

УДК 551.5:633.528.8

## Современное состояние и проблемы агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства России

*А.И. Страшная, О.В. Береза, Л.Л. Тарасова, Т.А. Максименкова,  
И.А. Шульгин, И.Э. Пурина, Т.С. Чекулаева*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

Рассматривается современное состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики России на федеральном уровне в условиях наблюдаемого изменения агроклиматических ресурсов. Дан краткий анализ агрометеорологических наблюдений гидрометстанций Росгидромета. Описаны созданные рабочие места агрометеорологов в программно-технологическом комплексе PROMETEI для автоматизированной обработки гидрометеорологической информации, приводятся примеры визуализации агрометеорологического мониторинга по декадным данным. Изложены результаты новых исследований в области агрометеорологического прогнозирования на основе наземных наблюдений, а также на основе комплексирования наземных данных и спутниковой информации. Предложены новые методы прогноза урожайности озимой пшеницы, зерновых и зернобобовых культур, в том числе и с учетом условий перезимовки озимых зерновых культур, подсолнечника. Изложены новые методы расчета сроков сева озимых зерновых культур и количественной оценки их состояния ко времени прекращения вегетации осенью по данным наземных и спутниковых наблюдений. Приводятся результаты исследования адекватности идентификации засух и увлажненности территорий по стандартизированному индексу осадков в сравнении с гидротермическим коэффициентом увлажнения. Представлены результаты исследований совместного оперативного анализа наблюдений гидрометстанций и спутниковых данных о влагозапасе почвы.

*Ключевые слова:* сельское хозяйство, агрометеорологическое обеспечение, агроклиматические ресурсы, запасы продуктивной влаги, атмосферная засуха, состояние посевов, прогноз урожайности, дистанционное зондирование Земли, вегетационный индекс NDVI, спутниковый мониторинг, автоматизированные технологии мониторинга.

## Current state and problems of agrometeorological support of agriculture in Russia

*A.I. Strashnaya, O.V. Bereza, L.L. Tarasova, T.A. Maksimenkova,  
I.A. Shulgin, I.E. Purina, T.S. Chekulaeva*

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia*

The current state and problems of operational agrometeorological support of the agricultural sector of the Russian economy at the federal level under the observed changes in agroclimatic resources are considered. A brief analysis of agrometeorological observations at Roshydromet hydrometeorological stations is given. The agrometeorologist's

workplaces developed in the PROMETEI software and hardware complex for the automated processing of hydrometeorological information are described, the examples of agrometeorological monitoring visualization based on ten-day data are given. The results of new studies in the area of agrometeorological forecasting based on ground observations as well as on the integration of surface and satellite data are presented. The new methods for forecasting the productivity of winter wheat, grain and pulse crops, including those taking into account the wintering conditions of winter crops and sunflower are proposed. The new methods for calculating the sowing time of winter grain crops and for quantifying their state by the time of vegetation termination in autumn based on ground and satellite data are presented. The results of studying the adequacy of identification of dry and wet episodes using the Standardized Precipitation Index (SPI) as compared to the hydrothermal coefficient are given. The results of the joint operational analysis of observations at hydrometeorological stations and satellite data on soil moisture are presented.

*Keywords:* agriculture, agrometeorological support, agroclimatic resources, productive moisture reserves, atmospheric drought, state of crops, yield forecast, Earth remote sensing, NDVI, satellite monitoring, automated monitoring technologies

## Введение

В связи с наблюдающимися глобальными климатическими изменениями агрометеорологические условия для производства сельскохозяйственной продукции на территории Российской Федерации существенно меняются, особенно в последние два десятилетия. В то же время при современных структурных изменениях в сельскохозяйственной отрасли роль информации о сложившихся и ожидаемых условиях формирования урожая сельскохозяйственных культур не только не уменьшается, но существенно возрастает, в том числе в решении вопросов, призванных определять формирование политики обеспечения продовольственной безопасности страны [15, 29, 34].

Одной из основных задач Гидрометцентра России является агрометеорологическое обеспечение федеральных органов исполнительной власти и агропромышленного комплекса страны информацией о сложившихся агрометеорологических условиях, в том числе экстремальных, а также прогнозами перезимовки озимых зерновых культур, урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур. Отдел агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России выполняет широкий круг научных исследований, направленный на разработку новых методов агрометеорологических прогнозов и технологий агрометеорологического мониторинга. Выполнен большой объем исследований по изучению изменения агроклиматических ресурсов в условиях глобального потепления для выработки мер адаптации сельского хозяйства к изменившимся условиям [5, 6, 16, 19, 27, 31, 35]. Проведены исследования по идентификации засух, их распространению, вероятности возникновения и определению ущерба от них [5, 26, 28, 29]. Впервые проведены исследования по определению возможностей использования данных дистанционного зондирования Земли для количественной оценки состояния озимых культур в осенний период и мониторинга влажности почвы, а также для

использования этих данных при разработке новых методов агрометеорологических прогнозов с целью повышения их надежности [1, 2, 20, 21, 27].

### **Краткий анализ агрометеорологических наблюдений в УГМС Росгидромета**

Основой для выполнения указанных выше задач являются данные наблюдений гидрометстанций Росгидромета за погодой и полевые агрометеорологические наблюдения за состоянием и развитием сельскохозяйственных культур в вегетационный период, а также в период зимовки.

В настоящее время в Гидрометцентр России поступает агрометеорологическая информация примерно с 950 гидрометстанций (ГМС), расположенных в земледельческих районах Российской Федерации, в виде декадных и ежедневных телеграмм по коду КН-21.

В отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России ведется работа по оценке качества декадной агрометеорологической информации (телеграмм ААДД). Синтаксические ошибки в телеграммах выявляются в «Информационно-прогностической системе» (ИПС), разработанной во ВНИИСХМ. Проводимый в течение трех лет анализ показал, что ошибки содержатся в 5–10 % телеграмм, однако в большинстве случаев удается их исправить без потери информации. К числу наиболее распространенных исправляемых ошибок принадлежит пропуск отличительных цифр раздела (111 или 222) или зоны, если после них нет значащих цифр (например, пропуск 91//). Такие ошибки допускаются примерно на 700-х станциях. С одной стороны, как мы уже указывали, исправляемые ошибки не ведут к потере информации, однако они являются следствием ручного кодирования и передачи данных, т. е. на большинстве ГМС АРМ-АГРО, разработанный во ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета для наблюдателей и внедренный практически во всех УГМС, используется недостаточно. По данным ВНИИСХМ, в 2016 году около 40 % наблюдательных пунктов имели компьютеры, т. е. могли организовать работу наблюдателей с использованием АРМ-АГРО, но в силу различных причин, чаще объективных, это не было сделано. Значительное число допущенных ошибок исправить с помощью ИПС не удастся. Наиболее частые ошибки, приводящие к потере информации, – отсутствие зоны 92 перед зоной 94 или 95, т. е. результаты весьма трудоемких процессов измерения влагозапасов или снегосъемки пропадают из-за отсутствия привязки к сельскохозяйственной культуре или метеоплощадке. Необходимо отметить, что неисправляемые ошибки имеют четкий годовой ход. В зимний период их количество достигает 50 % от общего числа, в летний период сокращается до 5–10 %.

В целом можно утверждать, что существующая в настоящее время государственная наблюдательная сеть работает с достаточно хорошим качеством, хотя и не удовлетворяет запросы агрометеорологов в полном объеме.

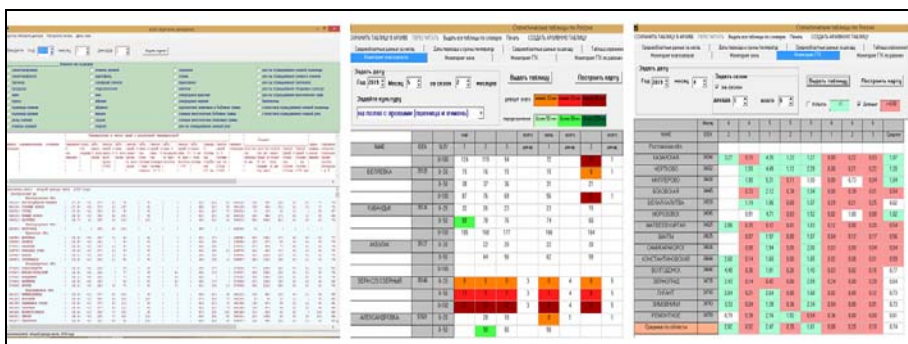
По данным, указанным в заключении ВНИИСХМ «Об итогах работы оперативно-производственных сетевых наблюдательных организаций в 1994 году», агрометеорологические наблюдения велись в 1344 пунктах. Иными словами, 25 лет назад число пунктов было почти на треть больше, чем в настоящее время, следовательно, при наличии финансирования эти пункты могут быть расконсервированы и существующая сеть расширена. Однако в последние 10–15 лет мы можем говорить о существенном росте информационной обеспеченности по сравнению с уровнем конца прошлого – начала текущего века, когда из-за проблем связи корреспондентами Гидрометцентра России были 600–650 станций, т. е. половина от списочного состава. В настоящее время, по данным автоматизированной системы учета наблюдательных пунктов Росгидромета, агрометеорологические наблюдения ведутся в 1042 наблюдательных подразделениях, а корреспондентами, как мы указывали ранее, являются 950 станций.

### **Основные виды и формы оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства**

С созданием и внедрением в оперативную практику Гидрометцентра России программно-технологического комплекса обработки гидрометеорологической информации PROMETEI [13] появилась возможность создавать сводные таблицы к декадным агрометеорологическим бюллетеням, строить карты метеорологических, фенологических параметров и запасов продуктивной влаги в почве.

Рабочие места автоматически формируют архивы (базы данных) поступившей информации, на основе которых разработан и в оперативном режиме функционирует блок расчета статистических таблиц, крайне необходимых для подготовки всего комплекса информационно-аналитических и прогностических материалов. В табличном виде формируются как среднеобластные, так и постанционные данные по всем метеорологическим и агрометеорологическим параметрам отдельно за вегетационный и зимний периоды, а также сводные таблицы к декадным агрометеорологическим бюллетеням, выпускаемым в зимний период. Общий вид рабочего места (фрагмент) приведен на рис. 1.

Для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур проводится подекадный мониторинг запасов продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях почвы, а также почвенных засух в соответствии с принятыми в Росгидромете критериями, которые позволяют объективно судить о начале почвенной засухи, ее распространении и интенсивности. Для идентификации атмосферных засух ежедекадно ведется автоматизированный расчет скользящего гидротермического коэффициента увлажнения (ГТК), что позволяет определить его значение за любой период вегетации и использовать как для подготовки аналитической информации, так и для составления отдельных видов агрометеорологических прогнозов [18, 28]. Для мониторинга общих засух используется разработанный в отделе агрометеорологический коэффициент увлажнения (АКУ) [30].



**Рис. 1.** Общий вид рабочего места для визуализации поступивших наблюдений в виде сводных журналов синоптических и фенологических наблюдений по территории России.

**Fig. 1.** General view of the workplace for visualizing received observations in the form of consolidated journals of synoptic and phenological observations throughout Russia.

Специалист-агрометеоролог практически полностью обеспечен необходимым материалом для проведения агрометеорологического анализа условий вегетации и формирования урожая на преобладающей территории земледельческих районов России, и таким образом задача подготовки агрометеорологической информации в автоматизированном режиме в отделе в основном была решена.

### Новые разработки в области агрометеорологического прогнозирования

Наиболее важным направлением деятельности отдела является прогнозирование урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Такие прогнозы весьма актуальны не только в годы, когда из-за неблагоприятных погодных условий ожидается значительный недобор урожая и их использование позволяет организовать превентивные мероприятия по минимизации ущерба (например, осуществить своевременные закупки зерна), но и в благоприятные годы – для определения возможных объемов экспорта зерна и рынков сбыта, что в настоящее время определяет возросшую эффективность деятельности агропромышленного комплекса страны [21, 32, 33]. Из-за повторяющихся неблагоприятных погодных условий (особенно засух) урожайность зерновых и зернобобовых культур значительно колеблется по годам [6, 28]. Максимальная урожайность этих культур во многих районах превышала минимальную в 2,5–3,0 раза.

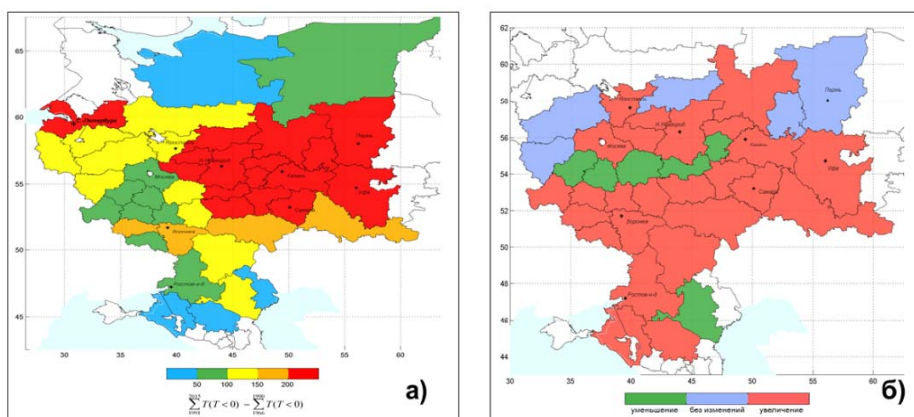
В начале 2000-х годов у агрометеорологов-прогнозистов появился новый источник информации – данные дистанционного зондирования Земли, что позволило обратиться к проблеме использования этих данных

для оценки состояния сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности [7, 20]. Был проведен сопряженный анализ агрометеорологических и спутниковых данных, который показал их хорошую согласованность и позволил широко использовать данные ДЗЗ как для оценки состояния зерновых культур, так и для разработки методов прогноза урожайности и количественной оценки состояния озимых зерновых культур (площади в плохом состоянии) в конце вегетации.

### *Метод расчета сроков сева озимых зерновых культур в изменяющихся погодно-климатических условиях*

Площадь озимых зерновых культур в плохом состоянии весной включает в себя площадь с плохим состоянием осенью и площадь их повреждений в зимний период.

В условиях наблюдающегося глобального потепления осенняя вегетация, как показали наши исследования, становятся более продолжительной [5, 19]. В связи с потеплением зим условия для зимовки озимых культур улучшились (рис. 2а), а условия осенней вегетации остаются значимым фактором. Для определения площадей озимых культур в плохом состоянии к моменту прекращения вегетации большое значение имеют не только условия осенней вегетации, но существенный вклад вносят и сроки сева. Вклад этих двух составляющих колеблется от 25 до 40 % и более [10].



**Рис. 2.** Изменение сумм отрицательных температур воздуха (°C) в период 1991–2015 гг. по сравнению с периодом 1966–1990 гг. (а) и рисков сильных атмосферных засух в августе за период 1999–2015 гг. по сравнению с 1982–1998 гг. (б).

**Fig. 2.** Change in the sum of negative air temperatures (°C) in the period 1991–2015 compared with the period 1966–1990 (a) and the risks of severe atmospheric droughts in August for the period 1999–2015 compared with 1982–1998 (b).

На преобладающей территории вегетация озимых культур осенью в последнее десятилетие прекращается на 4–10 дней позже, чем обычно. Однако увеличение повторяемости засух в период массового сева озимых в августе обусловило необходимость проведения новых исследований по определению таких сроков сева, которые позволяли бы сеять озимые позже ранее принятых сроков сева, но с учетом того, что они успеют достичь нормального развития к концу вегетации (фазы «третий лист» и «кущение»). Изменение рисков (вероятности сильных засух) в период сева озимых в августе показано на рис. 2б.

В результате исследований и проведенных расчетов была построена карта оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в изменившихся погодных и агроклиматических условиях. Сдвиг средних многолетних (оптимальных) сроков сева в сторону более поздних, по сравнению с ранее установленными, на большей части территории озимосеющих районов составляет 5–6 дней [5].

Использование в оперативной практике рассчитанных нами новых сроков сева озимых культур является одной из предложенных адаптационных мер к изменившимся агроклиматическим условиям (при увеличении повторяемости засух осенью и увеличившейся продолжительности осенней вегетации растений) и будет способствовать уменьшению площадей озимых в плохом состоянии осенью (изреженных и невзошедших). Однако следует заметить, что в связи с тем, что изменчивость условий увлажнения в большинстве районов Черноземной зоны увеличилась, эта мера не исключает необходимости использования в период осеннего сева озимых культур прогнозов погоды на месяц и десять дней, составляемых в Гидрометцентре России, что в ряде случаев помогает дополнительно скорректировать указанные сроки сева в зависимости от сложившихся в текущем году конкретных агрометеорологических условий [16, 17].

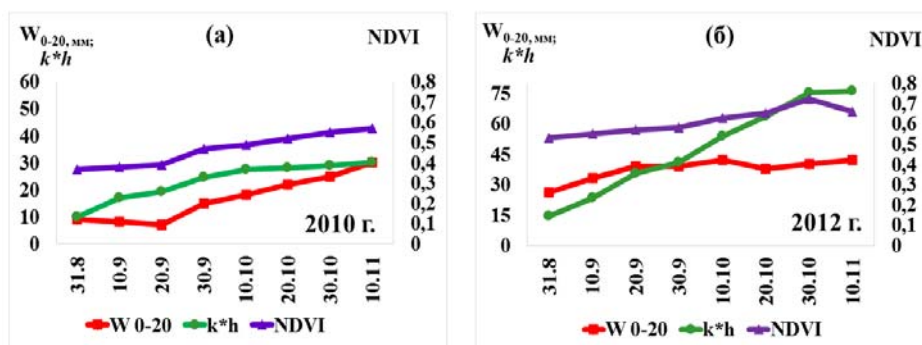
При разработке нового метода расчета оптимальных сроков сева озимых зерновых культур для различных регионов были получены соответствующие регрессионные уравнения, включающие в качестве предикторов количество осадков, температуру воздуха за различные периоды осенней вегетации.

### ***Количественная оценка состояния озимых зерновых культур ко времени прекращения вегетации осенью по данным наземных и спутниковых наблюдений***

Как указывалось выше, одной из составляющих для прогноза состояния озимых зерновых культур весной является количественная оценка площадей озимых с плохим состоянием осенью. Необходимость такой оценки была вызвана запросами пользователей агрометеорологической информации (Министерство сельского хозяйства России и Правительство Российской Федерации), в тесном контакте с которыми работает отдел агрометпрогнозов, а также аналогичных сельхозорганов в субъектах Российской Федерации.

В связи с этим в 2014–2016 гг. агрометеорологами Гидрометцентра России впервые была разработана методика расчета количественной оценки состояния озимых зерновых культур в осенний период (площади с плохим состоянием их ко времени прекращения вегетации), основанная на комплексировании наземных агрометеорологических и метеорологических данных и спутниковой информации [20].

В процессе исследований по разработке этой методики была выявлена вполне удовлетворительная согласованность динамики запасов продуктивной влаги в почве и показателя растительной массы озимых культур ( $k \cdot h$ ), выраженной нами произведением кустистости растений ( $k$ ) на высоту ( $h$ ) со значениями NDVI. В качестве примера приведены данные по Республике Татарстан за засушливый 2010 г. и достаточно благоприятный 2012 год (рис. 3).



**Рис. 3.** Динамика запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см ( $W_{0-20}$ ), показателя растительной массы озимых культур ( $k \cdot h$ ) и индекса NDVI по Республике Татарстан за 2010 (а) и 2012 (б) годы.

**Fig. 3.** Dynamics of productive moisture reserves in the soil layer 0–20 cm ( $W_{0-20}$ ), winter crop plant mass index ( $k \cdot h$ ) and NDVI index for the Republic of Tatarstan for 2010 (a) and 2012 (б) years.

По субъектам озимосеющих районов установлена тесная связь (от 0,46 до 0,75) площади озимых в плохом состоянии в конце вегетации с количеством осадков, суммой эффективных температур воздуха за сентябрь, запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы за различные периоды осенней вегетации и NDVI в конце вегетации. На основе полученных связей разработаны линейные регрессионные модели для расчета количественной оценки состояния озимых зерновых культур в конце вегетации.

Авторская проверка моделей на зависимых данных (2003–2015 гг.) показала хорошую оправдываемость (85–95 %).

Результаты исследований и предлагаемая методика были одобрены на секциях Ученого совета Гидрометцентра России. Разработанная методика в 2016 году передана на производственные испытания



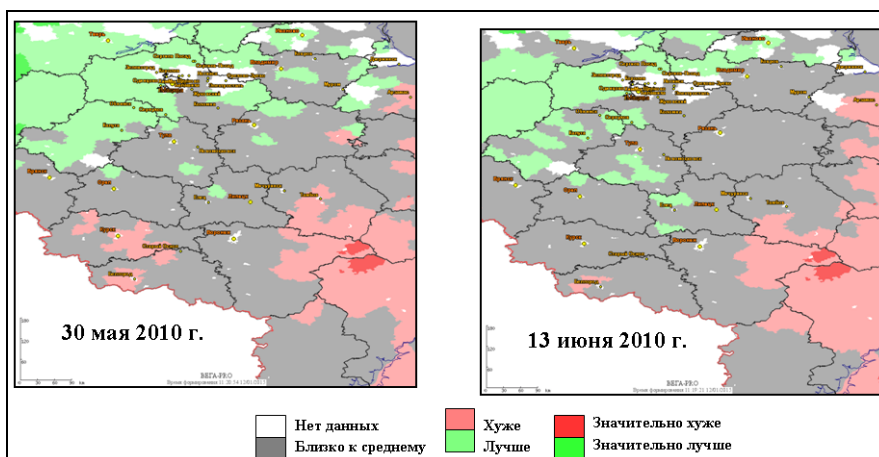
в Приволжское, Центральное, Центрально-Черноземное и Северо-Кавказское УГМС Росгидромета.

**Метод прогнозирования урожайности зерновых  
и зернобобовых культур на основе комплексирования наземных  
и спутниковых данных**

В 2013–2015 гг. в Гидрометцентре России разработаны новые регрессионные модели для прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, основанные на комплексировании метеорологических параметров с данными спутниковых измерений (нормализованным вегетационным индексом – NDVI) для центральных черноземных областей [21].

Была исследована изменчивость вегетационного индекса NDVI в разные по агрометеорологическим условиям годы и рассчитана его средняя многолетняя динамика в период весенне-летней вегетации зерновых культур, которая используется нами для сравнительной оценки состояния посевов в складывающихся погодных условиях конкретных лет (хуже или лучше среднего многолетнего или в процентах от среднего) [21].

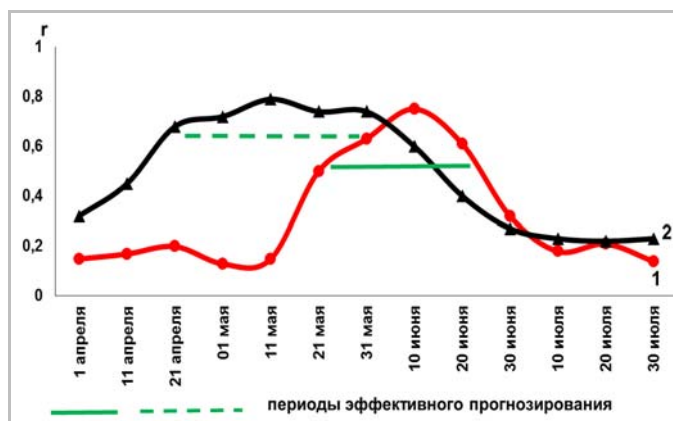
Оценка состояния зерновых культур по данным спутниковых измерений в конкретный период времени достаточно адекватно в разные по агрометеорологическим условиям годы отображается визуально. Использование таких карт, доступных в настоящее время для анализа состояния посевов в режиме реального времени на веб-сервисе ВЕГА (разработан ИКИ РАН, <http://pro-vega.ru>), является весьма полезным, так как позволяет в дополнение к ограниченным наземным данным оценить состояние посевов на больших площадях по декадам вегетационного периода (рис. 4).



**Рис. 4.** Динамика NDVI по декадам весенне-летней вегетации озимой пшеницы по Тамбовской области.

**Fig. 4.** NDVI dynamics by decades of spring-summer vegetation of winter wheat in the Tambov region.

На основе построенных временных корреляционных функций урожайности зерновых культур со значениями NDVI для каждой области были выявлены периоды наиболее эффективного прогнозирования. В качестве примера такие функции по Белгородской и Липецкой областям представлены на рис. 5.



**Рис. 5.** Связь урожайности зерновых культур с NDVI (динамика коэффициентов корреляции  $r$ ) за период 2003–2013 гг. по декадам вегетации в Липецкой (1) и Белгородской областях (2).

**Fig. 5.** Correlation of grain productivity with NDVI (dynamics of correlation coefficients  $r$  for the period 2003–2013 by decades of vegetation in Lipetsk (1) and Belgorod regions (2).

Для составления прогнозов урожайности зерновых культур в мае и июне для каждой области были получены прогностические модели урожайности на основе комплексирования наземных и спутниковых данных в отклонениях от трендов. При этом метеорологические параметры рассчитывались в среднем за май или июнь, а значения NDVI использовались за декаду, в которой связь с урожайностью была наиболее тесной.

Проверка прогнозов, проведенная за период 2003–2013 гг., показала, что ошибки прогнозов, составленных в конце мая в 90 % случаев составляли 8–17 %, а прогнозов, составленных в июне, – 6–15 %, что говорит о возможности применения разработанных нами моделей в оперативной практике после проведения производственных испытаний.

### ***Метод прогнозирования урожайности зерновых и зернобобовых культур с использованием стандартизованного индекса осадков***

На основании исследований, проведенных по территории Приволжского федерального округа, была выявлена приемлемая адекватность идентификации засух и увлажненности территорий по рекомендованному ВМО стандартизованному индексу осадков (SPI) в сравнении

с гидротермическим коэффициентом увлажнения (ГТК). Некоторые расхождения в отображении интенсивности засух наблюдались при высоких положительных аномалиях температуры воздуха.

На примере субъектов Среднего Поволжья показано, что SPI, как и ГТК, достаточно тесно связан с урожайностью зерновых и зернобобовых культур. При этом частные коэффициенты корреляции с SPI и ГТК были близки по значениям. На основе результатов исследований получен ряд регрессионных моделей для прогнозирования урожайности этих культур, параметрами которых были значения SPI в мае и июне, а также дефицит влажности в июне. Оправдываемость прогнозов по разработанным моделям, где в качестве предикторов использовались значения SPI за май и июнь, оказалась удовлетворительной (относительная ошибка колебалась от 4 до 19 %), а при включении в модель дефицита влажности воздуха она уменьшалась на 3–6 % [25].

### ***Метод прогнозирования урожайности озимой пшеницы на основе комплексирования наземных и спутниковых данных***

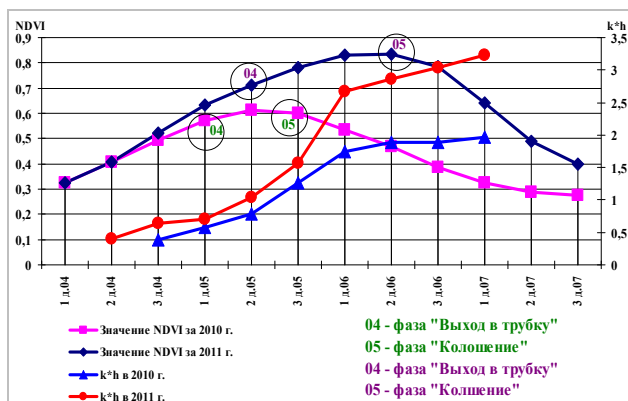
В 2013–2015 гг. специалистами отдела была разработана методика прогнозирования урожайности озимой пшеницы для субъектов Среднего Поволжья [2].

Была выявлена тесная связь ( $r$  от 0,50 до 0,70) урожайности пшеницы с метеорологическими факторами (средняя температура воздуха, дефицит влажности воздуха, гидротермический коэффициент увлажнения, запасы влаги) и вегетационным индексом NDVI по декадам и месяцам весенне-летней вегетации.

В исследованиях показано, что в условиях жаркой и сухой погоды снижение значений NDVI наблюдалось раньше, чем снижение показателя вегетативной массы  $k \cdot h$ .

Таким образом, NDVI в засушливые годы, по-видимому, является более чувствительным показателем изменения состояния растений, чем показатель растительной массы  $k \cdot h$  даже в начале засухи, что необходимо учитывать при мониторинге состояния посевов и анализе динамики этого показателя в различные годы. В годы, благоприятные по условиям увлажнения (2011 г.), максимальное значение NDVI и ( $k \cdot h$ ) практически совпали (рис. 6).

Для прогнозирования урожайности озимой пшеницы в конце мая (основной срок) и в июне строились линейные регрессионные модели, в которых в качестве параметров были использованы метеорологические факторы (показатели) за май или июнь, осредненные по территории субъектов. Коэффициенты корреляции этих показателей в июне были меньшими по значению, чем в мае. В июне влияние метеорологических факторов на урожайность озимой пшеницы уменьшается, так как в этот период в Среднем Поволжье обычно уже завершается налив зерна и идет созревание.



**Рис. 6.** Сезонная динамика значений NDVI и ( $k \cdot h$ ) по декадам в 2010 и 2011 гг. по Самарской области (озимая пшеница).

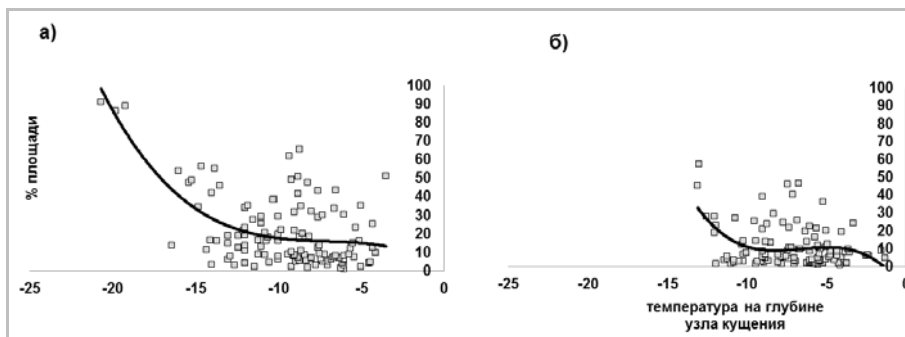
**Fig. 6.** Seasonal dynamics of NDVI and ( $k \cdot h$ ) values by decades in 2010 and 2011 in the Samara region (winter wheat).

### *Метод долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур с учетом условий перезимовки озимых культур по субъектам Черноземной зоны России*

В связи с необходимостью увеличения заблаговременности прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур, в 2014–2016 гг. был разработан метод долгосрочного прогноза с учетом условий перезимовки озимых культур по субъектам Черноземной зоны России, который может быть составлен уже в марте. Метод представляет собой усовершенствование ранее разработанного, основанного на учете площадей с плохим состоянием озимых культур весной и режима увлажнения холодного периода [14].

Важнейшей задачей при разработке метода являлось исследование условий зимовки озимых культур и изучение изменений агрометеорологических показателей зимовки в условиях климатических изменений. Показано, что в Черноземной зоне России условия зимовки озимых зерновых культур в период климатических изменений улучшились [5, 27]. Из-за потепления зим сократилась вероятность вымерзания посевов и площади озимых в плохом состоянии весной в последние двадцать лет уменьшились. В областях Среднего Поволжья условия для зимовки озимых зерновых культур за период изменений климата остались практически без изменений.

На рис. 7 видно, что линия тренда за период после 1990 г. лежит существенно ниже линии за период до 1990 г. Так, например, в первый период при понижении температуры почвы на глубине узла кушения до  $-10^\circ\text{C}$  в центральных черноземных областях средняя гибель была около 20 %, а во второй период она составляет около 5 %.



**Рис. 7.** Зависимость площади с плохим состоянием озимых весной (в % от посевной) от температуры почвы на глубине узла кущения (3 см) в ЦЧО: зимы 1965/1966–1989/1990 гг. (а); зимы 1990/1991–2011/2012 гг. (б).

**Fig. 7.** Dependence of the area with poor condition of winter crops in spring (in % of the sown area) on soil temperature at the depth of tillering nodes (3 cm) in the central winter 1965/1966–1989/1990 (a); winter 1990/1991–2011/2012 (б).

По результатам производственных испытаний в Северо-Кавказском УГМС метод прогноза рекомендовано внедрить в оперативную практику в качестве основного, а в Центрально-Черноземном УГМС в качестве вспомогательного. В Среднем Поволжье ошибки метода оказались большими (27 %), внедрять его в практику нецелесообразно.

### *Метод прогноза урожайности семян подсолнечника*

Разработка нового метода прогноза урожайности подсолнечника связана с запросами сельскохозяйственных органов и необходимостью планирования объемов производства семян как для самообеспечения регионов, так и для экспортных целей.

Основными производителями подсолнечника в нашей стране являются три федеральных округа: Южный, Приволжский и Центральный [22–24]. В этих округах за последние пять лет (2013–2017 гг.) производилось в среднем около 89 % семян подсолнечника. Проведенный анализ динамики урожайности валовых сборов и площадей подсолнечника по субъектам и в целом по округам показал, что столь значительное увеличение производства семян подсолнечника в округе произошло не только вследствие повышения урожайности, но и за счет роста посевных площадей. Так, в Центральном и Приволжском федеральных округах за период с 2001 по 2017 год посевные площади увеличились в 2–3 раза, в Южном федеральном округе увеличения практически не наблюдалось [23]. Столь значительный рост площадей, занятых подсолнечником в Центральном и особенно в Приволжском федеральных округах, связан не только с увеличением рентабельности возделывания подсолнечника в связи с наблюдавшимся в эти годы ростом урожайности, обусловленной внедрением новых более урожайных сортов и гибридов подсолнечника [8, 9, 11],

но и в значительной степени в связи с улучшением теплообеспеченности этих территорий в условиях глобального потепления. Так, в [5] нами показано, что северная граница сумм температур, необходимых для созревания большинства сортов подсолнечника, обеспеченная в 80–90 % лет, существенно продвинулась к северу и проходит по южным районам Брянской, Орловской, Тульской и Рязанской областей, Республики Мордовия и далее к югу от Казани и Уфы. Посевная площадь подсолнечника в названных субъектах увеличилась с середины 2000-х годов в 4–8 раз и более, тогда как ранее в этих субъектах подсолнечник для получения семян практически не возделывался.

Наблюдаемое в последнее десятилетие разнообразие возделываемых в субъектах сортов и гибридов подсолнечника, имеющих различные сроки наступления фенологических фаз (образования соцветий, цветения и созревания), затрудняет определение критических периодов для растений относительно влияния погодных условий и установление связей между урожайностью и метеорологическими факторами, что создает трудности для разработки методов прогнозирования урожая. В таких условиях изменчивость урожайности ( $v$ , %) обычно увеличивается; в большинстве субъектов она значительна ( $v = 20\text{--}30\%$ ), а в отдельных северных и западных областях возделывания подсолнечника – до 40–50 % [24]. Колебания урожайности подсолнечника как в субъектах, так и в целом по округам большие (рис. 8).



**Рис. 8.** Динамика урожайности подсолнечника (ц/га) по Белгородской области (1997–2017 гг.) и Центральному федеральному округу.

**Fig. 8.** Dynamics of sunflower yield (kg/ha) in the Belgorod Region (1997–2017) and the Central Federal District.

В работе ставилась задача разработать метод прогноза урожайности подсолнечника с большой заблаговременностью – три месяца и более до начала уборки.

Анализ данных фенологических наблюдений ГМС показывает, что уборочная спелость подсолнечника на преобладающей территории

его промышленного возделывания наблюдается в среднем с 5 по 15 сентября. В связи с этим прогноз урожайности должен быть составлен в первой пятидневке июня. При разработке метода прогноза исследовалось влияние на урожайность подсолнечника температурно-влажностного режима и влияние культуры земледелия. Изменения урожайности в субъектах, связанные с повышением культуры земледелия, описывались линейными и нелинейными уравнениями, а выбор «наилучшего» уравнения тренда осуществлялся по величине коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

Анализ построенных матриц связей отклонений урожайности от трендов с агрометеорологическими факторами показал, что в отличие от других сельскохозяйственных культур положительное влияние термического фактора на урожайность подсолнечника в наибольшей степени проявилось в период сева и появления всходов, а также в период налива семян и созревания, что объясняется биологическими особенностями этой культуры [9].

Задача разработки метода прогнозирования урожайности подсолнечника решалась на основании расчетов урожайности по тренду ( $Y_{тр}$ ) и прогноза отклонений ( $\Delta Y$ ) для каждого субъекта [12]:

$$Y_{пр} = Y_{тр} + \Delta Y .$$

Основными параметрами полученных прогностических моделей являются среднемесячные значения температуры воздуха ( $T$ ) и гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) по месяцам основного вегетационного периода вегетации подсолнечника (май–август), а также средний ГТК за май–июль.

Первый долгосрочный прогноз урожайности подсолнечника с более чем трехмесячной заблаговременностью до уборки может быть составлен 1 июня. При известной посевной площади в этот период можно рассчитать и ожидаемый в стране валовый сбор семян подсолнечника.

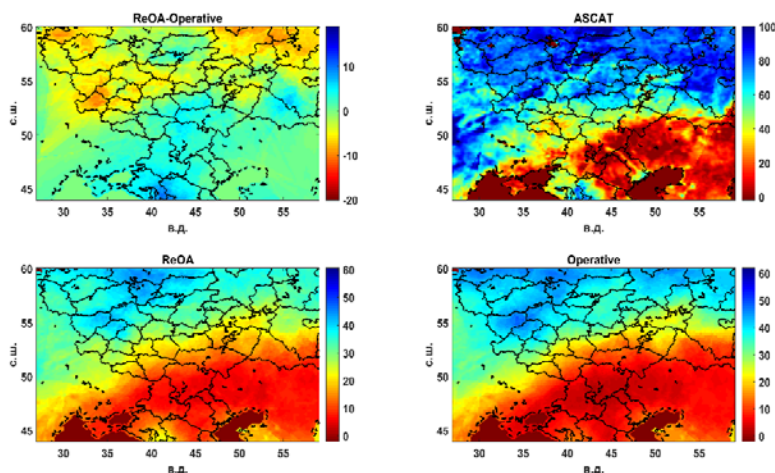
Проверка прогностических долгосрочных моделей на зависимых материалах показала вполне удовлетворительные результаты, в 81–90 % случаев ошибки прогнозов не превышали  $0,8\sigma$ . Разработанный метод прогноза по основным регионам промышленного возделывания подсолнечника передается в УГМС для производственных испытаний.

### ***Совместный оперативный анализ наблюдений гидрометстанций и спутниковых данных о влагозапасе почвы***

В 2017–2019 годах в отделе агрометеорологических прогнозов совместно с отделом гидродинамических краткосрочных прогнозов погоды разработана оперативная технология мониторинга увлажнения почвы на основе объективного анализа влажности почвы [3, 4]. В рамках разработки были сделаны оценки объема и точности доступной архивной и оперативной информации и статистической структуры измеренных

на сети Росгидромета запасов продуктивной влаги и спутниковых измерений относительной влажности почвы верхнего слоя почвы по данным с прибора ASCAT (ИСЗ MetOp), предложен алгоритм оптимального (лучшие статистические оценки на нашем архиве) пересчета данных ДЗЗ в ЗПВ для верхних 10 и 20-сантиметровых слоев почвы. Для этих слоев по данным сети станций Росгидромета оценены пространственные корреляционные функции и получены приближенные нелинейные связи между данными спутниковых и наземных наблюдений. Авторами предложен метод контроля измерений ЗПВ верхних слоев почвы. В настоящее время оперативная модель объективного анализа влагозапаса почвы по Европейской территории России работает в тестовом режиме.

На рис. 9 приведен пример полей ЗПВ в пахотном слое почвы за 7 августа 2017 г. Показана относительная влажность верхнего слоя почвы по данным с прибора ASCAT, оперативный анализ по этим данным и имеющимся (т. е. определенными в предыдущую декаду) наземным данным, поля реанализа (т. е. пересчитанные по наземным данным за истекшую декаду) и разность между оперативным анализом и реанализом. На рисунке видно, что поля удовлетворительно согласуются друг с другом, а разность между оперативным анализом, рассчитанным 7 августа, и реанализом не превышает 10 мм продуктивной влаги.



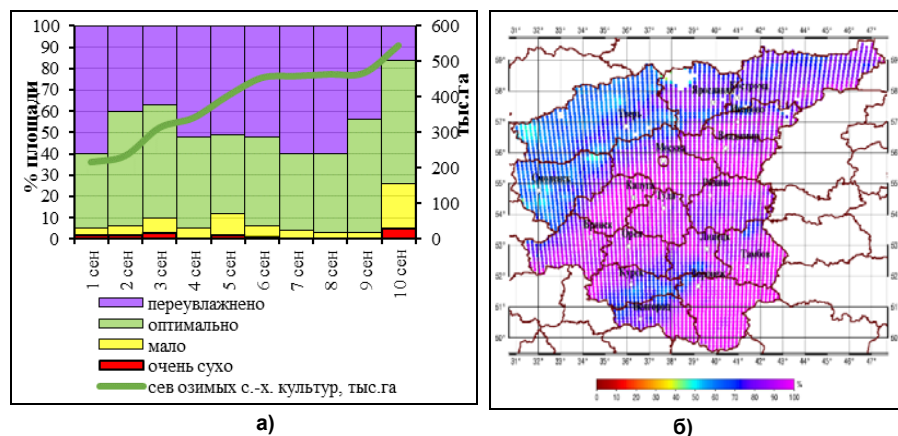
**Рис. 9.** Данные о влагозапасе в пахотном слое почвы за 1 декаду августа 2017 г.: ReOA-Operative – разность между оперативным анализом и реанализом; ASCAT – данные ДЗЗ, ReOA – реанализ по данным ДЗЗ от 7 августа 2017 г. и наземным данным за 1 декаду (поступают 11 августа); Operative – оперативный анализ по данным ДЗЗ от 7 августа 2017 г. и наземным данным за 3 декаду июля.

**Fig. 9.** Data on the moisture reserve in the arable soil layer for the 1st decade of August 2017: ReOA-Operative – the difference between operational analysis and reanalysis; ASCAT – remote sensing data; ReOA – reanalysis according to remote sensing data dated August 7, 2017 and ground data for 1 decade (received on August 11); Operative – operational analysis according to remote sensing data dated August 7, 2017 and ground data for the 3rd decade of July .



На основе данных спутникового мониторинга влажности почвы (MetOp-A, B, скаттерометр ASCAT) нами предложен способ оценки условий проведения сева озимых зерновых культур. В его основу положена связь темпов проведения полевых работ от степени увлажнения верхнего слоя почвы. Из анализа литературы известно, что оптимальные условия для проведения обработки почвы, сева, прорастания семян и появления всходов большинства сельскохозяйственных культур находятся в пределах 70–90 % ППВ. При относительной влажности менее 50 % в почве не хватает влаги для набухания семян, а при влажности близкой к 100 % затрудняется аэрация и возможно загнивание семян.

В качестве примера на рис. 10б показаны районы с различной относительной влажностью почвы по спутниковым данным за 8 сентября 2013 г., когда из-за сильных дождей доля площадей с избыточно увлажненным верхним слоем почвы была наибольшей за всю первую декаду (рис. 10а). Можно видеть, что в большинстве районов Центрального федерального округа влажность почвы была выше 90 %, т. е. складывались крайне неблагоприятные условия, проведение сева озимых было невозможно. Можно отметить, что мягкопластичное состояние (с влажностью 60–80 %) почвы наблюдается лишь на части полей в Тверской, Смоленской, Курской, Белгородской и юге Липецкой областей.



**Рис. 10.** Доли территории Центрального федерального округа с различной степенью увлажнения верхнего слоя почвы и темпы сева озимых зерновых культур в первой декаде сентября 2013 г. (а); относительная влажность верхнего слоя почвы по данным ASCAT 7 сентября 2013 г. (б).

**Fig. 10.** Shares of the territory of the Central Federal District with varying degrees of moisture in the topsoil and the sowing rate of winter crops in the first ten days of September 2013 (a); relative humidity of the topsoil according to ASCAT data on September 7, 2013 (b).

На рис. 10а видно, что при увеличении доли площадей с очень высокой влажностью почвы темпы сева замедляются, а при уменьшении – убыстряются. В дни, когда дожди были особенно сильными

(6–8 сентября), более чем на 50 % площади округа относительная влажность почвы по спутниковым данным составила 100 %, сев озимых практически останавливался.

Предложенный нами простой способ определять увлажнение верхних слоев почвы по спутниковым данным дает возможность оценить условия сева.

В результате был создан новый информационный продукт – карты оценки агрометеорологических условий сева озимых культур по ежедневным спутниковым данным (ИСЗ MetOp-A и B, скаттерометр ASCAT) с возможностью использования их в практической работе агрометеорологов и агрономов.

### Заключение

Подводя итоги, можно констатировать, что в последнее десятилетие достигнуты определенные положительные результаты в области оперативной деятельности отдела агрометеорологических прогнозов: увеличение объема поступающей информации, расширение и совершенствование средств ее автоматизированной обработки и визуализации, созданы новые информационные продукты. Вместе с тем проблемы в этой области еще остаются, в том числе по контролю качества поступающей информации, пополнению баз данных о площадных характеристиках и др.

В результате проведенных исследований разработан ряд новых методов прогноза урожайности и агрометеорологических рекомендаций по отдельным зерновым культурам и регионам и метод прогноза урожайности подсолнечника по основным районам его промышленного возделывания, что способствовало повышению качества агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. С учетом запросов потребителей агрометеорологической информации разработан способ расчета оптимальных сроков сева озимых культур, метод количественной оценки состояния озимых зерновых культур в конце вегетации. Реализован способ идентификации засух с использованием SPI и показана возможность его применения в прогностических моделях урожайности зерновых культур. Использование данных ДЗЗ способствовало повышению качества мониторинга состояния посевов, а также повышению точности отдельных видов прогнозов.

Разработана технология объективного анализа влажности почвы на основе полей относительной влажности верхнего слоя почвы по данным с прибора ASCAT (ИСЗ MetOp-A и MetOp-B) и запасов продуктивной влаги в верхнем 10-сантиметровом и пахотном слоях почвы и способ оценки условий сева озимых культур на основе спутниковых данных.

Вместе с тем остается ряд вопросов по совершенствованию устаревших методов агрометеорологических прогнозов урожайности и разработке новых методов по перспективным культурам (соя, рис, лен, рапс и др.). Крайне необходимым представляется и разработка нового метода

прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур с учетом данных спутниковых измерений, а также прогноза перезимовки озимых зерновых культур по всем земледельческим районам России.

#### Список литературы

1. *Барталев С.А., Лулян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю.* Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS // Исследование Земли из космоса. 2006. № 3. С. 68-75.
2. *Береза О.В., Страшная А.И., Лулян Е.А.* О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы ДЗЗ из космоса. 2015. Т. 12, № 1. С. 20-35.
3. *Быков Ф.Л., Василенко Е.В., Гордин В.А., Тарасова Л.Л.* Статистическая структура поля влажности верхнего слоя почвы по данным наземных и спутниковых наблюдений // Метеорология и гидрология. 2017. № 6. С. 68-84.
4. *Василенко Е.В., Тарасова Л.Л.* Использование данных с прибора ASCAT/MetOp для мониторинга влажности почвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 40-49.
5. *Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В.* О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 45-78.
6. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. 2018.
7. *Клеценко А.Д., Савицкая О.В.* Комплексное использование наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных для оценки урожайности зерновых культур // Труды ИПГ. 2011. Вып. 90. С. 204-212.
8. *Лукомец В.М., Бушнев А.С., Подлесный С.П., Мамырко Ю.В., Ветер В.И., Семеренко М.К.* Оценка продуктивности подсолнечника в зависимости от некоторых элементов технологии возделывания на черноземах западного предкавказья // Масличные культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2016. Вып. 4 (168). С. 36-44.
9. *Макляк Е.Н., Кириченко В.В.* Реакция гибридов подсолнечника разных групп спелости на температурный режим периода их вегетации // Масличные культуры. Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2016. Вып. 4 (168). С. 55-60.
10. *Моисейчик В.А.* Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 295 с.
11. *Низамов Р.М., Сагдиев Р.С.* Продуктивность подсолнечника в зависимости от нормы высева в условиях Республики Татарстан // Вестник Казанского ГАУ. № 1 (19). 2011. С. 144-146.
12. *Полевой А.Н.* Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 313 с.
13. *Пурина И.Э., Страшная А.И., Чекулаева Т.С., Игнатова Н.С.* Технология обработки и доведения конечной агрометинформации до потребителей в Гидрометцентре России и оперативно-производственных учреждениях Росгидромета в программном комплексе PROMETEI // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 346. С. 103-120.
14. *Страшная А.И., Тебугев Х.Х.* О прогнозировании урожайности зерновых и зернобобовых культур с большой заблаговременностью // Метеорология и гидрология. 1994. № 3. С. 91-95.
15. *Страшная А.И.* Состояние и проблемы оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства на федеральном уровне в условиях глобального изменения климата // Труды ВНИИСХМ. 2007. Вып. 36. С. 78-91.
16. *Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В.* Об изменении агроклиматических условий вегетации и сроков сева озимых культур осенью в Центральном федеральном округе в связи с потеплением климата // Труды Гидрометцентра России. 2009. Вып. 343. С. 141-158.
17. *Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В.* О сроках сева озимых культур в условиях изменения климата и их прогнозирование в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 175-193.
18. *Страшная А.И., Пурина И.Э., Чуб О.В., Задорнова О.И., Чекулаева Т.С.* Автоматизированная технология мониторинга и расчета количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами // Труды Гидрометцентра России. 2013. Вып. 349. С. 161-175.

19. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Оперативное агрометеорологическое обеспечение аграрного сектора экономики России в условиях изменения агроклиматических ресурсов // Труды ВНИИСХМ. 2013. Вып. 38. С. 21-40.
20. Страшная А.И., Барталев С.А., Максименкова Т.А., Чуб О.В., Толпин В.А., Плотников Д.Е., Богомолова Н.А. Агрометеорологическая оценка состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации с использованием наземных и спутниковых данных на примере Приволжского федерального округа // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 351. С. 85-105.
21. Страшная А.И., Тарасова Л.Л., Богомолова Н.А., Максименкова Т.А., Береза О.В. Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в центральных черноземных областях на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Труды Гидрометцентра России. 2015. Вып. 353. С. 128-153
22. Страшная А.И., Богомолова Н.А., Тищенко В.А., Павлова К.И., Тебуев Х.Х. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 359. С. 142-160.
23. Страшная А.И., Береза О.В., Тищенко В.А. Влияние агрометеорологических условий на урожайность семян подсолнечника в Южном федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 364. С. 203-219.
24. Страшная А.И., Береза О.В., Кланг П.С. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Центральном федеральном округе // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. Вып. 3 (373). С. 121-138.
25. Страшная А.И., Тищенко В.А., Береза О.В., Богомолова Н.А. О возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур // Труды Гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. С. 81-97.
26. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 194-214.
27. Тарасова Л.Л. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 26-44.
28. Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 64-83.
29. Фролов А.В., Страшная А.И. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. М.: Триада лтд, 2011. С. 22-31.
30. Чуб О.В., Страшная А.И. О возможности использования нового агрометеорологического коэффициента увлажнения для мониторинга атмосферно-почвенных засух // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 347. С. 190-206
31. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Энергобалансовая оценка урожайности яровых культур // Известия Тимирязевской с.-х. Академии. 2015. № 5. С. 61-80.
32. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. Солнечная радиация в оценках максимальной урожайности яровых культур // Биосфера. 2015. Т. 7, № 4. С. 371-383.
33. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В., Павлова К.И. Информационно-регуляторная роль солнечной радиации в периоды сумерек в развитии и продуктивности яровых зерновых культур // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 362. С. 193-213.
34. Шульгин И.А., Тарасова Л.Л., Сенников В.А. Агрометеорологические аспекты оценки урожая в условиях климатических изменений // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям. М.: РГАУ-МСХА, 2011. С. 90-99.
35. Strashnaya A., Maksimenkova T., Chub O. Grain yield prediction in the Russian Federation NATO Science for peace and security series C // Environmental Security. 2011. Vol. 97. P. 93-97.

#### References

1. Bartalev S.A., Loupian E.A., Neyshtadt I.A., Savin I.Yu. Gropland Area Classification in South Regions of Russia Using MODIS Satellite Data. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2006, no. 3, pp. 68-75.
2. Bereza O.V., Strashnaya A.I., Loupian E.A. On the possibility to predict the yield of winter wheat in the Middle Volga region on the basis of integration of land and satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from Space], 2015, vol. 12, no. 1, pp. 18-30 [in Russ.].

3. Bykov Ph.L., Vasilenko E.V., Gordin V.A., Tarasova L.L. The statistical structure of the field of surface soil layer moisture from ground-based and satellite observations. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2017, vol. 42, no. 6, pp. 403–414. DOI: 10.3103/S1068373917060061.
4. Vasilenko E.V., Tarasova L.L. Application of ASCAT/MetOp data for soil moisture monitoring. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography]*, 2015, no. 2, pp. 40–49 [in Russ.].
5. Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. About the dynamics of the agroclimatic indicators of conditions of sowing, wintering and formation of the yield of the main grain crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 360, pp. 45–78 [in Russ.].
6. Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: otsenka riskov i ekologo-ekonomicheskikh posledstviy degradatsii zemel'. Adaptivnye sistemy i tekhnologii ratsional'nogo prirodopol'zovaniya (sel'skoe i lesnoe hozyaystvo). Natsional'nyy doklad. 2018. [in Russ.].
7. Kleschenko A.D., Savitskaya O.V. Kompleksnoe ispol'zovanie nazemnoy agrometeorologicheskoy informatsii i sputnikovoykh dannykh dlya otsenki urozhaynosti zernovykh kul'tur. *Trudy IPG*, 2011, vol. 90, pp. 204–212 [in Russ.].
8. Lukomets V.M., Bushnev A.S., Podlesny S.P., Mamyrko Yu.V., Veter V.I., Semerenko S.A. Assay of sunflower genotypes productivity depending on some elements of cultivation technology on black soils of the Western Ciscaucasia. *Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK [Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK]*, 2016, vol. 168, no. 4, pp. 36–44 [in Russ.].
9. Maklyak E.N., Kirichenko V.V. Responce of sunflower hybrids of different maturity groups on the temperature regimen during vegetative period. *Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK [Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK]*, 2016, vol. 168, no. 4, pp. 55–60 [in Russ.].
10. Moiseychik V.A. Agrometeorologicheskie usloviya i perezimovka ozimyykh kul'tur. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1975, 295 p. [in Russ.].
11. Nizamov R.M., Sagdiyev R.S. Sunflower productivity depending of seeding rates in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo GAU [Vestnik of the Kazan State Agrarian University]*, 2011, vol. 19, no. 1, pp. 114–146 [in Russ.].
12. Polevoy A.N. Prikladnoe modelirovanie i prognozirovanie produktivnosti posevov. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1988, 313 p. [in Russ.].
13. Purina I.E., Chekulaeva T.S., Strashnaya A.I., Ignatova N.S. Tecnology of processing and DELIVERING of the final agrometeorological information to the customers in HMC Russia and operating organizations of Roshydromet structure in software package PROMETEI. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2011, vol. 346, pp. 103–120 [in Russ.].
14. Strashnaya A.I., Tebuev H.H. O prognozirovanii urozhaynosti zernovykh i zernobobovykh kul'tur s bol'shoy zablagovremennost'yu. *Meteorologiya i Gidrologiya [Russ. Meteorol. Hydrol.]*, 1994, no. 3, pp. 91–95 [in Russ.].
15. Strashnaya A.I. Sostoyanie i problemy operativnogo agrometeorologicheskogo obespecheniya sel'skogo hozyaystva na federal'nom urovne v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata. *Trudy VNIISKHM*, 2007, vol. 36, pp. 78–91 [in Russ.].
16. Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V. Ob izmenenii agroklimaticheskikh usloviy vegetatsii i srokov seva ozimyykh kul'tur osen'yu v T'Sentral'nom federal'nom okruge v svyazi s potepieniem klimata. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2009, vol. 343, pp. 141–158 [in Russ.].
17. Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V. Terms of sowing of winter crops in the climate change conditions and their forecasting in Privolzhsky federal district. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2011, vol. 345, pp. 175–193 [in Russ.].
18. Strashnaya A.I., Purina I.E., Chub O.V., Zadornova O.I., Chekulaeva T.S. Automated monitoring technology and calculation of the number of decades with soil and atmospheric soil drought for the grain crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2013, vol. 349, pp. 161–175 [in Russ.].
19. Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V. Operativnoe agrometeorologicheskoe obespechenie agrarnogo sektora ekonomiki Rossii v usloviyakh izmeneniya agroklimaticheskikh resursov. *Trudy VNIISKHM*, 2013, vol. 38, pp. 21–40 [in Russ.].
20. Strashnaya A.I., Bartalev S.A., Maksimenkova T.A., Chub O.V., Tolpin V.A., Plotnikov D.E., Bogomolova N.A. Agrometeorological assessment of winter grain crops condition during the growing season termination using ground and satellite data through the example of the Privolzhskiy Federal District. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2014, vol. 351, pp. 85–105 [in Russ.].
21. Strashnaya A.I., Tarasova L.L., Maksimenkova T.A., Bogomolova N.A., Bereza O.V. Forecasting of the yield of grain and leguminous crops in the Central Chernozeem Regions based on integration of land and satellite data. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 353, pp. 128–153 [in Russ.].

22. *Strashnaya A.I., Tishtshenko V.A., Bogomolova N.A., Pavlova K.I., Tebuev H.H.* Agrometeorological conditions and forecasting of productivity of sunflower seeds in the Privolzhskiy Federal District. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 359, pp. 142-160 [in Russ.].

23. *Strashnaya A.I., Bereza O.V., Tishtshenko V.A.* The influence of agrometeorological conditions on yield of sunflower seeds in the Southern Federal District. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 364, pp. 203-219 [in Russ.].

24. *Strashnaya A.I., Bereza O.V., Klang P.S.* Agrometeorological conditions and forecasting of sunflower seed yield in the Central Federal District. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydro-meteorological Research and Forecasting]*, 2019, vol. 373, no. 3, pp. 121-138 [in Russ.].

25. *Strashnaya A.I., Tishtshenko V.A., Berioza O.V., Bogomolova N.A.* On the possibility to use the standardized precipitation index for detecting droughts and in the forecasts of the quantitative estimates of the productivity of cereal crops and pulse crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 357, pp. 81-97 [in Russ.].

26. *Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V.* Agrometeorological features of a drought of 2010 in Russia in comparison with droughts of last years. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2011, vol. 345, pp. 194-214 [in Russ.].

27. *Tarasova L.L.* Assessment of agrometeorological indicators of conditions of wintering of winter grain crops in the central chernozem regions in the conditions of climatic changes. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 360, pp. 26-44 [in Russ.].

28. *Ulanova E.S., Strashnaya A.I.* Zasuhi v Rossii i ih vliyanie na urozhaynost' zernovykh kul'tur. *Trudy VNIISKHM*, 2000, vol. 33, pp. 64-83 [in Russ.].

29. *Frolov A.V., Strashnaya A.I.* O zasuhe 2010 goda i ee vliyanii na urozhaynost' zernovykh kul'tur. Analiz usloviy anomal'noy pogody na territorii Rossii letom 2010 goda. Moscow, Triada LTD publ., 2011, pp. 22-31 [in Russ.].

30. *Chub O.V., Strashnaya A.I.* About possibil use of the new agrometeorological factor of moistening for monitoring of atmospheric and soil droughts. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2012, vol. 347, pp. 190-206. [in Russ.].

31. *Shul'gin I.A., Tarasova L.L., Sennikov V.A.* Agrometeorologicheskie aspekty otsenki urozhayev v usloviyah klimaticheskikh izmeneniy. Adaptatsiya sel'skogo hozyaystva Rossii k menyayuschimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam. Moscow, RGAU-MSKHA, 2011, pp. 90-99 [in Russ.].

32. *Shul'gin I.A., Vilfand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V.* Energy-balance approach to evaluation of spring crops yield. *Izvestiya TSHA [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]*, 2015, no. 5, pp. 61-80 [in Russ.].

33. *Shul'gin I.A., Vilfand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V.* Solar radiation in estimating the maximal yields of spring crops. *Biosfera*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 371-383 [in Russ.].

34. *Shul'gin I.A., Vilfand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V., Pavlova K.I.* Information and regulatory role of solar radiation in the twilight in development and productivity of spring grain crops. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 362, pp. 193-213 [in Russ.].

35. *Strashnaya A., Maksimenkova T., Chub O.* Grain yield prediction in the Russian Federation NATO Science for peace and security series C. *Environm. Security*, 2011, vol. 97, pp. 93-97.

Поступила в редакцию 30.10.2019 г.

Received by the editor 30.10.2019.