

УДК 528.88

С.Л. Кравцов, Л.В. Орешкина

## ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ГРАДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Рассматривается пространственное распределение рисков выпадения града на территории Республики Беларусь, полученное по данным метеорологических станций за 2006–2008 гг. Анализируются возможность и источники погрешности, дается методика, а также приводится пример оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом с использованием изображений дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).*

### Введение

Град (твердые атмосферные осадки в виде ледяных частиц, чаще всего диаметром 10–30 мм) является уникальным природным явлением, происходящим нерегулярно, имеющим неоднородное пространственное распределение и варьирующим по интенсивности от едва заметной до катастрофической [1]. Указанная врожденная природная пространственная изменчивость, рельеф местности, структура ветра, а также различие видов сельскохозяйственных культур приводят к отчетливой пространственной неоднородности степени их повреждения.

Повреждение сельскохозяйственных культур градом вызывает значительные потери урожая, вследствие чего многие фермеры защищают себя от ущерба путем страхования (в Республике Беларусь с 2008 г. введено обязательное страхование урожая сельскохозяйственных культур от ущерба вследствие бурь, вихрей, ураганов, наводнений, града, ливней, продолжительных дождей и других опасных явлений природы). Если выпал град и был подан иск о выплате страховки, страховой агент должен оценить потери урожая.

Процедура оценки потерь урожая требует от страхового агента анализа многочисленных условий роста сельскохозяйственных культур до и после выпадения града: потенциального значения урожая до града, степени и пространственного распределения повреждения, средних условий роста в течение оставшейся части вегетационного сезона, погодных условий, свойств почвы, вида листьев [2]. Страховой агент должен также учесть факторы, которые могут вызывать или увеличивать степень повреждения: ветер, мороз, осадки в виде дождя до и после выпадения града, снабжение водой и питательными элементами, вредители и болезни [3]. Погрешность учета указанных факторов может привести к неточной оценке потерь урожая. Указанные параметры определяются на основании множества справочных участков (площадью 4 м<sup>2</sup>), которые выбираются и исследуются страховым агентом. Выбор количества и местоположения справочных участков является субъективным, требует определенных навыков и зависит от размера пострадавшего от града региона и изменчивости степени повреждения.

Страховая компания «Freemans Australian» изложила следующие основные ограничения/недостатки используемого ею в настоящее время метода оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом [3, 4]: метод оценки неточен и находится в постоянном развитии; существуют вариации между оценками различных страховых агентов; часто трудно охватить весь пострадавший от града регион вследствие его размера или ограничений доступа; иногда трудно получить доступ к собственности вследствие неконтролируемых факторов (например, наводнения); трудно гарантировать готовность всех заинтересованных сторон; большие расстояния до мест повреждения или множество мест повреждения требуют больших временных и финансовых затрат (в среднем 33 % от стоимости исполнения иска относятся к дожным затратам [2]).

В этой связи страховые компании заинтересованы в совершенствовании методов оценки повреждения сельскохозяйственных культур градом для оптимизации страховых выплат по искам. Один из путей совершенствования заключается в интеграции изображений ДЗЗ в среду

оценки потерь. При этом можно повысить точность и объективность оценки, минимизировать изменчивость между оценками различных страховых агентов, снизить дорожные издержки и время оценки (за счет охвата одним изображением множества исков), обеспечить охват всего пострадавшего от града региона [3, 4]. Это способствует рационализации использования ресурсов и усилий страховых агентов.

### 1. Град как опасное гидрометеорологическое явление на территории Республики Беларусь

На основе анализа наблюдений за 45-летний период безразмерный интегральный показатель метеорологической уязвимости территории Республики Беларусь составил 581 [5]. Это означает, что метеорологическая уязвимость, характеризующая риск воздействия неблагоприятных условий погоды и стихийных гидрометеорологических явлений на экономику страны, является «относительно высокой».

Ежегодно в Республике Беларусь регистрируется от 9 до 30 опасных гидрометеорологических явлений, суммарный ущерб от которых составляет в среднем 93 млн \$ (в ценах 2005 г.) [5]. Основные потери в сельском хозяйстве (42 % ущерба приходится на эту отрасль) связаны с воздействием таких опасных явлений погоды, как засухи, заморозки, сильные ливни и град. Они могут вызвать снижение урожайности сельскохозяйственных культур до 50–60 %, а в отдельные годы и больше [6].

Для оценки ситуации с градом были проанализированы данные о 103 зарегистрированных случаях на 49 метеостанциях, относительно равномерно распределенных по территории Республики Беларусь (8 метеостанций в Брестской области, 10 – в Витебской, 9 – в Гомельской, 5 – в Гродненской, 10 – в Минской, 7 – в Могилевской) в период с 2006 по 2008 гг. (табл. 1, рис. 1). На метеостанциях в Витебской области был зафиксирован 31 случай выпадения града, Брестской области – 14, Гомельской – 16, Гродненской – 16, Минской – 14, Могилевской – 12. В среднем град на одной метеостанции отмечался немногим более двух раз в течение трех лет. Вместе с тем наблюдались и аномалии. Так, на девяти станциях выпадение града было зафиксировано два раза в течение месяца (ноябрь 2006 г. – Езерище, Шарковщина; апрель 2007 г. – Лынтупы, Шарковщина; февраль 2008 г. – Слуцк, Бобруйск; март 2008 г. – Волковыск, Ганцевичи, Сенно, Мозырь); на трех станциях выпадение града было зафиксировано четыре раза в течение месяца (февраль 2008 г. – Новогрудок; март 2008 г. – Бобруйск, Езерище); на одной станции выпадение града было зафиксировано пять раз в течение месяца (март 2008 г. – Докшицы). Несмотря на явное различие количества зарегистрированных случаев выпадения града по годам (14 случаев в 2006 г., 31 – в 2007 г. и 58 – в 2008 г. (рис. 1, а)), установить какую-либо достоверную связь не представляется возможным вследствие незначительного количества анализируемых лет.

Таблица 1  
Обобщенные данные с метеорологических станций о выпадении града с 2006 по 2008 гг.

Зафиксированное количество выпадений града	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество станций	15	8	10	5	3	4	1	2	1

Наибольшее количество случаев выпадения града зафиксировано в марте – 33 случая (рис. 1, б). С марта по июнь (период вегетации растительности) зафиксировано 56 случаев выпадения града. Обычно град выпадал днем между 6–15 ч по UTC – 85 случаев (рис. 1, в). Большею частью град выпадал при юго-западном, западном и северо-западном направлениях ветра – 91 случай (рис. 1, г). В 91 % случаев выпадение града фиксировалось при температуре приземного воздуха от  $-4,9$  до  $7,5^{\circ}\text{C}$  – среднее значение около  $2^{\circ}\text{C}$  (рис. 1, д). Выпадение града обычно фиксировалось при атмосферном давлении от 996 до 1015 гПа (среднее значение 1007 гПа) – 75 случаев (рис. 1, е). На рис. 2 показан результат анализа риска выпадения града на территории Республики Беларусь по данным за 2006–2008 гг.

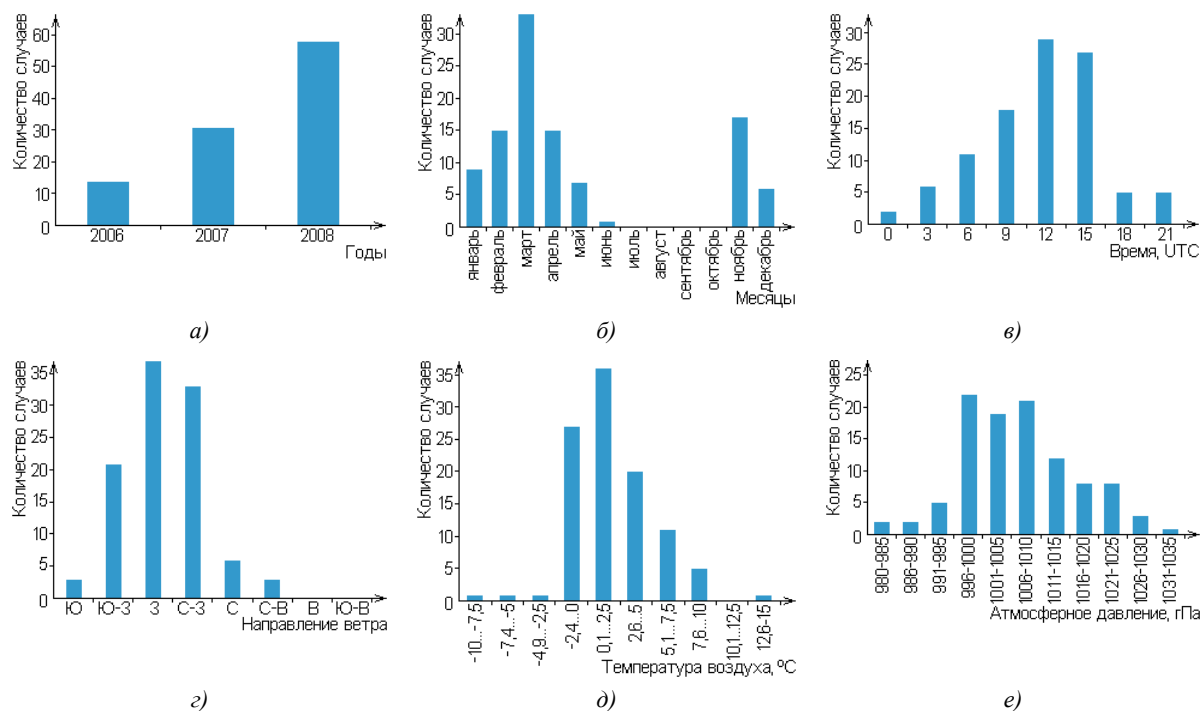


Рис. 1. Статистические данные о выпадении града в Республике Беларусь за 2006–2008 гг.: а), б) выпадение града по годам и месяцам соответственно; в), г), д), е) зависимость количества случаев выпадения града от времени по UTC, направления ветра, атмосферного давления и температуры воздуха соответственно

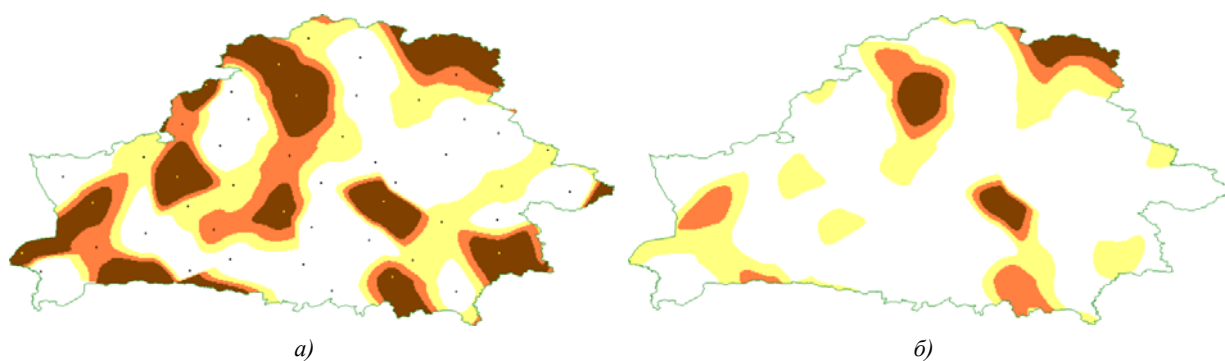


Рис. 2. Оценка риска выпадения града по данным за 2006–2008 гг.: а) учтены все случаи выпадения града; б) учтены случаи выпадения града в период с марта по октябрь (• – метеостанции; белый, желтый, оранжевый, коричневый – соответственно до 2, от 2 до 3, от 3 до 4, от 4 и выше случаев выпадения града)

Во всех случаях град наносит ущерб сельскому хозяйству, но при большой интенсивности или крупных размерах градин становится особо опасным явлением. Крупный град (диаметр градин 20 мм и более) в определенном месте – редкое явление, встречается в среднем один раз в 40–50 лет. Однако в целом на территории Республики Беларусь ежегодно отмечается до четырех-пяти таких случаев: в 2006 г. наблюдался один случай выпадения крупного града, в 2007 г. – два случая [7, 8].

## 2. Возможность оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом с использованием изображений ДЗЗ

Предоставляемые страховыми агентами сведения о повреждении сельскохозяйственных культур градом и результаты анализа изображений ДЗЗ несопоставимы. Действительно, на изображениях ДЗЗ отдельные растения неразличимы даже при пространственном разрешении 0,25 м [1], тогда как предоставляемые страховыми агентами сведения содержат результаты оценки отдельных растений: количество выживших по сравнению с количеством посаженных,

уровень дефолиации, повреждения главных стеблей растений, непосредственно потери стручков, початков или колосьев (если выпадение града произошло незадолго до сбора урожая). В этой связи ключевым параметром, используемым при оценке степени повреждения сельскохозяйственных культур градом, является уровень дефолиации. Дефолиация – это потеря растением листы (рис. 3, а [9]), которая может привести к снижению урожая (вследствие уменьшения эффективности фотосинтеза) и связана со способностью растения восстанавливаться после вызванного градом стресса [3].

Дефолиация напрямую связана с уменьшением площади листовой поверхности, разрушением структуры листьев (путем разрывов и расщеплений на полосы) и клеток растений, нарушением поглощения света хлорофиллом [2, 3]. Обусловленные дефолиацией физиологические изменения сельскохозяйственных культур могут изменить их отражательную способность.

Пригодность технологии ДЗЗ для количественной оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур обеспечивается существованием зависимости между уровнем дефолиации и значением коэффициента отражения. Действительно, спектры здоровой растительности (высокая зеленая биомасса) характеризуются низким значением коэффициента отражения в видимой области спектра и высоким – в ближней ИК-области спектра. Увеличение уровня дефолиации (снижение зеленой биомассы) приводит к более высоким значениям коэффициента отражения в видимой области спектра, тогда как в ближней ИК-области спектра наблюдается более низкое значение коэффициента отражения [3, 7, 9]. Обратная зависимость справедлива в отношении красной области спектра и во многих случаях является более полезной для оценки уровня дефолиации, т. е. чем выше уровень дефолиации, тем больше спектр сельскохозяйственной культуры смещается в направлении спектра голой почвы (рис. 3, б, в [9]). Однако следует подчеркнуть, что это лишь общая тенденция, принимая во внимание дополнительные факторы, влияющие на состояние сельскохозяйственных культур (и соответственно их отражательную способность), включая обеспеченность водой и питательными элементами, поражение насекомыми и другими вредителями, вспышки болезней и погодные условия.

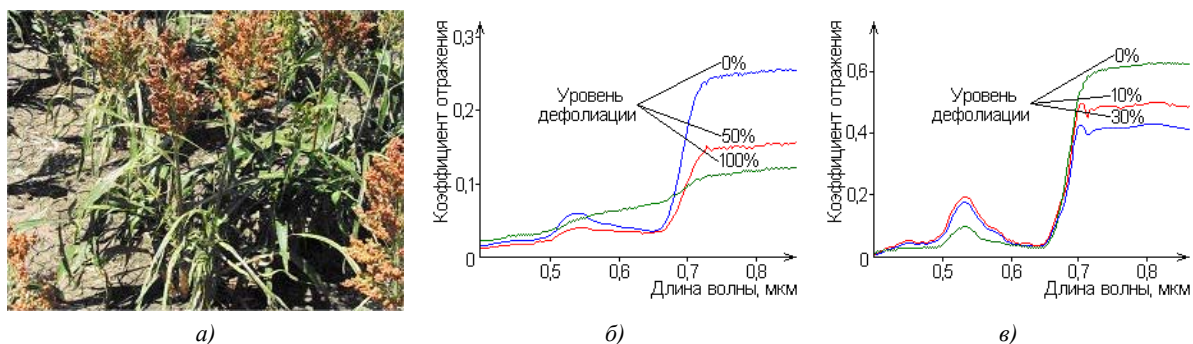


Рис. 3. Дефолиация и ее влияние на спектр сельскохозяйственных культур:

а) поврежденное градом 1 февраля 2004 г. сорго в окрестности г. Долби (Австралия);  
б) спектры полога кукурузы (стадия 8–12 листьев); в) спектры полога сорго (стадия 9 листьев)

Были проанализированы различные преобразования, отношения и индексы, включая простые отношения (для сенсора Landsat TM: канал 4/канал 5, канал 5/канал 4, канал 3/канал 4, канал 4/канал 3, канал 5/канал 3, канал 3/канал 5; для сенсора Spot XI: канал 2/канал 3 и канал 3/канал 2), NDVI, MSAVI2 и преобразование «колпак с кисточкой», относительно возможности оценки уровня дефолиации сельскохозяйственных культур на различных стадиях роста [2, 3]. NDVI показал наибольшую точность оценки со средней разностью с оценкой страховым агентом от 5 до 10 % [3, 4], т. е. каналы в красной и ближней ИК-областях спектра являются наиболее подходящими для различения уровня дефолиации.

Оценка уровня дефолиации с использованием изображений ДЗЗ является наиболее точной, если они получены по прошествии 7–14 дней после выпадения града (времени, достаточного для проявления стрессового состояния растений) в интервале 14–28 дней (рис. 4 [4]). Спустя указанный интервал времени растения начинают физиологически восстанавливаться [3].

Для экономически эффективного использования изображений ДЗЗ поврежденные области должны быть широко распределены по пострадавшему от града региону и малодоступны. Если же повреждена недостаточно большая область (например, около  $100 \text{ м}^2$ ) относительно охвата изображением ДЗЗ, то его использование будет экономически нецелесообразным [9]. Кроме того, изображения ДЗЗ будут более востребованными, если пострадавший от града регион расположен относительно далеко от офиса страховой компании (например, 8–10 ч езды).

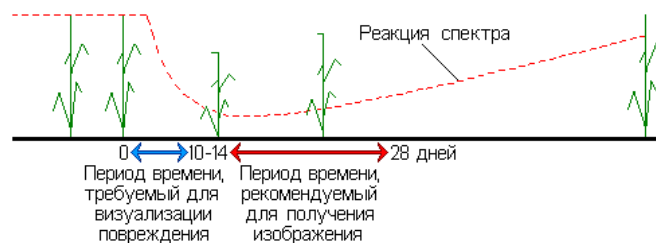


Рис. 4. Поведение спектра сорго до, во время и после повреждения градом

Считается, что для оценки повреждения сельскохозяйственных культур градом требуется пространственное разрешение пикселя 5 м [1]. Изображение ДЗЗ с пространственным разрешением 30 м считается адекватным для предварительной оценки пострадавшего от града региона.

### 3. Методика оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом с использованием изображений ДЗЗ

*Исходные данные.* Для пострадавшего от града региона должно быть получено изображение ДЗЗ, содержащее каналы в красной и ближней ИК-областях спектра. В пострадавшем от града регионе необходимо выбрать репрезентативные наземные справочные участки, отражающие различную степень повреждения сельскохозяйственных культур [3]. Должна быть проведена пространственная привязка центров справочных участков (например, с использованием GPS-приемника) для обеспечения возможности совместного анализа изображений ДЗЗ с данными наземного обследования (наземными данными) [2]. При этом должно быть достигнуто соответствие между точностью привязки центров справочных участков, пространственным разрешением изображения ДЗЗ и точностью его геокодирования.

Справочные участки могут быть выбраны на поврежденных либо неповрежденных градом полях (которые эквивалентны поврежденным до выпадения на них града). При выборе справочных участков должны быть учтены следующие критерии [3, 4]: одинаковый вид почвы, минимальная изменчивость микрорельефа, одинаковый вид сельскохозяйственной культуры (степень повреждения градом разных видов сельскохозяйственных культур различна), одинаковая стадия роста сельскохозяйственной культуры, одинаковая технология растениеводства, одинаковое предшествующее использование поля.

На справочных участках одновременно с получением изображений ДЗЗ страховым агентом должна быть оценена степень повреждения сельскохозяйственных культур. При этом возможно объединение степеней повреждения в ограниченное количество градаций [2].

*Соотношение между значениями NDVI и степенью повреждения сельскохозяйственных культур.* На изображении ДЗЗ выделяются области, соответствующие наземным справочным участкам. Затем для каждого справочного участка вычисляются средние значения NDVI [9]. Они используются для определения значений коэффициентов регрессии соотношения между степенью повреждения сельскохозяйственных культур и значениями NDVI пикселей изображения ДЗЗ:

$$DEF_{(x,y),i} = a_{0,i} + a_{1,i} \cdot NDVI_{(x,y)} + a_{2,i} \cdot NDVI_{(x,y)}^2, \quad (1)$$

где  $DEF_{(x,y),i}$  – степень повреждения  $i$ -й сельскохозяйственной культуры для пикселя  $(x, y)$  изображения (в процентах);  $(x, y)$  – координаты пикселя изображения;  $i$  – сельскохозяйственная культура;  $a_{0,i}$ ,  $a_{1,i}$ ,  $a_{2,i}$  – коэффициенты регрессии для  $i$ -й сельскохозяйственной культуры;  $NDVI_{(x,y)}$  – значение нормализованного разностного вегетационного индекса для пикселя  $(x, y)$  изображения.

Оценка степени повреждения сельскохозяйственных культур градом должна быть произведена только для пострадавшего от града региона. При этом вспаханные поля, леса, населенные пункты, водные объекты и др. целесообразно исключить из рассмотрения. Для каждого пикселя пострадавшего от града региона степень повреждения каждой сельскохозяйственной культуры вычисляется с использованием выражения (1). Далее получающиеся значения группируются в одну из ранее установленных градаций.

#### 4. Возможные источники погрешности оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом с использованием изображений ДЗЗ

Несмотря на то что использование изображений ДЗЗ позволяет достичь хорошей точности оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом, существует ряд факторов, которые могут сделать оценку менее точной [2, 3].

*Субъективность страхового агента.* Необычайно большое количество потерь от града регистрируется со значениями 5, 10 и «полная» потеря (90 % повреждения и более). Это наводит на мысль, что в некоторых случаях потери не оцениваются по методике, а о них договариваются [1], но со временем держатели страхового полиса платят за чрезмерно щедрые выплаты по искам более высокими страховыми взносами.

*Изменчивость в пределах поля* (потенциального значения урожая, состояния растений, влажности/питательных элементов почвы, повреждения насекомыми и болезнями, предшествующего использования почвы и т. д.) до и после выпадения града вносит наибольший вклад в точность оценки с использованием изображений ДЗЗ [2]. Данные факторы играют важную роль в отношении состояния растений и способности их восстановления.

*Стадия роста сельскохозяйственных культур.* Изображения ДЗЗ полезны для анализа пострадавшего от града региона, содержащего сельскохозяйственные культуры на ранней стадии роста, особенно если влияние фона почвы минимально. Как только сельскохозяйственные культуры начинают высыхать/созревать, изображения ДЗЗ, возможно, не позволят оценить степень повреждения, поскольку вариация спектров будет минимальной [3].

*Степень повреждения сельскохозяйственных культур.* Изображения ДЗЗ наиболее пригодны, если степень повреждения сельскохозяйственных культур градом высока. Если степень повреждения незначительна (уровень дефолиация близок к 0 %), то она может не быть выявлена, особенно при использовании изображений ДЗЗ ширококанальных сенсоров [9].

*Фон почвы.* Погрешность оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур особенно значительна, когда доля открытой почвы (вследствие зрелости/размера растений на ранних стадиях роста и практики растениеводства) близка к рекомендованному минимальному значению либо меньше его (для NDVI оно составляет 30 %). Кроме того, возможны ошибки оценки вследствие аномального поведения значения коэффициента отражения в красной и ближней ИК-областях спектра при красном цвете почвы [3].

*Своевременность получения изображений ДЗЗ* является потенциальным ограничением, если над пострадавшим от града регионом во время прохождения спутника преобладает облачное покрытие [9]. Использование авиационных изображений может устранить данную проблему, но их стоимость препятствует охвату больших территорий.

*Смешанные пиксели.* Погрешность оценки степени повреждения будет вызывать наличие смешанных пикселей (пикселей, содержащих более одного вида поверхности Земли), что характерно для изображений, отображающих регионы ведения сельского хозяйства [3]. Например, рядом могут располагаться поля с различными видами сельскохозяйственных культур, пастбища, земля под паром и др.

*Внешние факторы* включают: быстро перемещающиеся облака (приводящие к вариации освещения), переменный ветер (приводящий к изменению рассеяния и отражения света вследствие изменения положения и тени листьев), неоднородность атмосферы, свойства почвы, микрорельеф, вредителей и болезни, предшествующие культуры и др. [3].

### 5. Пример оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом 12 июля 2007 г. в Горецком районе Могилевской области с использованием изображений сенсоров Landsat TM/ETM+

Днем 12 июля 2007 г. на востоке Республики Беларусь наблюдались грозы, сильные дожди (количество осадков 15–43 мм), на востоке Витебской и Могилевской областей – шквалистое усиление ветра до 15–24 м/с. Крупный град со средним диаметром градин около 43 мм зафиксирован в период от 16 ч 50 мин до 17 ч 20 мин метеостанцией Горки. Град прошел также в северо-западной части Горецкого района и г. Горки.

Градом были уничтожены посевы зерновых культур на площади 560 га, рапса – 130 га, картофеля – 35 га и капусты – 20 га. Частично повреждены посевы зерновых культур на площади 3580 га [8]. Основной ущерб стихия нанесла Ректянскому и Савскому сельским советам (д. Филиппово, Нежково, Шишево, Глиньково, Орлы, Ректа). На частных подворьях уничтожены все посевы. Повреждены кровли многих общественных и частных строений. Выбито около 1500 м<sup>2</sup> стекла, повреждены не менее 80 легковых автомобилей. На метеостанции Горки повреждены датчики скорости ветра и осадков, кровли навеса для сушки проб, частично повреждены будка самописцев и психрометрическая будка, разбиты коленчатые термометры.

*Использованные изображения ДЗЗ.* Были выбраны изображения сенсоров Landsat TM/ETM+ (пространственное разрешение 30×30 м) вследствие того, что компания «U.S. Geological Survey» предоставляет их бесплатно (рис. 5, а, б). Изображения имели уровень обработки L1G, т. е. были геопривязаны по орбитальным параметрам, радиометрически нормализованы и приведены в стандартную картографическую проекцию UTM (эллипсоид WGS 84), зона 36 N.

*Обработка данных.* Основываясь на исследовании изображений сенсоров Landsat TM/ETM+, были выбраны три градации степени повреждения сельскохозяйственных культур: умеренное повреждение, среднее повреждение, гибель. Оценка степени повреждения сельскохозяйственных культур градом была проведена только для пострадавшего от града региона. С этой целью вспаханные поля, леса, населенные пункты, водные объекты и др. были исключены из рассмотрения.

Поскольку исследование проводилось после рассматриваемых событий выпадения града, наземное подтверждение было недоступным, вследствие чего вариации по справочным участкам могли снизить согласованность и надежность результатов. Наличие для рассматриваемого случая выпадения града двух изображений (одного изображения до и одного изображения после) позволило свести оценку степени повреждения сельскохозяйственных культур к следующему. Первоначально для каждого пикселя пострадавшего от града региона вычислялась разность значений нормализованного разностного вегетационного индекса:

$$I_{(x,y)}^{new} = NDVI_{(x,y),t1} - NDVI_{(x,y),t2}, \quad (2)$$

где  $NDVI_{(x,y),t1}$ ,  $NDVI_{(x,y),t2}$  – значения нормализованного разностного вегетационного индекса для пикселя  $(x, y)$  изображений дат  $t1$  и  $t2$  соответственно.

Далее получающиеся значения путем пороговой обработки были отнесены к одной из градаций степени повреждения сельскохозяйственных культур.

*Анализ результатов* (рис. 5, г) показал, что врожденная природная пространственная изменчивость града, а также различие видов сельскохозяйственных культур вызвали отчетливое пространственное различие степени их повреждения. Градовая дорожка простиралась с юга-востока на северо-запад и имела в ширину (по градации «гибель») около 8,8 км, в длину – более 30 км. Указанные значения хорошо соответствуют среднестатистическим (10 и 50–60 км соответственно).

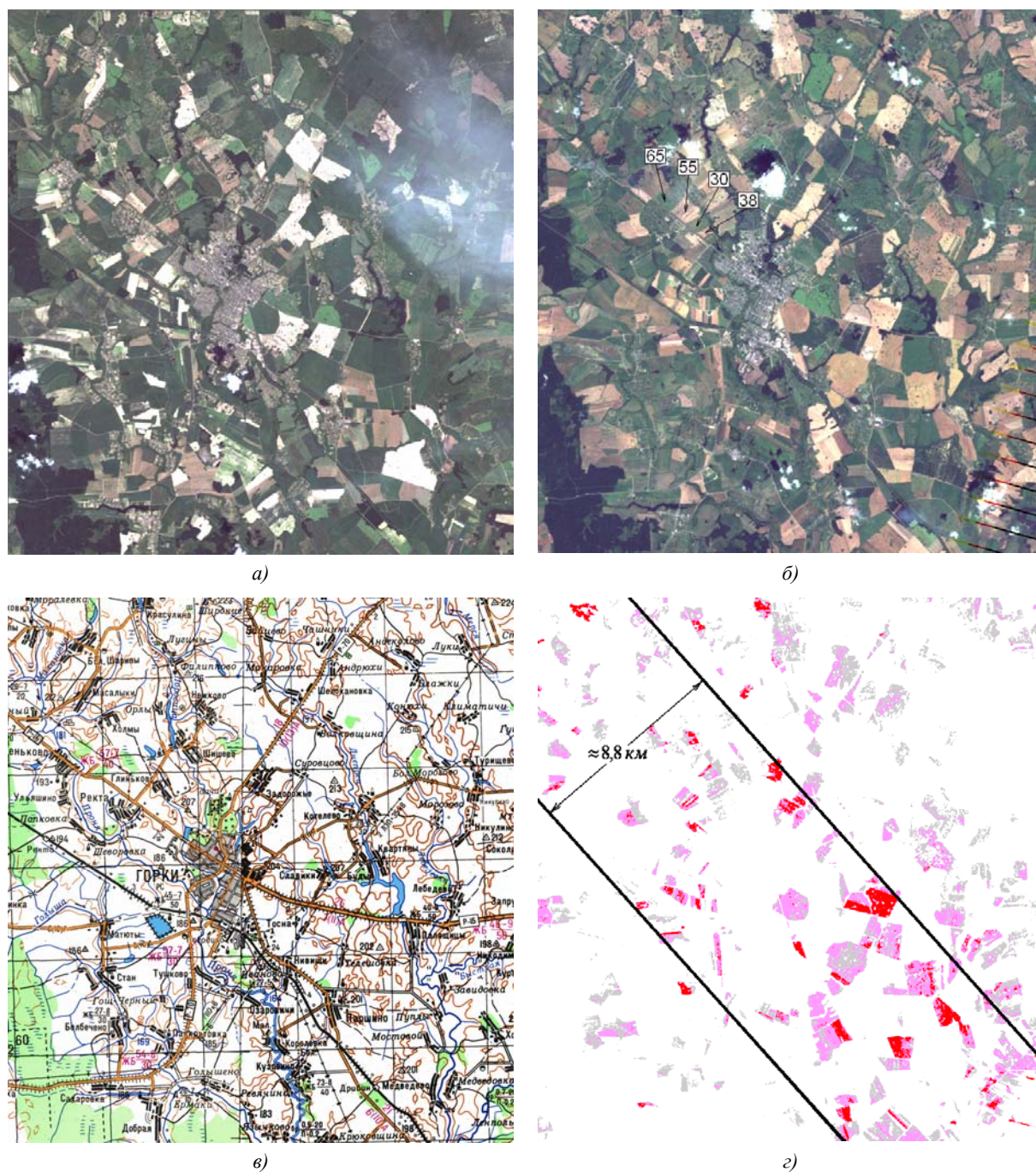


Рис. 5. Оценка степени повреждения сельскохозяйственных культур вследствие выпадения крупного града 12 июля 2007 г. в Горьком районе Могилевской области: а) изображение сенсора Landsat 5 TM (получено 10 июня 2007 г.; каналы, охватывающие красную, зеленую и синюю области спектра, помещены соответственно в R-, G- и B-каналы дисплея); б) изображение сенсора Landsat 7 ETM+ (получено 20 июля 2007 г.); в) карта местности масштаба 1:200 000; г) степень повреждения сельскохозяйственных культур (серый – умеренно поврежденные, пурпурный – средне поврежденные, красный – гибель)

Наземная информация (по результатам обследования участков 16 июля 2007 г.) была предоставлена Республиканским гидрометеорологическим центром (табл. 2). Это позволило путем классификации методом максимального правдоподобия выделить в анализируемой области по изображению сенсора Landsat TM (полученному 25 мая 2007 г.) среди прочих следующие классы: зерновые, рапс (отчетливо различался на изображении, поскольку оно было получено в период его цветения), картофель.



Таблица 2

Наземная информация, предоставленная Республиканским гидрометеорологическим центром

Номер участка	Механический состав почвы	Культура	Характер повреждения	Степень повреждения органов отдельных растений, %	Степень охвата растений повреждением, %	Площадь поля с поврежденными посевами, %
65	Суглинок	Озимая тритикале	Сломаны стебли	25	30	100
			Выбито зерно	20	25	100
30	Суглинок	Картофель	Побиты, сбиты листья	30	15	100
38	Суглинок	Яровая пшеница	Побиты, сломаны стебли	20	30	100
55	Супесь	Ячмень	Побиты, сломаны стебли	70	25	60
			Выбито зерно	25	30	60

Результаты оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур градом (табл. 3) позволили сделать следующие выводы. Во-первых, наблюдается достаточно хорошее соответствие между наземными данными и данными, полученными в результате анализа изображений сенсоров Landsat TM/ETM+. Во-вторых, расхождение указанных данных обусловлено упрощенной схемой обработки данных (единая для всей анализируемой области, тогда как должна быть адаптирована для каждого вида сельскохозяйственных культур), несоответствием пространственного разрешения изображений сенсоров Landsat TM/ETM+ требуемому (30 и 5 м соответственно), недостаточным количеством наземных данных, а также погрешностью выделения классов.

Таблица 3

Наземные данные и результаты анализа изображений сенсоров Landsat TM/ETM+

	Данные	Зерновые, га	Рапс, га	Картофель, га
Наземные данные	Гибель	560	130	35
	Повреждено	3580	–	–
Данные ДЗЗ	Гибель	471	55	81
	Среднее повреждение	5914	214	402
	Умеренное повреждение	7350	497	1340

### Заключение

По результатам анализа данных с метеорологических станций за 2006–2008 гг. установлена значительная пространственная неоднородность выпадения града на территории Республики Беларусь. Исследования в Горецком районе Могилевской области показали наличие достаточно хорошего соответствия между наземными данными и данными, полученными в результате анализа изображений сенсоров Landsat TM/ETM+ по оценке степени повреждения сельскохозяйственных культур градом. Таким образом, изображения сенсоров Landsat TM/ETM+ (пространственное разрешение 30 м) пригодны для предварительной оценки поврежденного от града региона.

Авторы выражают благодарность А.А. Яновскому, оказавшему помощь при проведении исследований.

### Список литературы

1. Use of remotely sensed data for assessing crop hail damage / A.J. Peters [et al.] // Photogrammetric engineering & remote sensing. – 2000. – Vol. 66, № 11. – P. 1349–1355.

2. Chandler, O. Assessment of hail damage to crops using satellite imagery and handheld hyperspectral data / O. Chandler, F.R. Young, A. Apan // Proceedings of the 12<sup>th</sup> Australian remote sensing and photogrammetry conference. – Fremantle, Western Australia, 2004.

3. Young, F.R. Crop hail damage: insurance loss assessment using remote sensing / F.R. Young, A. Apan, O. Chandler // Proceedings of the remote sensing and photogrammetry society annual conference (RSPSoc2004). – Aberdeen, UK, 2004.

4. Quantifying hail damage for crop loss assessment: Techniques using remote sensing and geographic information systems / O. Chandler [et al.] // Proceedings of the 11<sup>th</sup> Australian remote sensing and photogrammetry conference. – Brisbane, Australia, 2002. – P. 412–421.

5. Об утверждении республиканской программы развития государственной гидрометеорологической службы на 2007–2010 гг. : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11.04.2007 № 463 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 13 апреля 2007 г. – № 5/25037. – 4 с.

6. Второе национальное сообщение Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 141 с.

7. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень. 2006 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2007. – 366 с.

8. Состояние природной среды Беларуси : экологический бюллетень. 2007 г. / под ред. В.Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2008. – 376 с.

9. Opportunities and limitations of remote sensing for crop loss (hail damage) assessment in the insurance industry / A. Apan [et al.] // Proceedings of SSC 2005 spatial intelligence, innovation and praxis : The national biennial conference of the Spatial sciences institute. Australia, Melbourne, 12–16 September 2005. – Melbourne, Australia : Spatial sciences institute, 2005. – P. 19–28.

Поступила 27.07.09

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: krautsou\_sl@rambler.ru*

**S.L. Krautsou, L.V. Areshkina**

### **HAIL DAMAGE ESTIMATION OF CROPS WITH THE USE OF REMOTE SENSING IMAGES**

The spatial distribution of hailfall risks on the territory of Belarus, according to the data obtained by meteorological stations for the period of 2006–2008 is considered. The possibilities and sources of errors are analyzed. The technique and an example of hail damage estimation of crops with the use of remote sensing images are suggested.