### 3) Время получения изображений

Определенные особенности деградации могут проявляться только в определенное время года. Индикатор можно определить количественно, используя изображения, полученные в правильно-выбранное время, то же самое изображение, полученное в другое время, возможно, вообще не несет никакой информации. Это особенно касается картирования соляной корки, которая может появляться в Центральной Азии только ранней весной.

Поэтому, выбор индикаторов зависит от бюджета (изображения высокого разрешения намного более дороги), наличия дистанционных данных (изображения, полученные в начале весны, будут, возможно, не годны к употреблению из-за облачного покрова), и типа рассматриваемого процесса деградации земли.

#### 4. Пространственный масштаб

Пространственный масштаб определяет завершенность и точность оценки, и является ключевым элементом оценки. Как только масштаб установлен, можно будет также определить все другие элементы, необходимые для оценки и анализа, включая схемы выборки и интегрирование результатов, и определение причинной связи (Ропсе-

Hernandez и Koohafkan, 2004). В действительности же, часто именно бюджет определяет масштаб (или охват) оценки. Очень редко возникает необходимость провести инвентаризацию видов землепользования на более детальном уровне, даже для местного планирования. Однако, наличие деталей, действительно обеспечивает гибкость манипулирования данными, когда нужно выполнить несколько различных целей. Стоимость интерпретации, кодирования, и регистрации данных по землепользованию на более детальных уровнях, как правило, всегда выше, чем, если бы эти данные обрабатывались на более обобщенных уровнях. Эта дополнительная стоимость отражает увеличение стоимости дистанционного датчика и сопутствующих данных, получаемых в более крупном масштабе, а также увеличение стоимости интерпретации (Anderson и другие, 1976).

Пространственный масштаб, в котором проводится оценка деградации земли, затрагивает много различных аспектов, связанных с проведением оценки. Прежде всего, необходимо определить и отобразить различные индикаторы. На региональном и национальном уровне, индикаторы должны основываться на имеющихся международных исходных материалах, включая дистанционные изображения, топографические данные (карты или ЦМР), данные по климату, почвенные и геологические данные, в масштабах 1:250,000 - 1 000 000. В этих масштабах воздействие социально-экономических причин выражено, главным образом, через характерную практику землепользования (Kosmas и другие, 1999). Масштаб, в котором наносятся на карту особенности земной поверхности, отражает количество деталей и точность этих изображаемых особенностей.

На уровне страны, масштаб карт оценки деградации не может быть меньше 1:1,000,000 (Lantieri, 2003). Для мониторинга растительной активности и процессов деградации земельных ресурсов могут потребоваться изображения низкого или среднего разрешения (250м, до 8км). Эти изображения особенно полезны для определения областей, склонных к изменениям (или горячих точек). Как только горячие точки определены, тогда для изучения этих территорий можно заказать изображения высокого разрешения.

Для определения горячих точек с помощью, например, изображений NOAA AVHRR с разрешением 1.1км (надир), можно создать карты 1:500,000 с максимальным разрешением. На субстрановом уровне, можно составить карты 1:100,000 - 1:250,000. Такой широкий масштаб требует спутниковых изображений с пространственным разрешением от 30м до 100м. Для этого подходят Landsat TM/ETM+, SPOT, ASTER и многие другие.

## 5. Получение данных - полевой и дистанционный сбор данных

После выбора типа спутниковых изображений, исходя из масштаба картирования, то изображения, полученные в определенном временном окне (например, вегетационный период сельскохозяйственных культур) можно заказать в онлайн-режиме. В последующих разделах этого отчета представлены онлайн-каталоги для главных источников спутниковых изображений. Перед размещением заказа нужно обязательно отфильтровать данные. Это важный шаг. Фильтрация – это проверка даты получения изображения, процента облачного покрова и качества изображения (например, наличие расслоения и другого шума) на основе изучения свойств файла изображения, а также моментальных снимков (уменьшенная версия изображения для быстрого просмотра).

Как упоминалось ранее, дата получения изображения чрезвычайно важна для успеха применения дистанционных методов. В случае, если для указанного периода нет желательного типа изображения, можно рассмотреть альтернативные возможности.

Применяя дистанционные методы измерения, обязательно нужно организовать сбор данных подспутниковых наблюдений. Данные подспутниковых наблюдений используются, главным образом, в трех целях. Во-первых, часть наземных данных будет использоваться для установления подписи (сигнатуры), например, тематического класса, будь то класс земельного покрова или степень серьезности деградации. Во вторых, часть наземных данных будет использоваться для подтверждения точности карт, созданных либо посредством компьютерного анализа, либо визуальной интерпретации. В-третьих, некоторые из забранных{собранных} данных основания{земли} будут также использоваться для того, чтобы помочь, отображают анализ. Например, дата распиливания, отмеченная при сборе наземных данных может помочь аналитику изображений подумать, почему отмечена разительная разница с точки зрения развития культур на разных участках в поле, а использование удобрений может помочь объяснить, почему культуры растут по-другому в одной и той же области с одинаковым уровнем засоления.

Наземные данные обычно собираются путем посещения фактических участков, предварительно отобранных в соответствии с процедурой осуществления выборки. Для сбора наземных данных для классификации земельного покрова, те части изображения, которые содержат эти участки выборки извлекаются и увеличиваются. Прозрачная пленка накладывается сверху и на ней чертятся все участки поля в квадранте каждого образца и отмечается земельный покров для каждого пакета. Для отметки уровня солености, образцы нужно собрать почвы и потом проанализировать их в почвенной лаборатории, и нужно измерить место забора каждого образца портативным прибором GPS. В поле можно использовать переносной набор химикатов (набор Nach), чтобы измерять растворимые соли, загрязнение тяжелыми металлами, и качество воды.

Также важно время сбора наземных данных. Для тех индикаторов, которые не показывают заметные изменения со временем, данные можно собирать после того, как получено изображение.

Версия 4.0 Пособия для работы в поле, которое использовалось в рамках проекта MEDALUS (Cammeraat, 1998) дает детализированное описание процедур проведения полевых исследований и сбора выборочных данных о почве, растительности, форме ландшафта и т.д.

## 6. Хранение данных

Надлежащее хранение данных гарантирует эффективное управление данными, например, поиск данных, показ данных, запрос, визуализация и манипуляции с данными.

### а. Данные дистанционных измерений

Средние и крупномасштабные проекты дистанционных измерений, которые используют изображения высокого разрешения, должны работать с массивными наборами данных изображений. Например, изображение Landsat ETM+ имеет 8 спектральных полос. Как правило, размер файла для многоспектральных полос (полосы 1, 2, 3, 4, 5, 7, полоса 6 – полоса теплоты) составляет около 70 МБ. Панхроматическая полоса 8 (если она нужна) - намного больших размеров (270 МБ). Один полный кадр

ETM+ - это приблизительно 700 МБ. Обработка таких данных приведет к еще большему количеству файлов, как промежуточных, так и конечных продуктов.

Если нужно, можно сопоставить несколько смежных кадров в виде мозаики. Поэтому, данные должны храниться на жестком диске в терабайтах (TBs).

Хотя не все данные в наглядном представлении должны храниться в компьютере одновременно, очень важно планировать соответствующую область памяти, чтобы сократить частоту своппинга в области памяти. Для целей планирования, можно оценить требования к области памяти, используя размер области исследования, разрешение и число изображений (включая число слоев изображения и полос), которые будут использоваться. Размер области исследования и разрешение изображений вместе взятые определяют общее количество пикселей,  $P$ , изображения, требуемого для покрытия области исследования. Допустим,  $L$  изображает число слоев изображения или полос, которые будут использоваться, а  $B$  пусть представляет число байтов, необходимых для хранения значения каждого пикселя. Требуемую общую область памяти,  $S$ , можно вычислить с помощью функции:  $S = P * L * B$ .

Огромное сокращение затрат на хранение на дисках, новые запоминающие устройства с большой плотностью записи, и интегрирование методов сжатия в обычные операционные системы значительно облегчили проблему хранения данных. Существует несколько общепринятых форматов данных дистанционных измерений. Как правило, это такие, как, например, GeoTiff, HDF и HDF-EOS, MrSID, двоичный плюс специальные форматы продавцов серийного программного обеспечения. Большинство форматов изображений используют схемы сжатия с целью экономии области памяти. Все дистанционные данные должны сохраняться в форматах, которые обеспечивают пользователю быстрый поиск данных для анализа, и позволяет проводить быстрое и точное обновление базы данных. Этот компонент, как правило, включает использование системы управления базой данных (DBMS) для поддержания атрибутивных данных. Пространственные данные обычно кодируются и поддерживаются в пользовательском формате файла.

## **b. Данные ГИС**

Программное обеспечение ГИС на микрокомпьютере может занимать десятки мегабайт, даже без данных, а на рабочей станции - возможно сотни мегабайт. Поскольку данные имеют все более высокое разрешение, и используется все больше растровых слоев, и становятся видимыми более мелкие детали, многие наборы данных ГИС можно легко переместить в гигабайтовый диапазон.

Для цифровых карт рекомендуется стандартный формат файла формы ESRI. Файлы формы распознаются многими распространенными системами ГИС и системами программного обеспечения дистанционных измерений, при этом сами они являются широко-распространенным форматом организации векторных данных (то есть, точек, линий и многоугольников). Если будут использоваться другие форматы для преобразования в цифровую форму (например, программа Panorama, разработанная в России, которая используется некоторыми учреждениями в Казахстане, имеет свой собственный формат для векторных данных), то преобразование в формат файла формы можно осуществить с помощью атрибутов, которые не всегда правильно поддерживаются.

## **c. Социально-экономические и полевые данные**

Для собранных наземных данных, можно использовать базу данных Excel для хранения всех атрибутов, связанные с точками, на которых собираются данные. При условии точного определения координат точки (по показаниям переносного GSP) и сохранения их в отдельном поле в таблице, все атрибутивные данные, привязанные к точке, можно записать в каждом поле. Или, все выборочные точки переводятся в цифровую форму на основную карту в ГИС, а все атрибуты можно тогда сохранять в файле базы данных ГИС. Настоятельно рекомендуется, чтобы там, где это нужно, атрибутивные данные писались на двух языках. Все оригинальные эскизы и рисунки, сделанные на полях, должны сохраняться для последующей проверки в случае путаницы и ошибочной идентификации.

## 7. Анализ данных

### а. Анализ тенденций изменения (на уровне страны)

На страновом уровне спутниковые изображения низкого разрешения, включая исторические архивы спутниковых данных, будут использоваться вместе с результатами, полученными при анализе изображений высокого разрешения (вместе с данными наземной съемки), чтобы установить исходный уровень или базис. Набор данных GIMMS содержит больше чем 25 лет исторических данных, что даст возможность провести анализ деградации земли в национальном масштабе с помощью временных рядов. Для этого анализа тенденций необходимы метеорологические данные. Можно и нужно определить причины деградации относительно изменений климата или антропогенных факторов. Количественный анализ может включать в себя пошаговый анализ на основе линейной регрессии, чтобы наблюдаемые изменения можно было отнести к различным причинам. Исследование в Монголии ( ) продемонстрировало, как это можно сделать.

Как только причины деградации или восстановления земель определены статистически, можно использовать социально-экономические данные, чтобы получить более подробно непосредственные причины деградации/восстановления. Например, рост населения на уровне района можно наложить на карту тенденции деградации, чтобы увидеть, есть ли прямая связь между приростом населения и деградацией земли. Это можно также проделать статистически. Карту изменения лесного покрова (возможно, вырубка леса) можно визуализировать с картой тенденции, чтобы определить, возрастает ли риск ветровой эрозии.

### б. Причинный анализ

Хотя и трудно определить изменения, вызванные изменениями климата и антропогенной деятельностью, можно попытаться проанализировать данные долгосрочных наблюдений. Например, 25-летний архив наборов данных AVHRR можно использовать для определения статистически, какое изменение в производстве биомассы можно отнести за счет изменений климата и деятельности человека.

Некоторые типы деградации земли можно явно приписать деятельности человека. Например, внедрение ирригационных систем может привести к вторичному засолению, при отсутствии должного управления. До некоторой степени, ветряная и водная эрозия могут также быть следствием деятельности человека. Однако, изменение климата также внесло свою лепту в явление деградации земли. Вопрос заключается в том, до какой степени мы можем приписать деградацию земли воздействию изменений климата и какая часть ее вызвана антропогенной активностью.

Социально-экономические данные будут использоваться для анализа причин. Информация о планировании землепользования и политики, динамике изменения

населения, занятости, размера стада, урожайности и т.д может помочь при расшифровке причин деградации. Причинный анализ можно проводить в ГИС, путем моделирования.

## 8. Отчетность

Отчеты по большинству индикаторов должны представляться в цифровом формате. Для векторных файлов ГИС, следует использовать формат файла формы ESRI. Для растровых изображений и карт рекомендуется формат GeoTiff (или формат изображений Erdas Imagine \*.img). GeoTiff - один из наиболее популярных форматов дистанционных изображений, причем он распознается общепринятыми системами обработки изображений, а также системами программного обеспечения ГИС, такими, как ERSI ArcGIS. Необходимо сформулировать общую символику условных обозначений для каждого индикатора для всех 5 стран.

Большинство работы по отчетности следует делать в цифровых картах (и растровых и векторных). Система отчетности в ГИС позволяет пользователю создавать графические дисплеи, как правило, карты, и отчеты в форме таблиц, представляющие полученные информационные продукты.

Так как большинство отчетов будут представляться в формате карты, поэтому, нужно обратить внимание на разработку условных обозначений карт, чтобы они отражали, по крайней мере, тип деградации, ее распространенность, а также серьезность деградации. Дополнительно, на этой карте можно также представить типы земельного покрова. Примером может служить карта опустынивания Азии, подготовленная *Kharin и другие* (1999).

Для последующего мониторинга на уровне страны, каждая страна должна сообщать о тенденциях в четырех основных типах деградации на уровне страны. Причины предполагаемых изменений земельного покрова должны быть проанализированы, и возможные коррективные действия рекомендованы.

## VI. УСТАНОВЛЕНИЕ ИСХОДНОЙ ИЛИ БАЗИСНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

### A. Базисная информация

#### 1. Краткий обзор

Исходные данные - это базовая информация, собранная до начала проекта. Она используется позднее для обеспечения сравнения для оценки воздействия программы. В целях оценки и мониторинга деградации земли, исходная информация описывает статус деградации земли до реализации проекта, который предназначен для того, чтобы полностью изменить процесс деградации. В этой связи, выбор индикаторов является критическим.

Dregne (1986) определил три процесса, провоцирующих опустынивание: 1) ухудшение растительного покрова в результате выбивания пастбищ, вырубки деревьев и пожара, 2). Ветровая и водяная эрозия как результат неправильного управления земельными ресурсами, и 3). Засоление вследствие неправильного управления ирригационными процессами. Эти формы деградации земли и опустынивания встречаются почти каждой стране Центральной Азии (ФАО AGLL LADA Технический отчет



- Республика Узбекистан, 2003, НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ДЕЙСТВИЙ ПО БОРЬБЕ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ В ТУРКМЕНИСТАНЕ, КБО ООН Национальная Рабочая группа Кыргызской Республики, 2006 г.). Поэтому рекомендуется, чтобы базисная информация была установлена для 4 главных форм деградации в Центрально азиатских странах - деградация растительности на пастбищах, водная эрозия, ветровая эрозия, и засоление орошаемой пахотной земли. На субнациональном уровне, базисная информация должна быть установлена как причина, степень, и серьезность для 4 главных типов форм деградации. Кроме того, для устойчивого управления земельными ресурсами чрезвычайно важно картирование земельного покрова. В настоящее время устаревшие карты земельного покрова доступны только для ограниченного числа участков. Также рекомендуется, чтобы было проведено картирование земельного покрова.

Оценка деградации земли не может ограничиваться одноразовым обзором современного состояния земли и оценки природы, серьезности и степени различных видов деградации, что отмечается на сегодняшний день. Это требует понимания прошлых и настоящих тенденций, связывания их причин и воздействия, прогнозирования будущих тенденций и анализа факторов и процессов, которые влияют на них (*Koohafkan и другие, 2003*). В этой связи, исходная информация может также включать анализ тенденций того, как прошлое состояние земли перешло в существующее состояние. Сравнение прошлого с настоящим может также выявить области горячих точек и ярких пятен. Поэтому, информация о динамических изменениях от прошлого к настоящему также рассматривается как часть исходной информации.

## 2. Критерии для выбора базисных индикаторов

Индикаторы, полученные из дистанционных измерений, должны быть непосредственно связаны с или, по крайней мере, указывать на текущий статус деградации земли. Чрезвычайно важно, чтобы отобранные индикаторы можно было измерять дистанционно. То, что мы видим на оптических изображениях дистанционных измерений – это только поверхностные выражения некоторых биофизических свойств растительности, почвы и ландшафта.

*Масштаб:* Изображения дистанционных измерений могут иметь самое разнообразное пространственное разрешение. Различное разрешение соответствует различному уровню деталей, которые можно обнаружить на этих изображениях. Поэтому, нужно выбирать индикаторы с учетом того, что могут предложить дистанционные изображения на различных уровнях разрешения. И наоборот, если вначале устанавливается шкала картирования, нужно использовать спутниковые изображения, соответствующие для каждого фиксированного масштаба.

*Спектральное разрешение:* После того, как установлен масштаб, следующим шагом будет выбор индикаторов, с помощью которых можно анализировать спектральное разрешение и разрешение по времени. Спектральное разрешение относится к количеству полос (интервалы длины волны) в электромагнитном спектре, который используется для аппаратуры дистанционного измерения. Спектральное разрешение обеспечивает меру спектральной чувствительности приборов дистанционных измерений. Содержание перегноя почвы можно определить с помощью гиперспектральных данных, но вряд ли это возможно при использовании изображений Landsat.

*Разрешение по времени:* Это количество дней, через которые платформа дистанционных измерений посещает (зондирует) то же самое место на поверхности земли. Изображения низкого-среднего разрешения, например, NOAA AVHRR и MODIS, часто имеют более высокое временное разрешение. Эти изображения полезны для

характеристики вегетативной активности, засуха например, и можно определить их как индикатор.

*Дата получения изображения:* некоторые типы деградации могут проявляться только в определенное время и, поэтому, выбор изображений важен, так как они помогают выявить эти особенности. То есть, индикаторы привязаны к определенному времени.

### 3. Методологии и подготовка к базисной информации

Для проведения подготовительной работы рекомендуется подход LADA с семью шагами.

Подготовка, в основном, означает сбор имеющихся карт, отчетов и полезных материалов. Экспертные знания чрезвычайно важны на фазе разработки проекта. Некоторые имеющиеся карты, например, землепользования и земельного покрова уже могут частично служить базисной информацией. Стадия подготовки может быть поделена на 3 категории.

- a. Сбор данных и материалов
- b. Анализ сценария

Анализ текущей ситуации деградации земли имеет особое значение для установления базисной информации.

- c. Масштаб карты и определение индикаторов

Как только выявлены причины и тип деградации, следующая стадия – определение индикаторов, подходящих для этого конкретного типа деградации.

- d. Получение спутниковых данных

- i. Планирование полевых исследований

Данные, используемые для стратификации, могут включать в себя:

GLC2000 (из EC-JRC)  
SRTM  
AVHRR/NDVI

## **В. Классификация земельного покрова**

### 1. Создание Системы классификации земельного покрова Центральной Азии - CALCCS

В Интернете почти невозможно найти отчеты о землепользовании/земному покрову для Центрально азиатских стран. Хотя существуют карты землепользования с неполным охватом. Однако, эти карты были сделаны в советское время на основании геоботанических исследований и уже устарели (Nuryumgereyev, по электронной почте). Кроме того, отсутствует система классификации земельного покрова, основанная на имеющихся данных дистанционных измерений. С учетом сложившейся ситуации, необходимо установить общепризнанную Систему Классификации Земельного покрова Центральной Азии (ЦАКЗП или CALCCS). Все пять стран должны принять одинаковую систему так, чтобы сделать возможным компиляцию на региональном уровне и сравнение между этими 5 странами.

Существует несколько вариантов создания CALCCS. Первый – это разработка системы путем модификации системы EC CORINE CLC, чтобы охватить региональные характеристики Центральной Азии. Например, существует только 1 класс для пастбищ на уровне 3, который определяется как “густой, с преобладанием злаковых, травяной покров,

состоящий из цветов, не входящий в систему оборота. Используется, главным образом, для выпаса скота, но корма могут собираться и механическим путем. Включает области с живой изгородью (кустарник)" (Земельный покров CORINE, <http://reports.eea.europa.eu/COR0-part1>). Кроме пастбищ, которые нужно переформулировать и исправить, необходимо дать определение различным типам растительного покрова и другим классам земельного покрова, особенно в пустынных и полупустынных зонах, нужно дать. Кроме того, для оценки деградации земли очень важны такие факторы, как тип почвы, ландшафт. Экологические элементы можно также рассмотреть при формулировании системы классификации. В этой связи, наверное, лучше использовать систему AFRICOVER, так как их можно легко приложить в экологические признаки LCCS.

AFRICOVER считается самым успешным проектом с применением дистанционных технологий. LCCS, принятый для классификации AFRICOVER в 1:250,000, является мировым стандартом и самой передовой системой, и считается ISO

Однако, наиболее приемлемым выбором, будет составление общей системы классификации, путем изучения существующих карт землепользования/земельного покрова и карт растительности, имеющих в этих 5 странах. Следуя структуре CORINE, можно использовать трехуровневый подход, начиная с определения широких классов, переходя затем на 2-й и 3-й уровни. Институт землепользования (ГИПРОЗЕМ) в каждой стране будет отвечать за определение и формулирование этой системы классификации для своей страны. Затем можно составить общий CALCCS и сформулировать согласно национальным системам.

## 2. Методология интерпретации дистанционных изображений

### а. Данные

Изображения Landsat TM и ETM+ будут основными наборами данных для картирования земельного покрова. Для поправки этих изображений на геометрию понадобятся топографические карты (1:50,000).

Кроме того, также могут понадобиться аэрофотоснимки (стереопары) чтобы помочь при визуальной интерпретации. Существующие карты, такие, как карты растительного покрова и карты землепользования также полезны для проведения обзора охваченных областей.

### б. Масштаб

Масштаб картирования должен быть между 1:100,000 и 1:250,000. Проект ЕС CORINE и AFRICOVER ФАО использовали масштаб картирования от 1:100,000 до 1:250,000.

### с. Визуальная интерпретация

Визуальная интерпретация – это метод, используемый в проекте AFRICOVER, а также проекте CORINE. Причиной использования визуальной интерпретации служит то, что результаты полностью (или частично) автоматизированных методов компьютерной классификации не всегда дают те результаты, которые отвечают требованиям в прикладных целях, хотя за последние годы были получены важные результаты в разработке алгоритмов. Эти алгоритмы обычно используются для картирования в небольших масштабах (например, 1:1/2 миллиона и ниже). Фактически, визуальная интерпретация до сих пор является самым надежным методом получения информации о земном покрове из спутниковых изображений.

Следуя проекту CORINE, будут подготовлены изображения Landsat ETM+ и другие дополнительные изображения в 1:100,000 для визуальной интерпретации путем экранной оцифровки. Вся процедура состоит из 6 шагов.

### 1). Подготовка

Эта стадия состоит в отборе спутниковых данных, с учетом датчика и даты. Также нужно подготовить топографические карты 1:100,000. Кроме того, вспомогательную информацию, такую, как существующие карты растительности, земельного покрова и почвоведения, и существующие аэрофотоснимки. Аэрофотоснимки реально существуют во всех 5 странах. Например, в Таджикистане хранится архив аэрофотоснимков с 1968 по 1990 гг. (Nurgumgeyev, K., 2007, Миссия SLMIS в Таджикистане). Хотя фотоснимки уже устарели, можно все равно использовать те области, которые не подверглись изменениям, как ссылка к изображению типов земельного покрова с псевдоцветных спутниковых изображений. Кроме того, стереопары могут дать детализированные топографические особенности, которые могут очень помочь при изображении земельного покрова. Это было частью процедуры, используемой в проекте CORINE.

### 2). Псевдоцветные изображения в 1:100,000

Эти процедуры включают в себя радиометрическое усиление, поправку на геометрию, обновление файла (лазерное записывающее устройство), и увеличение и печать изображений. Радиометрическое усиление предназначено для увеличения контрастности изображения по типам покрова, чтобы улучшить интерпретацию изображения. Поправки на геометрию призваны исправить искажения изображения, вызванные изменениями спутниковой платформы (таких, как шаг, тис и прокрутка, и вращение Земли за время сканирования или отображения наземной полосы). Топографические карты обычно используются для определения точек наземного контроля (GCPs) как на изображении, так и на картах. Координаты изображения в колонках и рядах и восточное склонение и отклонение к северу, измеренные на топографических картах формируют пары соответствующих GCPs. Можно затем провести аффинное преобразование, чтобы перекосить изображение на координатную сетку (или то же самое, что и топографические карты). Для 30м разрешения изображений Landsat TM и ETM+ необходимы топографические листы 1:50,000. Исправленные и усиленные изображения затем можно увеличить до масштаба 1:100,000 и получить твердые копии, которые будут использоваться как базисные карты для изображения.

### 3). Автоматизированная интерпретация фотоснимков.

На основании анализа вспомогательной документации, можно провести стратификацию псевдоцветных изображений. Затем можно провести предварительное определение границ. Если имеются в наличии аэрофотоснимки, нужно изучить стереопары, чтобы вникнуть в фактическую ситуацию на земле. После этого можно уже проводить второй раунд определения границ на комбинированном псевдоцветном изображении. После оценки проблем интерпретации может понадобиться третий раунд определения границ. Если все таки остались проблематичные области, которые невозможно определить путем визуальной интерпретации, тогда для проверки этих областей нужно запланировать проведение полевого обзора.

### 4). Контроль качества

Контроль качества нужно сфокусировать на надлежащем выравнивании документов карты (прозрачная пленка), последовательности результатов, качество единичного выравнивания и определения, сбор в мозаику смежных карт, кодирование каждой единицы области (многоугольники) и так далее.

### 5). Оцифровка

Если экранная оцифровка изображения не выбрана, то существует две возможности преобразования в цифровую форму многоугольников, обозначенных на прозрачных подложках. Первый – это ручная оцифровка очерченных многоугольников. Второй – это сканирование очерченных карт в растровом формате с последующим

преобразованием в векторные файлы ГИС в соответствии с процедурой, известной как векторизация.

#### 6). Проверка

Оцифрованные карты земельного покрова должны пройти через выборочное испытание, например, автоматическое согласование выбранных областей с топографическими картами 1:100,000. Кроме того, отобранные образцы будут проверяться относительно аэрофотоснимков. Если аэрофотоснимки отсутствуют, тогда, возможно, придется провести подспутниковый обзор, чтобы получить статистический анализ результатов (например, пропуски и ошибки в указаниях). Проверка должна проводиться через представительную выборку единиц, полученных путем случайного отбора.

Для данных по землепользованию и земному покрову, необходимых для целей планирования и управления, точность интерпретации на обобщенном первом и втором уровнях удовлетворительна, если человек, проводящий интерпретацию, делает это правильно в 85 - 90 процентов времени (*Anderson и другие*, 1976).

### 3. Результаты и обновление информации

Результаты картирования земельного покрова многообразны. Основным достижением будет получение карты земельного покрова 1:100,000 для всех 5 стран. На основании этой карты будет получена статистика на субрайонном уровне. Пространственное распределение, например, разнородность, однородность, сопоставление и т.д можно рассчитать и использовать для экологических исследований.

Карты земельного покрова можно обновлять каждые 5 - 10 лет.

## **С. Картирование деградации орошаемых пахотных земель**

### 1. Задачи

Общая задача состоит в том, чтобы получить карту, изображающую различные уровни деградации (или, солености почвы). Эта карта будет создана в соответствии с компьютерной классификацией. Оригинальные спутниковые изображения, вероятно, придется подвергнуть повторной обработке для извлечения информации до перехода к классификации. Можно сделать следующее деление - отсутствует, небольшая, серьезная и очень серьезная. Картирование проводится в масштабе 1:100,000. Кроме того, будут также рассчитаны и проанализированы индикаторы, полученные со спутников.

Деградация в орошаемых сельскохозяйственных угодьях вызвана, главным образом, вторичным засолением, которому иногда сопутствует подтопление, наблюдаемое в определенные периоды времени. Полученные изображения могут не захватывать области, погруженные в воду. Тем не менее, определенный анализ все-таки возможен с целью определения границ тех областей, которые подвержены подтоплению, например, анализ содержания влаги в почве по всей исследуемой области. Здесь мы сосредоточимся на обсуждении вопроса засоления почвы.

### 2. Индикаторы

Некоторые из индикаторов деградированных орошаемых земель – это засоленность почвы, уровень грунтовых вод, содержание влаги в почве, содержание перегноя (НМС) и т.д. Чтобы получить индикаторы, удовлетворяющие дистанционным методам измерений, наверное, нужно отобрать, так называемые, индикаторы-агенты.

Например, условие выращивания культур может просто замещать содержания перегноя, а также засоленность почвы.

Таблица 3. Индикаторы деградированных орошаемых земель

Индикаторы	Описание	Метод	Прогнозируемая точность
Орошаемые земли	Границы орошаемого оазиса можно легко установить по изображениям высокого разрешения. Границы следует оцифровывать на экране.	Экранная оцифровка	
Заброшенные/открытые земли	Земли, которые брошены вследствие сильной засоленности, служат хорошим индикатором засоления почвы. Можно также рассчитать участки земли с частичным охватом поврежденных культур.	Компьютерная классификация	Высокая
Условия выращивания культур	Условия выращивания культур являются важным индикатором	Компьютерная классификация для определения типов культур. Индексы растительности используются для количественного выражения условий выращивания.	От умеренной до высокой
Системы выращивания культур	Выращивание разнородных культур или единой культуры	Компьютерная классификация Визуальная интерпретация	От умеренной до высокой
Засоленность	Соляную корку можно разглядеть непосредственно на изображениях высокого разрешения. Уровень засоленности редко выявляется на изображениях. С помощью изображений можно получить агенты засоления.	Показатель засоленности, Относительная разность Показатель засоленности (NDSI), and красная полоса	Умеренная
Влажность почвогрунта	Почвенная влага также связана с засолением. Можно также определить участки, подверженные затоплению и заболачиванию. Этот индикатор также может быть замещающим индикатором наблюдаемой влагоудерживающей способности (AWC), инфильтрации и уровня вод, как рекомендуется в KAZ-4375.	Относительная разность Показатель воды-NDWI. (NDWI = NIR – SWIR / NIR + SWIR	Умеренная
Уровень подземных вод	Уровень подземных вод служит важным индикатором потенциального засоления. Он также тесно связан с почвенной влагой	Может быть частично получено вместе с влажностью почвы	От низкой до умеренной

Выращивание культур и их урожайность зависят от ряда факторов, таких, как генетический потенциал культурного сорта растения, почва, погода, методы культивирования (дата сеяния, степень ирригации и количество удобрений) и биотического напряжения. Во многих исследованиях допускается, что условия произрастания культур служат главным индикатором присутствия и серьезности засоленности почвы (например, Garcia и другие, 2006, Sharma и другие, 1994). Повышение уровня засоленности почвы влияет на рост большинства культур, а также их внешний вид. Это можно обнаружить с помощью спутниковых изображений, полученных с помощью дистанционных измерений. Увеличивая изображение, мы можем поделить состояние культур на несколько классов. Используя наземные данные, собранные в исследуемой области, со ссылкой на их пространственное распределение, мы можем привязать каждый класс на спутниковом изображении к уровню солености почвы. Затем мы можем использовать эти классы для создания файла сигнатур, чтобы классифицировать другие области, засеянные теми же культурами.

Для орошаемых сельскохозяйственных угодий, серьезность деградации земли можно картировать, анализируя состояние культур и состояние почвы. Информацию о состоянии культур и почвы можно получить из спутниковых изображений. Произрастание культур и их урожайность зависят от ряда факторов, таких, как генетический потенциал культурного сорта растения, почва, погода, методы культивирования (дата сеяния, интенсивность ирригации и количество удобрений) и биотических напряжений.

Для энергии или силы культуры, индексы растительности можно рассчитать, используя спектральные полосы в красном и ближней ИК областях спектра. Нормированный индекс растительности (NDVI) можно использовать для оценки состояния культур. Временами можно использовать индексы растительности, скорректированные для каждой почвы (SAVI<sup>6</sup>), так как предполагается частичный охват покрова культур в определенных областях с большой засоленностью, где на шум индекса растительности влияет шум от почвенного фона. Доказано, что NDVI тесно связан с LAI, урожайностью и так далее.

NDVI рассчитывается как:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red} + L} (1 + L)$$

Индикаторы засоленности

Khan et al (2001) разработали ряд индексов, связанных с осолоненностью почвы, используя данные LISS.

Индекс осолоненности:  $SI = \sqrt{B1 + B3}$ .

Нормализованный дифференцированный индекс осолоненности (NDSI):  $NDSI = (B3 - B4) / (B3 + B4)$ .

Индекс яркости:  $BI = \sqrt{B3^2 + B4^2}$ .

<sup>6</sup>  $L$  в уравнении SAVI – это постоянная, которая определяется эмпирически для минимизации чувствительности растительности к вариациям отражательной способности почвы. Если  $L$  рано нулю, SAVI равно NDVI. Для охвата растительности в среднем диапазоне, величина  $L$  обычно равна примерно 0.5. Член  $1+L$  призван обеспечить диапазон SAVI  $\{-1,+1\}$ , такой же, как NDVI.

Для других систем датчиков эти уравнения можно переписать как:

$$SI = \sqrt{Blue + Red}, \quad NDSI = (Red - NIR)/(Red + NIR), \quad \text{и} \quad BI = \sqrt{Red^2 + NIR^2}.$$

(i) Засоленность и влагосодержание в почве

Показатель воды с нормализованной разницей:

$$NDWI = NIR - SWIR / NIR + SWIR$$

(ii)

(iii) % покрытия культур, энергия культур

(iv) Чистая первичная продуктивность – ЧПП

Почвенная влага или влажность почвогрунта: сверхчастотные дистанционные измерения оголенных поверхностей почвы очень чувствительны к содержанию воды в поверхностном слое из-за резко выраженного возрастания диэлектрической проницаемости почвы с увеличением содержания воды (Ulaby и другие, 1982). Это – основная причина, по которой любые сверхчастотные методы, особенно в низкочастотной микроволновом диапазоне от 1 до 10 ГГц, предлагают возможность относительно напрямую измерять влажность почвы. Микроволновой спектр разделен на ряд частотных диапазонов, которые обозначены буквами. Для исследований с целью извлечения данных о влажности почвы, наиболее важными являются следующие диапазоны - L-полоса (частота  $f$  1-2 ГГц, длина волны  $l$  30-15 см), С-полоса ( $f$ -> 4-8 ГГц,  $l$ -> 7.5-3.8 см), и X-полоса ( $f$ -> 8-12 ГГц,  $l$ -> 3.8-2.5 см).

### 3. Методология

#### а. Общая методология

Общая методология используется для определения уровня засоленности почвы, вплоть до 4 уровней серьезности, через компьютерную классификацию. Классификация будет, в основном, основываться на оценке состояния культур. Используется допущение о том, что нагрузка на культуры, главным образом, вызвана засоленностью почвы. Разные уровни солёности приводят к разной степени вреда для роста культур. Работа делится на два шага. Первый шаг – определение различных типов культур. Второй шаг - анализ значений NDVI, чтобы оценить состояние культур.

#### б. Сбор наземных данных

Для определенной орошаемой области, при составлении выборки на земле нужно опираться на визуальную и предварительную оценки изображений, чтобы определить количество необходимых выборок. Место отбора проб в естественных условиях регистрируется устройством Глобальной системы навигации и определения положения (GPS), и составляется карта ГИС. Нужно собрать образцы почвы для проведения лабораторного анализа. Засоленность можно определить как общее содержание растворимых солей в верхних 50см почвенного слоя. Полевые измерения могут включать измерения удельной электропроводности, pH, состояния культур, разнообразие культур, и вклад управления (например, дату посева, использование удобрений, виды выщелачивания и время выщелачивания, использование пестицидов и т.д). Измерения уровня грунтовых вод можно провести с помощью скважин и колодцев, а также дренажных систем. Все измерения должны быть оцифрованы в ГИС.

#### с. Получение изображений

Дата, в которую нужно будет получить изображения на основании календаря культур.



Получение изображений должно быть приспособлено к системам выращивания культур. На орошаемых землях выращивается две главных культуры (озимая пшеница и хлопок). В идеале, хорошо бы иметь динамические изображения (например, два изображения, по одному на каждую культуру) так, чтобы можно было проверить и подтвердить результаты. Кроме того, можно проанализировать сезонные изменения засоленности. Из-за ограниченности бюджета, можно получить только один кадр. Нам кажется хорошим выбором получения одного изображения ранней весной, что помогает оценить состояние озимой пшеницы, так как на поверхности засоленность/насыщение натрием проявляется в максимальной степени. Кроме того, из Глобального фонда земельного покрова ( ) нужно получить изображения Landsat TM и ETM+, сделанные примерно в 2000 г.. Этот набор данных может использоваться для разделения постоянных участков почвы, затронутой засолением от сезонных изменений (если области затронутой засолением почвы определяются как на существующем изображении, так и на изображении 2000 года, эти области потенциально классифицированы как постоянные участки почвы, затронутой засолением, то есть заброшенной земли).

#### d. Подготовка изображений

Задачи в связи с обработкой изображений можно сгруппировать по трем категориям. Первая группа, подготовка изображений, включает калибровку и исправление сырых изображений (если только не получены данные более высокого уровня). Вторая группа состоит из задач, связанных с анализом главных изображений, и последняя группа заданий связана с постобработкой.

Эта группа задач включает в себя, например, геометрические поправки (чтобы сделать поправку на геометрическое искажение так, чтобы исправленные изображения можно было бы наложить на топографические карты). Как правило, для определения пунктов наземного контроля (GCPs) используются топографические карты масштаба 1:50,000. Затем координаты, измеренные на картах, и координаты соответствующего изображения используются для создания масштабного уравнения (аффинного преобразования) через выравнивание по методу наименьших квадратов. Затем отдельные полосы можно наложить на топографическую карту, чтобы получить геометрически скорректированное изображение.

Во многих случаях будет ряд кадров, полученных с целью охвата одного главного орошаемого оазиса. Для визуальной оценки и получения базового изображения для наложения на карту нужно создать полную мозаика всего оазиса. Если все изображения получены примерно в один и тот же сезон, то можно провести картирование засоленности, используя эту мозаику изображений (все спектральные полосы должны быть соединены). Это предотвратит проблему с объединением результатов отдельных мест (кадров), особенно если растровые данные нужно будет векторизовать, а многоугольники в пограничных областях невозможно объединить. Как только завершено геометрическое корректирование, нужно затем провести радиометрическую нормализацию (или контрастное удлинение) так, чтобы все изображения имели бы более или менее одинаковый внешний вид. Для этого, одно место (кадр) выбирается в качестве опорного изображения. Затем можно проводить радиометрическую нормализацию, используя наложенные области. В том случае, если изображения получены в разное время года, каждое изображение нужно анализировать отдельно, а затем, на более поздней стадии, объединить результаты.

В одних случаях требуется атмосферная поправка, а в других - нет. Когда сравниваются изображения, полученные по одной и той же области в разные дни (например, мониторинг изменений и тенденций засоления), тогда поправка на атмосферное воздействие необходима. Поправка на атмосферные эффекты обычно

требует атмосферных измерений *на месте*, которые служат исходными данными для модели переноса излучения. Хотя эти измерения не всегда доступны. Хотя серийные системы программного обеспечения дистанционных измерений предусматривают подобные функции, эти процедуры поправки основаны на многочисленных допущениях, например, диффузная поверхность Ламберта и идеальные атмосферные условия.

Другие задачи подготовки изображения могут включать в себя создание ложноцветных комбинированных изображений, чтобы выдвинуть на первый план протяженность соляного участка и воздействие соли. Например, когда используется Landsat TM, цветное комбинированное изображение можно создать, используя одну из видимых полос или ближних ИК полос, 3 основного компонента, полученного из всех 6 полос (исключая полосу 6, которая является полосой теплового излучения) и изображение Индекса зелени из преобразования Tasseled Cap (<http://scholar.iilib.cn/A-yndlhjyj200701012.html>).

#### е. Анализ изображений

##### и). Компьютерная обработка изображений

Анализ изображений включает в себя расчеты различных индикаторов, таких, как NDVI, SAVI, SI, индекса влажности и так далее. Большинство систем программного обеспечения обработки изображений предлагают функции для расчетов общего индекса растительности, например NDVI, и преобразование растения Tasseled Cap. Можно также выполнять арифметические операции для расчета индексов, не являющихся общими. Состояние культур можно оценить, используя изображение NDVI для подготовки и создания классов засоления и отличительные признаки каждого класса. Классификацию изображений можно осуществить с помощью различных методов. Как правило, существует две главных группы алгоритмов классификации – управляемая классификация и неуправляемая классификация. Первая подразумевает вмешательство человека, в виде выбора образцов обучения, представляющих каждый спектральный класс, выбранный заранее (тематические классы, например озимая пшеница). Алгоритм классификации по максимальной вероятности, основанный на вероятностном правиле Байсиана до сих пор считается стандартным алгоритмом управляемой классификации. Последняя, как можно догадаться по названию, почти не требует вмешательства человека. Эта классификация основана чисто на компьютерном объединении в кластеры, получая в результате спектральные классы, которые интерпретируются для определения значения каждого спектрального класса относительно того, с каким физическим классом (или тематическим классом) он связан. Оба алгоритма классификации используются для картирования почвы, затронутой засолением, хотя первый из них используется чаще.

Для каждого класса, определяется количество учебных многоугольников на изображении, основываясь на данных, полученных из наземных образцов. Эти обучающие образцы представляют каждый класс так, чтобы спектральные характеристики можно было в последующем вычислить, используя пиксели в пределах этих учебных областей. Спектральные характеристики – это набор статистических мер, которые описывают распределение данных по каждому спектральному классу. Для классификации по максимальной вероятности, спектральные характеристики включают среднюю, дисперсную и ковариационную матрицы по каждому классу для всех спектральных полос, отобранных для классификации. Как только обучение выполнено, можно использовать классификатор для классификации всего изображения, пиксель за пикселем.

Для определения и обозначения участков, подверженных засолению, используется множество различных форм алгоритмов. Это - различные формы компьютерной классификации, такие, как максимальная вероятность или дерево решений (<http://scholar.iilib.cn/A-zykx200606020.html>).

ii). Визуальная интерпретация

Цель визуальной интерпретации состоит в том, чтобы очертить непосредственно на изображении, области, подверженные засоленности почвы. Визуальная интерпретация должна включать, например, области с наличием соляной корки, заброшенных земель и заболоченных участков.

Она может использоваться для обозначения границ территорий, затронутых засолением и заброшенных земель.

(i) Оценка состояния культур

Оценку состояния культур можно проводить с помощью анализа значений NDVI. Культуры при нормальных условиях используются как ссылка и используются для сравнения с культурами, испытывающими стресс.

f. Последующая обработка

Цель пост обработки состоит в том, чтобы исправить, если возможно, неверно классифицированные области. Как правило, заброшенные земли, вследствие серьезного засоления, обычно путают с селами и застроенными территориями. Это можно легко сделать, замаскировав села в ГИС, при условии, если имеется тематический слой границ селений и других застроенных территорий. Можно также применять и другие методы пост обработки классификации. Например, можно применить модальный фильтр (высокочастотный фильтр) к классифицированному изображению, чтобы удалить изолированные пиксели на основании допущения о том, что области, затронутые засолением, выражены в десятках или сотнях пикселей.

g. Оценка точности

Точность компьютерной классификации нужно определять, используя часть собранных наземных данных. Поскольку наземные данные оцифрованы и хранятся в ГИС, метки класса для всех пикселей в исследуемых областях (многоугольники) проверяются с наземными данными, чтобы сформировать матрицу неточностей. Матрица неточностей представляет собой факторную таблицу, в которой собраны классы, определенные с помощью компьютерной классификации (информационные классы) на фоне классов, составленных на основе собранных наземных данных. Можно вычислить карра-статистику с помощью матрицы неточностей и получить различные меры точности, например, точность пользователя, точности производителя, а также среднюю точность для каждого класса.

h. Моделирование ГИС и дальнейший анализ

Статистический анализ проводится для того, чтобы определить причины неудачной или успешной классификации. Можно провести пошаговый регрессионный анализ, чтобы расшифровать, какую часть расхождений или неверной классификации можно отнести за счет различных факторов, например, состояние культур, влажность почвы, применяемые практики и так далее.

ГИС моделирование – это важный аспект анализа причин засоления. Данные ГИС могут включать, например, цифровую модель рельефа (желательно построенную на цифровых топографических картах 1:10,000, так как диапазон возвышения в орошаемых областях, как правило, в пределах от нескольких метров до десятков метров), плотность дренажной системы, ирригационную сеть, и карту грунтовых вод (на основе наблюдений из колодцев питьевой воды и скважин) и почвенные карты. Моделирование ГИС поможет улучшить компьютерную классификацию, а также понять причинный анализ (например, ненадлежащее управление водными и земельными ресурсами и т.д).

Классификация земельного покрова может также включать типы культур. Эта информация может также использоваться в моделировании ГИС. Системы посева культур напрямую связаны с состоянием засоленности почвы. Например, люцерна более чувствительна к солености, тогда как хлопок менее восприимчив. Площади под люцерной, поэтому, могут указывать, что засоление здесь не является проблемой.

4. Результаты
  - a. С помощью дистанционных измерений получены базисные индикаторы в масштабе 1:100,000.
  - b. Карта почв, страдающих от засоленности (обозначение: степень серьезности) в масштабе 1:100,000.
  - b. Статистика территорий, затронутых засолением, в акрах по каждому району.

Оценки территорий должны сопровождаться с анализом точности в каппа-квadrатах.

## **С. Картирование деградации пастбищ**

### 1. Общая методология

Общая методология оценки состояния пастбищ поделена на 4 шага.

1) Анализ изображений низкого-среднего разрешения на национальном уровне и региональных уровнях Центральной Азии, чтобы получить определенные индикаторы. Изображения должны предпочтительно быть в виде данных временных рядов по индексу растительности MODIS, полученных в течение всего вегетационного сезона.

2) Стратификация на основании климата, почвы и других факторов. Каждая страта - это однородная область, которая имеет подобные характеристики с точки зрения климата (изогия), почвы и методов управления.

3) Забор образцов.

В каждой страте будут определены точки забора образцов в соответствии с изменчивостью в каждой страте. Будут получены изображения высокого разрешения (Landsat ETM+, ASTER), чтобы извлечь подробную информацию относительно состояния пастбища и местной статистики.

4) Используя результаты, полученные на выборочных точках, можно получить полную статистику для каждой страты.

2. Базисные индикаторы, которые можно получить из данных дистанционных измерений

Таблица 4. Индикаторы деградации пастбищ

Индикаторы	Спутниковые изображения	Методы
Серьезность деградации/интенсивность выпаса	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация/визуальное определение границ
Наличие стареющей растительности	ETM+/ ASTER	Компьютерная обработка, NDSVI
Плотность следов животных	ETM+ соединенный с 15м Pan., ASTER	Отслеживание вручную с помощью визуальной интерпретации
Распределение точек водопоя	ETM+, ASTER	Визуальная интерпретация
EVI Максимальная	MOD13	Компьютерная обработка
EVI Минимальная	MOD13	Компьютерная обработка
EVI Средняя	MOD13	Компьютерная обработка
Общая первичная продуктивность	MODIS17	Компьютерная обработка
Биомасса	MOD13	Регрессионный анализ с помощью наземных измерений
Эффективность использования осадков	MODIS в сочетании с метеоданными	Компьютерная обработка

Интенсивность выпаса, по признанию ряда авторов, считается важным индикатором деградации пастбищ (см. Pickup, 1998, Numata *и другие*, 2007).

### 3. Данные

Используются два набора спутниковых данных – изображения среднего-низкого разрешения MODIS и Landsat ETM +. Среди новых продуктов, произведенных от MODIS, продукт расширенного индекса растительности (EVI) предлагает альтернативу измерениям NDVI и, кажется, лучше реагирует на изменения растительности как функция изменяющегося климата, смены сезонов, землепользования и различных структур растений.

Данные Agromet потребуются для расчета GPP и NPP. Плотность домашнего скота (количество стад на гектар) будет рассчитываться в ГИС.

### 4. Методология

#### (i) Региональный подход (> 1:250,000)

Пастбищные земли простираются на обширной территории Центрально азиатских стран, особенно в Казахстане. Из-за этой протяженности пастбищ, не рекомендуется использование изображений высокого разрешения для картирования деградации пастбищ, так как стоимость получения этих изображений довольно высока. Однако, изображения высокого разрешения тем не менее полезны для извлечения подробной информации о точках выборки. На региональном уровне, базисную информацию можно получить напрямую из продуктов MODIS. MODIS уникален, потому что он объединяет и пространственное и спектральное разрешение нескольких спутников на одной

платформе. MODIS демонстрирует большее радиометрическое разрешение, чем традиционные датчики, обеспечивая более широкий диапазон измерений и поэтому повышенную чувствительность к незначительным изменениям в спектральной отражательной способности. Стандартные продукты VI (MOD13Q1, 250м разрешение) включают индекс растительности с относительной разностью (NDVI) и расширенный индекс растительности (EVI), чтобы эффективно характеризовать биофизические/биохимические свойства и процессы с поверхности, покрытой растительностью. EVI минимизирует изменения фона полого и поддерживает чувствительность в условиях густой растительности. Существует полная запись глобальных временных рядов 6 продуктов VI от каждого датчика MODIS Terra и Aqua, при изменяющемся пространственном (250м, 1км, 0.05 градусов) и временном (16-дневное, месячное) разрешении, чтобы удовлетворить потребности исследователей и практиков. VI и другие продукты MODIS проверены с точностью, изображенной флагом надежности в пиксель и глобально усредненной неопределенностью в 0.015 единиц. Поэтому, данные временного ряда MODIS сами по себе составляет часть базиса потому что:

1) Данные временных рядов MODIS напрямую связаны со многими биофизическими индикаторами, такими, как индекс лиственной области (LAI, MOD15), биомасса (MOD13) и чистая первичная продуктивность (MOD17), и так далее.

2) Данные можно напрямую сравнивать с таким же набором данных, который будет получен в будущем. Сравнение может выявить динамику растительности, тесно связанную с деградацией или восстановлением, изменением землепользования и земельного покрова.

Стратификация пастбищных земель на сравнительно однородные единицы может основываться на соотношении P/PET, административных (социально-экономических) данных, информации о земном покрове и землепользовании (или системе ведения сельского хозяйства), и предпочитаемом ландшафте (почва и местность). Примером может служить стратификация на уровне страны в Китае, основанная на соотношении P/PET, системах земледелия и доле населения, которое потенциально страдает в каждом регионе (обратитесь к работе Кооhаfкан и другие, 2003). Пример Монголии, как упомянуто ранее, использует временные ряды AVHRR NDVI (1981-2001 гг.) для стратификации. Результат почти идентичен наземному картированию. Можно также следовать этому примеру.

Детализированные индикаторы на районном уровне или уровне слоя можно получить, накладывая административные границы или путем стратификации. Эти индикаторы включают в себя - максимум, минимум, разницу между максимумом и минимумом, ковариантность и т.д. Bai и Dent (2006) утверждают, что все эти индикаторы имеют биофизические значения. Эти VI можно рассчитывать ежегодно, или для сезона вегетации и невегетационного сезона. Кроме того, обозначение 4 типов пастбищ, и расчет процентного растительного покрова можно также сделать с помощью компьютерной классификации. Можно получить статистику для каждой животноводческой фермы. Это также можно использовать для оценки урожайности (или биомассы). Результаты KAZ-4375 показали, что существует сильная линейная зависимость между растительным покровом и средней урожайностью ( $r^2 = 0.71$ ). Пропускную способность можно оценить, используя информацию по урожайности.

Стратификация кажется более подходящей, потому что каждый слой рассматривается как относительно однородный с точки зрения растительного сообщества, климатических условий, типов почвы и так далее. Каждый из слоев будет подробно охарактеризован, используя изображения высокого разрешения, вместе с наземной съемкой. Статистика, полученная из изображений высокого разрешения будет использоваться для оценки общей степени состояния пастбищ в пределах каждого слоя.

Индекс растительности MOD13 будет изучен, исследуя профили NDVI и EVI по отношению к наземным измерениям. В каждой стране существуют наземные станции, где в течение многих лет проводятся непрерывные измерения биомассы (например, в институте землепользования в Кыргызстане хранятся 40-летние записи данных о биомассе для 475 наблюдательных точек, смотри Ji, 2007).

Данные с постоянных точек наблюдения могут использоваться для проверки результатов, полученных в результате анализа изображения. Карты геоботанической съемки для отобранных участков выборки (масштаб 1:200,000) должны быть оцифрованы и использоваться частично как данные подспутниковых наблюдений.

Как только стратификация проведена, определяются точки для отбора образцов, используя стратегию стратифицированной систематической невыровненной выборки. Каждая точка выборки соответствует полному кадру изображений Landsat ETM+ (185\*185км<sup>2</sup>). Будут получены изображения Landsat ETM+, покрывающие эти точки выборки. В случае, если изображения ETM+ недоступны для конкретной точки, нужно постараться получить кадр ASTER (каждый ASTER покрывает 120\*150км).

Подготовка изображения данных MODIS минимальна, так как MOD13 готов к использованию (первоначальные полосы, используемые для вычисления индексов растительности были геометрически исправлены, а также поправлены на атмосферные условия). Данные географически привязаны, уровень 3, 10 градусов на 10 градусов, и синусоидальной проекцией. Данные могут быть преобразованы в другие проекции, например, Goode Homolosine или проекции, которые обычно используются в Центрально азиатских странах.

Существует много других стандартных продуктов MODIS, таких, как чистая первичная продуктивность (MOD17), индекс лиственной области (MOD15), динамика изменений земельного покрова (MOD12) и так далее. Эти продукты имеются с разрешением в 1км, и будут использоваться в качестве базиса для странового уровня.

(i) Местный уровень (1:200,000)

Для всех участков выборки нужно будет получить изображения высокого разрешения (Landsat ETM +). Там, где недоступны изображения ETM+ из-за облачного покрова, будут получены изображения ASTER. Каждый участок выборки, размещенный на изображении MODIS, будет соответствовать одному полному кадру изображения ETM+ (или одному кадру ASTER). Для 8 проектных областей, изображения будут получены с полным охватом.

Интенсивность выпаса можно измерять как расстояние от пунктов водопоя (см. Piskur, 1998, и Numata *и другие*, 2007). Пункты водопоя можно определить с изображений или с помощью компьютерной классификации, или путем визуальной интерпретации. Как только определены пункты водопоя, можно подготовить карту интенсивности выпаса в ГИС методом буферизации (расстояние от пунктов водопоя). Можно подготовить и другие карты в ГИС (например, доступность дорог, сел).

Наличие стареющей растительности (NDSVI) можно вычислить как индикатор. Следы животных не всегда легко обнаружить из изображений 30м Landsat ETM+. Перед визуальной интерпретацией этих особенностей на изображении, возможно, придется применить алгоритм увеличения изображения.

1). Визуальная интерпретация

Dean (2005) применил методику улучшения визуализации воздействия выпаса на изображениях Landsat TM. Был получен индекс C7 путем вычитания оттенка из насыщенности цветовой комбинации, создаваемой объединением полос 3,2, и 1 (красный- зеленый-голубой). Этот индекс может высветить различия в типах почвы и



участки с низким растительным покровом. Стареющую растительность можно выделить, используя индекс стареющей растительности (NDSVI), который вычисляется путем замены NIR полосой 7SWIR в расчетах эталонного уравнения NDVI. C7, NDVI, и NDSVI можно затем объединить для создания комбинации цветов, которая высвечивает резкие различия между зеленой растительностью, стареющей растительностью и типами почвы. Такую же процедуру можно также применить к данным ASTER.

Изображения Landsat ETM+ и ASTER обрабатываются согласно вышеупомянутому методу, чтобы повысить интерпретируемость изображений. Они готовятся в масштабе 1:100,000. Следы животных могут иметь ширину менее 2м, но поскольку оголенная поверхность имеет гораздо более высокий коэффициент отражения во всех спектральных полосах (видимый и NIR) по сравнению с покрытыми растительностью ближайшими областями, эта линейная характеристика может быть извлечена из изображения с разрешением 15мм. Так как пространственное разрешение Landsat ETM+ составляет всего 30м, очерчивание области со следами домашних животных затруднено. Изображения ETM+ можно увеличить, используя панхроматическую полосу с разрешением 15м (называемую углубление панорамирования). Все имеющиеся системы обработки изображений обеспечивают функции для такого типа увеличения.

Следы животных, пункты водопоя и другие, связанные с ними, особенности можно проследить с помощью экранной оцифровки изображений. Нужно провести пилотное исследование на небольшом участке, чтобы посмотреть, работает ли данный метод. В том случае, если он не работает, можно выполнить наземные измерения для отобранных участков выборки с помощью переносных устройств GPS.

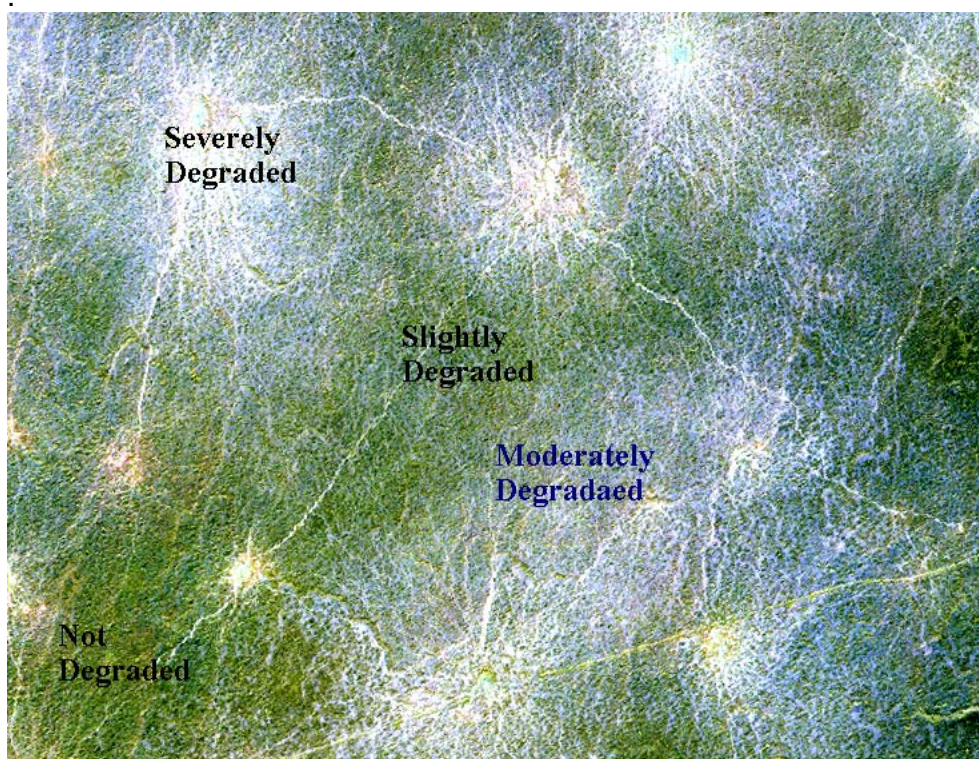


Рисунок 19. Ложноцветная комбинация Landsat ETM+ (30m) (RGB - полосы 431) над западом Уа Чардара вдоль границы Узбекистана и Казахстана. Дата получения изображения - 4 августа 2000 года. Дорожка/ряд: 155/031. Пункты водопоя легко определяются на этом изображении, и четко показан эффект градиента выпаса.



## 2). Компьютерный анализ

Анализ изображений включает в себя поправки на геометрию, поправки на атмосферные условия (или нормализацию). Рассчитываются индексы растительности (NDVI, EVI, NDSVI). Поправка на атмосферные условия необходима, поскольку расчет индексов растительности требует, чтобы дискретные числа были преобразованы в значения коэффициента отражения. Поправка на атмосферные условия подразумевает поправку на угол солнца, расстояние земли от солнца, изменчивость суммы солнечного излучения (сезонная, геолокационная), и прежде всего, падающее и восходящее излучение, ослабляемое атмосферой (поглощение и рассеяние). Можно применить спектральное несмешивание, используемое в ряде исследований, чтобы получить доли растительности, почвы, песка, тени и т.д. Компонент тени можно использовать как индикатор высоты растений.

Вполне вероятно, что изображения высокого разрешения будут получены в разные дни (или даже разные годы). Поэтому нужно с осторожностью подходить к характеристике растительности. Это означает, что изображение индекса растительности, созданное для одного конкретного места не всегда можно напрямую сравнивать с прилегающими участками. Это - одна из причин, по которой изображения низкого и среднего разрешения гораздо более полезны для исследований растительности, потому что временное разрешение (циклы повторной съемки) будет намного выше, и результаты надежны, хоть и при низком пространственном разрешении.

## 5. Сбор наземных данных

Собираются данные с постоянных точек наблюдения. Нужно также собирать наземные данные для дополнительных точек выборки. Наземные данные включают в себя измерения биомассы, процент покрытия, плотность растений, тип пастбищ и ассоциаций, степень выпаса (отсутствие выпаса, выпас) и так далее. Размер квадрата должен быть не менее 120м на 120м, и нужно рассмотреть местные методы, используемые различными учреждениями. Точное местоположение точек выборки регистрируется приемником GPS. Сбор наземных данных для отобранных участков можно проводить, используя поперечные разрезы.

Нужно будет также собрать социально-экономические данные, такие, как общее количество стад и методы управления.

## 6. Анализ тенденций деградации

Чтобы проанализировать тенденцию деградации пастбищ на региональном уровне, нужно установить местные нормы. Поэтому, необходимы долгосрочные исторические данные. К сожалению, MODIS стал доступен только с 2000 года, и его история считается короткой, чтобы можно было выявить тенденцию деградации, в основном, из-за изменения климата. Тем не менее, нужно получить архивы данных MODIS для анализа тенденции деградации, вызванной деятельностью человека. Если в оценке нужно учитывать изменения климата, то можно получить 25-летний архив набора данных GIMMS, чтобы определить местные нормы. Набор данных GIMMS имеет разрешение 8км, данные MODIS можно подвергнуть субдискретизации, чтобы они совпадали с разрешением GIMMS. Этот набор данных можно бесплатно загрузить с вебсайта Годдардовского центра космических полетов НАСА. Он содержит 10-дневную композицию NDVI с 1981 по 2001 г.. Обработка этого набора данных может быть такой же, что и в пилотных проектах GLADA в Северном Китае и Кении (см. Bai и другие, 2005, Bai и Dent, 2006).

Альтернативно, статистика, полученная из изображений Landsat ETM+ для участков выборки может использоваться для картирования степени деградации для каждого слоя. Эта карта может показывать только общие тенденции деградации в гораздо меньшем масштабе (1:1 миллион), однако, степень может быть не достаточно хорошо изображена. Биомассу можно определять двумя способами. Первый основан на эмпирической зависимости, установленной между наземными измерениями и спектральным коэффициентом отражения или индексами растительности (например, Tucker *и др.* 1983, и Wylie *и др.* 1995). Второй способ заключается в оценке количества поглощенного фотосинтетически активного излучения (APAR) (Choudhury 1987). Будет использоваться первый метод или метод на основе регрессии. Изображения MOD17 в 1км (чистая первичная продуктивность) будут использоваться напрямую как базис для NPP.

На уровне проектов, статус пастбищ можно оценивать, используя все собранные данные. Индексы растительности, вычисленные из ETM +/ASTER, будут использоваться вместе с картой интенсивности выпаса, плотностью следов животных, наличием стареющей растительности, и т.д. и анализироваться в ГИС для создания карты, которая будет показывать протяженность и серьезность деградации. Исследование, проводившееся в Монголии (Karnieli *и другие*, 2005) сделало вывод о том, что индексы растительности, типа EVI, могут не всегда надежно оценивать деградацию растительности. Обычно те участки, где не ведется выпас, демонстрируют более высокие значения EVI, чем области, подверженные перевыпасу. Однако, территории, где отмечен перевыпас, могут быть заселены невкусными видами с более высокой спектральной чувствительностью (в инфракрасном спектре), что и вызывает более высокие значения EVI.

Следует отметить, что оценка, описанная здесь, учитывает эффект перевыпаса только потому, что перевыпас рассматривается в качестве ключевой причины деградации природных пастбищ (Thomas и Middleton, 1994). Деградация пастбищ, вызванная другими причинами, например, ветровой и водной эрозией, будет оцениваться отдельно.

## **Е. Индикаторы водной эрозии, полученные с помощью дистанционных измерений**

### **1. Общая цель**

Общая цель картирования водной эрозии состоит в том, чтобы составить карту, отражающую уровни риска в связи с водной эрозией в масштабе 1:250,000. Можно подготовить отдельные тематические карты намного большего масштаба (например, 1:100,000), которые будут служить главной базисной информацией на уровне водораздела.

Индикаторы качества земельных ресурсов, как правило, считаются надежными индикаторами эрозии почвы (Kirkby *и другие*, 2000). Спектральная информация, полученная с помощью дистанционных измерений, используется для оценки содержания перегноя, содержания почвенной влаги, цвета почвы и т.д с помощью многоспектральных данных, таких, как данные Landsat. Эти усилия, однако, имели весьма ограниченный успех и не могут применяться оперативно. Гиперспектральные данные содержат детализированный спектральный коэффициент отражения в видимой и коротковолновой инфракрасной спектральной областях, обеспечивая возможность выявления многих свойств почвы (Farifteh и Farshad, 2002). Однако, обработка этих данных требует усложненных алгоритмов (и наличия библиотеки коэффициента отражения почвы), и стоимость получения этих данных высокая. Поэтому, гиперспектральные данные не рекомендуются на данном этапе. Радиолокационные изображения использовались для выявления содержания почвенной влаги и оценки неровностей поверхности. Они также

не рекомендуются, с учетом возможностей, имеющихся на данное время в Центрально азиатских странах (обратитесь к Ji, 2007).

## 2. Индикаторы

ЕЕА (2000 г.) определила экологические индикаторы для эрозии почвы согласно структуре DPSIR. Среди факторов, способствующих эрозии - интенсификация сельского хозяйства, размер поля и урожайность культур. Состояние эрозии характеризуется, например, степенью и протяженностью области, затронутой эрозией почвы, и величиной эрозии (поступление отложений). *Gobin и другие* (2004) приводят детализированное обсуждение ЕЕА индикаторов и предложили новый набор индикаторов, хоть и в рамках DPSIR.

Среди наиболее часто определяемых биофизических индикаторов водной эрозии - землепользование, распределение растительного покрова, типы почв и подверженность почвы эрозии, практика культивирования и меры контроля эрозии, например, террасирование.

### (i) Карта землепользования/земельного покрова

Карта земельного покрова, наверное, самый важный индикатор при оценке объема поверхностного стока и потери почвы, а также оценке риска эрозии почвы. И опять-таки, можно провести классификацию земельного покрова, используя методологии, разработанные ранее. Масштаб карт земельного покрова - 1:100,000.

### (ii) Склон и длина наклона

Склон и длина наклона используются для оценки потери почвы. Они не входят в объем базисной информации. Но они полезны для оценки риска водной эрозии. Данные ЦМР SRTM можно использовать для расчетов склона и длины наклона. Данные доступны на ряде вебсайтов и их можно легко получить. Данные находятся в формате растрового изображения,

### (iii). Карта выращивания культур на богарных землях и на крутых склонах

Таблица 5. Индикаторы для водной эрозии.

Индикаторы	Данные	Методы
Процент растительного покрова**	Landsat ETM+/ASTER	Рассчитывается из изображений NDVI
Землепользование/земельный покров	Landsat ETM+/ASTER	
Методы контроля		Полевой обзор
Крутизна склона	Оцифрованные контурные карты, или SRTM90м	ГИС (ArcView Spatial Analyst Ext.)
Аспект	Оцифрованные контурные карты, или SRTM90м	ArcView ГИС
Длина наклона	Оцифрованные контурные карты, или SRTM90м	ArcView Гидрологическая протяженность
Уровень осадков	Архив метеорологических данных	ГИС моделирование
Подверженность почвы эрозии	Почвенная карта	Получено из почвенных карт

### 1. Требования к данным

Для дистанционных изображений, тот же набор данных изображений Landsat ETM + будет применяться для оценки эрозии. В случае отсутствия оцифрованных контурных карт в формате ГИС, будет использоваться SRTM для расчета топографических факторов. Данные SRTM (90м) можно получить бесплатно в ряде организаций, например, CGIAR.

### 2. Методология

Методология, сформулированная здесь, рассматривает только картирование риска эрозии и картирование интенсивности эрозии. Считается, что для такого картирования RUSLE только объясняет эрозию пластов и эрозию канавок. Оценка водяной эрозии, наверно, лучше всего проводить на основании отдельных водоразделов.

Картирование риска эрозии или деградации почвы с помощью ГИС, предусматривает перекрывание различных тематических слоев и модель, которая была проверена в ряде исследований, например исследование ФАО в Паране, Бразилия (см. Lantieri *и другие*, 1990). Использование универсального уравнения потери почвы - USLE (Wiscmeir *и другие* 1978) - широко принятый метод оценки потери почвы. Два фактора в USLE считаются критической исходной информацией – это текущее землепользование/земельный покров и процент растительного покрова. Другие факторы (склон, аспект, осадки и подверженность почвы эрозии) также важны, но не считаются базисными. Тем не менее, они нужны для оценки риска, подпадая в категорию вспомогательной информации.

С практической точки зрения, растительный покров представляет, возможно, самый критический элемент в модели эрозии откосов, так как это – единственный фактор, который можно без труда изменить, и поэтому он обеспечивает главную возможность для контроля эрозии. Также широко признано, что весьма незначительная адаптация растительного покрова может значительно повлиять на скорость эрозии. Поэтому, в идеале, необходимо иметь детализированную и надежную информацию о землепользовании и растительном покрове в качестве исходной информации для этой модели. Мы уже обсуждали выше, как составляются карты землепользования/земельного покрова. Процент растительного покрова можно оценить напрямую, используя изображение NDVI, вычисленное из изображения Landsat ETM +.

Методология, предлагаемая здесь, направлена на получение индикаторов более высокого уровня, таких, как карты риска эрозии в масштабе 1:100,000, которые могут считаться “головными индикаторами”.

### 3. Оценка

Хотя важным вопросом является, как определить базисную информацию так, чтобы можно было проводить мониторинг процесса водяной эрозии, тем не менее, все равно нужно оценивать степень, распространенность и серьезность водяной эрозии.

Оценка текущего статуса эрозии может основываться на примерах, полученных в ходе проекта ЕС CORINE. Можно оценивать два типа рисков эрозии - риск потенциальной эрозии и риск фактической эрозии. Однако, обе этих оценки - качественные.

Количественную оценку можно проводить, накладывая все слои карты. Карта уклона может быть вычислена из изображения 90м SRTM. Ее можно также получить из оцифрованных контурных карт, если они доступны. Карта подверженности почвы эрозии может быть составлена, следуя примеру CORINE.

Фактор С можно вычислить, объединяя карту классификации земельного покрова и изображение NDVI. Процент покрытия рассчитывается как

$$Cover = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_s - NDVI_0}$$

( $NDVI_0$  – это значения NDVI для почвы без растительности, а  $NDVI_s$  – это растительность при 100%-ом охвате. Для большого водораздела, потребуется несколько изображений ETM+ , чтобы получить полный охват. Вместо этого можно использовать данные AWIFS. Один план AWIFS покрывает 370\*370 км2, что облегчает расчеты растительного покрова. Но при этом теряется пространственное разрешение (30м вместо 56м). Коэффициент или фактор С можно вычислить, используя карту земельного покрова и изображение NDVI. Коэффициенту практики контролирования эрозии Р, вероятно, придется принимать во внимание различные меры по контролю эрозии, например, вспашка и террасирование. Эта информация может быть получена с помощью сбора наземных данных. Пилотное исследование в Бразилии, проводимое ФАО, использовало панхроматическое изображение SPOT высокого разрешения для определения границ этих особенностей. При получении фактора Р, водораздел можно стратифицировать по разным зонам в зависимости от топографии. Каждая зона затем подразделяется на более однородные грани. Затем, с помощью наземной съемки можно получить практику контроля эрозии для каждой грани. В том случае, если фактор Р невозможно получить, вместо него можно использовать пример, данный ниже (см. Rinos и другие, 2001).

Таблица 6. Средний коэффициент С.

Класс землепользования	Средний коэффициент С
1. Первичный лес* (охват кроной >40%)	0.002
2. Вторичный лес** (охват кроной 10-40%)	0.006
3. Кустарники*	0.014
4. Пахотные земли**	0.377
5. Пастбищные земли**	0.11
Источник *адаптировано из Wischmeier и Smith (1978) ** Расчеты из работы Morgan (1986)	

Таблица 7. Коэффициент контроля эрозии Р

Тип землепользования	Склон%	Коэффициент Р
Пахотные земли	0-5	0.11
	5-10	0.12
	10-20	0.14
	20-30	0.19
	30-50	0.25
	50-100	0.33
Другие земли	Все	1.00
Источник: на основе интерполяции из Wischmeier и Smith (1978)		

Для расчета коэффициента R будут использоваться данные по количеству выпавших осадков. При расчетах можно исходить из модифицированного индекса Фурнье (MFI), который учитывает среднегодовые и среднемесячные данные по количеству осадков (Arnoldous, 1980)

$MFI = \sum P_i^2 / P$ , где  $P_i$  представляет ежемесячное количество осадков (мм), а  $P$  представляет ежегодные средние (мм). Эти данные точечных наблюдений будут сохранены в ГИС. Можно произвести интерполяцию и экстраполяцию, чтобы получить карту полного охвата.

Уклон можно вычислять в градусах в ArcGIS, при условии, что ЦМР будет в проекции UTM, а высота - в метрах. Методы расчетов топографических факторов описаны в работе Desmet и Govers (1996).

Как только будут готовы все необходимые слои, можно готовить карту рисков эрозии в ГИС (например, вычисления карт в ArcView).

## 6. Результат

По завершении оценки будет составлено ряд карт, которые могут использоваться как базисные карты. Они включают в себя карту растительного покрова, карту землепользования/земельного покрова, карту подверженности разных почв эрозии, наклон, аспект, длину наклона и карту рисков эрозии. Карты богарных земель и культур на склонах можно повторно компилировать на базе топографических данных ГИС (ЦМР), наложенных на карту земельного покрова. Можно также использовать карту риска эрозии как карту статуса, по которой можно оценивать серьезность деградации за счет водяной эрозии. Для этого процесса нужен фактор практики контроля эрозии. Эту информацию не так просто получить из изображений ETM+ с разрешением 30м (или 15м), поэтому, потребуется проведение полевого обзора и мнение местных экспертов.

Карта риска эрозии может служить частью базисной информации, потому что такую же карту можно составить на более поздней стадии для сравнения. Изменения растительного покрова и интенсификации сельского хозяйства вызовут изменения в коэффициентах  $P$  и  $C$ , и будут отражены на карте риска эрозии.

## D. Эрозия, вызванная ветром

### 1. Общая цель

Общая цель состоит в том, чтобы получить карту в масштабе 1:250,000, отражающую протяженность и серьезность ветровой эрозии. Такой масштаб можно получить через компьютерную классификацию. Альтернативно, наземные особенности, появившиеся в результате ветровой эрозии или которые чувствительны к ветровой эрозии, можно визуально интерпретировать по одному и тому же изображению на базовой карте, полученному для составления карт землепользования/земельного покрова. Поэтому, масштаб будет такой же, что и для карт земельного покрова, или 1:100,000, а точность будет выше, чем при компьютерной классификации. Компьютерная классификация, с другой стороны, помогает проводить быструю оценку.

### 2. Индикаторы

Индикаторы, выбранные здесь, отражают поверхностные условия. Фактор осадков не учитывается.

Таблица 8. Индикаторы ветровой эрозии.

Индикаторы	Дата	Метод
Распределение наносных песков	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация
Эродированные участки	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация

Тип растительности	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация
% растительного покрова	ETM+/ASTER	Обработка изображения
Активные песчаные дюны	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация
Участки с нарушениями почвы (карьеры, шахты)	ETM+/ASTER	Компьютерная классификация

### 3. Данные

Для оценки биофизических индикаторов ветровой эрозии используется тот же самый набор данных высокого разрешения (Landsat ETM +/ASTER). Альтернативно, можно также использовать данные AWIFS. Дополнительно, для проведения общей оценки протяженности и потенциальных рисков эрозии также требуются метеорологические данные, например, период осадков (сухой период), преобладающее направление ветра, почвенные карты и топографические данные.

Нужно собрать наземные данные для установления учебных территорий для каждого класса.

### 4. Методология

Методология, рекомендуемая здесь – это компьютерная классификация, помогающая дифференцировать различные особенности рельефа. Особенности, связанные с ветровой эрозией, формируют классы, которые рассматриваются при компьютерной классификации. Можно выполнить контролируемую классификацию (правило максимального правдоподобия Байсиана). Контролируемая классификация требует обучения по выбранным классификаторам. Это обучение связано, главным образом, с расчетами различных статистических данных, которые считаются отличительными признаками каждого класса. При классификации максимального правдоподобия, для расчетов необходимы такие статистические данные, как средняя и ковариационная матрицы для каждого спектрального класса. Чтобы облегчить определение областей для обучения можно использовать собранные наземные данные, добавив имеющиеся карты типов растительного покрова, карты землепользования, а также аэрофотоснимки. В результате компьютерной классификации получаем изображение, которое показывает пространственное распределение всех рассматриваемых спектральных классов. Оценку точности можно проводить, используя тестовую последовательность наземных данных (это должен быть другой и независимый набор данных от учебного набора данных). Обработка на стадии пост классификации может включать удаление шумных пикселей, объединение классов (в том случае, если некоторые классы невозможно отделить друг от друга), и ручное редактирование для исправления некоторых ошибок (например, дно высохших озер может определяться как эродированная область).

Процент растительного покрова можно получить путем масштабирования изображения NDVI. Тип растительности можно получить из классификации земельного покрова. Альтернативно, эти классы можно также рассматривать при компьютерной классификации для картирования ветровой эрозии.

### 5. Оценка

Отдел, который будет заниматься картированием для оценки ветровой эрозии можно создать в административном органе на уровне субрайона. Статистику по площади эродированных земель в акрах, предоставляемую в каждый отдел по картированию

можно считать ключевым индикатором оценки серьезности. Можно также подготовить карту чувствительности к эрозии, чтобы показать области риска, налагая в ГИС слои процентного растительного покрова, пространственное распределение эродированных областей, пространственное распределение нарушенных областей и индекс засушливости.

## **Г. Базис для уровня страны (1:250,000-1,000,000)**

### **1. Цель**

Базис на уровне страны включает информацию по выбранным головным индикаторам. Эти индикаторы получены с помощью дистанционных измерений, отражающих общую ситуацию по всей стране.

Базисные индикаторы на уровне страны специально подобраны для мониторинга с помощью дистанционных методов. Для их подтверждения требуются наземные наблюдения и измерения. Оценка на уровне страны может включить деградацию пастбищ.

Детальная оценка статуса деградации будет проводиться в крупном масштабе. Эту детальную оценку можно обобщить, чтобы сформировать другой набор базисных данных в крупном масштабе на уровне страны.

### **2. Общие методологии**

ФАО LADA провела несколько пилотных проектов по оценке на уровне страны. Это такие страны, как Китай, Сенегал, Кения и Сомали. Большинство этих проектов использует исторические данные NOAA/AVHRR для оценки тенденций деградации или восстановления земель. Набор данных GIMMS содержит 25-летние данные NDVI с разрешением 8км по всему миру, тем самым, позволяя проводить анализ наблюдаемых тенденций. Стратификация используется для того, чтобы снизить изменчивость с точки зрения климатических условий, агроэкологических зон или систем ведения сельского хозяйства.

Изображения низкого разрешения часто предназначены для глобальных исследований растительности. Существует несколько возможностей выбора источников данных для регионального использования и использования на уровне страны. Имеющиеся изображения можно получить бесплатно. Несколько источников данных могут быть полезны для Центрально-азиатских стран - AVHRR (1км), SPOT Vegetation (1км) и MODIS (250, 500м, 1км). Особенный интерес для оценки деградации земель представляют продукты данных MODIS. Эти продукты включают в себя, например, чистую первичную продуктивность, земельный покров/изменения земельного покрова, индексы растительности и так далее. Эти продукты данных не только позволят подготовить базисную информацию по деградации земель на национальном/региональном уровне, но также и осуществлять мониторинг на ежегодной основе. Поэтому, при подготовке базисной информации, нужно постараться воспользоваться преимуществом этих продуктов данных. Фактически, все эти продукты были получены путем многочисленных поправок (например, на атмосферные эффекты) и проверены на основе (ограниченных) наземных данных, собранных по всему миру. Другими словами, они готовы к использованию.

Пилотные проекты ФАО LADA направлены на разработку методологий для оценки деградации земель на уровне страны или субстрановом уровне. Результаты представлены в виде карт, показывающих либо горячие точки/яркие пятна, либо протяженность и степень деградации. Эти методологии могут применяться в Центральной Азии для получения аналогичных результатов. Также они могут использоваться как часть



базисной информации, потому что области горячих точек (или ярких пятен) указывают на проблемы (или восстановление). Это, однако, происходит на более высоких уровнях. Для мониторинга деградации земель по всей стране, могут потребоваться более конкретные индикаторы, учитывающие конкретные ситуации в Центральной Азии. Например, скотоводство является преобладающей формой экономической активности в большинстве стран Центральной Азии. Вторичное засоление - также немаловажная проблема в большинстве орошаемых сельскохозяйственных областей. Те индикаторы, которые обозначены здесь, это результат усилий, предпринятых с тем, чтобы охарактеризовать эти формы деградации в данном регионе.

### 3. Индикаторы

Таблица 9. Базисные индикаторы на страновом уровне

<b>Индикаторы</b>	<b>Набор данных</b>	<b>Методы</b>
Земельный покров	MOD12Q1(1km)	Компьютерный анализ
Общая первичная продуктивность	MOD17A2(1km) 8-day	Компьютерный анализ
Профиль индекса растительности (EVI, NDVI)	MOD13Q1	Компьютерный анализ
Водяная эрозия	NDVI, SRTM, Land cover	ГИС моделирование
Засоление почвы, заболачивание	NDVI profile	Компьютерный анализ

### 4. Земельный покров

Продукты классификации земельного покрова MODIS содержат множество схем классификации, описывающих свойства земельного покрова. В основной схеме земельного покрова выделяются 17 классов земельного покрова, определенных в соответствии с Международной программой по геосфере-биосфере (IGBP), которая включает 11 классов естественной растительности, 3 класса освоенных территорий, один из которых представляет собой мозаику с естественной растительностью, вечным снегом или льдом, бесплодными землями или землями со скудной растительностью и водой. Схемы классификации MOD12 – это динамические классы, описывающие свойства земельного покрова, наблюдаемые в течение года (12 месяцев входных данных). При последовательном создании этого "ежегодного" продукта с ежеквартальными интервалами можно получать новые карты земельного покрова с возрастающей точностью, так как и методы классификации, так и база данных по учебным участкам становятся более зрелыми.

**MOD12Q1**, тип земельного покрова MODIS/Terra, ежегодно, L3, глобально, 1км, продукт географической привязки SIN, определяет пять классов земельного покрова. Тип 1 земельного покрова – это глобальная схема классификации растительности IGBP. Дополнительные слои набора научных данных, используемых для других схем классификации включают модификацию университет штата Мэриленд схемы IGBP (Тип 2 земельного покрова), схему MODIS LAI/fPAR (Тип 3 земельного покрова), схему чистой первичной продуктивности MODIS (Тип 4 земельного покрова) и функциональные типы растений (PFT) (Тип 5 земельного покрова), предоставляемые с учетом Модели земной

среды (CLM), используемой при моделировании климата. Эти классы различаются с помощью метода контролируемой классификации дерева решений.

Продукт MOD12Q1 – это "обоснованная стадия 1". Точность продукта оценивается на основании данных небольшого количества независимых измерений, полученных на отобранных участках, и периодов времени и программ получения данных подспутниковых наблюдений/полевых программ. Поэтому, прежде, чем использовать его как базисный индикатор, нужно провести дополнительное подтверждение достоверности.

Подтверждение MOD12Q1 может проводиться следующим образом. Выполняется стратификация с целью разделения всей страны на зоны, которые могут представлять собой однородные экологические единицы или системы земледелия. Для относительно однородных областей (области с большей долей одинакового земельного покрова), можно предоставить несколько образцов. Для областей с большей степенью разнородности, нужно определить больше образцов. Для каждой точки забора образцов, будет получено изображение Landsat ETM+ (или ASTER). Разрешение MOD12C1 – 1км на 1км, и каждый снимок Landsat ETM+ соответствует на изображении MOD12Q1 примерно 187 линиям на 187 пикселей. Изображение ETM+ должно быть привязано к географии с той же самой проекцией, что и MOD12. Чтобы получить области каждого типа покрова, будет использоваться система классификации IGBP, чтобы определить каждое изображение Landsat ETM+ к одному из 17 классов IGBP. Для обучения классификации и оценки точности классификации ETM+ можно собрать наземные данные плюс использовать существующие карты земельного покрова и аэрофотоснимки. Затем, пропорцию каждого класса покрова можно сравнить с данными MOD12. Точность данных MODIS будет оцениваться, используя статистический анализ для всех слоев.

Качественная оценка данных MOD12 поможет в принятии решений, например, о том, как интерпретировать данные, или нужно ли их использовать как один из индикаторов для ежегодного мониторинга на уровне страны.

Мониторинг поверхностных изменений с точки зрения практики землепользования можно проводить, сравнивая набор данных MOD12, полученных за последующие годы. Набор данных MOD44<sup>7</sup> (Изменение растительного покрова) также может предоставить легко интерпретируемые результаты.

---

<sup>7</sup> MOD44, Продукт изменения растительного покрова (VCC) готовится ежеквартально, представляя сравнение данные за 3 месяца текущего года с данными за эти же 3 месяца, но полученными за предшествующий год. Входом для ежеквартального VCC служит промежуточная комбинация с разрешением 250м, полученная из 16-дневных ежедневных данных, выполняя качественный метод пиксель за пикселем, который отбирает данные с наименьшей облачностью. Каждая из этих комбинаций обрабатывается отдельно, а изменения обнаруживаются при сравнении изображений.

<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod44av4.asp>.

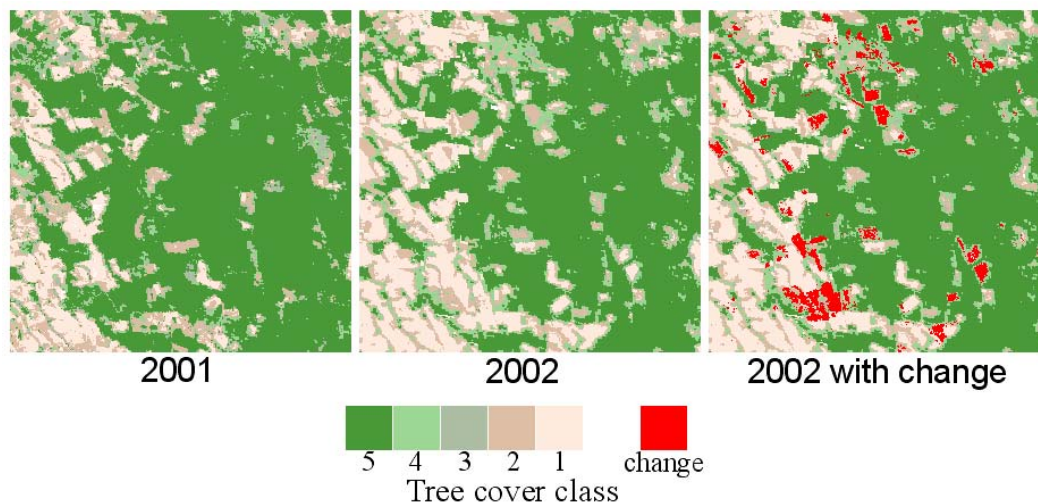


Рисунок 20. Изменение растительного покрова в штате Мато Гроссо, Бразилия. Источник: <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod44av4.asp>.

**MOD12C1 и MOD12Q1 доступны только до 2004 года.**

**MOD13A2** доступен до 2007 года и позже.

**MOD13A3** также дает современные данные.

#### 5. Общая первичная продуктивность (GPP) и чистая первичная продуктивность (NPP)

Постоянное сокращение продуктивности - это проявление опустынивания (Prince 2002), и оно обычно измеряется посредством индекса растительности, полученного с помощью спутников (например, относительная разность индекса растительности, NDVI). NDVI измеряет количество солнечного излучения, поглощаемого растительностью. Из этого индекса можно с помощью простейших методов получить чистую первичную продуктивность (NPP, Prince 1991). Prince (2002) предположил, что постоянное снижение NPP ниже собственного потенциала, которое не исчезает во время более влажных периодов, может служить мерой опустынивания, которая является практичной и основывается на базовом механизме (Оценка экосистем тысячелетия).

Данные MODIS GPP поступают в двух формах – 1) в виде ежегодного глобального набора данных в 1км, MOD17A3. Этот продукт в настоящее время не доступен. 2) другой набор данных, **MOD17A2**, это – совокупная комбинация значений GPP, основанных на концепции эффективности использования излучения, которая может использоваться как вклад в модели данных для расчетов земной энергии, углерода, процессов водооборота и биогеохимии растительности. MOD17A2 – это комбинация 8-дневных данных с пространственным разрешением в 1 километр, предоставляемых в виде продукта с географической привязкой уровня 4 в синусоидальной проекции.

Версия 5 продуктов MODIS/Terra GPP – это “обоснованная стадия 1”. Это значит, что точность оценивается с помощью небольшого количества независимых измерений, проведенных на выбранных участках, и периодов времени, и программы подспутниковых/полевых наблюдений. Хотя могут существовать и более поздние усовершенствованные версии, эти данные готовы к употреблению в научных публикациях.

Доступные данные - версия 4 от 26 февраля 2000 г. - 31 декабря 2006 г.. Версия 5 начнет работать в 2007 г..

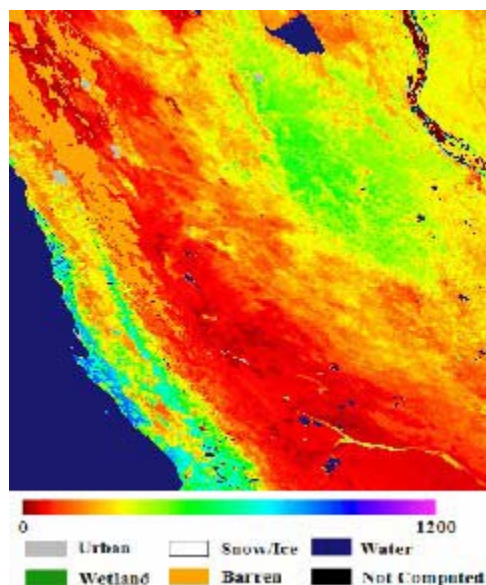


Рисунок 21. Данные продукта MOD17A2, полученные 10 февраля 2007 года в мозаике h12v12 над Чили и Аргентиной. (Источник: Геологическая служба США, <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod17a2v5.asp>).

Данные MODIS хорошо подходят для большого регионального или глобального исследования. Временами, MODIS – гораздо лучше многих спутниковых датчиков, с его ежедневными переходами и 8-дневным смешанными данными, которые можно использовать для рассмотрения годовой производительности и междугодичной изменчивости, как GPP, так и NPP. Больше ни один из существующих спутников не может предоставлять глобальный, 8-дневный взгляд на продуктивность растительности и углеродный баланс на ежегодной основе. Кроме того, эти данные доступны почти в реальном времени, что позволит пользователям делать сравнения с их собственными данными исследования во время вегетационного периода, часто в течение нескольких недель после фактического сбора данных. Как упоминалось ранее, периодическая повторная обработка данных позволит проводить интерполяцию недостающих данных и, в результате, мы получаем более полный и более точный продукт (Руководство пользователя MOD17).

Проверку набора данных можно проводить с постоянных станций наблюдения, используя наземные измерения биомассы. Метод, который будет использоваться при проверке, еще не определен.

## 6. Профиль индекса растительности

Глобальные индексы растительности MODIS предназначены для того, чтобы обеспечивать последовательные пространственные и временные сравнения состояний растительности. Для определения ежедневных индексов растительности MODIS используются коэффициенты отражения синей, красной и ближней инфракрасной областей спектра, центрированные на уровне 469 нанометров, 645 нанометров и 858 нанометров, соответственно.

Относительная разность индексов растительности MODIS (NDVI) дополняет продукты NDVI NOAA современного радиометра очень высокого разрешения (AVHRR) и обеспечивает непрерывность для исторических применений временных рядов. MODIS также включает новый расширенный индекс растительности (EVI), который минимизирует

фоновые вариации пологая и поддерживает чувствительность в условиях густой растительности. EVI также использует голубую часть спектра для удаления остаточного загрязнения атмосферы, вызванного дымом и малой облачностью в субпикселях. Продукты MODIS NDVI и EVI рассчитываются из двухкоординатного поверхностного отражения с поправкой на атмосферу, которое накладывалось на воду, облака, тяжелые аэрозоли и тень от облаков (<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1v5.asp>).

Таблица 10. Продукты растительности MODIS. Все продукты на уровне 3.

Продукт MOD	Композиция	Охват	Разрешение
MOD13Q1	16-дней	Глобальный	250м
MOD13A1	16-дней	Глобальный	500м
MOD13A2	16-дней	Глобальный	1км
MOD13A3	Ежемесячно	Глобальный	1км
MOD13C1	16-дней	Глобальный	0.05град CMG
MOD13C2	Ежемесячно	Глобальный	0.05град CMG

Из этих продуктов, рекомендуется использовать 250м MOD13Q1 из-за его пространственного разрешения. Глобальные данные MOD13Q1 предоставляются каждые 16 дней с 250-метровым пространственным разрешением и географической привязкой уровня 3 в синусоидальной проекции. При отсутствии голубой полосы с 250 м., алгоритм EVI использует голубую полосу 500 м., чтобы сделать поправку на остаточные атмосферные эффекты, с незначительными пространственными артефактами.

Индексы растительности используются для глобального мониторинга состояния растительности. Они используются в продуктах, показывающих земельный покров и изменения земельного покрова. Эти данные можно использовать в качестве ввода при моделировании глобальных биогеохимических и гидрологических процессов и глобального и регионального климата. Эти данные также можно использовать для характеристики биофизических свойств и процессов земной поверхности, включая первичную продуктивность и преобразование земельного покрова. На данном этапе возможные индикаторы такого рода не рассматриваются. Возможно, когда будут установлены крупномасштабные индикаторы, информацию можно будет объединить, чтобы определить больше индикаторов, используя профиль растительности.

Считается, что продукты растительности MODIS являются точными. Различные исследования по проверке в поле и с башен измерения потока указывают на хорошее совпадение значений VI с биофизическими свойствами земной поверхности для большинства биомов. Очень сильны взаимные корреляции датчика VI (AVHRR, Landsat, SPOT и т.д ...). Также выявлено высокое соответствие с VI продуктами, отрегулированными к надиру (NBAR). Пользователям рекомендуется исследовать качество продукта на пиксель, чтобы отсортировать скудные данные перед их применением в проекте, науке и исследованиях. Мы будем сообщать обо всех данных, которые будут получены в будущем в процессе проведения оценки продукта. Неустойчивые значения VI могут наблюдаться по внутренним водным объектам и объектам, покрытым снегом/льдом ([http://landweb.nascom.nasa.gov/cgi-bin/QA\\_WWW/detailInfo.cgi?prod\\_id=MYD13Q1&ver=C5](http://landweb.nascom.nasa.gov/cgi-bin/QA_WWW/detailInfo.cgi?prod_id=MYD13Q1&ver=C5)).

На данном этапе можно сделать предварительный анализ профиля растительности. Мониторинг растительной активности на уровне страны можно осуществлять, сравнивая профили растительности. Разница между ними будет анализироваться с учетом уровня осадков, температурных и социально-экономических данных.

Считается, что лучше использовать EVI (расширенный индекс растительности), чем NDVI в зонах пустыни, вследствие эффекта почвы в областях низкого охвата растительностью. Оба профиля индекса растительности будут определяться и анализироваться путем распределения по зонам.

#### 7. Риски водяной эрозии

Этот индикатор – это, по сути, карта, изображающая пространственное распределение рисков водяной эрозии. Основной принцип состоит в применении универсального уравнения потери почвы (USLE) для оценки риска водяной эрозии. Можно применить подход LADA-WOCAT, проверенный в пилотном проекте в Сомали. Карта земельного покрова из MOD12Q1 будет использоваться для того, чтобы получить поправочный коэффициент USLE. Коэффициент крутизны склона можно рассчитать из данных SRTM90м ЦМР, которые можно бесплатно получить из CGIAR или других источников. Процент растительного покрова можно определить, используя NDVI MOD13A3 в сезон дождей. При быстрой оценке, фактором осадков можно пренебречь. Эродируемость почвы можно получить из почвенных карт в 1:3,000,000, имеющихся во всех 5 странах. Или можно получить доступ к базе данных SOTER ФАО 1:1,000,000, чтобы получить информацию о почве, как это было сделано в Сомали. Также, возделанные участки на крутых склонах можно определить, объединяя SRTM ЦМР и карту земельного покрова, чтобы показать пространственные распределения.

#### 8. Засоление и заболачивание

Наверное, можно обозначить территории, подверженные засолению и заболоченные участки, изучая профили NDVI или EVI в весеннее время для основных орошаемых территорий (которые можно обозначить, используя данные по земному покрову MOD12). Для этого задания можно предназначить данные MOD13Q1. Для проверки точности нужно использовать наземные данные. Статус нагрузки на культуры, заброшенных земель и подтопление приведет к снижению значений NDVI по сравнению со здоровыми культурами, не подверженными такой нагрузке (нормальные области). Нормальные области можно определить, используя существующие карты уровней засоленности.

## VII. ЗАТРАТЫ И ВЫГОДЫ

### A. Стоимость и преимущества различных методов сбора информации по деградации земли и мониторинга

Основные методы оценки деградации засушливых земель (LADA, 2000) включают в себя следующие - мнение экспертов, дистанционное измерение, изменение продуктивности, полевой мониторинг, исследование проб на уровне фермы (на основании полевых критериев и экспертном мнении землепользователей), и моделирование. Эти методы были подробно описаны вначале van Lynden и Kuhlmann (2002) в мае и переоценены позже в сентябре того же самого года Kuhlmann и другими (2002).

Моделирование основывается на имеющемся опыте и знаниях процесса деградации. Оно полезно для проектирования или прогнозирования будущих ситуаций – например, где и что может случиться. Моделирование – это недорогой метод, однако нужно иметь достаточно знаний, чтобы точно смоделировать фактическую ситуацию в

реальном мире. Модели должны постоянно обновляться и регулироваться по мере появления новых научных данных. Независимо от того, что может спроектировать или предсказать модель, для картирования необходимо собирать образцы почвы. Поэтому, моделирование можно рассматривать только как дополнение к оценке и мониторингу деградации земли.

Исследование образцов на уровне фермы можно проводить только в крупном и среднем масштабе. Можно распространить анкеты и провести обзор с последующим анализом, чтобы оценить состояние земли, а также социально-экономические параметры. Это достаточно экономичный способ сбора информации об общих ситуациях и состоянии земли. Однако, люди не всегда возвращают заполненные анкеты. Также, ответы в анкетах могут быть неточными, в зависимости от того, как сформулированы и представлены вопросы. Кроме того, анализ результатов может занять достаточно много времени. На уровне страны, этот подход может сопровождаться соответствующей стратификацией так, чтобы можно было исследовать сокращенное количество точек сбора проб, что затем приведет к высокой степени обобщения. При проведении таких исследований можно обратиться в совхозы или колхозы, чтобы гарантировать высокий возврат анкет.

Мнение экспертов, если используется отдельно, полезно для картирования в мелком масштабе. Стоимость картирования относительно низка, и сам подход обеспечивает достаточно быстрый сбор информации. GLASOD и ASSOD использовали мнение экспертов как основной метод при составлении карт деградации почвы. Ограничения - 1) мнение эксперта может быть субъективным, 2) на полученных картах отсутствуют пространственные детали и 3) результаты часто носят описательный характер, при отсутствии количественных характеристик. Однако, мнение экспертов наиболее ценно в течение всего процесса оценки. Инициирование, планирование, подготовка, стратификация, отбор проб и оценка, как таковая, не могут быть эффективно выполнены без мнения эксперта.

Самым точным и, одновременно, самым дорогим методом оценки является отбор образцов в поле. Образцы почвы или растительности, взятые в определенных местах, анализируются для получения, возможно, самой точной информации о биофизических свойствах деградированной земли. Оценка не может проводиться без фактического отбора проб в поле, независимо от масштаба и используемого метода. В настоящее время для помощи в сборе образцов широко используются переносные приборы GPS, а местоположение точек забора образцов можно легко показать в ГИС. Методы быстрой полевой оценки также разработаны и в ФАО (например, инструменты видеораспознавания почвы). Есть также удобные новейшие электронные устройства, способные даже мгновенно измерять электропроводность почвы. Очевидно, что этот подход практически неприемлем для повсеместного проведения оценки в большом географическом регионе. Необходимо мобилизовать большое количество обученного персонала для сбора большого объема образцов почвы. Анализ этих образцов почвы в лаборатории займет много времени, не говоря уже о преобразовании в цифровую форму и компьютерной обработке результатов анализа. Кроме того, можно исследовать только дискретные точки забора проб. Это – дорого и требует больших трудозатрат. KAZ4375 отметил среди прочих вызовов в связи с наземной съемкой для больших областей такие, как высокая стоимость полевых работ и высокая стоимость обработки данных.

Интерпретация аэрофотоснимков традиционно служила главным методом картирования и обзора землепользования и земельного покрова. Этот ручной метод -

безусловно, самый дорогой и трудоемкий подход, если приходится картировать большие территории. Выполнение аэрофотографий дорогое удовольствие, при этом во всех 5 странах нет современных снимков. Однако, аэрофотоснимки, особенно стереопары, очень полезны, так как они подкрепляют наземный сбор данных. Время от времени они также могут использоваться как наземные данные (для тех областей, которые не изменились).

Дистанционные методы предлагают самый недорогой и быстрый подход для сбора информации по деградации земли. Самое большое преимущество дистанционных измерений состоит в том, что они способны обнаруживать пространственные модели особенностей ландшафта. Последние достижения в области дистанционных измерений и технологии ГИС сделали их очень экономичными, благодаря следующим причинам - 1) спутниковые изображения достаточно точны и надежны, 2) можно определять изменения во времени и 3) спутниковые изображения находятся в цифровой форме и их можно легко и быстро обработать с получением большого количества данных.

Экономическая эффективность применения данных дистанционных измерений может быть выражена напрямую как сокращение стоимости и косвенно как повышение качества, надежности и детальности информации.

- Изображения, полученные со спутника Earth Resources доступны для больших областей: коммерческие данные покрывают большие области - 35 000 км<sup>2</sup> для каждого кадра Landsat (MSS или TM), и 3 600 км<sup>2</sup> для каждого кадра SPOT; для охвата области одного кадра Landsat требуется 750 1:50 000 аэрофотоснимков (боковое покрытие 20 %, продольное покрытие 60 %) и 3 500 1:20 000 снимков.
- Спутниковые изображения могут оказать огромную помощь при проектировании выборки. Это сократит количество образцов, которые нужно собрать, чтобы получить точную оценку и охарактеризовать деградацию земли.
- Эффективный мониторинг. Наземные методы можно применять один раз за период 5 - 10 лет, в то время, как ежегодный мониторинг должен опираться на дистанционные измерения. Изображения среднего и низкого разрешения, например, AVHRR и MODIS, чрезвычайно полезны для этой задачи по большим областям. Эти изображения можно получать бесплатно.

Поэтому, благодаря применению дистанционных методов измерения можно добиться огромной экономии, как времени, так и денег, что невозможно при любых других способах.

На Рисунке 22 перечислены затраты и выгоды различных методов картирования земельного покрова для случая Франции в рамках проекта EC CORINE.

В общем, существует четыре типа затрат, с которыми сталкиваешься при выполнении проекта дистанционных измерений - 1) затраты на начальную установку, 2) затраты на проведение полевого обзора, 3) затраты на получение изображения и 4) затраты времени, потраченного на анализ полевых данных и обработку изображений. Для дистанционных измерений, нельзя игнорировать тот факт, что начальная установка может быть весьма дорогой. Установка требует наличия необходимого персонала, программного обеспечения и оборудования. Самое важное требование для применения дистанционных методов – это наличие компетентных профессиональных работников с базовыми знаниями принципов и методов дистанционных измерений. Для проектов дистанционного зондирования требуется соответствующее компьютерное оборудование. Общее требование для этой аппаратуры, возможно, незначительно отличается от



требований, применяемых в настоящее время в ГИС. Во многих случаях, проекты дистанционных измерений могут пользоваться той же аппаратурой, которая используется для применения ГИС. Однако, при крупномасштабных прикладных проектах или изображениях высокого разрешения необходимо обращать особое внимание на область памяти, время отклика и конфигурацию сети. Нужно приобрести новые системы программного обеспечения, специально разработанные для обработки изображений дистанционного зондирования. Хотя многие системы ГИС могут показывать и управлять спутниковыми изображениями, однако, эти функции довольно ограничены при анализе изображений.

## Рисунок 22. Картирование земельного покрова: затраты и выгоды различных методов

Основной источник информации	Масштаб	К-во работающих финальных документов Существующие карты К-во - размер	К-во ошибочных документов	Допустимое изображение (миллион пикселей) 2 мм	Затраты (лет)	Время завершения	К-во маршрутов	
Подспутниковое наблюдение	1: 5 000	75000	50x60см 2.5x3 км	1100м2 (0.01га)	5 000	100	>100	
Аэрофотоснимки	1: 25 000	2000		60000 аэрофотоснимков	2500м2 (0.25га)	100	1.5	Таксация 30-50 прибрежных зон
Спутники для наблюдения за поверхностью Земли SPOT/TM	1: 50 000	1100	40x56см 20x28км	250 изображений SPOT	10 000 м2 (1 га)	40/50	5	25-40
Спутники для наблюдения за поверхностью Земли TM/MSS	1: 100000	74	90x110см 90x110км	42 изображения TM	40 000 м2 (4 га)	15	2	20-40
Спутники для наблюдения за поверхностью Земли MSS	1: 250 000 – 1 000 000	16	90x110см 225x275км	42 Изображения MSS	25 000м2 (25 га)	2.5	0.25	15 (ГССША)
Метеорологические спутники NOAA	1: 2 500 000	1	110x110 см	1 изображение AVHRR	2км2	0.5	0.1	7

## В. Стоимость различных вариантов приобретения изображений дистанционных измерений для всех пяти стран Средней Азии

### 1. Бесплатные данные

Существуют различные источники бесплатных данных дистанционных измерений, которое можно при менять для исследований глобального климата и растительности. Фактически, большая часть данных низкого разрешения бесплатны. Таблица 11 суммирует эти данные. Из-за больших размеров файла нужно будет платить за копирование данных на CD-ROM, но эта плата - минимальна. Данные можно также получить через сайт FTP. Обычно возникают трудности при загрузке большого массива данных.

#### а. NOAA/AVHRR

Набор данных GIMMS – это 23-летний архив NOAA/AVHRR NDVI. Он доступен по запросу из Годдардовского центра НАСА космических полетов на сайте <http://>

[gimms.gsfc.nasa.gov/ndvi/](http://gimms.gsfc.nasa.gov/ndvi/). Он также доступен для бесплатной загрузки в Global Land Cover Facility или Глобальном фонде земельного покрова.

### b. SPOT Vegetation

SPOT Vegetation (за подробностями отсылаем на сайт <http://www.spot-vegetation.com/>) предлагает семейство продуктов по глобальной растительности, среди которых продукты синтеза 10-дневных данных NDVI (VGT-S10, взяв комбинированное число с максимальным значением NDVI или MVC), представляющие большой интерес для ИСЦАУЗР. Данные можно заказать на <http://suvweb.vgt.vito.be/suv>. Продукты VGT-S10 составляются путем слияния сегментов (полос видеоданных), полученных в течение десятидневного периода. Все сегменты этого периода еще раз сравниваются, пиксель за пикселем, чтобы выбрать 'лучшие' значения отражательной способности Земли. Эти продукты предоставляют данные со всех спектральных полос, NDVI и вспомогательных данных по параметрам получения изображений. Синтез MVC можно предоставить с рядом пространственных разрешений (1\*1 км<sup>2</sup> или 4\*4 км<sup>2</sup> или 8\*8 км<sup>2</sup>).

От пользователей требуется зарегистрироваться прежде, чем заказывать данные с <http://www.vgt.vito.be/>.

### c. MODIS

Прибор MODIS установлен на космических аппаратах Terra и Aqua. Он имеет ширину полосы визуального обзора 2 330 км и рассматривает всю поверхность Земли каждые один-два дня. Его датчики измеряют 36 спектральных полос в диапазоне 0.405 и 14.385 мкм, и он получает данные в трех пространственных разрешениях – 250м, 500м и 1,000м. Детали о продуктах земельных ресурсов доступны от ГССША на сайте <http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp>.

Таблица 11. Характеристики некоторых изображений низкого разрешения

Датчик/Спутник	Пространственное разрешение в метрах (надир)	Данные в битах	Охват в км <sup>2</sup>	Спектральные полосы	Возможность повторной съемки (в днях)	Оптимальная шкала картографирования	Цена в \$/км <sup>2</sup>
AVHRR1-3/NOAA	1100	10-бит, 8-бит для NDVI	3000*3000	4: Красная, ближняя ИК, дальняя ИК, TIR	0.5	1:500,000 - 1:10,000,000	0
SPOT Vegetation 4 & 5	1000		2200*2200	4 полосы: Голубая, Красная, ближняя ИК, дальняя ИК	1	1:500,000 - 1:10,000,000	0
MODIS	250м (b1-2) 500м (B3-7) 1000м (B8-36)	10-бит	2330*2330	36 каналов	2	1:250,000 – 1:10,000,000	0
MSU-SK/Resurs 01-3, 01-4	185 (IRT:650)		600*600 710*710	4 полосы: зеленая, красная, ближняя ИК, TIR	2-4	1:200,000 – 1:500,000	0.0025
MERIS/EN VISAT	260 надир		1150*1150	15 каналов в VNIR	3	1:250,000 – 1:1,000,000	?

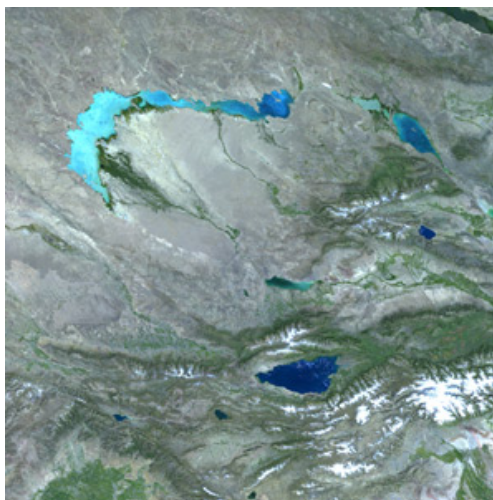


Рисунок 23. Комбинированные 32-х дневные данные MODIS по озеру Балхаш, Казахстан. <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>.

MODIS – это 16-дневные комбинированные данные EVI и данные NDVI с разрешением 250 м (MOD13)

Этот набор данных представляет собой данные с географической привязкой уровня 3, 10 градусов на 10 градусов, синусоидальной проекцией, разрешением 250 м на 250м, 4800 пикселей на 4800 колонок, размер файла 270 МБ, в формате HDF-EOS. Сайт FTP - <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD13Q1.005/2007.01.17/>  
<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1v5.asp>

Комбинированные 32-х дневные данные отдельных спектральных полос с разрешением 500 метров доступны на сайте <ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/modis/500m/Eurasia/>.

Кроме того, теперь появился новый продукт под названием Vegetation Cover Fields (VCF) или поля растительного покрова. В новом издании продукт VCF увеличен и расширен. Сюда входит усовершенствованная обработка MODIS Collection 4, обеспечивая более точные вклады MODIS. Collection 4 издания VCF включает продукты процентного покрытия деревьями на каждый год периода 2000-2005 гг., что позволяет пользователям видеть ежегодные оценки. Дополнительно, хотя Collection 3 до сих пор доступна, это издание ограничивается крупными, континентальными мозаиками, проекцией Goodes и сфероидом MODIS. Новое издание Collection VCF доступно в схеме мозаики UMD, основанной на зонах UTM, что делает его готовым к употреблению с изображениями Landsat. Формат продукта - GeoTIFF, проекция - географическая, с исходной информацией WGS84, то есть все предназначено для облегчения применения в большинстве методов обработки изображений и пакетах программного обеспечения ГИС. (Источник: Global Land Cover Facility или Глобальный фонд земельного покрова).

#### **d. SRTM ЦМР 90м**

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) или радиолокационная топографическая миссия Шаттла, получила данные по рельефу почти в глобальном масштабе для создания самой полной цифровой топографической базы данных Земли высокого разрешения. SRTM включал в себя специально модифицированную радиолокационную систему, находившуюся на борту космического шаттла Эндевор в течение его 11-дневной

миссии в феврале 2000 года. SRTM – это международный проект, возглавлявшийся Национальной службой геопространственной разведки (NGA) и Национальной администрацией по авиации и космосу (НАСА).

Проект миссии определил, что номинальная абсолютная геолокационная погрешность и абсолютная ошибка высоты SRTM30 составили  $\pm 20$  и  $\pm 16$  м, соответственно. Глобальная оценка точности SRTM ЦМР на основании профилей GPS по всем континентам дала абсолютную ошибку геолокации между 7 и 13 м., абсолютную ошибку высоты между 5.6 и 9 м., и относительную ошибку высоты между 4.7 и 9.8 м. (Rodríguez и др., 2006). В пределах определенных областей исследования и используя контрастные источники подтверждения данных, различные исследования последовательно показали, что абсолютные и относительные данные вертикальной точности SRTM в 2 и более раз лучше расчетных спецификаций (Kervyn, и другие, 2006). Есть только один недостаток – отсутствие открытого доступа к данным по ошибкам в определении рельефа местности (THED), которые необходимы для оценки случайной ошибки, затрагивающей каждый пиксель, полученный во время интерференционного процесса. Для получения подробной информации о точности данных, JPL опубликовала полный отчет о точности SRTM. Он доступен в Библиографии SRTM. Сокращенный вариант будет опубликован в мартовском выпуске (2006 г.) Фотограмметрических разработок и дистанционных измерений, посвященному SRTM. Домашняя страничка SRTM доступна на сайте <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

GeoPortal CGIAR-CSI предоставляет SRTM 90м ЦМР для всего мира. Цифровые данные по профилю местности SRTM, полученные по этому участку, были обработаны, чтобы заполнить пробелы в данных и облегчить простоту их использования широкой группой потенциальных пользователей. SRTM 90м ЦМР имеет разрешение 90м на экваторе. Изображения предоставляются в мозаичных элементах 5 градусов x на 5 градусов для облегчения загрузки и использования. Используется набор непрерывных данных с целью облегчения создания мозаики. Они доступны в форматах ArcInfo ASCII и GeoTiff для облегчения их применения в разнообразных методах обработки изображений и применений ГИС. Данные можно загрузить, используя браузер или прямой доступ с сайта <ftp://srtm.csi.cgiar.org/>.

## 2. Изображения высокого разрешения

В Приложении IV дается подробная информация, включая источники информации и отлайновый каталог по многим типам изображений высокого разрешения, доступным в настоящее время.

Для крупномасштабных карт, возможными источниками изображений могут быть Landsat TM и ETM+, ASTER, LISS3, SPOT4, и AWIFS. Другие изображения высокого разрешения (и очень высокого разрешения) не рассматриваются из-за их высокой стоимости. Также не рассматриваются датчики, вышедшие из обращения.

### **Landsat MSS, TM и ETM+**

Спутники Landsat предоставляют изображения высокого разрешения с 70-ых, то есть имеются исторические данные за более, чем 30 лет. Landsat представляет самый длинный в мире непрерывно получаемый фонд данных дистанционных наблюдений земли из космоса. В настоящее время до сих пор работают Landsat 5 (MSS, TM) и Landsat 7 (ETM+). С 26 ноября 2005 года Landsat 5 испытывал определенные технические проблемы<sup>8</sup>, из-за потери элемента в одной из двух батарей, поэтому получение изображений было приостановлено 6 октября 2007 г.

<sup>8</sup> К настоящему времени ГССША объявила о том, что Landsat 5 проверила запись изображений картопостроителем с классификацией геологических районов 10 января 2008 г. во время

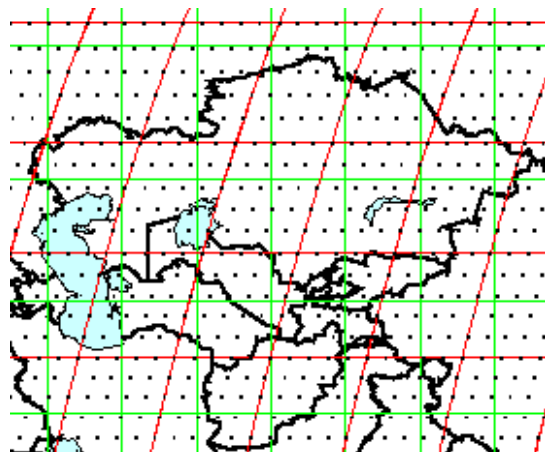


Рисунок 24. Всемирная система координат Landsat.

### ASTER

Космический термоэмиссионный/отражательный радиометр с усовершенствованными характеристиками (ASTER) – это современный многоспектральный формирователь изображений, установленный на борту космического корабля Terra, запущенного НАСА в декабре 1999 года. ASTER покрывает широкую спектральную область с 14 диапазонами, от видимого до теплового инфракрасного с высоким пространственным, спектральным и радиометрическим разрешением. Дополнительная ближняя инфракрасная полоса с обратным видом обеспечивает стерео охват. Пространственное разрешение изменяется с длиной волны - 15 м в видимом и ближнем инфракрасном (VNIR), 30 м в коротковолновой ИК области (SWIR), и 90 м. в тепловой инфракрасной области (TIR). Каждый план ASTER охватывает область 60 x 60 км. ASTER может предоставлять данные для всего земного шара, со средним рабочим циклом 8 % на орбиту. Если выразиться по-другому, это означает получение примерно 650 планов в день.

Выяснилось, что данные ASTER имеют высокий охват Центральной Азии и получаемые изображения «пригодны к употреблению» (Reeves и Bedunah, 2006). Обзор, проводимый для Таджикистана, выявил следующее - с апреля по ноябрь 2005 г. получено 368 планов для Таджикистана. К сожалению, более 90 % изображений пострадали от облачного покрова (примерно половина из них непригодны, то есть облачный покров составляет более, чем 50 %). К употреблению пригодны приблизительно всего 10% изображений.

**Таблица 12. Источники изображений высокого разрешения и цены.**

Датчик/спутник	Пространственное разрешение в метрах (надир)	Данные в битах	Охват в км <sup>2</sup>	Спектральные полосы	Возможность повторных измерений (через ск. дней)	Оптимальная шкала картирования	Цена в долларах США за км <sup>2</sup>
MSS/Landsat 5	80	6-бит	185*185	4 - голубая, зеленая, красная, NIR	18	1:150,000-1::500,000	0.0058***
TM /Landsat 4 ,5	30 м (TIR 120m)	8- бит	185*185	7- голубая,	16	1:100,000 -	0.017***

прохождения над Бразилией и Аргентиной. Эксперты по данным вышеуказанного картопостроителя определили, что датчик работает нормально. Предполагается, что датчик TM в ближайшие недели возвратится в рабочее состояние.

				зеленая, NIR, SWIR.		1:250,000	
ETM+/Landsat7	30 м, пан 15 м, TIR 60 м	8- бит	185*185	8- панорамная, голубая, зеленая, красная, NIR, SWIR.	16	1:50,000 – 1:250,000	0.017***
LISS 3/IRS	23.5 м	7- бит	141*142	4- (зеленая, красная, NIR, SWIR.)	22		0.207*
<b>AWiFS/IRS</b>	56 м	10- бит	370*370	4: (зеленая, красная, NIR, SWIR.)	5	1:100,000 – 1:500,000	0.017* (1600 Евро за план)
ASTER/TERRA	15 м (VNIR) 30 м (SWIR) 90 м (TIR)	8- бит 12 бит (TIR)	60*60	VNIR 4 полосы: зеленая, красная, NIR (надир и задний обзор).	4	1:50,000 (VNIR)	0.0222
HRV/SPOT1-3	20 м	8- бит		XS 3 полосы: зеленая, красная, NIR			0.32-0.47**
HRVIR/SPOT4	20 м, XS 10 м, Пан.	8- бит	60*60	XS 4 полосы: зеленая, красная, NIR, SWIR.	1-3	1:25,000 – 1:50,000	0.67-1.43**
HRG/SPOT5	10м 5м 2.5м	8-бит	60*60	XS 4 полосы: зеленая, красная, NIR, SWIR.	1-3	1:10,000 – 1:25,000	2.4-2.5**

\* Цена переведена в доллары США как 1.45, котировка взята из сайта [http://www.eurimage.com/products/docs/eurimage\\_price\\_list.pdf](http://www.eurimage.com/products/docs/eurimage_price_list.pdf).

\*\* Цена взята из работы Lantieri (2003).

\*\*\* Цена рассчитывается как стоимость одного плана, поделенная на охват этим планом.

Подробности по спецификациям датчика/спутника доступны на сайте <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-5.html>.

### LISS

Индийский спутник Resourcesat (IRS) LISS 3 имеет разрешение на местности 23.5 м (LISS 4 имеет разрешение на местности 5.6 м и полосу обзора 23.9 км). Один план охватывает 141\*142 км<sup>2</sup>. Нахлестка составляет 23.5 км, а по трассе наложение составляет 7 км. Количество планов, требуемых для полного охвата всех 5 Центрально азиатских стран, оценивается путем рассмотрения общей площади, охваченной прямоугольником, которые заключают в себе все пять стран.

Уровень радиометрической дискретизации многоспектральных (xs) данных LISS 3 всего 7 бит (SWIR находится в 10-битах), то есть, максимальное количество возможных дискретных чисел - 128 (0 - 127).

### AWiFS (Усовершенствованный широкоугольный датчик)

Камера AWiFS работает в четырех спектральных полосах, идентичных LISS-III. Однако, уровень радиометрической дискретизации (или радиометрического разрешения) – 10бит (максимальное количество возможных серых шкал - 2<sup>10</sup>), или в 8 раз выше, чем LISS 3 с точки зрения радиометрической точности. Разрешение надир – 56 м, с возможностью повторной съемки всего через 5 дней и размером охвата продуктов 370 км x 370 км, делает продукты AWiFS ценным источником для таких областей применения, как лесное хозяйство и экологический мониторинг. Данные доступны на сайте [http://www.euromap.de/products/prod\\_001.html](http://www.euromap.de/products/prod_001.html).

Таблица 13. Характеристики изображений высокого разрешения

Датчик/Спутник	Разрешение	Охват в км2	К-во требуемых планов*	Цена за план**	Общая стоимость в долларах США
MSS/LANDSAT 5	80 м	185*185	320	\$200	\$64,000
TM, ETM+/ LANDSAT 5,7	30 м	185*185	320	\$600	\$187,500
ASTER/TERRA	15 м	60*60	1200	\$80	\$96,000
LISS3/IRS	23.5 м	141*142	351	\$3915 (Евро 2700)	\$1.37 миллионов
AWIFS/IRS	56 м	370*370	35	\$2320 (Евро1600)	\$81,000
HRVIR/SPOT4	20м (xs)	60*60	1200	\$2755 (Евро1900)	\$3.3 миллионов

\* Количество планов рассчитывается как общая площадь t стран (3.99 миллиона км2), поделенная на эффективный охват (охват планов вычитается путем перекрещивающихся областей, как вдоль трассы, так и поперек).

\*\* Уровень 1, стандартные продукты.

## VIII. РЕКОМЕНДАЦИИ

### A. Общие рекомендации

#### 1. Общая методология

Общая методология получения базисной информации состоит в объединении полевых исследований, дистанционных измерений и заключений экспертов.

#### **Использование дистанционных измерений**

Оценка и мониторинг деградации земель могут проводиться по-разному – начиная с опроса экспертов, проведения полевых исследований и, заканчивая, применением технологий дистанционного измерения. Опыт экспертов может быть полезен для мелкомасштабного картирования типов и серьезности деградации. Для крупного масштаба часто требуется проведение полевых исследований. Однако, измерения в поле могут проводиться только в отдельных местах и их нужно интерполировать и экстраполировать для того, чтобы получить искусственным путем данные для всей области исследования. Во многих случаях этот подход обоснован и приводит к результатам, имеющим достаточно высокую точность и пространственное разрешение. Дистанционные измерения могут применяться почти в любом масштабе, хотя стоимость получения изображений для последующего картирования в очень крупных масштабах может быть астрономической.

Для целей картирования в крупном масштабе, рекомендуются только оптические многоспектральные спутниковые изображения. Это зависит, в значительной степени, от имеющихся возможностей во всех пяти странах и удобства использования. Эти данные были исследованы в течение последних 30 лет и накоплен большой опыт, который можно использовать. На данном этапе не рекомендуются изображения RADAR и гиперспектральные изображения. Тем не менее, изображения RADAR чрезвычайно полезны для мониторинга влажности почвы и неровностей поверхности. Гиперспектральные данные дистанционных измерений становятся все более популярными, при том, что в наши дни эти данные становятся все более доступными. Гиперспектральные данные могут предоставить достаточную спектральную информацию для выявления питательных веществ почвы, состава перегноя и минералов, и других биофизических свойств, поскольку исследования на основе подходов спектральной библиотеки уже дали многообещающие результаты.

Использование технологий дистанционного измерения может гарантировать эффективное и экономичное получение базисной информации. Что еще более важно использование дистанционных методов может облегчить проведение эффективного мониторинга. Как только определена базисная информация, можно начинать мониторинг развития деградации или восстановления. Наземные данные, собранные во время базисной фазы, будут использоваться для определения наилучших алгоритмов и усовершенствованных методологий картирования разнообразных биофизических индикаторов. Схему ежегодного мониторинга можно построить следующим образом. Спутниковые изображения с умеренным разрешением, типа 250м MODIS, будут использоваться для всей страны. С помощью стратификации будут отобраны выборочные участки. Эти выборочные участки будут изучаться с помощью изображений



высокого разрешения, например, Landsat ETM+. Статистика, полученная из выборочных участков, будет интегрирована в анализ изображений среднего разрешения. Каждые 5-10 лет можно проводить периодическое обновление текущего статуса деградации.

## **2. Подход ФАО LADA**

Подход ФАО LADA будет использоваться для проведения оценки деградации почвы на национальном уровне. Будет использоваться подход LADA из семи шагов и структура LADA из 12 пунктов. Подход LADA из семи шагов четко определяет процедуры проведения оценки деградации земли на национальном уровне, а структура LADA из 12 пунктов предоставляет еще более подробные шаги при выполнении такой задачи. Эти процедуры были проверены и в настоящее время широко применяются и рассматриваются как заявленный стандарт оценки деградации земли. Настоятельно рекомендуется, чтобы ИСЦАУЗР соблюдал эти процедуры и использовал опыт пилотных исследований ФАО LADA. В частности, подход LADA-WOCAT, примененный в Сомали, может служить хорошим примером того, как можно использовать разные источники геопространственной информации.

## **3. Пилотные исследования**

Предложенная методология, разработанная в данном документе, основывается на обзоре литературы. Методологии, которые применимы для одной конкретной области, могут совершенно не подходить для другой области, в основном, из-за различий экологической среды, различий в системах ведения хозяйства и изменений климатических условий. Поэтому, необходимо предварительно провести пилотные исследования, чтобы проверить методы, предлагаемые в данной работе. После этого можно сформулировать набор руководящих принципов, которые будут выполняться во всех 5 странах Центральной Азии.

## **4. Базисные индикаторы.**

Базисная информация требуется, по крайней мере, по двум следующим причинам. Первая – это необходимость оценивать текущий статус деградации земли так, чтобы можно было применять соответствующую политику управления и принимать срочные меры в отношении тех областей, где замечена серьезная деградация. Вторая состоит в том, что необходимо периодически оценивать динамические изменения статуса деградации земли так, чтобы существующая политика и принимаемые меры можно было регулировать время от времени. Для того, чтобы информация о деградации почвы была полезной при разработке политики на уровне района, необходимо картировать статус деградации в большом масштабе. Для работы с большими масштабами определены различные наборы базисных индикаторов для пастбищ, водяной эрозии, ветровой эрозии, солёности почвы, наряду со статусом земельного покрова. Оценка состояния земли в крупных масштабах облегчает формирование подробной политики устойчивого землепользования и принятие практических решений. Такие индикаторы можно оценить только для областей, которые уже были определены как горячие точки (или проектные участки), так как затраты в связи с получением относительно подробной информации о деградации земли – очень высоки. Наличие индикаторов для различных типов деградации также поможет различать, в каких местах происходит конкретный тип деградации с прямыми экологическими последствиями. Однако, картирование в больших масштабах обходится дорого и не может проводиться каждый год.

Базисные индикаторы на страновом уровне, в основном, связаны с активностью растительности в течение всего вегетативного сезона. Эти индикаторы имеют гораздо меньший масштаб и основываются на данных MODIS, которые можно получить бесплатно, и они предназначены для мониторинга. Мониторинг на уровне страны будет проводиться ежегодно, и концентрироваться на изучении отклонений растительной активности от местной нормы, чтобы определить аномалии, которые могут соответствовать областям, вызывающим наибольшее беспокойство (горячие точки) и/или области восстановления. Когда такая область выявлена, потребуются изображения высокого разрешения, чтобы исследовать эту область и получить более подробную и более точную информацию по деградации (или восстановлению).

Наличие двух наборов базисных индикаторов абсолютно необходимо, чтобы обеспечить получение не только подробной информации о статусе деградации земли, но также и для того, чтобы мониторинг статуса деградации был эффективным с точки зрения затрат.

## **5. Пять основных наборов индикаторов**

Пять индикаторов, определенных на страновом уровне, представляют собой основной набор индикаторов. Они включают в себя земельный покров, общую первичную продуктивность, профиль растительности, водную эрозию, засоленность почвы и затопление.

Профиль индекса растительности служит первичным индикатором, а остальные - вторичны, так как они получены и выведены из профилей индекса растительности. Необходимо проанализировать профиль индекса растительности для каждого района или экологической единицы. Необходимо вычислить минимальное, максимальное, среднее и допустимое отклонение.

Земельный покров – это физический покров земли. Данные MOD12 нужно еще раз проверить на точность, так как это – всего лишь данные “стадии проверки 1”. Обоснование или проверку можно провести пользуясь описанием в VI. Для областей, где уже проведено картирование земельного покрова в больших масштабах (например, 8 пилотных проектных областей), можно проверить данные MOD12, используя данные по земному покрову высокого разрешения.

Общая "первичная" продуктивность (GPP) MOD17A2 – это совокупное соединение значений GPP на основании концепции эффективности использования излучения. MOD17A2 – это 8-дневные композиции с пространственным разрешением в 1 километр, представленные в виде данных с географической привязкой 4 уровня в синусоидальной проекции. Этот набор данных также требует последующей проверки, которую можно провести, используя измерения биомассы с точек постоянного наблюдения.

Риски водной эрозии следует картировать на базе водоразделов. Растительный покров в процентах можно получить из 250м MOD13Q1, полученных во время сезона дождей. Поправочный коэффициент в USLE можно получить из данных земельного покрова (MOD12). Изменения в статусе риска будут отражены в изменениях земельного покрова, а также растительного покрова в процентах. Поэтому, можно провести мониторинг состояния рисков эрозии, изучая изменения земного и растительного покрова.

Области, подвергнутые засолению почв и заболачиванию, можно также получить из данных индекса растительности (MOD13). Области, склонные к наводнению, можно определить заранее с помощью данных SRTM ЦМР. После этого можно проанализировать EVI или NDVI для этих областей, чтобы получить из них области с высоким или аномальным содержанием влаги в почве. Нужно оцифровать основные орошаемые области и наложить их на изображения MOD13. Энергия растительности, как заместитель или агент солености, может быть измерена путем усреднения MOD13 для каждой орошаемой области за весь вегетативный сезон.

Изо всех крупномасштабных базисных данных, соленость почвы, наверное, труднее всего определяется из спутниковых изображений по причине ее высоких пространственных и временных вариаций. Проявление солености почвы можно определить по состоянию культуры, а также в тех областях, где имеется достаточно большая соляная корка и ее можно обнаружить. Знание местных систем земледелия и сельскохозяйственных методов – чрезвычайно важно для изображения классов солености. Методологии, разработанные здесь, вероятно, придется проверить прежде, чем их реализовать в полной мере. Нужно выбрать одну-две испытательных площадки для предварительного исследования, предпочтительно в Узбекистане, где имеются данные наземных измерений солености для нескольких главных орошаемых областей. Предварительное исследование должно разработать руководящие принципы картирования солености с помощью дистанционных измерений. Что касается деградации пастбищ, можно провести анализ конкретного примера в Казахстане по использованию компьютерной классификации трех степеней (серьезная, средняя, незначительная) деградации как следствие градиента перевыпаса. Геостатический подход с расчетами полу-вариограмм можно также проверить на возможность проведения быстрой обработки изображений, чтобы нанести на карту деградацию пастбищ. Для ветровой эрозии, один испытательный участок можно выделить в Казахстане, при этом методология может быть протестирована с участием института животноводства, где проводятся работы по моделированию ветровой эрозии. Один из 8 пилотных проектов можно определить как испытательный участок для моделирования водяной эрозии.

Лучше всего дистанционные измерения подходят для картирования земельного покрова. Однако, учитывая масштабы и протяженность во всех 5 странах, нужно будет выделить дополнительный бюджет. Для 10 стран, с площадью 8.5 миллионов км<sup>2</sup> в Восточной Африке, проект AFRICOVER выделил 9.270.000 долларов США ([http://www.africover.org/east\\_africa.htm](http://www.africover.org/east_africa.htm)). ИСЦАУЗР может рассмотреть вопрос об инициировании пилотных проектов для картирования земельного покрова в отобранных областях (например, 8 пилотных проектных участков), тогда необходимый бюджет существенно уменьшится. Как одну из дополнительных возможностей можно предложить использование алгоритмов контролируемой компьютерной классификации, вместо того, чтобы сократить бюджет и число сотрудников, требуемых для визуальной интерпретации. В этом случае, потребуются очень ограниченный объем образцов для проведения обучения компьютерной классификации и проверке точности. Компромисс между компьютерной классификацией и обозначением вручную типов земельного покрова – масштаб, а, следовательно, количество классов, которые можно обнаружить с вполне удовлетворительной точностью. Чтобы повысить точность компьютерной классификации спутниковых изображений ее можно объединить со вспомогательной информацией, такой, как почвенные карты, карты рельефа (полученные из бесплатного источника SRTM ЦМР), АЕЗ, и имеющиеся карты растительности. Рекомендуются масштаб для компьютерной классификации - 1:250,000, только с классами широкого охвата, такими,

как перечисленные на 1-ом уровне системы CORINE. Если все выполнено верно, то можно добиться точности более, чем 90 %. В случае, если имеющегося бюджета недостаточно, можно использовать изображения IRS AWIFS, вместо изображений Landsat TM/ETM+, а масштаб картирования можно уменьшить до 1:250,000 к 1:500,000.

Другая возможность проведения картирования земельного покрова - сконцентрироваться на орошаемых и богарных сельскохозяйственных землях, не касаясь обширных территорий пастбищных земель и природных пастбищ. Территории, используемые под пастбища, будут картироваться отдельно, с использованием различных методов (например, MODIS, AVHRR, или SPOT VEGETATION с низким разрешением).

Есть еще одна возможность – осуществить проект по быстрому обнаружению изменений земельного покрова для 8 пилотных участков проекта. Это вполне осуществимо, так как изображения Landsat TM, полученные в 1990-х (в период с 1989 по 1992) и 2000-х (примерно 1999 – 2002 гг.), доступны для каждой части Центральной Азии на сайте Глобального фонда земельного покрова (Global Land Cover Facility). Год 1990 совпал с обретением независимости всех этих 5 стран, с тех пор, возможно, многое изменилось, поскольку правительства Центрально азиатских стран стали переходить к рыночной экономике и начали процессы приватизации. Статус землепользования и земельного покрова в 1990 году можно считать "первоначальным" или базисным по умолчанию и его можно использовать как точку отсчета при оценке того, что происходило с точки зрения землепользования в течение последних 15 лет. Процедуру обнаружения изменений можно сформулировать без труда, и она технически жизнеспособна, учитывая имеющиеся технические мощности в странах Центральной Азии (см. Ji, 2007). Тем не менее, все равно требуется наземная съемка, но только для тех районов, где были обнаружены "изменения". Для измененных областей можно картировать земельный покров, прошлый и настоящий. Это значительно сократит бюджет.

Метод градиента выпаса подойдет для картирования деградации пастбищ (см. Рисунок 19). Используя изображения с 30м разрешением, будет трудно обнаружить состав видов, и, им можно пренебречь на данном этапе. Если таковая информация потребуется, то спутниковые изображения можно использовать для стратификации и планирования выборки, вместе с другими источниками данных, такими, как ЦМР, экологическое зонирование и т.д., чтобы получить статистику, основанную на наземной выборке и наблюдениях.

Растительный покров – это самый динамичный фактор, от которого в значительной степени зависит процесс эрозии почвы. Для характеристики растительности нужно использовать индекс растительности с учетом почвы (SAVI), так как растительный покров слабый, а влияние фона почвы намного более явно выражено.

## **6. Дистанционные измерения как главный компонент ИСУУЗР**

Дистанционные измерения будут играть главную роль в ИС УУЗР. ИС УУЗР – это система на базе ГИС, которая будет предоставлять полезную информацию для устойчивого управления земельными ресурсами. Самым важным компонентом системы является информация, в частности, самая последняя информация о состоянии земли, которая может и должна ежегодно обновляться. Дистанционное измерение – это единственный инструмент, способный обеспечить современную информацию с малыми затратами. Поэтому, при разработке ИС УУЗР необходимо предпринять значительные усилия и обратиться к использованию дистанционных измерений. Структуру,

разработанную KAZ4375, можно исследовать еще глубже и шире, взяв дистанционное измерение в качестве основного компонента ИС УУЗР.

## 7. Получение данных с помощью дистанционных измерений

Для получения исходной информации в больших масштабах (1:100,000 - 1:250,000) настоятельно рекомендуется использовать изображения Landsat ETM+ (30м) и/или данные IRS AWIFS (56м). Тот же набор данных будет использоваться для картирования рисков возникновения эрозии, земельного покрова, а также солёности почвы. Данные Landsat доступны уже более 30 лет, и стоимость за кадр относительно низка, по сравнению с изображениями, полученными с датчиков со сходными характеристиками, например, SPOT и IRS LISS. Стоимость получения данных IRS AWIFS сопоставима со стоимостью изображений Landsat. Преимущества состоит в том, что один кадр IRS AWIFS охватывает область, примерно в 4 раза большую, чем охват кадра Landsat ETM+, что ведет к экономии в компьютерной обработке (кадры 4 ETM+ нужно будет корректировать по отдельности, а затем совмещать вместе, чтобы охватить ту же самую область IRS AWIFS). Преимущество данных IRS AWIFS – их пространственное разрешение (56м против 30м).

Для исходной информации странового уровня, настоятельно рекомендуется использовать данные MODIS, так как эти данные имеют высокое качество с точки зрения радиометрических свойств, а также дополнительную ценность. Также рекомендуется набор данных NOAA/AVHRR GIMMS. Этот набор данных может быть полезен при определении местных норм растительной деятельности, например, производство биомассы.

В Приложении IV указаны онлайн-каталоги, по которым можно заказать различные спутниковые изображения с низким и высоким разрешением. Для изображений высокого разрешения важно исследовать быстрый просмотр, чтобы экранировать условия облачного покрова и шум в изображениях (например, расслоение, случайные помехи и т.д.) по каждому кадру. Также желательно, чтобы изображения делались в один и тот же вегетационный период, чтобы облегчить простую и последовательную интерпретацию, которая проводится либо с помощью компьютерного анализа, либо посредством визуальной интерпретации. Продукты высокого уровня стоят гораздо дороже, поскольку это продукты с добавочной стоимостью, поэтому, нужно стремиться получать стандартные продукты низкого уровня (например, уровень 1). Ниже приводятся настоятельно рекомендуемые важные наборы данных.

### 1. Набор данных NOAA/AVHRR GIMMS

Набор данных GIMMS также доступен на сайте <http://glcf.umd.edu/data/>. Этот набор данных можно загружать бесплатно. Этот набор данных ценен, потому что он предоставляет исторические записи, позволяя оценивать местные нормы с точки зрения производства биомассы.

### 2. Смешанные 16-дневные данные EVI и NDVI (MOD13) MODIS с разрешением 250м

Вебсайт MOD13 - <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1v5.asp>. Этот набор данных представляет собой данные с географической привязкой уровня 3, 10 на 10 градусов, в синусоидальной проекции, с разрешением 250м на 250м, 4800 пикселей на 4800 колонок,

размер файла 270 МБ, в формате HDF-EOS. Сайт FTP - <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD13Q1.005/2007.01.17/>.

32-дневные смешанные данные по отдельным спектральным полосам с разрешением 500м доступны на сайте <ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/modis/500m/Eurasia/>.

Кроме того, сейчас появился новый продукт, под названием Vegetation Cover Fields (VCF) или Области растительного покрова. Продукт VCF был увеличен и расширен в новом издании. Он включает в себя усовершенствованную обработку MODIS Collection 4, обеспечивая более точные вклады MODIS. Издание Collection 4 VCF включает в себя продукты с процентным покрытием деревьями на каждый год с 2000 по 2005 гг., позволяя пользователям видеть ежегодные оценки. Кроме того, хотя Collection 3 до сих пор доступно, это издание ограничивается большими континентальными фрагментами мозаики, проекцией Goodes и сфероидом MODIS. Новое издание коллекции VCF доступно в мозаичной схеме UMD на базе зон UTM, что делает его готовым к использованию с изображениями Landsat. Формат продукта - GeoTIFF, проекция - географическая, с данными WGS84. Все спроектировано для простоты использования в большинстве методов обработки изображений и пакетов программ ГИС. (Источник: Global Land Cover Facility).

### 3. MOD17A2 и MOD12Q1

Данные MODIS будут служить главным источником данных для базиса на уровне страны. Как описано в разделе VI (G), данные MODIS готовы к использованию, при условии дальнейшей проверки для основных экологических единиц или ландшафтов. В дополнение к MOD13, нужно также получать данные MOD17A2 (GPP) и MOD12Q1 (Земельный покров), которые объясняют базисную информацию для земельного покрова и GPP. Данные с 2000 по 2007 гг. следует загружать с вебсайта USGS MODIS. Данные на 2007 г. будут использоваться как исходные данные. Данные до 2007 г. будут использоваться для ссылки при предварительной оценке и подтверждении, а также для анализа временных рядов.

### 4. Landsat TM/ETM +, AWIFS

Изображения высокого разрешения понадобятся для картирования состояния земли в больших масштабах. Если позволит бюджет, ИСЦАУЗР может рассмотреть возможность приобретения изображений TM/ETM+ для всех 5 стран на период 2006-2008 гг.. Для тех территорий, где отсутствуют изображения TM/ETM+ без облачности, можно рассмотреть дополнительную возможность ASTER.

Исторические изображения Landsat доступны бесплатно в Global Land Cover Facility, поддерживаемой университетом Мэриленда. Изображения имеются для всех 5 Центрально азиатских стран на два периода времени – 1990 г., и 2000 г.. Изображения 2000 года можно загрузить для конкретных примеров анализа изменений землепользования/земельного покрова.

IRS-AWIFS, наверное, является самым дешевым источником спутниковых изображений высокого разрешения. Хотя пространственное разрешение здесь немного ниже, чем для большинства других изображений высокого разрешения, пространственный охват и стоимость делают AWIFS очень привлекательным. Один план AWIFS охватывает 370\*370 км<sup>2</sup>, при этом обрабатывать приходится почти в 10 раз меньше изображений. Преимущества использования данных AWIFS состоят в

следующем - 1) огромная экономия времени и усилий, по сравнению с использованием изображений Landsat, поскольку нужно геометрически скорректировать и соединить в мозаику небольшое количество изображений, и 2) существует более высокая вероятность получения изображений, снятых в течение одного и того же сезона, так что отсутствует вероятность вариаций сезонности и фенологии культур. Но есть и недостаток – низкое пространственное разрешение.

#### 5. SOTER

Почвенные и физиографические данные ФАО SOTER для Северной и Центральной Евразии можно получить с сайта <http://www.fao.org/AG/aGL/lwdms.stm#cd7>. Этот диск содержит информацию о почвенных и топографических ресурсах для стран СНГ и Балтийских государств, Китая и Монголии. Информация хранится в экспортном формате в Arc/Info.

#### 6. Данные SRTM

Радиолокационная топографическая миссия Шаттл НАСА (SRTM) предоставила цифровые данные по рельефу для более, чем 80 % территории земного шара. Эти данные в настоящее время распространяются бесплатно Геологической службой США (ГССША или USGS) и доступны для загрузки с сайта Национальной системы прямого распространения данных карт или с сайта ftp ГССША. Данные SRTM доступны в виде ЦМР в 3 дуговых секунды (разрешение приблизительно 90м). Также был получен продукт данных в 1 дуговую секунду, но он доступен не для всех стран. По сообщениям, вертикальная погрешность ЦМР составляет менее 16м. Эти данные, которые в настоящее время распространяются НАСА/ГССША (готовый продукт), содержат пробелы или участки "без данных", где вода или сильная тень помешали определить количественно рельеф. Как правило, пробелы - небольшие, но, тем не менее, это снижает полезность данных, особенно в областях гидрологического моделирования (Источник: <http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Вебсайт CGIAR (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) поддерживает обработанные данные SRTM 90м почти для всех глобальных областей Земли. Данные были обработаны, чтобы заполнить пробелы в данных и облегчить их пользование широкой группой потенциальных пользователей. Эти данные предоставляются с целью продвижения использования данных геопространственной науки и ее применения для устойчивого развития и сохранения ресурсов в развивающемся мире. С этого сайта можно загружать цифровые модели рельефа (ЦМР) для всего земного шара, охватывающие все страны мира. Изображения ЦМР SRTM 90м имеют разрешение 90м на экваторе и представляются в виде мозаики 5 x 5 градусов для того, чтобы облегчить их загрузку и использование. Они все выводятся из непрерывного набора данных, чтобы облегчить составление мозаики. Они доступны, как в формате ASCII ArcInfo, так и GeoTiff, чтобы облегчить их применение в разных методах обработки изображений и применений ГИС. Данные можно загрузить с сайта ftp, используя браузер или через прямой доступ

## ССЫЛКИ

ADB, 2006. TA6155-REG. Capacity building in Environmental Information Management System (EIMS) in Central Asia. Component II: EIMS, Technical Note Programmer's Guide.

ADB, 2007. Performance Evaluation Report: Environment Management Technical Assistance Projects to Selected Central Asian Republics.

Anderson, J. R., E. E. Hardy, J. T. Roach, and R. E. Witmer, 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. USGS Professional Paper 964, Virginia, <http://landcover.usgs.gov/pdf/anderson.pdf>.

Babaev, A.G. (Ed.) (1985). *Map of Anthropogenic Desertification of Arid Zones of the USSR*. Ashkabad, Turkmenistan: Institute of Deserts.

Bai, Z. G., D. L. Dent, H. Bartholomeus, and M. E. Schaepman, 2005. Assessing land degradation and improvement using NASA GIMMS, Shaanxi, China. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Bai, Z. G. and Dent, D. L., 2006. Global Assessment of Land Degradation and Improvement: pilot study in Kenya. Report 2006/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen.

Bailey T. C., and Gatrell A. C. (1995), *Interactive Spatial Data Analysis*. Addison Wesley Longman Limited, Essex, England.

Bastin, G. N., G. Pickup, and G. Pearce, 1995. Utility of AVHRR data for land degradation assessment: a case study. *International Journal of Remote Sensing*, 16(4):651-672.

Belward, A. S., (editor) 1996, The IGBP-DISGlobal 1 km Land CoverData Set 'DISCOVER': proposal and implementation plans. Report WP No. 13, IGBP-DIS, Stockholm, Sweden.

Borjigidkhan, A., 2005. Land degradation assessment and disaster management in Mongolia. AGRO-ECOLOGICAL ZONING AND GIS APPLICATIONS IN ASIA - with special emphasis on land degradation assessment in drylands (LADA). Proceedings of a Regional Workshop Bangkok, Thailand 10–14 November 2003, AGL/MISC/38/2005.

Bossard, M., J. Feranec and J. Otahel, 2000. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000.

Brandt, J, Geeson, N., and Imeson, A., 2001. A DESERTIFICATION INDICATOR SYSTEM FOR MEDITERRANEAN EUROPE. From: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>.

Budde, M.E., Tappan, G., Rowland, J., Lewis, and Tieszen, L.L. 2004. Assessing land cover performance in Senegal, West Africa using 1-km integrated NDVI and local variance analysis. *Journal of Arid Environments* 59: 481-498.

Bykov, B.A. (1985). Anthropogenic effects on desert pastures. *Problems of Desert Development*, 1: 20–26.



Cammeraat, L.H., 1998. Mediterranean Desertification and Land Use -FIELD MANUAL VERSION 4. Personal communication.

Celis, D., and E. De Pauw, 2005. "Hot spot" assessment of land cover change in the Cwana region using AVHRR satellite imagery. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Chen, Z., Elvidge, C. D., and Groenvelde, D. P., 1998. Monitoring of seasonal dynamics of arid land vegetation using AVHRR data. *Remote sensing of environment*, 65:255-266.

Chiles, J.-P., and Delfiner P. (1999), *Geostatistics*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

CIESIN, 2004. Global rural-urban mapping project (GRUMP): Urban/rural extents palisades, NY: CIESIN, Columbia University. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>

Collado, A. D., Chuviedo, E., and Camarasa, 2002, Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. *Journal of Arid Environments*. 55:121-133.

CORINE (1992). CORINE Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community, Publication EUR13233 EN, Luxembourg.

Derrien, M., B. Farki, H. Legleau and A. Sairouni, 1992. Vegetation cover mapping over France using NOAA-11/AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 13(9):1787-1795.

Desmet, P.J.J., Govers, G, 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51, 427-433.

Dobson, M.C., F.T. Ulaby, T. Le Toan, Eric S. Kasischke, N. Christensen, 1992. "Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 30, No. 2, pp. 412-415.

Dregne, H.E., 1986. Desertification of arid lands. In *Physics of desertification*. El-Baz, F., and Hassan, M. H. A. (eds), Dordrecht, The Netherlands.

Dregne, H.E., 1998. Land degradation: assessment and monitoring. *Newsletter of the International Taskforce on Land Degradation*, 3: 4-8.

EEA, 2000, Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. *Environmental Issues Series*, No. 16. European Environment Agency, Copenhagen, 32 pp.

Eldiery, A., L. A. Garcia, and R. M. Reich, 2005. Estimating soil salinity from remote sensing data in corn fields. *Hydrology Days*.

Erdenetuya, M., 2004. PASTURE PRODUCTIVITY CHANGES IN MONGOLIA. *Map Asia 2004*, Beijing, China.

Enne, G. and Zucca, C. 2000. Desertification indicators for the European Mediterranean region: state of the art and possible methodological approaches. ANPA, Roma and NRD, Sassari, p261, available at [http://nrd.uniss.it/sections/pubblicazioni/nrd\\_индикаторы.pdf](http://nrd.uniss.it/sections/pubblicazioni/nrd_индикаторы.pdf).

FAO, 1997. Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean coastal areas. <http://www.fao.org/docrep/x5302e/x5302e00.HTM>.

FAO 2000a. Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Reports 90. FAO, Land and Water Development Division, Rome. 114 p. [www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat](http://www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat).

FAO 2000b, Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual.

FAO, 2002, Data sets, indicators and methods to assess land degradation in drylands. LADA Email Conference, October 9 to 4 November, 2002.

FAO. 2003. Data Sets, Indicators and Methods to Assess Land Degradation in Drylands. Rome, Italy.

FAO AGLL Land Degradation Assessment in Drylands (LADA), Technical Report, Republic of Uzbekistan, Tashkent, 2003.

FAO 2005, AGRO-ECOLOGICAL ZONING AND GIS APPLICATIONS IN ASIA - with special emphasis on land degradation assessment in drylands (LADA). Proceedings of a Regional Workshop Bangkok, Thailand 10–14 November 2003, AGL/MISC/38/2005.

Farifteh, J., and A. Farshad, 2002. Remote sensing and modeling of topsoil properties, a clue for assessing land degradation. 17<sup>th</sup> WCSS, 14-21 August 2002, Thailand. Pp 865(1-11).

Garcia, L.A., Foged, N., and Cardon, G. (2006) "A GIS-Based Model to Estimate Relative Crop Yield Due to Salinity and Waterlogging: Philosophy and Development." ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132(6) 553-563.

Garcia, M., S. Contreras, F. Domingo, and J. Puigdefregas, 2005. Estimating land surface energy fluxes in SE Spain using Aster and MODIS data. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

GEF, International Workshop GEF Land Degradation Focal Area Indicators, 8-9 January 2007, FAO Headquarters, Rome, Italy.

George, R., K. Lawrie, and P. Woodgate, 2004. CONVINCING ME ALL YOUR BLOODY DATA AND MAPS ARE GOING TO HELP ME MANAGE SALINITY ANY BETTER?

Ghani, A., M. Dexter, and K. W. Perrott, 2002. Hot-water carbon is an integrated indicator of Soil quality. 17<sup>th</sup> WCSS, 14-21 August 2002, Thailand.

- Gir, C. P., E. Kratzachmar, R. S. Oftren, D. Pradhan, and S. Shrshta, 1996. Assessing land use/cover dynamics in two identified "hot spot" areas: Oudomxay Province of Lao P. D. R and Mekong Delta of Vietnam. GISDevelopment.net.
- Glanz, M.H. & Orlovsky, N.S. (1983). Desertification, a review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, 9: 15–22.
- Gobin, A., R. Jones, M. Kirkby, P. Campling, G. Govers, C. Kosmas, and A.R. Gentile, 2004. Indicators for pan-European assessment and monitoring of Soil Erosion by water. *Environmental Science & Policy* 7 (2004) 25–38.
- Haberl, H., M. Wackernagel, and T. Wrbka, Land use and sustainability indicators: An introduction. *Land Use Policy* 21 (2004) 193–198.
- Hellden, U., 1991. Desertification. Time for an assessment. *Ambio*, 20, 372-383.
- Hill, J., Peter, D. (1996), The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin – State of the Art and Future Research, European Commission, Luxembourg, pp.235.
- Hill, J., Sommer, S., Mehl, W., Mégier, J. (1994), "A conceptual framework for mapping and monitoring the degradation of Mediterranean ecosystems with remote sensing", in Hill, J., Peter, D. (Eds), The Use of Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin – State of the Art and Future Research, European Commission, Luxembourg, pp.23-40.
- Honey, F.R., Hick, P.T., Steckis, R.A., and McCulloch, I.M., 1984. Mapping dryland salinity using remotely sensed data. In 3<sup>rd</sup> Australasian remote sensing conference, Qld. P. 44-48.
- Hountondji, Y. C., N. Sokpon, and P. Ozar, 2005. Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in the sahel (1982-1999) for the monitoring of desertification. . Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.
- Howarth, C., 2001. Salinity mapping in the Murrumbidgee Catchment, 2001. Department of Land and Water Conservation in NSW.
- Huete A. R. (1988), A Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25: 295-309.
- Ibrahim, F. N., 1978. Anthropogenic causes of desertification In Western Sudan. *Geographical Journal*, 2:243-254.
- Jackson, Thomas J, Daoyi Chen, Michael Cosh, Fuqin Li, Martha Anderson, 2004, Charles Walthall, Paul Doriaswamy, E. Ray Hunt, Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans, *Remote sensing of Environment*, 92 (2004) 475–482.

Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle Rivers, NJ:Prentice-Hall. pp379.

Ji, C. Y., 2007. *Capacity Assessment of Sustainable Land Management Information Systems in Kazakhstan, Kyrgyzstan, and the Republic of Uzbekistan*. Draft Final Report submitted to CACILM.

Kaplan, S. L. Orlovsky, D. G. Blumberg, and E. Mamedov, 2006. Assessment of pasture degradation in Turkmenistan using remote sensing, Proceeding paper, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology VI, Манфрасная Ehlers; Ulrich Michel, Editors, 636603, October 20, 2006. [http://spie.org/x648.xml?product\\_id=689580](http://spie.org/x648.xml?product_id=689580).

Karavanova, E. I., D. P. Shrestha and D. S. Orlov, 2001. Application of remote sensing techniques for the study of soil salinity in semi-arid Uzbekistan. In Bridges et al. (eds), *Response to Land Degradation*, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., ISBN no. 81-204-1494-2, pp. 261-273. pdf file (629 KB).

Karnieli, A., U. Gilead, M. Ponzet, and T. Svoray, 2005. Satellite image processing and geo-statistical methods for assessing land degradation around watering points in the Central Asian Deserts. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005. pp 301-308.

Karnieli, A., Y. Bayarjargal, and M. Baysgalan, 2005. Do vegetation indices reliably assess vegetation degradation? Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Kharin, N.G., Orlovskii, N.S., Kogai, N.A. & Makulbekova, G.B. (1986). Contemporary status of and prognosis for desertification in the USSR arid zone. *Problems of Desert Development*, 5:58–68.

Kharin, N.G., Tateishi, R. & Harahsheh, H. (1999). *Degradation of the Drylands of Asia*. Japan: Chiba University.

Khan, N. M., Rastoskeuv, V. V., Shalina, E. V., Sato, Y., 2001, Mapping soil affected soil using remote sensing indicators- a simple approach with the use of GIS IDRISI. 22<sup>nd</sup> Asian conference on remote sensing, Singapore,

Khaier, F., 2003. Soil salinity detection using satellite remote sensing. MSc. thesis, ITC, Netherlands.

Kirkby M.J., Le Bissonais Y., Coulthard T.J., Daroussin J., and McMahon M.D. 2000. *Agricultural Ecosystems & environment*, 81(2): 125-135(11).

KOOHAFKAN, P. (FAO, Rome), 2003. Report of activities and achievements to COP6 of UNCCD, Havana Cuba.

Koohafkan, P., D. Lantieri, and F. Nachtergaele (2003) Land Degradation Assessment in Drylands (LADA): Guidelines for a Methodological Approach. Land and Water Development Division, FAO, Rome.

Kosmas, C., M. Kirkby and N. Geeson, 1999. The MEDALUS Project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission Project Report, EUR 18882.

Kuhlmann, T., G.W.J. van Lynden, and W.J. Veldkamp, 2002. Review of Data Sources. FAO LADA Report.

LADA, 2000, Report of the International Workshop on Dryland Degradation Assessment (LADA) Initiative (FAO, Rome; 5-7 December 2000).

Lane, A., and S. Bunning, Stocktaking of Dryland Biodiversity Issues in the Context of the Land Degradation Assessment of Drylands (LADA): Selection and Use of Indicators and Methods for Assessing Biodiversity and Land Condition. FAO AGLL, 2003.

Lantieri, D., 2003. Potential use of satellite remote sensing for land degradation assessment in drylands. FAO, Rome.

Lepers, E., E. F. Lambin, A. C. Janetos, R. DeFries, F. Achard, N. Ramankutty, and R. J. Scholes, 2004. A Synthesis of Rapid Land-Cover Change Information for the 1981-2000 period. *Bioscience*, 55(2):115-124.

Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994), *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Inc., 3rd ed.

Lui, H., & Huete, A., 1995. A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 33, No: 2, pp. 457-465.

Manzano, M. G., and J. Navar, 2000. Process of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscub in north-eastern Mexico. *J. Arid Environ.*, 44:1-17.

Metternicht, G., and Zinck J. A., 1997. Spatial discrimination of salt- and sodium-affected Почва surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 18(12), pp. 2571-2586(16).

Nachtergaele, F., Licon-Manzur, C., de la Cruz, M.J. 2007. Development of an indicator toolbox for monitoring and assessment of land degradation in drylands (LADA Project). <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/faopaprac/topic1/LADAIntroduction.pdf>. FAO, Rome.

Nielsen, R. D. and Wendroth, O 2003. *Spatial and Temporal Statistics: Field Sampling of Почvas and their Vegetation*. Geocology CATENA-VERLAG. Reiskirchen.

Numata, I., D. A. Roberts, O. A. Chadwick, J. Schimel, F. R. Sampaio, F. C. Leonidas, and J. V. Soares, 2007. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 109(3): 314-327.

Okin, G.S., 2000, Wind-driven desertification: process, modeling, remote monitoring, and forecasting, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, California Institute of Technology, Pasadena, California.

Okin, G. S., and Roberts, D. A., 2004. Remote Sensing in Arid Regions: Challenges and Opportunities. In Remote sensing for natural resource management & environmental monitoring, Vol. 4, (3rd Ed.), ed. USTIN Susan.

ОИЦМPan, L.R. 1988 (ed.). Guidelines for general assessment of the status of human-induced Почва degradation. Global assessment of Почва degradation (GLASOD). International Soil Reference and Information Centre, Working Paper and Reprint No. 88/4. 12 p.

ОИЦМPan, L.R., Hakkeling, R.T.A. and Sombroek, W.G. 1990. World map of the status of human-induced Почва degradation. A explanatory note. Second revised edition. ISRIC and UNEP. 34 p.

Orlovsky, L., S. Kaplan, N. Orlovsky, D. Blumberg, and E. Mamedov, 2006. Monitoring land use and land cover changes in Turkmenistan using remote sensing, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 99.

Palacios-Orueta, A., S. Khanna, J. Litago, M. L. Whiting, and S. L. Ustin, 2005. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Pickup, G., V. H. Chewings, D. J. Nelson, 1993. Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangeland using Landsat MSS data. Remote Sensing of Environment. 43(243-263).

Pickup, G., G. N. Bastin, and V. H. Chewings, 1998. Identifying trends in land degradation in non-equilibrium rangelands, Journal of Applied Ecology, 35(3): 365-377.

Ponce-Hernandez R. and Parviz Koohafkan, 2004, Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) (simplified version).

Prince, S.D., 1991: A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, **12**, 1313–1330.

Prince, S.D., 2002: Spatial and temporal scales of measurement of desertification. In: *Global desertification: do humans create deserts?* M. Stafford-Smith and J. F. Reynolds (eds.), Dahlem University Press, Berlin, pp. 23–40.

Rao, B.R.M. & Venkarataratnam, L., 1991. Monitoring of salt affected soils- a case study using aerial photographs, Salyut-7 space photographs, and Landsat TM data. Geocarto International, p. 5-11.

Reeves, M, J. C. Winslow, and S. W. Running, 2001. Mapping Weekly Rangeland Vegetation Productivity Using MODIS Algorithms. J. Range Manage. 54: A90-A105. March 2001.

Reeves, M., and D. J. Bedunah, 2006. A Comparison of Low Cost Satellite Imagery for Pastoral Planning Projects in Central Asia. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-39. 2006

Renard, K. G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter, P.J, 1991. "RUSLE-Revised universal Soil loss equation." *Soil and Water Conservation* 46: 30-33.

Robinson, S., E. J. Milner-Gullandw, and I. Alimaevz, 2003. Rangeland degradation in Kazakhstan during the Soviet era: re-examining the evidence, *Journal of Arid Environments*, 53: 419–439.

Saigal, S., 2003 (a). *Combating Desertification in Central Asia: An Overview*, ADB: Manila.  
Saigal, S., 2003 (b). *Issues and Approaches to Combat Desertification: Uzbekistan*, ADB: Manila.

Sadvokasov, R., 2000, The current state of the northern deserts, a case study of Betpak-dala. *Proceedings of the 7th Conference of Young Botanists*, Saint Petersburg

Siebert, S., P. Doll, S. Feick, and J. Hoogeveen, 2006. Global map of irrigated areas version 4.0. Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am Main/FAO, Rome.

Schomaker, M., 1997, Development of environmental индикаторы in UNEP. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. Pp. 35-36, Proceedings of a workshop organized by FAO 25-26 January 1996. Rome.

Sharma, R. K., K S Sundara Sarma and D K Das 1994, Crop Discriminational in Salt Affected Soils by Satellite Remote Sensing. Asian Conference on Remote Sensing.

Shepherd, K., and M. Walsh, 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66,pp988-998.

Schomaker, M. 1997. Development of environmental indicators in UNEP. In: *Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*. Pp. 35-56, Proceedings of a Workshop organized by FAO 25-26 January 1996. Rome.

Schowengerdt, R. A., Remote sensing – models and methods for image processing. 2<sup>nd</sup> Edition, AcaLMPic Press, 1997, p522.

Singh, R. P., and S. K. Srivastav, 1990. Mapping waterlogged and salt affected soils using microwave radiometers. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 11: 1879-2592.

Schlesinger W. H., Raikes J. A., Hartley A. E., and Cross A. F. (1996). On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*. 77: 364-374.

Smith, M. O., Ustin, S. L., Adams, J. B., and Gillespie, A. R., 1990a. Vegetation in desert. I. A regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing of Environment*, 31:1-26.

Smith, M. O., Ustin, S. L., Adams, J. B., and Gillespie, A. R., 1990b. Vegetation in desert. II. Environmental influences on regional vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 31:27-52.

SNEL, Mathilde e BOT, Alexandra. "Some suggested indicators for land degradation assessment of drylands". In: "Land Degradation Assesment in Drylands-LADA", International Electronic Mail Conference, accomplished in October, 09, november, 11, 2002.

Spies, B, and P. Woodgate, 2005. Salinity mapping methods in the Australian context. Available at <http://www.nrm.gov.au/publications/books/pubs/salinity-mapping-intro.pdf>.

Stellmes, M., S. Sommer, and J. Hill, 2005. Use of NOAA AVHRR NDVI-Ts feature space to derive vegetation cover estimates from long term time series for determining regional vegetation trends in the Mediterranean. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Syers, K., W. Sheldrick, and J. Lingard, 2002, Nutrient balance changes as an indicator of sustainable agriculture. 17<sup>th</sup> WCSS, 14-21 August 2002, Thailand.

SUKCHAN S, and Y. YAMAMOTO, Classification of Salt Affected Areas Using Remote Sensing and GIS, *JIRCAS Working Report No.30. Date unknown.*

TATEISHI, R., Land Cover Monitoring of Asia, Center for Environmental Remote Sensing(CEReS), Chiba University. [http://www-cger.nies.go.jp/lugec/Proceedings/14\)Tateishi.pdf](http://www-cger.nies.go.jp/lugec/Proceedings/14)Tateishi.pdf).

Thoams, D.S.G, and N. J. Middleton, 1994. Desertification: Exploring the myth. John Willey & Sons. Chichester.

Tucker C.J., C.L. Vanparet, and A. Gaston. 1983. Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel. *Remote Sensing Environ.* 17:233-249.

Tucker, C. J., Dregne, H. E., and Newcomb, W. W., 1991. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253:299-301.

Tucker, C. J., Newcomb, W. W., and Dregne, H. E., 1994. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 15:3547-3565.

Turner, B.L., D. Skole, S. Sanderson, G. Fisher, L. Fresco, and R. Leemans, 1995. Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan, IGBP Report No. 35, HDP Report No. 7.

Wischmeir, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation planning. USDA Agric. Handbook No. 537.

Udelhoven, T., T. Jarmer, B. Katlan, M. La-Abed, N., Assad, Z Makhamreh, and J. Hill, 2005. Surface degradation and recovery indicators in the Eastern Mediterranean region derived from long-term monthly 1km AVHRR/NDVI data. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Ulaby, F.T., Moore, R.K. and Fung, A.K. (1982). Physical mechanisms and empirical models for scattering and emission. In *Microwave Remote Sensing: Active and Passive* (vol. II), Artech House, Boston, MA, 816–921.

UNCCD, 2003. Land degradation in Asia and Activities related for UNCCD Implementation. Sixth Regional Meeting of the Asian Focal Points, Abu Dhabi, June 7-9, 2003.



Ustin, S. L., S. Jacquemoud, A. Palacios-Oreuta, L. Li, M. L. Whiting, 2005, Remote sensing based assessment of biophysical indicators for land degradation and desertification. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

Vagen, T.-G, K. Shepherd, and M. Walsh, 2006. Vis-Nir spectroscopy for characterization of landscape level change in Почва quality following deforestation and conversion in the highlands of Madagascar. *Geoderma*, 133(3-4): 281-294.

van Lynden, G.W.J., and T. Kuhlmann, 2002. Review of Degradation Assessment Methods. FAO LADA Report.

Van Lynden, G.W.J. and OIЦMPan, L.R. 1997. Assessment of the Status of Human-induced Soil degradation in South and South East Asia. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen. 35 p. <http://lime.isric.nl/Docs/ASSODEndReport.pdf>

Van Lynden, G. W. J., and T. Kuhmann, 2002. Review of Degradation Assessment Methods. FAO LADA.

Woodruff, N.P. and Siddoway, F..H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*,29 : 602-608.

Wylie, B.K., I. Dendra, R.D. Piper, J.A. Harrington, B.C., Reed, and G.M., Southward. 1995. Satellite-Based herbaceous biomass estimates in the pastoral zone of Niger. *J. Range Manage.* 48: 159-164.

Wolfgramm, B., B. Seiler, D. Guntli, H. Liniger, K. Shepherd, M. Kneubuhler, and T. Kellenberger, 2005, Combining soil spectral reflectance data with satellite imagery to assess impacts of land use on soil fertility in Tajikistan. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference on remote sensing and geoinformation processing in the assessment and monitoring of land degradation and desertification, Trier, Germany, 7-9 September, 2005.

World Resources Institute (in collaboration with Argentina LADA Taskforce), 2004. LADA pilot study: Application of an ecosystem approach to degradation assessment of drylands in Argentina.

Yang Weixi, Zhang Kebin, and Yang Xiaohui, FAO-LADA Report of Land Degradation Assessment for the Arid land Areas in China (Initial Draft).

**Приложение I** Биофизические индикаторы FAO LADA на глобальном, национальном и региональном уровнях, уровне водораздела/села и на уровне внутривоспроизводственных систем. (Источник: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/lada/emailconf.stm>)

### *Индикаторы на глобальном уровне*

<b>Индикаторы</b>	<b>Описание</b>	<b>BP SEIP</b>	<b>DPSIR</b>	
Климат: сильные ливневые дожди	Эрозия	BP	D	
Деформация почвы	Форма рельефа	BP	S	
Растрескивание почвы	Почва	BP	S	
Уклон/топография	Форма рельефа	BP	S	
Земельный покров	Земельный покров	BP	S	
Окисление	Почва	BP	S	
Сильные движения почвы	Эрозия	BP	S	
Уплотнение	Почва	BP	S	
Горная порода, камни и слои с твердым покрытием	Почва	BP	S	
Плотность домашних животных	Эрозия	BP	S	
Пески, наползающие на плодородные почвы	Почва/Эрозия	BP	SI	
Территория, подверженная засолению	Почва/Эрозия	BP	I	
Территория, подверженная заболачиванию	Почва/Эрозия	BP	I	
Потеря пахотного верхнего слоя и подстилающего слоя	Почва	BP	I	
Дюны и впадины	Форма рельефа	BP	I	
Засохшие колодцы	Эрозия	BP	I	
Замена постоянных вод на сезонные	Эрозия	BP	I	
Заиление водотоков и водохранилищ	Эрозия	BP	I	

### *Индикаторы на национальном и региональном уровнях*

<b>Индикаторы</b>	<b>Описание</b>	<b>BP SEIP</b>	<b>DPSIR</b>	
Управление землепользованием и внутривоспроизводственное управление	Земельный покров	BP	D P	
<i>Интенсивность ведения сельского хозяйства</i> - Соотношение фактически обрабатываемой земли на душу населения и потенциальной культивируемой земли на душу населения		BP	DR	
Вырубка леса	Земельный покров	BP	DP	
Уклон/характеристики местности	Форма рельефа	BP	D P	
Концентрация скота	Эрозия	BP	D	

			<i>P</i>	
Индекс засухи	Эрозия	BP	S	
<i>Частота засухи</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>S</i>	
<i>Индекс ежегодных осадков</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>S</i>	
Процент земельного покрова	Земельный покров	BP	S	
Чрезвычайная деформация земной поверхности	Эрозия	BP	S	
Территория, охваченная засолением	Почва/Эрозия	BP	S	
Территория, подверженная заболачиванию	Почва/Эрозия	BP	S	
Потеря/накопление почвы ( <i>ежегодные потери почвы</i> )	Почва	BP	SI	
Покрытие плодородных почв ползучими песками	Почва/Эрозия	BP	SI	
Качество воды/мутность	Эрозия	BP	SI	
Наводнение: серьезность и частота	Эрозия	BP	SI	
Изменение видового разнообразия (диких) животных	Эрозия	BP	I	
Изменение многообразия многолетних растений	Эрозия	BP	I	
<i>Изменение земельного покрова</i>	Земельный покров	<i>BP</i>	<i>I</i>	
Замена древесных видов колючим кустарником	Эрозия	BP	I	
<i>Замена кустарниковых растений и сокращение трав (перевыпас)</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
Соотношение домашний скот-верблюды/малые жвачные животные <sup>7</sup>	Эрозия	BP	I	
Отложение осадков в плотинах и реках	Эрозия	BP	I	
Больше извилин в русле рек	Эрозия	BP	I	
Структуры сбора воды	Эрозия	BP	R	
Лесонасаждение	Земельный покров	BP	R	
Технологии эффективного использования топлива	Эрозия/ Земельный покров	BP	R	

### ***Индикаторы на уровне села/водораздела***

<b>Индикаторы</b>	<b>Описание</b>	<b>BP SEIP</b>	<b>DPSIR</b>	
% орошаемой территории	Эрозия/ Земельный покров	BP	DP	
Основной источник топлива	Эрозия/ Земельный покров	BPSE	P	
Производство древесного угля	Эрозия/ Земельный покров	BPSE	P	

<sup>7</sup> Поскольку база природных ресурсов деградирована, потенциальная емкость системы будет снижена, что приведет к снижению соотношения домашний скот/верблюды : малые жвачные животные.

	покров			
Наиболее важные строительные материалы	Эрозия/ Земельный покров	BPSE	P	
Сезонное колебание воды в реках	Эрозия	BP	S	
Наводнение и изменение излучины рек и потоков	Эрозия	BP	S	
Плохой запах от воды: поверхностные и грунтовые воды	Эрозия	BP	S	
Хрупкие водоемы (пруды, ручьи, заболоченные участки)	Земельный покров /Эрозия	BP	S	
Территории, страдающие от засоления/заболочивания	Почва/Эрозия	BP	S	
Засоление подземных вод	Почва/Эрозия	BP	S	
Глубина водного горизонта	Эрозия	BP	S	
Случаи смерчей	Эрозия	BP	S	
Случаи пыльных бурь	Эрозия	BP	S	
Нехватка воды	Эрозия	BP	S	
Качество воды/мутность/«цветение воды»	Эрозия	BP	SI	
Покрывание плодородной почвы ползучими песками	Почва/Эрозия	BP	SI	
Иссушение колодцев и источников воды	Эрозия	BP	I	
Переход от постоянной подачи воды к сезонной	Эрозия	BP	I	
Погибающие деревья по берегам рек	Эрозия	BP	I	
Высокое содержание соли в поверхностных водах	Почва/Эрозия	BP	I	
<i>Объем заилнения за плотинами</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
<b>Образование оврагов</b>				
Использование почвосберегающих технологий	Эрозия	BP	R	
Охраняемые зоны	Земельный покров	BP	R	
Количество водонакопительных объектов	Эрозия	BP	R	
Объем воды, накапливаемой в защитных дамбах	Эрозия	BP	R	
Мелиорация заброшенных земель	Земельный покров	BP	R	
Углубление скважин	Эрозия	BPSE	R	
<i>Применение практик управления водоразделом</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>R</i>	
<b>- Восстановление растительности/лесов</b>				
Технологии энергосбережения	Эрозия/ Земельный покров	BPSE	R	

### ***Индикаторы на уровне внутрихозяйственной системы***

<b>Индикаторы</b>	<b>Описание</b>	<b>BP SEIP</b>	<b>DPSIR*</b>	
Позиция на склоне	Форма рельефа	BP	<i>D</i>	
Уклон	Форма рельефа	BP	D	

Основные источники топлива	Эрозия/ Форма рельефа	BPSE	D	
Отношение к применению и применение химических удобрений	Почва	BP	DR	
Строительные материалы (соломенные/деревянные дома)	Эрозия/Земельный покров	BPSE	<b>DP</b>	
Сжигание остатков урожая	Эрозия	BP	<b>P</b>	
Использование побочных продуктов	Почва	BP	<b>P</b>	
Применение навоза, компоста, мусора и/или термитников	Почва	BP	PR	
Интенсивность земледелия <ul style="list-style-type: none"> <li>- Соотношение возделываемых земель к не вспаханной земле<sup>8</sup></li> <li>- Соотношение монокультуры без вспашки к землям с севооборотом (F) (d, r) (*) (BP/SE)</li> <li>- Продолжительность периодов нахождения под паром<sup>9</sup></li> <li>- Наличие интенсивности вспашки</li> </ul>	Эрозия	BP	PR	
Интенсивность выпаса <ul style="list-style-type: none"> <li>- К-во животных на 1 га пастбищ (G, N)<sup>10</sup> (d, r)</li> <li>- Территория под пастбищами/выпасом животных (V, F) (d, r)</li> </ul>	Эрозия	BP	PR	
Смертность животных	Эрозия	BP	S	
Глубина корневой системы	Эрозия	BP	S	
Свойства измельчения и растрескивания	Почва/Эрозия	BP	S	
Уплотнение почвы	Почва/Эрозия	BP	S	
Обнажение подпочвенного слоя	Почва/Эрозия	BP	S	
Характер возделывания земли/Запашные культуры/Севооборот	Почва/Эрозия	BP	S <b>R</b>	
Защита почвы через использование особенностей рельефа (использование террас)	Эрозия/Рельеф местности	BP	S R	
Переход к монокультурам, главным образом, зерновым	Эрозия	BP	I	
Замена крупного рогатого скота/верблюдовых небольшими жвачными животными	Эрозия	BP	I	

<sup>8</sup> (Shyamsundar, 2002)

<sup>9</sup> (Shyamsundar, 2002)

<sup>10</sup> Глобальные данные имеются по некоторым видам крупного рогатого скота, овец и коз, лошадей и буйволов и верблюдов в WRI, таблица FG.4.

Переход от плуга из двух волов к упряжке из одного вола <sup>11</sup>	Эрозия	BP	I	
Урожайность и изменение продуктивности	Почва	BP	I	
Растения-индикаторы	Почва	BP	I	
Присутствие дополняющих видов дикорастущих растений	Эрозия	BP	I	
Замещение древесных видов колючим кустарником	Эрозия	BP	I	
<i>Замещение кустарниковых растений и сокращение площади произрастания трав (перевыпас)</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
<i>Объем илистых отложений на сельскохозяйственных землях</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
<b>Снижение плодородия почвы</b>	<i>Почва</i>	<i>BP</i>	<i>I</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>изменение уровня фосфористости почвы</i></li> <li>- <i>изменение способности почвенной биомассы связывать азот</i></li> <li>- <i>изменение уровня органических веществ в почве</i></li> <li>- <i>изменение уровня растворимых солей в почве</i></li> <li>- <i>изменение влагонакопляющих свойств почвы</i></li> <li>- <i>изменение глубины почвы</i></li> </ul>				
Внутрихозяйственные охраняемые территории	Эрозия/Земельный покров	BP	R	
Традиционные меры <b>SWC</b>	Почва/Эрозия	BP	R	
Применение мульчи	Почва/Эрозия	BP	R	
Переход на почвосберегающие технологии	Почва/Эрозия	BP	R	
Участки под <b>SWC</b>	Почва/Эрозия			
Внутрихозяйственные структуры для заготовки воды	Эрозия	BP	R	
<i>Фермеры, выращивающие виды/культуры, устойчивые к засухе, которые требуют меньше питательных веществ</i>	<i>Эрозия/Земельный покров</i>	<i>BP</i>	<i>R</i>	
<i>Чередование домашних животных</i>	<i>Эрозия</i>	<i>BP</i>	<i>R</i>	

<sup>11</sup> Поскольку база природных ресурсов деградирована, потенциальная емкость системы снижена, что приводит к снижению соотношения крупный рогатый скот/верблюды-малые жвачные. Одновременно, меньше скота имеется для такой сельскохозяйственной деятельности, как вспашка, а значит, имеет место сдвиг от вспашке на двух быках в плуге к одному.

## Приложение II Система условных обозначений земельного покрова CORINE

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
1. Искусственные поверхности	1.1. Городская структура	1.1.1. Непрерывная городская структура 1.1.2. Прерывистая городская структура
	1.2. Промышленные, торговые и транспортные объекты	1.2.1. Промышленные или торговые объекты 1.2.2. Дороги и железнодорожные сети и земля вокруг них 1.2.3. Порты 1.2.4. Аэропорты
	1.3. Шахты, отвалы и строительные площадки	1.3.1. Участки добычи минерального сырья 1.3.2. Горные отвалы 1.3.3. Строительные площадки
	1.4. Искусственные территории несельскохозяйственного назначения, покрытые растительностью	1.4.1. Зеленые городские площади 1.4.2. Спортивные и развлекательные сооружения
2. Сельскохозяйственные земли	2.1. Пашня	2.1.1. Неорошаемая пашня 2.1.2. Постоянно орошаемые земли 2.1.3. Рисовые поля
	2.2. Постоянные культуры	2.2.1. Виноградники 2.2.2. Плантации фруктовых деревьев и ягодные плантации 2.2.3. Оливковые рощи
	2.3. Пастбища	2.3.1 Пастбища
	2.4. Неоднородные сельскохозяйственные площади	2.4.1. Однолетние культуры, связанные с постоянными культурами 2.4.2. Комплексная обработка земли 2.4.3. Земли, занятые, в основном, сельским хозяйством, но со значительными участками естественной растительности 2.4.4. Участки агролесоводства
	3. Леса и полуприродные территории	3.1. Леса
	3.2. Кустарники и/или ассоциации травянистой растительности	3.2.1 Природные луга 3.2.2. Болота и пустоши 3.2.3. Жестколистная растительность 3.2.4. Промежуточные лесные кустарники
	3.3. Открытые пространства с незначительной растительностью или без растительности	3.3.1. Пляжи, дюны и песчаные равнины 3.3.2. Голая каменистая местность 3.3.3. Участки, покрытые редкой растительностью 3.3.4. Сгоревшие участки 3.3.5. Ледники и вечные снега
4. Заболоченные участки	4.1. Внутренние заболоченные местности	4.1.1. Внутренние болота 4.1.2. Торфяные болота
	4.2. Прибрежные заболоченные территории	4.2.1. Солончаки 4.2.2. Засоленные болота 4.2.3. Приливная зона

**ПРИЛОЖЕНИЕ III: РАСЦЕНКИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ  
ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

III.I Расценки на главные изображения с разрешением от низкого до умеренного

<b>ДАТЧИК/МИССИЯ</b>	<b>ЦЕНА В \$/КМ<sup>2</sup></b>	<b>ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ/ ОНЛАЙНОВЫЕ КАТАЛОГИ</b>
AVHRR1-2 / NOAA 6 to 14	0-0.000023	<a href="http://www.saa.noaa.gov">http://www.saa.noaa.gov</a>
AVHRR3 / NOAA 15 to 16	0-0.000023	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>
SEAWIFS / ORBVIEW 2	0.00019	<a href="http://skipjack.orbimage.com/arch.html">http://skipjack.orbimage.com/arch.html</a>
MODIS / TERRA, AQUA	0	<a href="http://modis.gsfc.nasa.gov/">http://modis.gsfc.nasa.gov/</a> <a href="http://lpdaac.usgs.gov/includes/edg_bridge.php?p_type_id=48&amp;ID=32">http://lpdaac.usgs.gov/includes/edg_bridge.php?p_type_id=48&amp;ID=32</a>
MSU-SK / RESURS 01-3	0.0025	<a href="http://sputnik.infospace.ru/resurs/engl/resurs.htm">http://sputnik.infospace.ru/resurs/engl/resurs.htm</a>
MSU-SK / RESURS 01-4	0.0025	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>
ATRS / ERS 1 & 2	0	<a href="http://www.esa.int/export/esaSA/earth.html">http://www.esa.int/export/esaSA/earth.html</a>
AATRS / ENVISAT <sup>12</sup>	0	<a href="http://192.111.33.173/ATSRNRT/">http://192.111.33.173/ATSRNRT/</a> <a href="http://www.esa.int">http://www.esa.int</a>
MERIS / ENVISAT	0	<a href="http://earth.esa.int/services/descw">http://earth.esa.int/services/descw</a> <a href="http://www.spotimage.com">http://www.spotimage.com</a>
VEGETATION / SPOT 4-5	0 – 0.00002	<a href="http://www.vgt.vito.be/">http://www.vgt.vito.be/</a> <a href="http://www.spot-vegetation.com/">http://www.spot-vegetation.com/</a>
WIFS / IRS 1C, P3, 1D	0.0012	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>
MVISR / FENG-YUNG 1C	0	<a href="http://www.fas.org/spp/guide">http://www.fas.org/spp/guide</a> <a href="http://www.cma.gov.cn">http://www.cma.gov.cn</a>
WFI / CBERS1	0.0000078	<a href="http://www.dgi.inpe.br/html/produtoscbbers.htm">http://www.dgi.inpe.br/html/produtoscbbers.htm</a>

Уровень цен указан для продуктов в категории 1 (необработанные данные) и 2 (с привязкой к географии).

<sup>12</sup> 18 января 2008 г. – Из-за бортовой аномалии, все низкоскоростные приборы Envisat и данные MERIS FR не были доступны. Также было зарегистрировано непродолжительное отсутствие ASAR. <http://envisat.esa.int/>



## III. II Расценки на изображения высокого разрешения

Спутник/датчик		Основной источник информации	Онлайновые каталоги	Цена в \$/км <sup>2</sup>
LANDSAT	1-5, <b>MSS</b>	<a href="http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm">http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm</a> <a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>	<a href="http://www.usgs.gov">http://www.usgs.gov</a> <a href="http://www.eurimag.com">http://www.eurimag.com</a>	0.0054
	4, 5, <b>TM</b>	<a href="http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm">http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm</a> <a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>	<a href="http://www.usgs.gov">http://www.usgs.gov</a> <a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a> (descw catalogue)	0.027-0.046
	7, <b>ETM+</b>	<a href="http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm">http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.htm</a> <a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>	<a href="http://www.usgs.gov">http://www.usgs.gov</a> <a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a> (descw catalogue)	0.018 – 0.158
SPOT	1-3, <b>HRV</b>	<a href="http://www.spotimage.com">http://www.spotimage.com</a>	<a href="http://sirius.spotimage.fr/francais/Welcome.htm">http://sirius.spotimage.fr/francais/Welcome.htm</a>	0.32-0.47
	4, <b>HRVIR</b>		<a href="http://sirius.spotimage.fr/francais/Welcome.htm">http://sirius.spotimage.fr/francais/Welcome.htm</a>	0.67-1.43
	5, <b>HRG</b>		<a href="http://www.spotimage.com">http://www.spotimage.com</a>	2.4-2.5
	5, <b>HRS (Pan)</b>		<a href="http://www.spotimage.com">http://www.spotimage.com</a>	1.7 (DTM)
LISS	1,2, IRS 1A, 1B, P2	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a> <a href="http://www.tbs-satellite.com">http://www.tbs-satellite.com</a>	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a>	
	3, IRS 1C & 1D	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a> <a href="http://www.tbs-satellite.com">http://www.tbs-satellite.com</a>	<a href="http://www.eurimage.com">http://www.eurimage.com</a> <a href="http://www.rsgs.ac.cn/12">http://www.rsgs.ac.cn/12</a>	0.47
	4, MN		<a href="http://www.rsgs.ac.cn/12">http://www.rsgs.ac.cn/12</a>	0.221
	4, MX		<a href="http://www.rsgs.ac.cn/12">http://www.rsgs.ac.cn/12</a>	0.866
TERRA, <b>ASTER</b>		<a href="http://asterweb.jpl.nasa.gov/">http://asterweb.jpl.nasa.gov/</a>	<a href="http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/">http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/</a> <a href="http://www.rsgs.ac.cn/12">http://www.rsgs.ac.cn/12</a>	0.0044 (L1A,L1B)
CBERS1, CCD, Cam		<a href="http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm">http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm</a>	<a href="http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm">http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm</a>	0.01
CBERS1, IR-MSS		<a href="http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm">http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm</a>	<a href="http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm">http://www.dgi.inpe.br/html/produtos-cbers.htm</a>	0.0047
RESURS F1, KATE 200		<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	?
RESURS F2, MK4		<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	?
RESURS 01-3 & 01-4, MSU E		<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	?
TK 350 / COSMOSKOMETA		<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	<a href="http://www.sovinformsputnik.su">http://www.sovinformsputnik.su</a>	?