

Мониторинг засухи по данным космических съемок

Е.В. Щербенко

*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32
E-mail: elenashcherbenko@yandex.ru*

Засуха является одним из негативных природных явлений, которое в экстремальных проявлениях приводит к гибели людей и к значительному материальному ущербу. В ряду чрезвычайных ситуаций по количеству погибших засухи занимают третье место в мире после землетрясений и циклонов. Для смягчения последствий засухи необходимо её своевременное обнаружение, мониторинг развития и оценка ущерба. В работе описаны признаки сельскохозяйственной засухи, которые отображаются на космических изображениях, полученных в видимом и тепловом диапазонах съемки, определены их критерии, предложены методы цифровой обработки космических изображений, позволяющие выделить территории, подвергшиеся засухе и разработана методика определения материального ущерба, нанесенного сельскому хозяйству данным явлением. В России одним из районов критического земледелия является Заволжье, в котором в благоприятные годы получают высокие урожаи зерновых культур, а в засушливые годы (например 1998 год) урожай теряется иногда до 100 %. Поэтому, в качестве тестового района выбран Приволжский Федеральный округ, включающий лесостепную и степную зоны в пределах Самарской, Оренбургской областей и Татарии. Кроме того для проверки отработки методов мониторинга засухи был выбран Краснодарский край, в котором в 2003 году начиналась засуха, но в критический момент обильные осадки ликвидировали угрозу гибели урожая. В работе использованы данные с КА «Ресурс-0» с аппаратуры МСУ-СК, MODIS (Terra) и AVHRR (NOAA-12 и NOAA-14).

Введение

Самой значительной и известной засухой в России в прошлом веке была засуха в Поволжье в 30-32 годах. Она усугублялась тем, что продолжалась несколько лет подряд. Это привело к длительному голоду и гибели миллионов людей, к тяжелому экономическому положению всего региона и страны в целом. Своевременное выявление территорий, подвергшихся засухе и передача информации в органы МЧС для принятия соответствующих мер по уменьшению человеческих и материальных потерь требует использования оперативной космической информации. В настоящее время, используя данные космических съемок, можно проследить развитие и распространение засухи, выявить территории, в разной степени пораженные этим явлением, дать своевременный прогноз по потере урожая.

Целью данной работы является выявление и описание признаков засухи, которые отображаются на космических изображениях, полученных в видимом и тепловом диапазонах съемки, нахождение индикаторов засухи и определение их критериев, разработка методов мониторинга развития засухи и разработка и апробирование методики вычисления возможного ущерба, нанесенного сельскохозяйственным культурам засухой.

В России одним из районов критического земледелия является Заволжье, в котором в благоприятные годы получают высокие урожаи зерновых культур, а в засушливые годы урожай теряется иногда до 100 %. Поэтому, в качестве тестового района выбран Приволжский Федеральный округ, включающий лесостепную и степную зоны в пределах Самарской, Оренбургской областей и Татарии.

При оперативном выявлении территорий, на которых наступила засуха, необходимо обследовать большие сельскохозяйственные территории, когда либо подвергающиеся засухе. Поэтому выбрана съемочная аппаратура, имеющая широкую полосу охвата (от 1 до 3 км), высокую частоту съемки (не реже 1 раза в сутки) и достаточное для выявления состояния растительности на сельскохозяйственных полях пространственное разрешение (не менее 150 м). Важным фактором выбора типа съемочной аппаратуры для проведения данной работы являлась доступность материа-

лов съемки. Данным требованиям отвечала аппаратура среднего пространственного разрешения МСУ-СК, установленная на спутнике Ресурс-О. В работе также были использованы данные с MODIS Terra, дневные и ночные космические снимки, полученные с аппаратуры AVHRR, установленной на космических спутниках NOAA-12 и NOAA-14. Временной интервал изображений взят с конца апреля по конец июля – начало августа за 1998 и 2000.

В работе была проверена применимость разных методов цифровой обработки космических изображений и найден новый индекс для выявления наступления, развития и распространения засухи. При цифровой обработке изображений использовано ПО ERDAS Imagine.

1. Определение понятия «засуха»

Засуха – это *несвойственное* данному региону длительное проявление сухих и жарких погодных условий. В регионах с устойчивым сухим и жарким климатом учитывают обычные погодные условия и выращивают культуры, устойчивые к засушливым явлениям или проводят комплекс оросительных мероприятий, что не приводит к потере урожая. В регионах, где обычные погодные условия позволяют выращивать различные культуры, в том числе и более требовательные к влаге без дополнительных мелиоративных мероприятий в засушливые годы возможна потеря значительной части или всего урожая. Такие районы, с неустойчивыми год от года погодными условиями, называют районами критического земледелия. Именно эти районы представляют интерес для нашего исследования.



Рис. 1. Схема развития засухи

Одной из причин возникновения засухи принято считать установление над сравнительно большой территорией суши стационарного антициклона, характеризующегося малой облачностью, обилием солнечного сияния, отсутствием осадков и сухостью воздуха [1]. Так возникает атмосферная засуха, которая усиливает транспирацию растений и иссушение почв, что приводит к возникновению почвенной засухи. Этим понятием характеризуют уровень увлажнения почвы, который значительно меньше потребности растений и который обуславливает их депрессивное состояние. Недостаток почвенной влаги приводит к сельскохозяйственной засухе, которая снижая урожай сельскохозяйственных культур и трав оказывает экономическое и социальное воздействие на общество и окружающую среду. Но не всегда атмосферные засухи приводят к сельскохозяйственным засухам. В том случае, если запасы почвенной влаги велики после схода снежного покрова или обильных дождей, сельскохозяйственная засуха может и не наступить. Схему [http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/climate/Drought.pdf] развития засухи во времени можно представить следующим образом (рис.1)

Засухи классифицируют по нескольким показателям:

- по количеству выпавших за месяц осадков;
- по степени снижения урожайности по сравнению с предыдущими 5 годами;
- по продолжительности бездождевого периода;
- по сезону года [2].

Кроме того, при классификации засух их обозначают по народнохозяйственным или иным специальным признакам. В частности, ряд исследователей к почвенной и атмосферной засухе добавляют гидрологическую, сельскохозяйственную, а также социально-экономическую [3].

2. Засуха 1998 года и ее параметры (характеристика)

Самарская область расположена в юго-восточной части европейской территории России в среднем течении крупнейшей в Европе реки Волги и занимает площадь 53,6 тыс. кв. км, что составляет 0,31% территории России. Рассматриваемый в работе регион расположен в двух природных зонах – лесостепной и степной, причем около 75 % территории принадлежит степной зоне[4].

2.1. Климатические параметры

В 1998 году природа поставила уникальный эксперимент по воспроизводству экстремальных параметров засухи в Среднем Поволжье. Вегетационный период 1998 года отличался острым дефицитом влаги высокими среднесуточными температурами воздуха. В мае – июне выпало 24,7 % осадков от средней многолетней величины [2]. Весенняя засуха сопровождалась высоким температурным фоном, превышение среднесуточной температуры составило в мае + 1,7 градуса, в июне + 4,6, в июле + 2,9. По данным Ильина А. В. и Калинина Ю. А. [5], во время вегетации в 1998 году практически отсутствовали осадки. Рост и созревание растений проходили при повышенных температурах воздуха (максимальная температура была достигнута в период конец трубкования – восковая спелость и составила 38 – 40 градусов) и среднесуточной относительной влажности воздуха на 10 – 15 % ниже среднемноголетней.

2.2. Агрономические параметры

Характерными особенностями вегетации пшеницы явились: высокая изреженность всходов в мае, ослабление и гибель части всходов от засухи и повреждение хлебной блохой в фазе 1 – 2

листа, ускоренное развитие и укорочение вегетационного периода до 55–77 (время от всходов до полной спелости растений) дней, слабое развитие вторичной корневой системы, неравномерное созревание и слабый налив зерна. Величина полевой всхожести семян при оптимальной норме высева 4,5 млн. семян на 1 га составила 60 %.

Показателем засухи может служить изменение в структуре валового сбора сельскохозяйственных культур. Из-за крайне неблагоприятных климатических условий в 1998 году погибло огромное количество зерновых культур – при доле зерновых в посевных площадях в 66% (яровых 48% и озимых 18%) их доля в валовом сборе составила всего 21% (яровых 12% и озимых 9%), т. е. в 3,14 раза меньше, чем доля в посевных площадях. Зато доля кормовых культур в валовом сборе 1998 года составляла 54% при доле в посевных площадях в 20% , т. е. превысила эту цифру в 2,7 раза. Произошло это за счет большого урожая сена однолетних и многолетних трав. Технические культуры при доле в посевных площадях, составляющей 11%, в валовом сборе составили всего 6%.

Наглядным показателем засухи 1998 года является график динамики валового сбора зерновых культур в Самарской области с 1913 по 1999 гг (рис. 2), который демонстрирует, что 1998 год был самым неплодородным за все время наблюдений.

Итак, из рассмотренного выше материала видно, что 1998 год на территории Самарской области был экстремально засушливым и его можно принять за эталон максимальной засухи.

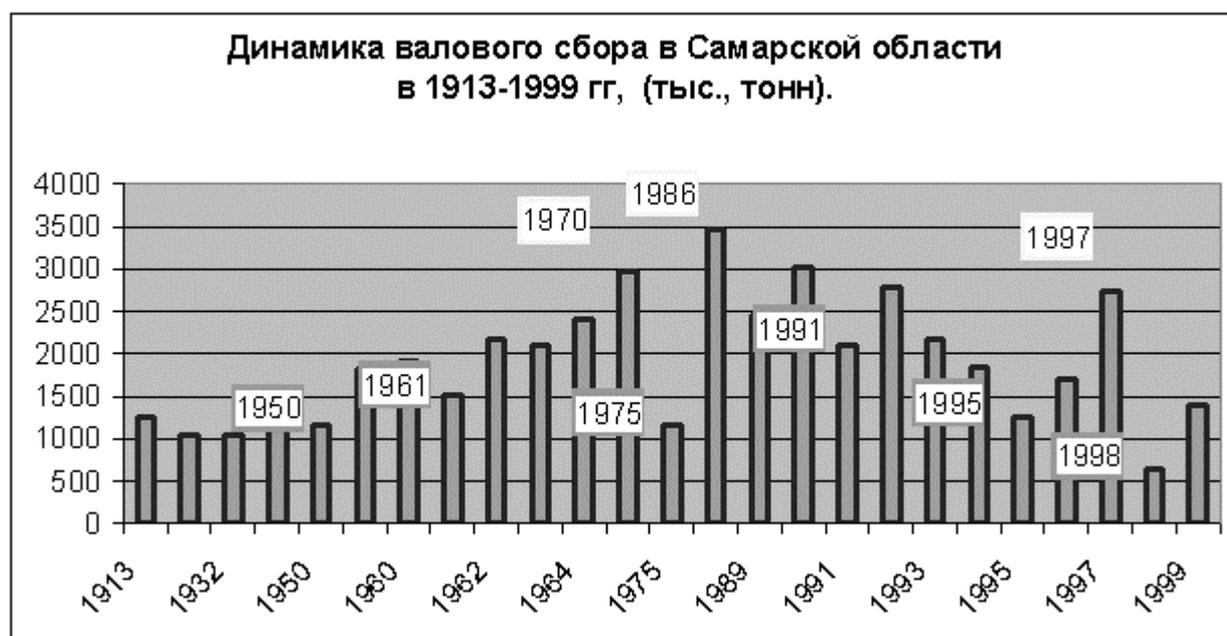


Рис. 2. Динамика валового сбора с/х продукции в Самарской области в 1913-1999 гг. в тыс. тонн

3. Методы мониторинга засухи по данным космических съемок

Параметрами, свидетельствующими о наступлении засухи, которые можно обнаружить по космической информации являются:

- повышенные температуры подстилающей поверхности;
- ухудшение состояния растительности в процессе вегетации, вплоть до полной гибели.

Задачу мониторинга засухи можно разделить на три этапа. Первый этап заключается в обнаружении территорий, на которых наступила засуха, второй этап – мониторинг состояния сельскохозяйственных культур во время засухи и третий этап – выявление возможного ущерба от гибели сельскохозяйственных культур в результате засухи.

3.1. Выявление территорий, на которых наступила засуха

Выбор признаков засухи по космическим изображениям основан на сравнении изображений двух лет съемки – вегетационного сезона 1998 года, известного сильнейшей (самой сильной за прошлое столетие) засухой и благоприятного для роста растений вегетационного сезона 2000 года.

Основным методом, который позволяет в количественном измерении оценить динамику состояния растительности в течение вегетационного периода является метод вегетационных индексов. Этот метод традиционно используется для определения состояния растительности, ее развития или гибели. Использование в течение вегетационного сезона хода NDVI, основанного только на видимом и ближнем ИК диапазонах спектра не дает полного представления о наступлении засухи по нескольким причинам. Во-первых, растительность может ухудшать свое состояние по причинам, не связанным с засухой (вымокание, болезни и т.д.). Во-вторых, в данный текущий год территория может быть использована не характерным для нее образом, например, совсем не засажена сельскохозяйственными культурами и в результате вегетация представлена сорной растительностью и т.д. Поскольку засуха характеризуется повышенными температурами подстилающей поверхности, то одним из важных параметров при выявлении этого явления является ход температурных кривых в течение вегетационного сезона. Однако, судить о наступлении сельскохозяйственной засухи только по повышенному фону температур тоже нельзя, поскольку не каждая метеорологическая засуха перерастает в сельскохозяйственную. Поэтому для более надежного выявления территорий, подверженных сельскохозяйственной засухе наряду с вегетационным индексом предложено использовать значения температур подстилающей поверхности. Температурные показатели, наряду с вегетационными индексами широко используются в практике мониторинга засух [6]. Для характеристики температурных изменений взяты значения яркостных температур, полученные в 4 спектральном канале NOAA/AVHRR (10,3-11,3 мкм). Анализ ряда ночных и дневных изображений в сезон засухи и во влажный год показал, что сельскохозяйственная засуха характеризуется не только повышенными дневными, но и повышенными ночными температурами. Вероятно, понижение температур ночью приводит к образованию росы и туманов, то есть к конденсации паров воды на растениях, что позволяет избежать растениям стресс от обезвоживания. В этом случае наступление атмосферной и почвенной засухи не приведет к развитию сельскохозяйственной засухи. Поскольку при наступлении засухи вегетационный индекс падает, а температуры подстилающей поверхности растут, то для более точного определения момента наступления засухи и территории ее распространения предлагается использовать «Индекс засухи» ID (Index of Drought), который прямо пропорционален сумме ночной и дневной температур и обратно пропорционален значению нормализованного вегетационного индекса.

Индекс «засухи» вычисляется по следующей формуле:

$$ID = (T_{4д} + T_{4н}) / NDVI,$$

где $T_{4д}$ и $T_{4н}$ – (максимальная) дневная и (минимальная) ночная температуры за сутки всего наблюдаемого участка, полученная в 4 спектральном канале AVHRR (или в аналогичном спектральном диапазоне другой съемочной аппаратуры), NDVI – нормализованный вегетационный индекс. Очевидно, что чем выше значения индекса ID, тем больше вероятность того, что на исследуемой территории наблюдается засуха.

3.2. Мониторинг состояния растительности на территориях, подверженных засухе

Для оценки ситуации, происходящей на исследуемой территории после обнаружения первых признаков засухи необходимо производить контроль состояния растительности. Продолжение засушливых условий может приводить к ухудшению ее состояния, а может на определенном этапе развития не повлиять на урожай. Например, майская-июньская засуха скорее всего приведет к угнетению растений, а в экстремальных случаях – к их гибели. Июльская засуха менее сурова, так как растения к этому времени уже успевают пройти этап роста, а на этапе созревания они не

столь чувствительны к наличию влаги. Своевременные дожди (или усиленный полив) могут снять угрозу гибели сельскохозяйственных культур и засуха может прекратиться сама собой. Однако, чтобы вовремя среагировать на возможную потерю урожая, необходимо раз в декаду (а возможно чаще) вплоть до исчезновения признаков засухи или завершения вегетационного сезона производить оценку состояния сельскохозяйственных культур.

Предложенный индекс засухи позволяет оценить степень развития засухи для территории в целом. Однако, для принятия необходимых мер по ликвидации или уменьшению влияния засухи, необходимо знать состояние сельскохозяйственных культур на конкретных сельскохозяйственных полях. Для выявления изменений, происходящих с сельскохозяйственными культурами в течение засушливого периода на были предложены следующие методы цифровой обработки:

- кластерный анализ двух (или более) совмещенных изображений, полученных с интервалом в 5-10 дней;
- метод вегетационных индексов (индекс NDVI вычислялся и анализировался для каждого выделенного кластера);
- метод главных компонент.

Кластерный анализ (ISODATA) и метод анализа спектральных кривых. Распознавание без обучения обычно используют для разбиения изображения на однородные по спектральной отражательной способности классы. Использование в нашем случае этого метода обусловлено тем, что изначально неизвестно состояние растительности на полях и невозможно провести какое-либо обучение. В качестве исходного изображения был использован многослойный файл, собранный из двух спектральных каналов (красного и ближнего ИК) четырех дат съемки. Период съемки охватывает начало вегетационного сезона, время развития растительности до наступления засухи, время максимального развития сельскохозяйственной засухи и окончание вегетационного сезона. В данном случае выделенные классы соответствовали растительности в разном состоянии в течение вегетационного сезона.

Анализ и интерпретация выделенных классов проводились несколькими способами. Во-первых, это метод анализа спектральных кривых выделенных классов. Известно, что чем лучше состояние растительности, тем выше ее отражательная способность в ближнем ИК-канале спектра. Поэтому высокие значения отражательной способности растительности в четных слоях изображения говорят о хорошем состоянии растительности в течение всего вегетационного сезона и наоборот, высокие значения в четных слоях за первые две даты и низкие значения за последние даты говорят об ухудшении или гибели растительности. Значения нечетных каналов помогают идентифицировать нерастительные объекты, такие как города, открытые почвы, водные объекты.

Использование многослойного файла при распознавании облегчает интерпретацию полученных результатов и уменьшает ошибки при распознавании и сличении сельскохозяйственных полей с разным состоянием растительности. Этот подход тем более удачен, поскольку применим к территории, где величина полей превышает пространственное разрешение изображений всего в 3-5 раз. Для надежного выявления растительности, меняющей свое состояние от даты к дате рекомендуется при неконтролируемой классификации задавать не менее 40 классов.

Метод вегетационных индексов. Интерпретация полученных кластеров проводится как методом анализа спектральных кривых классов, так и методом вегетационных индексов. В качестве оценки состояния растительности, соответствующей каждому выделенному классу использовался нормализованный вегетационный индекс (NDVI), как наиболее работоспособный при определении состояния растительности на разных типах почв. В качестве входных параметров для вычисления NDVI были средние значения кластеров, соответствующих разному состоянию растительности.

Метод главных компонент. Традиционно метод главных компонент используют для сжатия информации и избавления от разного типа шума. Однако он может успешно применяться и при

тематическом дешифрировании [7]. Наибольшие дисперсии (контрасты), присутствующие в многозональном (многослойном) изображении, составляют первую главную компоненту. Последующие главные компоненты содержат данные с меньшими дисперсиями (контрастами). По этим компонентам, после устранения влияния предыдущих, можно выделить очень тонкие детали изображения, которые были затенены более высоким контрастом в первоначальном изображении.

При исследовании изменения состояния растительности в течение вегетационного сезона (анализ ряда дат съемки) первая главная компонента включает в себя данные с самыми высокими контрастами, которые характерны для растительности в неизменно хорошем состоянии. (Нужно учитывать, что при анализе используются два спектральных канала – красный и ближний ИК, где контрастность наиболее значительна у хорошей растительности). Вторая главная компонента, включает изменения данных с меньшими контрастами, т.е. выявляет изменения состояния растительности как в лучшую сторону, так и в худшую сторону. Однако, значения второй главной компоненты выше в случае улучшения состояния растительности, в то время как территории с погибшими культурами соответствуют низким значениям второй главной компоненты.

3.3. Определение ущерба от гибели с/х культур в результате засухи

Зная площади погибших в результате засухи сельскохозяйственных культур еще до сбора урожая можно прогнозировать возможный ущерб. На рисунке 3 представлена блок-схема расчета величины ущерба, нанесенного сельскохозяйственным культурам в результате засухи с использованием космических данных.

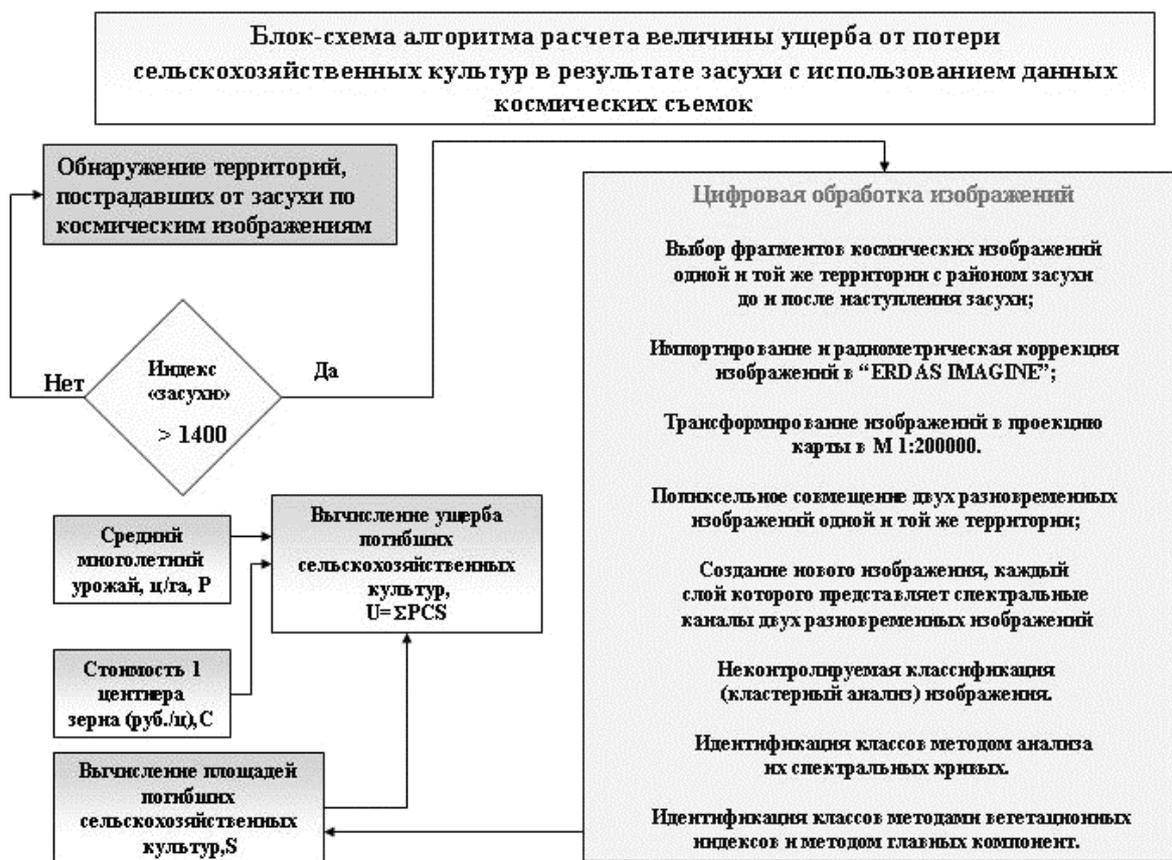


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета величины ущерба от потери с/х культур в результате засухи с использованием космических данных

4. Анализ полученных результатов

4.1. Использование Индекса «засухи» при анализе ситуации в Заволжье в 1998 и 2000 годах

В качестве одного из параметров определения засухи выбран временной ход вегетационного индекса NDVI, который является наиболее устойчивым к типу аппаратуры, высоте солнца, орбите спутника. Значения индекса получены по данным с КА «Ресурс-0», AVHRR NOAA и Терра в течение вегетационных сезонов 1998 г. (год экстремальной засухи), 2000 г. (влажный год) на территорию Заволжья и 2003 г. (майская засуха, прерванная дождями на территорию Краснодарского края). Средние значения NDVI в засушливом 1998 году в начале июня достигли значений 0,4, то есть таких же, которые были в конце мая влажного 2000 года. Но затем, к 12 июня в 1998 году эти значения начали снижаться и к 18 июня достигли значений 0,2. В то время как в 2000 году в конце июня они выросли до 0,6 и начали снижаться только в июле. Показательным может быть также среднее значение NDVI (0,4), полученное 21 июня 1999 года. Оно ниже, чем во влажный год, но выше, чем в год экстремальной засухи, что говорит о том, что 1999 году в Заволжье была слабая (средняя) засуха.

В мае 2003 года в Краснодарском крае наблюдалось развитие метеорологической засухи, которая в сельскохозяйственную засуху не переросла из-за начавшихся дождей. Наши наблюдения показывают, что значения NDVI на этой территории уменьшились в мае до 0,58 по сравнению с апрелем (0,65), а затем, не достигнув критических значений, в начале июня начали расти и увеличились до 0,63.

Анализ полученных данных позволяет оценить критические значения индекса NDVI для растительности степной и полустепной черноземной зоны как 0,2-0,3.

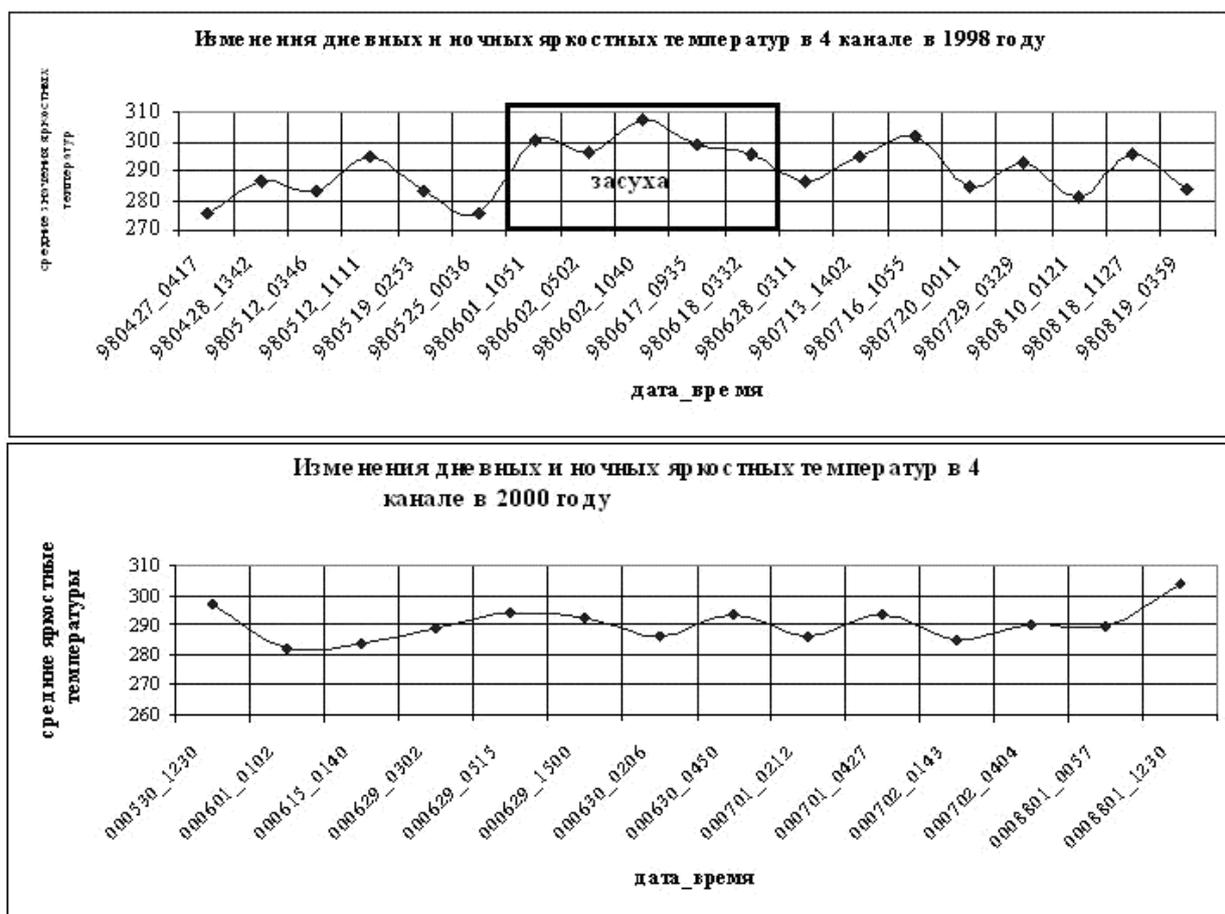


Рис. 4. Ход дневных и ночных температур во время засухи 1998 года и во влажное лето 2000 г.

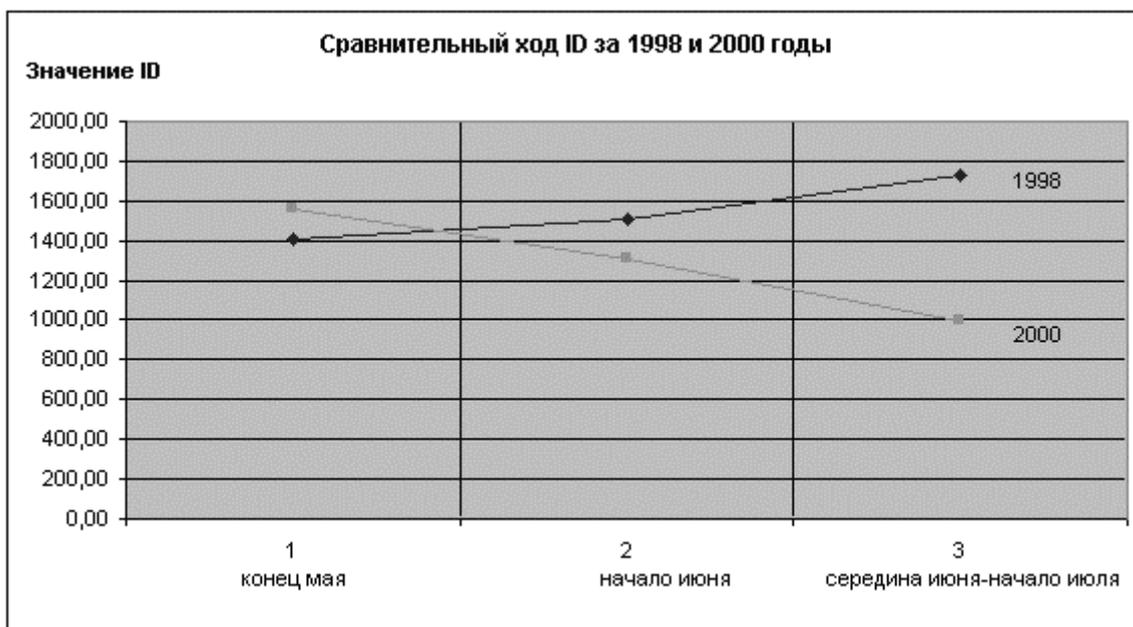


Рис. 5. Изменение «Индекса засухи» ID в вегетационные сезоны 1998 и 2000 гг.

Индекс «засухи» был опробован на изображениях с КА NOAA, полученных в апреле – августе засушливого 1998 года и в мае – августе влажного 2000 года. На рис. 4 представлен ход температурных кривых двух сравниваемых летних сезонов, из которого видно, что в 1998 году с начала по конец июня дневные и ночные температуры не опускались ниже отметок 295 К (22 С°), в то время как в 2000 году в этот же период ночью температуры были около 280 К, а днем 295 К.

Для вычлечения и анализа *Индекса «засухи»* на территории Заволжья в период развития засухи в 1998 году и в аналогичный вегетационный отрезок в 2000 году были отобраны по три пары дневных и ночных снимков.

На рис. 5 представлен сравнительный ход кривой *Индекса «засухи»* (ID) в 1998 и 2000 годах. Синяя кривая, отображающая ход индекса во время засухи 1998 года, поднимается вверх и достигает значения больше 1700. Это показывает ухудшение состояния растительности. В это же время в 2000 году индекс падает, демонстрируя увеличение растительной массы.

Таким образом можно сделать вывод, что для территории Поволжья и Заволжья значения индекса ID в июне от 1000 до 1400 являются нормальными, значения индекса от 1400 до 1600 свидетельствуют о средней и сильной засухе, а свыше 1600 – катастрофической засухе. Однако следует подчеркнуть, что эти значения индекса проверялись только для региона Поволжья и не обязательно подходят для других регионов.

4.2. Мониторинг состояния сельскохозяйственной растительности на территории Заволжья в 1998 г.

Мониторинг роста, развития и гибели от засухи растений в 1998 году по отдельным сельскохозяйственным полям на территории Заволжья производился по многослойному изображению со спутника “Ресурс-0”, собранному из красного и ближнего ИК-каналов спектра за четыре даты, которые представили весь вегетационный период от схода снежного покрова до сбора урожая: 30 апреля, 2 июня, 18 июня и 5 августа 1998 года.

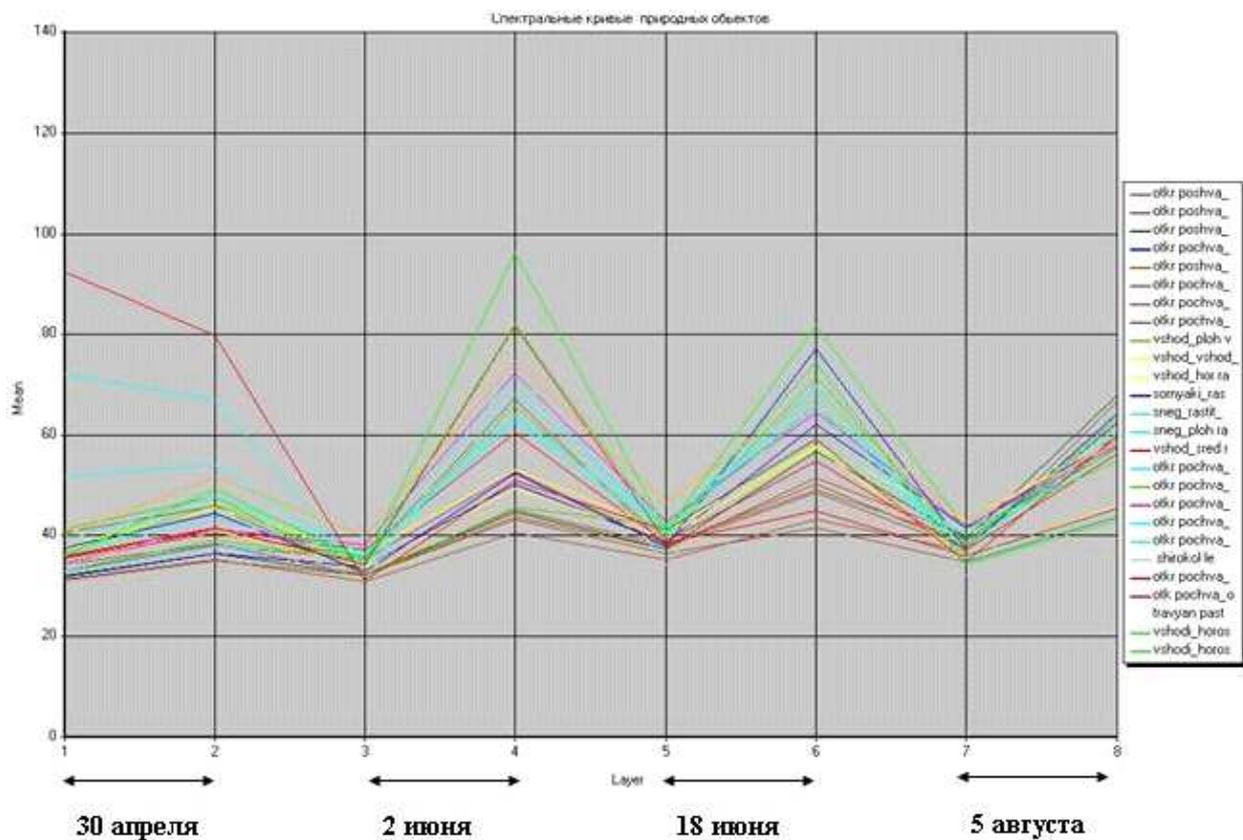


Рис. 6. Спектральные кривые природных объектов, полученные по данным с КА «Ресурс-О» МСУ-СК на территорию Заволжья в 1998 г.

Классы, средние значения которых имели наибольшие различия в нечетных и четных каналах и наибольшие значения в четных каналах окрашивались в зеленые тона, которые соответствовали растительности в хорошем состоянии (рис.6). Уменьшение средних значений от 4 к 6 слою означало ухудшение состояния растительности между 2 июня и 18 июня. Такие классы окрашивались в сиреневый, красный и желтый цвет. Классы, средние значения которых в четных слоях постоянно возрастали или оставались на одном уровне окрашивались в синий или бирюзовый цвет. Эти классы соответствовали развивающейся растительности.

Правильность интерпретирования выделенных классов по спектральным кривым проверена по значениям NDVI, вычисленным и проанализированным для каждого класса.

Метод главных компонент позволил наглядно представить полученные в результате обработки данные двух дат съемки – 2 и 18 июня 1998 года и сравнить их с результатами кластеризации, описанными выше. Значения первой главной компоненты выше у классов с хорошим состоянием растительности, наблюдаемым в течение всего вегетационного сезона, а низкие значения – у классов с плохим состоянием растительности хотя бы за одну дату. Значения второй главной компоненты четко привязаны к улучшению состояния растительности от даты к дате. Чем сильнее развивалась растительность (синий цвет), тем выше значение второй главной компоненты у соответствующего класса. И наоборот, классы, соответствующие растительности, ухудшившей свое состояние, имеют низкие значения второй главной компоненты. Самые низкие и отрицательные значения вторая главная компонента имеет в случае с погибшей растительностью (рис.7).

В результате проведенного разными методами анализа изображений разных дат в течение вегетационного сезона удалось разделить всю сельскохозяйственную растительность, представленную на данной территории на две большие группы, соответствующие развивающейся растительности и погибающей или погибнувшей растительности.

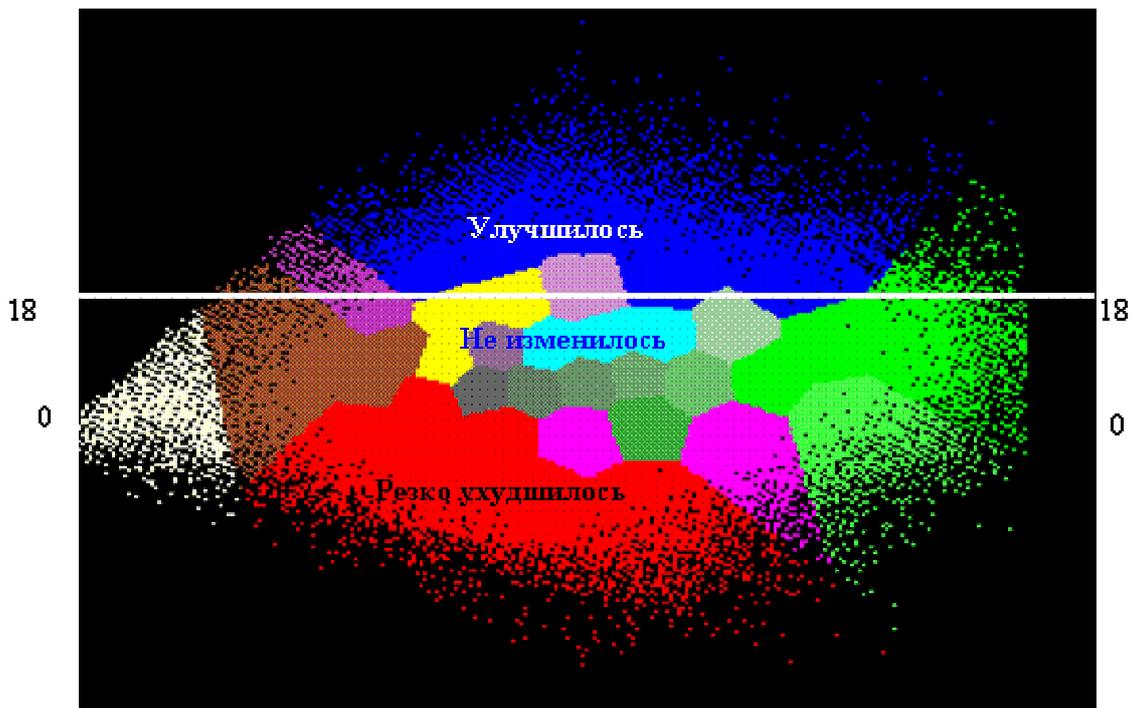


Рис. 7. Распределение классов по состоянию с/х культур в системе значений первой (ось X) и второй (ось Y) главных компонент изображений, полученных 02.06.98 и 18.06.98

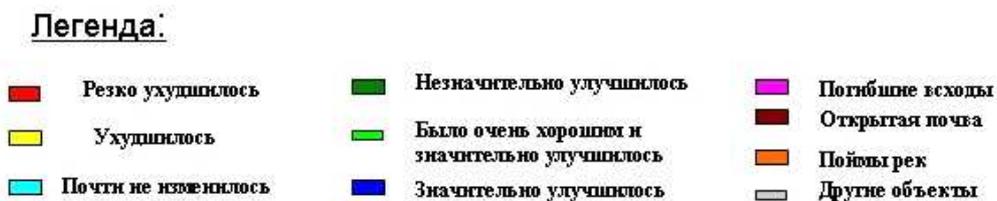
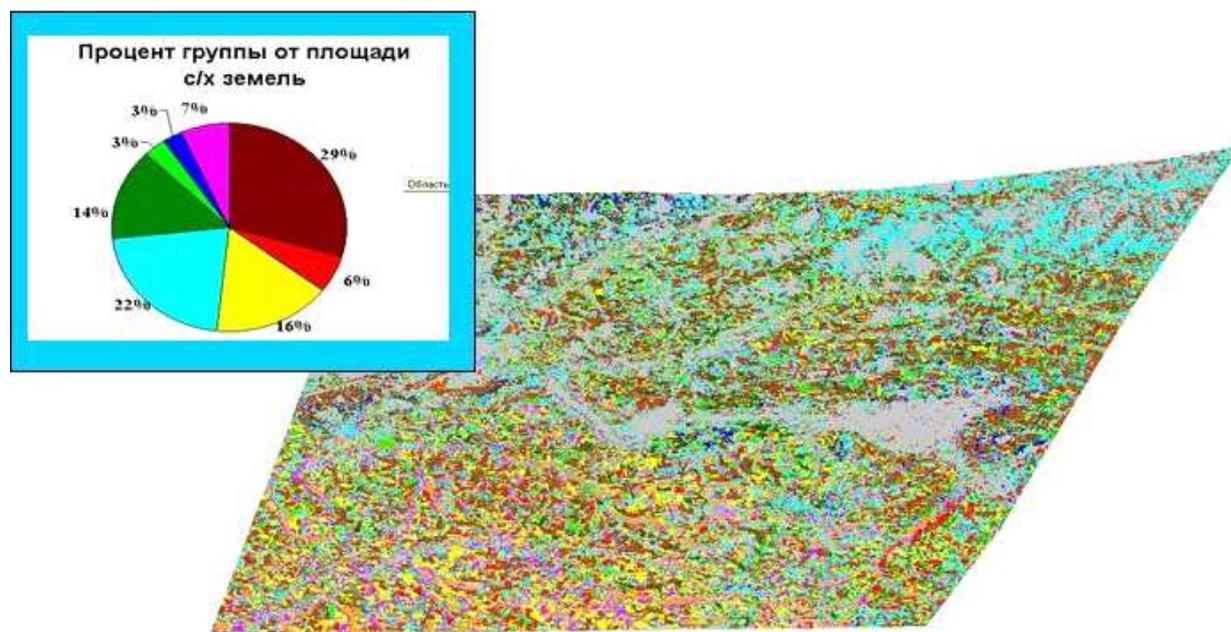


Рис. 8. Схема распознавания состояния сельскохозяйственных культур на территории Заволжья в 1998 году во время сильной засухи

Схема распознавания состояния сельскохозяйственных культур (рис.8) показывает, что наиболее жестокой засуха была в южных районах Заволжья (Самарская и Оренбургская области). Здесь погибло практически 100 % зерновых культур (преобладают сиреневый, коричневый и красный цвета). Только по берегам рек и низинам, где преобладают луга и пастбища состояние растительности осталось хорошим (зеленый цвет). На северной части территории (Республика Татария) засуха проявилась не так сильно, здесь преобладают сельскохозяйственные поля, состояние растительности которых почти не изменилось. В северо-западной части исследуемой территории преобладают бирюзовый и синий цвета, что говорит о слабой степени засухи.

4.3. Ущерб, нанесенный засухой сельскохозяйственным культурам в 1998 году в Заволжье

Предложенный метод позволил помимо разбиения объектов на классы с различным состоянием растительного покрова вычислить процент каждого класса от площади всех сельскохозяйственных земель области и получить таким образом площади полей с погибшими культурами. Общее количество угодий, относящихся ко второй группе составило 58% или около 2 млн.га.

Ущерб, нанесенный сельскохозяйственным культурам в результате засухи, в денежном эквиваленте (рублях) равен количеству прогнозируемого с этой территории урожая (центнерах), умноженного на стоимость 1 центнера зерна (руб/ц), т.е. $U=DC$, где D – прогнозируемый урожай с площади, на которой с/х культуры погибли в результате засухи (ц), C – стоимость 1 центнера зерна (руб/ц). $D=SP$, где S – площадь погибших культур (га), P – среднеемноголетнее значение урожая для данного региона (ц/га). Тогда $U=\Sigma SPC$.

Таким образом, вычислив площади погибших сельскохозяйственных культур, а также зная среднеемноголетние значения урожая зерновых в данном регионе и стоимость зерна, можно вычислить ущерб, нанесенный засухой сельскохозяйственным культурам в данном регионе (таблица 1).

Таблица 1. Ущерб, нанесенный засухой сельскохозяйственным культурам в 1998 году в Заволжье

Объект	Площадь в тыс га (S)	Стоимость 1 центнера зерна руб./ц (C)	Среднестатистический многолетний урожай (P), ц/га
Открытая почва	984,6026	320	19
Состояние растительности резко ухудшилось	195,9852	320	19
Состояние растительности ухудшилось	553,66	320	19
Погибшие всходы	219,661	320	19
Всего:	1953,9		
$U=\Sigma SPC=1953910 \times 19=11,8$ млрд.руб			

Таким образом недобор зерна в 1998 году в Заволжье составил 11,8 млрд.руб.

Литература

1. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 2, издание 4, М.: Советская энциклопедия, 1971, 1231с.
2. Головаченко А. П. Засухи и селекция засухоустойчивых сортов яровой пшеницы в Среднем Поволжье // Сборник научных трудов “Проблемы повышения продуктивности полевых культур”, 1999, Самара, с. 109-115.
3. Дмитриенко В. П. Методические указания по комплексной оценке влияния засушливых явлений на урожайность зерновых культур и сахарной свеклы// М.,1992. 84с.
4. Исаченко А. Г. Ландшафты СССР// ЛГУ, 1985, 319с.
5. Ильин А. В, Калинин Ю.А. Продуктивность различных по скороспелости групп сортов ярового ячменя в экстремальных условиях 1998 года в связи с предыдущими годами // Селекция с\х культур на устойчивость к стрессовым ситуациям в Поволжье (сборник научных трудов), Кинель,1999.
6. Kogan F.N. Global drought watch from space // 1997. Bulletin of the American Meteorological Society. N 78. P. 621-636.
7. Щербенко Е.В., Асмус В.В., Андроников В.Л. Методика цифровой обработки аэрокосмической информации для составления почвенных карт // Исследование Земли из космоса, 1990, № 4 с. 102-112.