

И.Ю. Савин

(Институт космических исследований РАН)
В 1984 г. окончил географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. В настоящее время – заведующий сектором спутникового мониторинга продуктивности земель Института космических исследований РАН. Доктор сельскохозяйственных наук.

Е.А. Лупян

(Институт космических исследований РАН)
В 1984 г. окончил Московский физико-технический институт (МФТИ). В настоящее время – заместитель директора Института космических исследований РАН, заведующий отделом технологий спутникового мониторинга. Доктор технических наук.

С.А. Барталев

(Институт космических исследований РАН)
В 1984 г. окончил Московский институт инженеров геодезии, аэросъемки и картографии (МИИГАиК). В настоящее время – заведующий лабораторией спутникового мониторинга наземных экосистем Института космических исследований РАН. Доктор технических наук.

Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России

Сельскохозяйственное производство практически во всем мире отличается нестабильностью. Особенно заметно это проявляется в условиях глобальных климатических изменений, а также в странах с преобладанием экстенсивных методов возделывания сельскохозяйственных культур. Резкие колебания климата в последние годы наряду с затянувшимся в сельском хозяйстве переходным периодом от планового советского хозяйства к рыночным условиям, а также низкая интенсивность возделывания культур приводят к повышенной нестабильности сельскохозяйственного производства в России. В условиях подобной нестабильности высокое значение приобретает получение объективной информации о состоянии сельскохозяйственного производства, в том числе заблаговременное прогнозирование и точная оценка объемов производства сельскохозяйственной продукции, без которого Министерству сельского хозяйства страны, а также администрациям субъектов РФ практически невозможно оперативно реагировать на изменение конъюнктуры аграрного рынка и сглаживать его колебания.

Следует отметить, что до сих пор основной информацией, которая используется при проведении различных оценок сельскохозяйственного производства, в том числе состояния посевов, являются результаты отчетов различных региональных респондентов и информация наземных выборочных измерений. Так, например, основным источником информации для составления прогнозов урожайности служат результаты полевых обследований состояния посевов сельскохозяйственных культур, которые несколько раз в сезон вегетации осуществляет редкая сеть агрометеорологических станций и постов. Посевы обследуются на ограниченном количестве полей, а их результаты экстраполируются на территорию всей страны. В результате качество оценки состояния посевов на уровне страны или отдельных регионов является достаточно невысоким, а получение информации на уровне страны – недостаточно оперативным. Все это значительно снижает качество прогнозов производства сельскохозяйственной продукции.

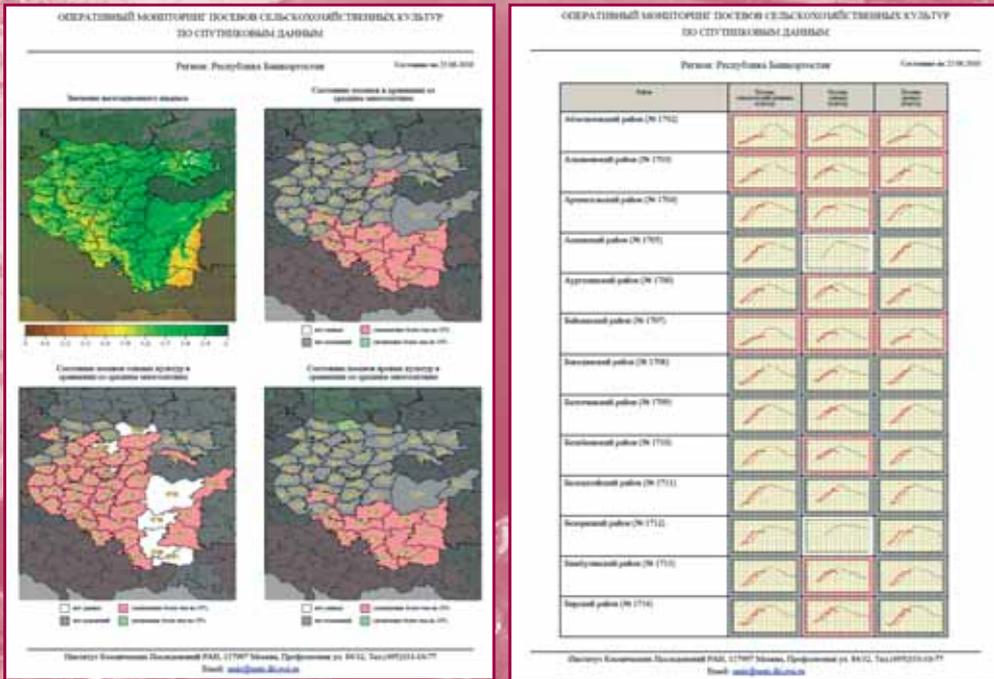


Рис. 1.
Пример бюллетеня «Оперативный мониторинг состояния посевов»

Бурное развитие в последние десятилетия дистанционных, в первую очередь спутниковых, методов наблюдений открыло новые возможности для организации оперативного и объективного мониторинга посевов сельскохозяйственных культур. В настоящее время работает достаточно большое количество спутников, на борту которых установлена разнообразная аппаратура, которая достаточно эффективно может использоваться для мониторинга сельскохозяйственных земель и состояния посевов. Используя возможности существующих систем уже сегодня возможно построение дистанционных систем мониторинга земель агропромышленного комплекса, которые позволяют обеспечить объективную оперативную оценку состояния посевов как на уровне страны или крупных регионов, так и на уровне отдельных хозяйств и агропромышленных объединений.

При этом в настоящее время имеются спутниковые системы, обеспечивающие:

- достаточное пространственное разрешение для проведения анализа посевов на уровне отдельных полей;
- оценку на основе мультиспектральных наблюдений различных вегетационных индексов, характеризующих состояние растительности;
- проведение достаточно частых наблюдений (раз в день или раз в несколько дней), необходимых для контроля динамики развития растений и их реакции на воздействие неблагоприятных факторов;
- достаточно длинные ряды наблюдений, необходимые, например, для выявления различных аномалий в развитии растительности на основе сравнения данных различных вегетационных сезонов.

Следует особо отметить, что действующие сегодня спутниковые системы и технологии сбора, обработки и

распространения данных позволяют найти достаточно низкокзатратные решения, необходимые для обеспечения окупаемости систем дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель.

Анализ доступных в настоящий момент спутниковых данных показывает, что для организации посевов на уровне всей страны или отдельных субъектов РФ в наибольшей степени всем перечисленным выше критериям удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках NASA Terra и Aqua. MODIS позволяет получать информацию в нескольких спектральных каналах, на основе которых можно рассчитывать вегетационные индексы; пространственное разрешение данных (250 м) позволяет получать информацию о состоянии растительности на уровне отдельных полей практически во всех основных сельскохозяйственных регионах России; данные MODIS могут быть получены ежедневно и доступны в настоящее время за последние 10 вегетационных сезонов и распространяются свободно почти в реальном режиме времени. В сочетании со свободно распространяемыми данными со спутников серии Landsat, а также данными различных коммерческих спутниковых систем (например, RapIDEye) данные MODIS могут служить хорошей основой для мониторинга посевов в стране. Такая информация сегодня, в частности, является основой Системы дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК) [1].

Особое значение при построении систем дистанционного мониторинга приобретает возможность организации полностью автоматизированной обработки спутниковых данных. Она позволяет получать максимально объективную информацию, не зависящую от субъективного мнения отдельных специалистов, а также позволяет минимизировать расходы на эксплуатацию систем мониторинга. Такие технологии в последние годы активно разрабатываются и развиваются в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) [2]. Они, в частности, позволили создать и постоянно актуализировать архив спутниковых наблюдений на территорию России за период с 2000 г. по настоящее время.

На основе технологий и архивов, созданных в ИКИ РАН, разработаны автоматизированные методы мониторинга и анализа состояния посевов в любом регионе России и оперативной и объективной оценки последствий воздействия на посевы негативных факторов. В основе созданных технологий лежит анализ временно-

го хода вегетационных индексов и его сравнение с ходом индекса в предыдущие сезоны.

Мониторинг состояния посевов осуществляется автоматически для всех пахотных угодий России в течение всего сезона вегетации. Маски пахотных угодий на каждый вегетационный сезон также создаются путем анализа многолетних рядов данных MODIS [3]. Информация о состоянии растительности обновляется раз в неделю. Результаты мониторинга, обобщенные на уровень субъекта РФ и административного района страны, доступны на открытом сайте Terra Norte (<http://193.232.9.72/terranorte/index.sht>).

Информация на сайте представлена в виде карт и графиков.

На картах представлены:

- текущие значения вегетационного индекса NDVI для всей территории региона без учета расположения пахотных угодий;
- разница осредненного для всех пахотных угодий региона значения вегетационного индекса со среднемноголетним значением на данную календарную дату;
- разница осредненного в пределах административного района для всех полей с озимыми культурами значения вегетационного индекса со среднемноголетним значением на данную календарную дату;
- разница осредненного в пределах района для всех полей с яровыми культурами значения вегетационного индекса со среднемноголетним значением на данную календарную дату.

Графики в разрезе административных районов показывают поведение осредненного значения вегетационного индекса NDVI в текущем сезоне вегетации в сравнении со средним многолетним значением. Все выше-названные карты построены на основе анализа этих графиков (ниже или выше на данную дату кривая текущего сезона по отношению к средней многолетней кривой). Таким образом, по графику можно определить, как идет ход развития растительности в текущем сезоне и в каком состоянии (лучше или хуже среднего) находится растительность на пахотных угодьях в данный момент времени. Содержание страницы может быть представлено в формате pdf для сохранения и/или вывода на печать (рис. 1).

Подобная информация может быть получена на любую территорию РФ и сопредельных государств, в том числе для отдельных хозяйств и полей [1].

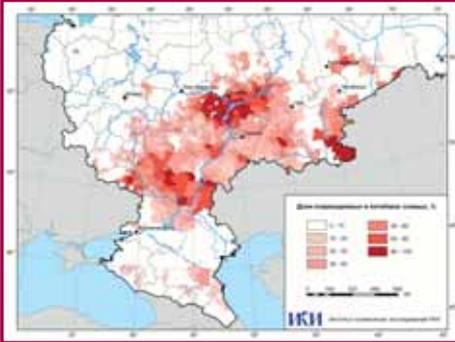


Рис. 2.
Доля посевов озимых культур, пострадавших зимой сезона 2009/2010 г. в разрезе административных районов

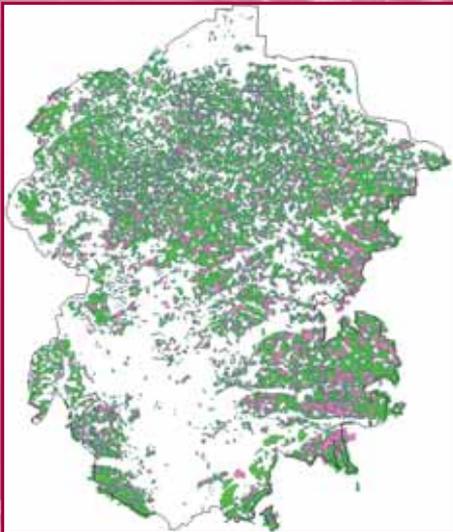


Рис. 3.
Влияние засухи на посевы сельскохозяйственных культур Чувашской Республики (пострадавшие посевы показаны розовым цветом, не пострадавшие – зеленым)

Результаты оперативного мониторинга состояния посевов могут быть использованы для оценки влияния на посевы разнообразных негативных факторов. В качестве примера приведем результаты мониторинга посевов на Европейской части России в сезоне 2009/2010 г. Сезон был экстремальным для посевов во многих регионах Европейской части России. Много посевов озимых погибло в результате неблагоприятных условий перезимовки, затем в летний период сильное воздействие на посевы оказала засуха, которая не только повредила посевы, но и предопределила неоптимальные условия для сева озимых под сезон 2010/2011 г. и их развития осенью 2010 г.

Оценка гибели посевов озимых культур зимой проводилась путем анализа разницы в состоянии посевов перед установлением снежного покрова осенью и после его схода весной. Анализ осуществлялся для всей Европейской части страны одновременно. В результате были выявлены поля, где посевы озимых сильно пострадали в течение зимнего периода. Результаты анализа были по возможности выборочно верифицированы по данным Landsat. Информация была обобщена на уровне административных районов и представлена в виде картограммы (рис. 2).

Такого неблагоприятного сочетания температур и осадков, как летом 2010 г., не было с засухи 1946 г., которую многие эксперты называют одной из сильнейших в XX в. Спутниковый мониторинг влияния засухи на посевы проводился в течение всего сезона вегетации. Анализ велся для отдельных регионов на уровне отдельных полей и для всех субъектов РФ на уровне административных районов.

Выявление полей, пострадавших от засухи, проводилось в течение всего сезона вегетации с еженедельным уточнением результатов. Анализ состояния растительности проводился на уровне отдельных полей по данным MODIS, а для подсчета площадей, пострадавших от засухи, при наличии использовалась векторная сетка полей, полученная по данным Landsat. В основе алгоритма анализа лежит сравнение временного ряда вегетационного индекса для текущего сезона вегетации с его ходом в предыдущие сезоны. Подобный анализ, например, был проведен летом 2010 г. для административных районов Чувашской Республики (рис. 3).

Мониторинг посевов, пострадавших от засухи, на уровне административных районов, где векторная маска полей отсутствует, проводился на качественном

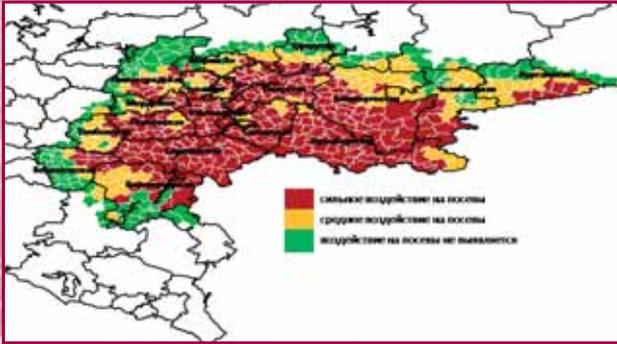


Рис. 4. Районы с посевами, пострадавшими от засухи по состоянию на 03.07.2010 г.

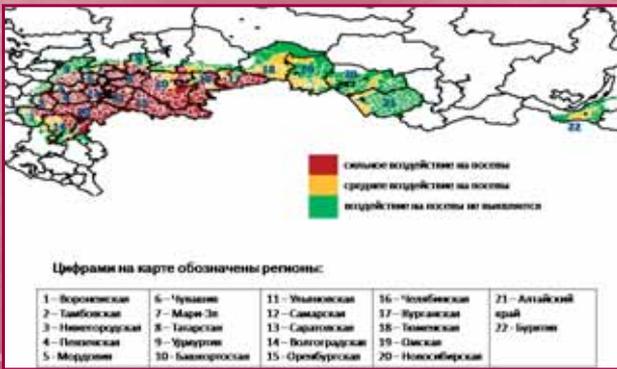


Рис. 5. Районы с посевами, пострадавшими от засухи по состоянию на 09.07.2010 г.

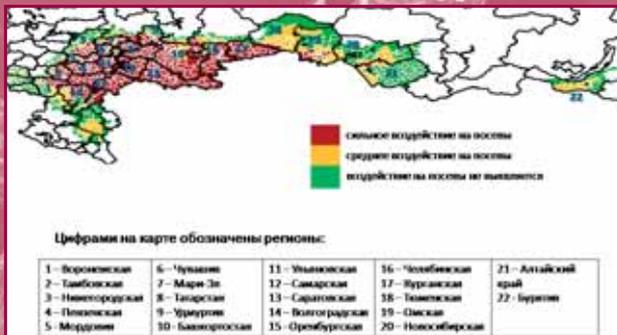


Рис. 6. Районы с посевами, пострадавшими от засухи по состоянию на 25.07.2010 г.

уровне (есть пострадавшие посевы или нет) с обновлением информации раз в неделю, а также на количественном уровне (доля пострадавших посевов) на момент среднегодовой даты середины сезона вегетации.

Оценка на качественном уровне проводилась путем сопоставления профиля NDVI для текущего сезона со среднегодовым профилем индекса. Сначала определялось, есть ли сдвиг текущего сезона вегетации по отношению к среднему многолетнему. При наличии сдвига производилось выравнивание сезонов по дате начала сезона вегетации. После этого анализировалось отклонение кривой текущего сезона от среднегодовой кривой. Примеры оценочных карт за несколько сроков анализа приведены на рис. 4–6.

Методика оценки доли поврежденных посевов на уровне отдельных административных районов была несколько иной, но она также базируется на анализе среднегодового осредненного для конкретного типа полей в пределах конкретного района профиля NDVI и его сравнении с профилем текущего сезона. Результаты анализа представлены на рис. 7.

Летняя засуха 2010 г. не только уничтожила большие площади посевов сельскохозяйственных культур в России, но и привела к неблагоприятным условиям для сева озимых культур под урожай следующего, 2011 г. Возникшие проблемы с семенами, сильное иссушение почвы во многих районах страны и запаздывание осенних дождей привели к тому, что площади посеянных озимых культур во многих районах значительно сократились, а состояние посеянных озимых культур перед зимой 2010/2011 г. оказалось плохим.

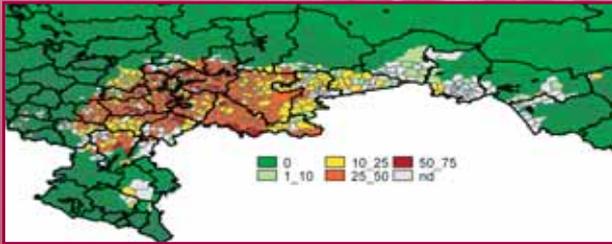


Рис. 7.

Доля посевов, пострадавших от засухи, на середину сезона 2010 г. в разрезе административных районов

На основе специально разработанных технологий был проведен анализ состояния озимых посевов осенью 2010 г. [4]. Анализ посевов перед установлением снежного покрова, проведенный ИКИ РАН по спутниковым данным, показал, что площади посевов озимых в хорошем состоянии по сравнению с прошлыми года-

ми значительно сократились в южной и юго-восточной частях Воронежской области, в северной части Ростовской и Волгоградской областей, и особенно в Самарской, Саратовской, Пензенской, Оренбургской областях и в Республике Башкортостан.

На рис. 8 представлены карты посевов озимых под урожай 2010 и 2011 гг., полученные по спутниковым данным.

Из сопоставления рисунков следует, что на достаточно большой территории посевы озимых, которые были осенью 2009 г., в 2010 г. не детектируются.

Выборочный анализ данных Landsat показал, что количество полей с озимыми в хорошем состоянии в 2010 г. значительно уменьшилось по сравнению с осенью 2009 г. (рис. 9).

На рис. 9а четко видны поля с озимыми в хорошем состоянии (ярко-зеленые) (осень 2009 г.), а на рис. 9б их почти нет (осень 2010 г.).

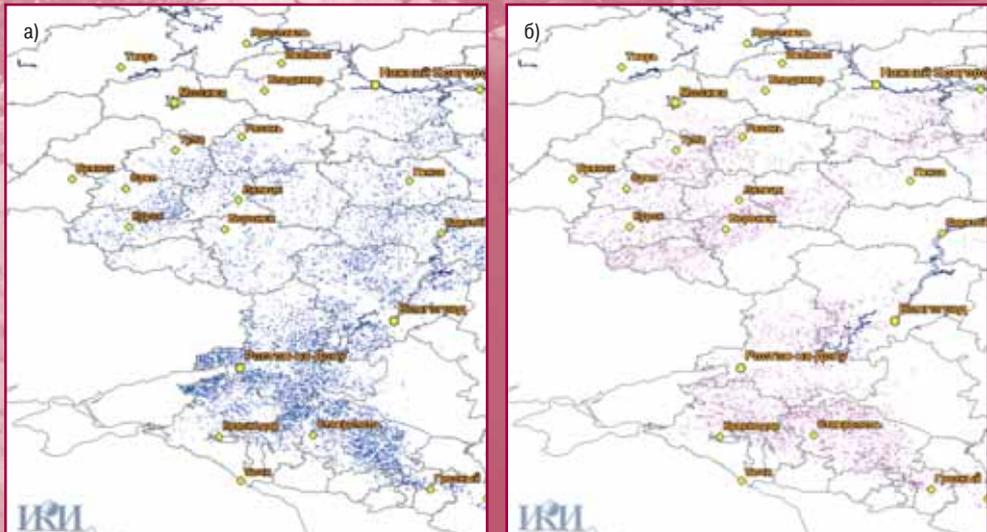


Рис. 8.

Посевы озимых, определенные по данным MODIS по состоянию на осень:

а) 2009 г. (синие пиксели)

б) 2010 г. (розовые пиксели)

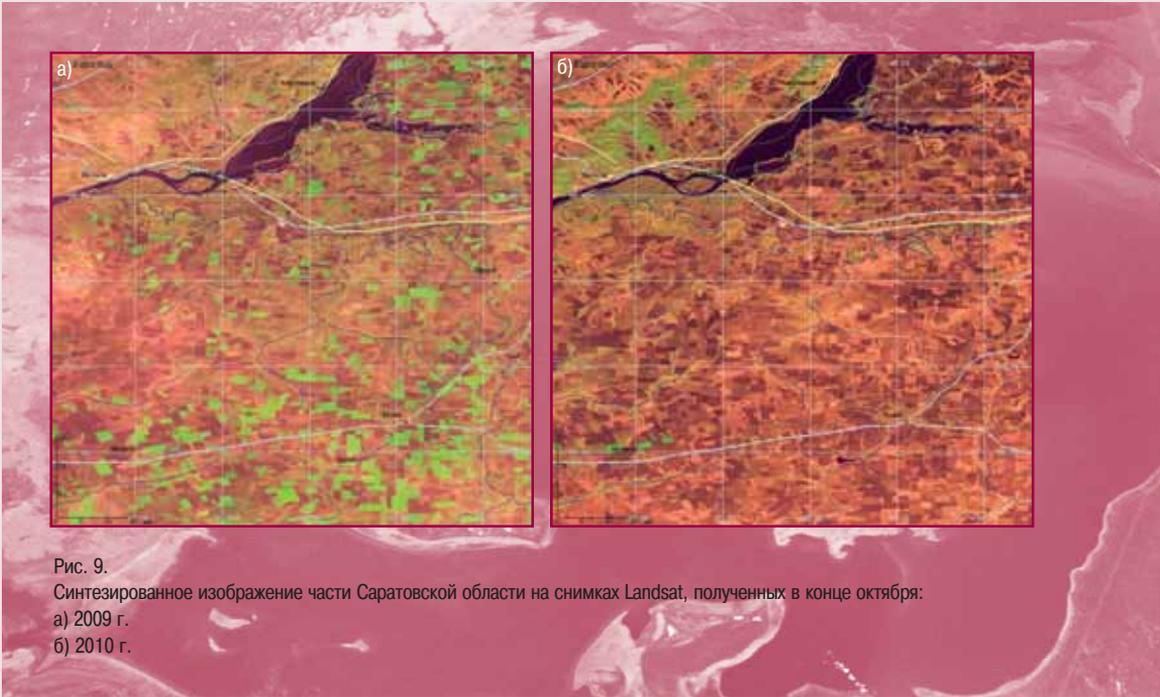


Рис. 9.

Синтезированное изображение части Саратовской области на снимках Landsat, полученных в конце октября:

а) 2009 г.

б) 2010 г.

Обобщение полученных данных на уровень административных районов показало, что площади озимых в хорошем состоянии во многих районах уменьшились более чем на 75% в сравнении со средним многолетним значением (рис. 10).

В целом по России площади озимых в хорошем состоянии осенью 2010 г. стали меньше более чем на 3 млн га по сравнению со средним многолетним значением. При этом площади озимых в хорошем состоянии по сравнению со средним многолетним значением уменьшились в Ростовской области на 754 тыс. га, в Волгоградской – на 555 тыс. га, в Саратовской – на 444 тыс. га.

При негативном сценарии развития ситуации, когда все эти площади придется пересевать весной яровыми зерновыми, потери урожая зерновых в целом в России из-за этого фактора могут достигнуть 3,5–4 млн т зерна.

Приведенные выше примеры наглядно показывают возможности использования спутниковых данных для мониторинга состояния посевов на уровне страны и отдельных субъектов РФ. Соз-

данная в ИКИ РАН система спутникового мониторинга работает в оперативном режиме и может снабжать пользователей объективной информацией о состоянии посевов практически в реальном режиме времени. Отметим, что по мере накопления достаточно длинных рядов спутниковых данных более высокого пространственного разрешения, чем MODIS (например, комплексы многозональной спектральной съемки среднего разрешения – КМСС), разработанные технологии будут адаптироваться к возможностям новых спутниковых систем. Кроме того, в настоящее время в ИКИ РАН активно ведутся работы по созданию специализированных сервисов работы со спутниковыми данными, которые, в частности, позволяют заинтересованным пользователям проводить анализ информации текущего состояния посевов на конкретных полях. Планируется, что в апреле 2011 г. такой сервис уже начнет функционировать и будет доступен пользователям через сайт отдела технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН по адресу: <http://smiswww.iki.rssi.ru>.

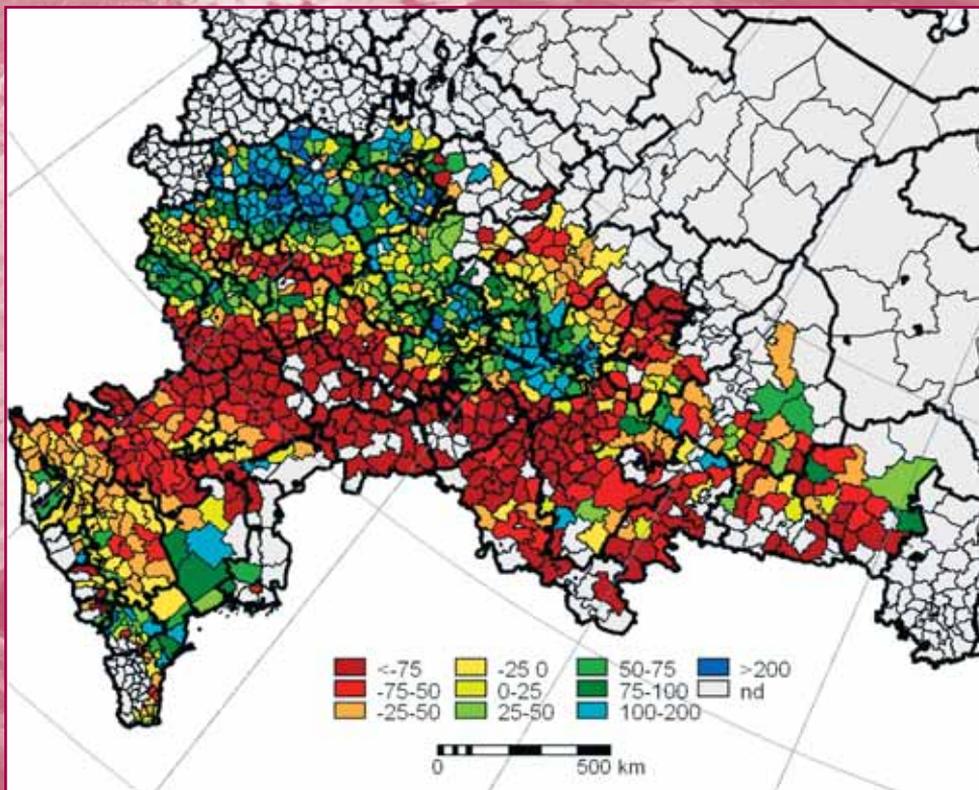


Рис.10.

Отклонение в процентах площади посевов озимых в хорошем состоянии осенью 2010 г. от среднееголетнего значения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толпин В.А., Бартаев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Савин И.Ю., Флитман Е.В. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т.7. № 2. С.221-232.
2. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных систем сбора, обработки и хранения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т. 1. С. 81-88
3. Плотников Д.Е., Бартаев С.А., Лупян Е.А., Савин И.Ю. Использование данных спутникового радиометра MODIS для распознавания пахотных земель, чистого пара и посевов озимых культур // Материалы Всероссийской научной конференции «Методическое обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». 29-30 сентября 2009 года. Сборник научных статей. Москва. – М.:РАСХН, 2010.
4. Плотников Д.Е., Бартаев С.А., Лупян Е.А. Метод детектирования летне-осенних всходов озимых культур по данным радиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. II. С.322-330.